

INFORME

SOBRE LAS POSIBILIDADES QUE HAY DE APROVECHAR
EL CALOR DE LA MONTAÑA DE FUEGO DE LA ISLA DE
LANZAROTE (LAS PALMAS)



MINISTERIO
DE INDUSTRIA Y COMERCIO

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO
DE ESPAÑA

10

I N F O R M E

SOBRE LAS POSIBILIDADES QUE HAY DE APROVECHAR EL CALOR
DE LA "MONTAÑA DE FUEGO", DE LA ISLA DE LANZAROTE
(LAS PALMAS)

	<u>Pag^a</u>
GENERALIDADES	1
Capítulo I.- VOLCANISMO DE LANZAROTE.....	9
a) Anomalías térmicas subterráneas de Canarias.....	9
b) Grietas tectónicas volcánicas de Lanzarote y sus dos últimas erupciones.....	10
c) Montaña de Fuego de Lanzarote.....	13
Capítulo II.- LAVAS DE LA MONTAÑA DE FUEGO DE LANZAROTE.	19
a) Estudio del mapa.....	19
b) Estudio de los diferentes tipos de lava..	22
Capítulo III.- VEHICULO QUE TRAE A LA SUPERFICIE EL CALOR DE LAS LAVAS DEL SUBSUELO EN ESTE MACIZO MONTANOSO.....	25
Capítulo IV.- APROVECHAMIENTO DEL CALOR DEL INTERIOR DE LA TIERRA.....	30
a) Pequeñez del flujo calorífico terrestre..	30
b) Necesidad de grandes superficies de captación para que alcance el flujo calorífico terrestre, valores de cuantía apreciable	31
c) Grandes profundidades que sería necesario alcanzar para lograr temperaturas convenientemente alta, para el aprovechamiento de este calor	31
d) Imposibilidad de situar a las antedichas profundidades instalaciones de gran superficie de captación, necesarias según queda dicho, para conseguir este aprovechamiento y pequeña cuantía del mismo....	32
e) Tendencia general a admitir que en las regiones volcánicas el problema es menos difícil	40
f) Rapidez general del enfriamiento de las lavas en régimen normal	41
g) Estudio de los casos especiales en que las lavas consiguen la máxima conservación posible de su calor	49
Capítulo V.- TERMALIDAD DEL MACIZO MONTANOSO DE TIMANFAYA	53
a) Determinación aproximada de las masas de lavas calientes situadas bajo este macizo en el que se encuentra la Montaña de Fuego y el Islote de Hilarie, así como de la profundidad a que deben hallarse sus temperaturas aprovechables, y calor que inevitablemente pierde.....	53

b) Islote de Hilario 60

Capitulo VI.- CAPTACION DE LOS GASES VOLCANICOS..... 63

Capitulo VII.- SOLUCION PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR INTERNO 69

 a) Caracteristicas de la instalacion piloto de prueba a base de vapor de agua..... 70

 b) Propuesta de motor de aire caliente para este aprovechamiento 73

CONCLUSIONES.- 77

Nota I .- Refrigeracion de los terrenos por pozos o sondeos.

Nota II .- Progresion del calor propio del extremo de un prisma, a lo largo de el, en el transcurso del tiempo, sin alimentacion alguna de calor externo y sin perdidas laterales de calor.

Nota III .- Estudio termodinamico del motor de aire caliente

Nota IV .- Segunda maquina para aprovechar los gases calientes del escape de la primera.



MINISTERIO
DE INDUSTRIA Y COMERCIO

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO
DE ESPAÑA

I N F O R M E

SOBRE LAS POSIBILIDADES QUE HAY DE APROVECHAR EL CALOR
DE LA "MONTAÑA DE FUEGO", DE LA ISLA DE LANZAROTE
(LAS PALMAS)

En el archipiélago de las Islas Canarias, conocidas durante algún tiempo con el sobrenombre de las "islas afortunadas", debido a la fertilidad de su suelo y la bondad del clima que disfrutaban sus habitantes, en los tiempos ya olvidados, en que el régimen de lluvias era abundante, se encuentra la isla de Lanzarote, perteneciente a la comunidad provincial de las Palmas.

Esta isla, en la que la vida se desenvolvía por aquella época, en un ambiente próspero y normal, atraviesa hoy día una fase sumamente difícil, debido a las circunstancias adversas con que ahora tiene que luchar, tanto por la escasez de las lluvias, que imposibilitan el desarrollo normal de sus cosechas, que antes, en unión de las de Fuerteventura, abastecían en gran parte a las otras islas, como por las serias dificultades que

hoy existen para el abastecimiento de agua de su población. Por lo que merece la pena se dedique la mayor atención al estudio y resolución de sus problemas locales, sobre todo si son de tipo económico, como es el que vamos a desarrollar en este Informe.

Desgraciadamente las escasas lluvias que se precipitan en esta región, se infiltran totalmente en el subsuelo, debido a la gran permeabilidad de las lavas que lo forman, profundamente agrietadas en todos sentidos y sumamente porosas, por cuyas grietas y pozos se abisman a grandes profundidades, sin posibilidad alguna de que puedan volver a surgir a cotas más altas, en forma de manantiales, dado el escaso relieve de dicha isla, siendo este a su vez el motivo esencial de que no exista en toda ella ni un sólo curso de agua corriente.

Todos los ensayos que se han hecho hasta la fecha para alumbrar aguas potables han fracasado, debido a que, por la excesiva permeabilidad de su suelo, las aguas de lluvia se abisman normalmente por debajo de la cota del mar, mezclándose ésta con las aguas marinas que entran por las rocas costeras profundamente agrietadas, por lo que su agricultura, a pesar de la gran feracidad de su suelo, es cada día más escasa—debido a la falta de agua de lluvia—y aún la podríamos llamar de "tipo heroico", ya que para poder llegar a obtener alguna cosecha, el labrador se vé obligado a defender sus frutos por medio de grandes hoyos y muros altos de protección para defen-



Pueblecillo lanzaroteño próximo a los mantos de lava que asolaron a la Isla en 1730, cubriendo esta varios pueblos de la Isla



Labores agrícolas en la zona fértil de la Isla de Lanzarote.

los contra las inclemencias del aire, que alcanza en esta isla normalmente, grandes velocidades, por estar bajo la influencia de los "vientos aliseos". Además cubre sus plantaciones para compensar la falta de agua de lluvia con "picón" o "gravilla de lava", que dada su gran porosidad, ejerce una potente fuerza condensadora por acción de superficie, del vapor de agua que arrastra el viento saturado y a veces sobresaturado que azota permanentemente esta Isla, ayudadas tales condensaciones de rocío por las variaciones diurnas de temperatura, entre aire y suelo, ya que dichas condensaciones se producen por la noche y de madrugada.

No tienen más agua potable, para atender a las necesidades de su población, que aquella que se recoge en aljibes, procedente de las escasas precipitaciones atmosféricas que en la actualidad recibe al cabo del año, atención que suplementa el Gobierno en los años de sequía, con el envío periódico de buques cisternas de agua potable, para atender las más perentorias necesidades de sus habitantes.

Como consecuencia de las antedichas observaciones, que en este viaje hemos podido hacer, sobre las condiciones climatológicas de esta isla, con el fin de remediar estas dificultades, la Dirección de este Centro, atendiendo la propuesta que a nuestro regreso hemos hecho, ha dado las órdenes oportunas para que se estudie la posibili-



Campo de picón situados al pié de la Montaña de Fuego en el que se observa un afloramiento de la capa de picón cementado de la coraza de fuego.



Vista en detalle de dicha capa de "picón cementado"

dad de suministrar agua potable a los habitantes de esta isla, por medio de instalaciones, situadas en los sitios más convenientes, en las que se puedan recoger por condensación el vapor de agua de la atmósfera, en forma de rocío, aprovechando dichas condiciones meteorológicas favorables para conseguir en gran escala, por medio de este sistema de "precipitaciones ocultas", agua potable en suficiente cantidad para abastecer por lo menos a la población.

Si se repasan los capítulos de su historia, se encuentra en ella reflejadas todos los sobresaltos y penalidades a que están sometidos todos los pueblos asentados en terrenos volcánicos, amenazados siempre por los horrores de sus épocas de paroxismo.

Y este pueblo ha conocido estas calamidades, puesto que ha sufrido dos erupciones de sus volcanes en épocas relativamente recientes; una corresponde a los años 1730 al 1736; y la última, de la que aún existen supervivientes que han oído contar a sus padres y abuelos los más trágicos relatos, corresponde al año de 1824.

Erupciones que, han dejado su huella indeleble en el terreno, viéndose este cubierto en grandes extensiones por todo un cortejo de siluetas dantescas formadas por lavas frías solidificadas, situadas al pié de los volcanes y en sus cráteres, por debajo de las que se observan otros lechos lávicos en forma de estratos tabulares de diversos espesores que recubren grandes bóvedas



Vista parcial de un "Mal país" de lava antigua cubierta de líquenes.



Vista parcial de un "Mal país" de lava antigua de pobre vegetación.



Vertice geodésico situado en la cúspide de la Montaña de Fuego.



"Mal país" de lava antigua situado al pie de la Montaña de Fuego cuyo vertice geodésico se ve al fondo.



"Mal país" de lava moderna



Grieta gigante abierta en este "Mal país" situada al pie del Islote Hilario.



"Mal país" de lava moderna en el que se ve la fluidez de las capas lavicas consolidadas en forma de ondas de oleaje.



"Mal país" de lava moderna en el que se ve la superposición de las capas de sucesivas avenidas lavicas

surcadas por anchos canales y grietas profundas de muy variadas dimensiones, por dónde circula el aire atmosférico en todas direcciones. Estos estratos, debido a las grandes contracciones sufridas en su rápido enfriamiento, se ven por todas partes rotos y amontonados en forma cataclástica, ocupando grandes extensiones de terreno, que forman lo que en estas islas llaman un "mal país", de aspecto sumamente pintoresco, llamando esto notablemente la atención al turista, a pesar de lo sumamente peligroso que resulta andar por él, fuera de las calzadas y sendas que los naturales del país han trazado.

En estas erupciones volcánicas y como última fase de la inyección de lavas fundidas, que salen por los cráteres, suelen lanzar estos a la atmósfera a grandes alturas, potentes masas de lava, presentándose éstas, unas veces atomizada en forma de polvo, que mezcladas con el vapor de agua, forman verdaderas nubes de "arena volcánica," y otras en forma de masas, que se granulan en "piedrecillas de lava" debido a su rápido enfriamiento al establecer contacto con el aire de la atmósfera.

Tales arenas y gravillas que a veces se encuentran a enormes distancias de los cráteres, se esparcen en grandes extensiones de terreno, depositándose en forma de espesos sedimentos de dichos materiales, que generalmente recubren las faldas de los cráteres, constituyéndose así lo que en este país se conoce con el nombre de "campos de picón", formados por "arenas de lava" sumamente porosas,



Interior de una gruta formada por una gran ampolla de lava en la que puede observarse sus paredes recubiertas de estalactitas lavicas formadas en un periodo de gran fluides y exudaciones lentas

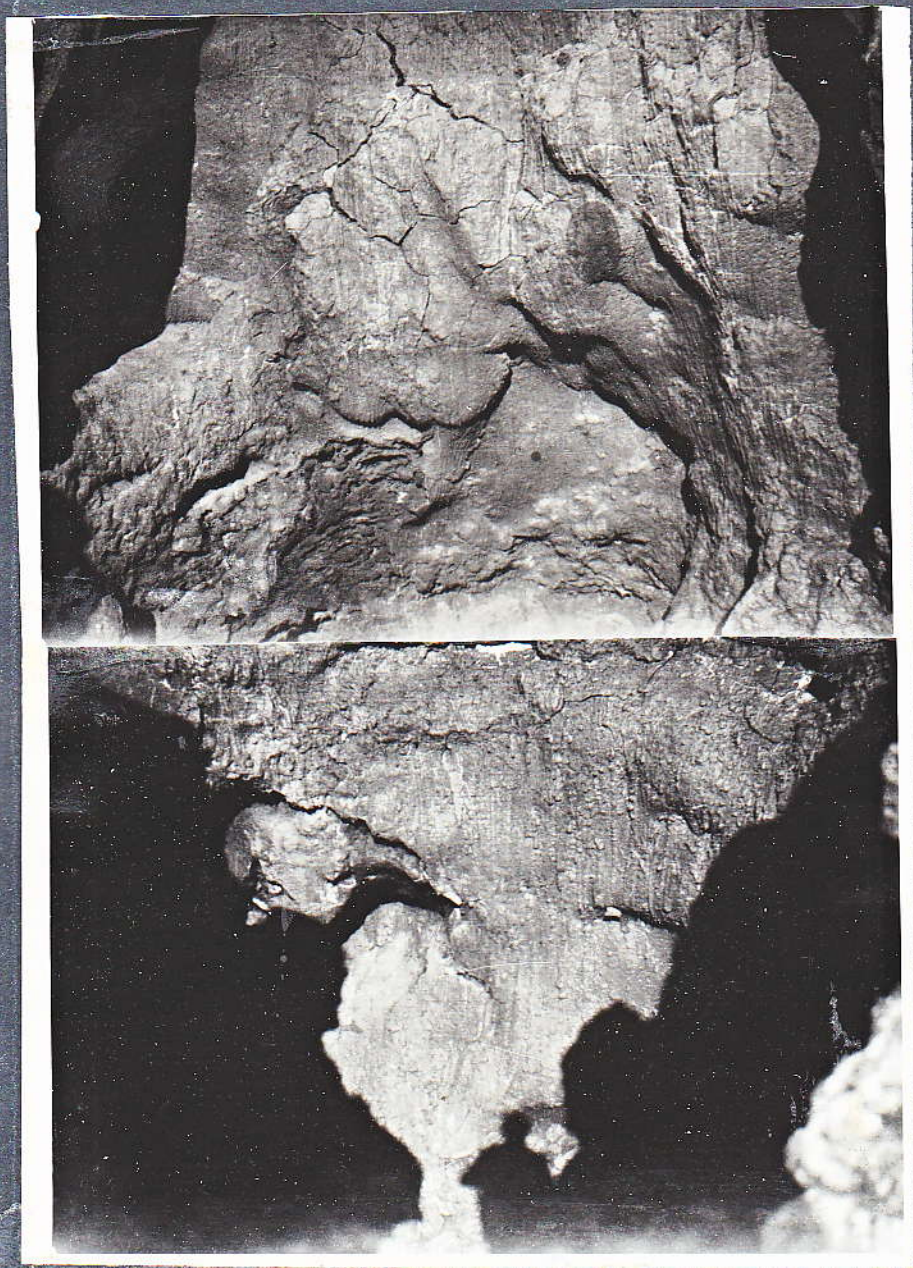




Campos de "picón" situados al pie de la Montaña de Fuego



Carretera que conduce a la Montaña de Fuego abierta entre "picón" suelto.



Interior de una chimenea volcánica moderna



Boca de una ampolla volcánica gaseosa



Cresta desnuda de una ampolla volcánica

que a simple vista parecen extensas dunas.

Este es en realidad a grandes rasgos, el panorama que se observa en la "Montaña de Fuego", enclavada en el macizo montañoso de Tymanfaya, en el que independientemente de la curiosidad que inspira ver un paisaje de esta naturaleza, en el que se destacan como rasgos esenciales las siluetas de grandes cráteres de profundas simas, con todo su cortejo, de: "bombas volcánicas", algunas de ellas de extraordinarias dimensiones; "ampollas de lava", que forman grutas sumamente pintorescas y vistosas, normalmente rotas por su bóveda debido a la explosión producida por la gran presión de los gases que estas encerraron, tapizadas a veces en su interior de finas estalactitas y estalagmitas de lava fundida de diferentes colores, todo lo que produce gran asombro al turista. Pero lo que más impresión causa, es el curioso fenómeno de calor latente que encierra aún en sus entrañas esta montaña.

Fenómeno que, no solamente ha llamado la atención a cuantos hombres de ciencia han visitado estos lugares, sino a nosotros mismos, conocedores de la gran velocidad de retroacción de temperaturas que se produce en las lavas fundidas y lacolitos volcánicos, después del paroxismo, que las hizo ascender de las profundidades de la tierra.

Para estudiar este fenómeno e informar sobre el posible aprovechamiento industrial de este calor, después

de conocer las más diversas opiniones más o menos acertadas acerca de sus orígenes, es para lo que ha sido requerido por la Superioridad este Centro, habiéndonos cabido el honor de ser nombrados por la Dirección del mismo, para cumplir tan elevada misión.

Informe que nos proponemos dar, exponiendo metódicamente para aclarar los hechos, y todos los datos que hemos podido observar sobre el terreno, explicando con los conocimientos físico-químicos que hoy se tiene de estos fenómenos, los resultados que han dado en nuestros Laboratorios los análisis de gases y lavas que hemos recogido en esta expedición, para sacar de estas observaciones los resultados prácticos a que hemos llegado.

Proponemos la explotación de los campos de "olivino" que en estas formaciones volcánicas se presentan, para el aprovechamiento integral, del magnesio, sílice, níquel y cromo, que este mineral contiene, dada su elevada riqueza en Mg.O y la circunstancia de existir importantes salinas en esta isla, que pueden proporcionar la materia prima esencial para la obtención, por el procedimiento Müller, de concentrados de cloruro de magnesio, que se ha de exportar a la Península para la extracción del magnesio metal.

Demostramos las dificultades que existen para poder captar el calor interno de la tierra, en las regiones de grado geotérmico normal y aún en las regiones volcánicas en las que el enfriamiento de las lavas fundidas arrojadas a la superficie, es sumamente rápido, como normalmente ocu-

re, explicando las causas a que ha sido debido que dicho enfriamiento se haya retardado tanto en la "Montaña de Fuego", hasta el punto de conservar aún en ciertas zonas, elevadas temperaturas.

Fenómeno, que, puede aprovecharse para la producción de energía termo-eléctrica, con la solución que proponemos.

Solución que damos, no por su utilidad como nueva fuente de calor de aprovechamiento industrial, de positivo interés, del que carece en absoluto, dados sus escasos límites de utilización, sino como un nuevo aliciente de atracción del turismo, de indudable interés económico para esta Isla, dada su novedad, por ser este el primer caso que podría presentarse de aprovechamiento industrial directo del calor interno de la tierra.

I - VOLCANISMO DE LANZAROTE

a).- Anomalías térmicas subterráneas de Canarias.-

Al llegar al archipiélago Canario, comenzamos este estudio, inquiriendo, si por las condiciones volcánicas de estas Islas, se observan en ellas grados geotérmicos mayores que los normales continentales, de un grado de aumento de temperatura por cada 33 mts. que se avance en profundidad, es decir, $\frac{1^{\circ}}{33 \text{ ms.}}$. Extremo que pudimos aclarar en los profundos pozos, que para alumbrar aguas subterráneas, se han llegado a perforar en la Isla de Gran Canaria, como por ejemplo, el pozo del término municipal de Telde, del Barranco de la Culata, cuyo brocal está a 284 mts. de cota sobre el nivel del mar, que atravesó 80 mts. de picón (lapilli o piedrecillas de lava granulada) y debajo, mantos de lava, con ligero buzamiento hacia el mar, hasta alcanzar la profundidad total de 160 mts.

La roca de los paramentos secos del fondo del pozo, está a unos 30° y como la temperatura media de la superficie del terreno es de unos 25°, se deduce un grado geotérmico normal de un grado por cada 32 mts.

Asimismo, en el término de Ingenio, vimos otro pozo en el Alto del Caravallo, de cota 375 mts. sobre nivel del mar, que tiene una profundidad de 150 mts. y un caudal de



Vista parcial de las Palmas



Pozo de agua de Las Palmas donde se hicieron observaciones sobre el grado geotérmico de esta Isla.

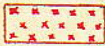




unos 6 lts. por segundo, en el que medimos un grado geotérmico de $\frac{1^{\circ}}{25 \text{ ms.}}$ algo superior al normal.

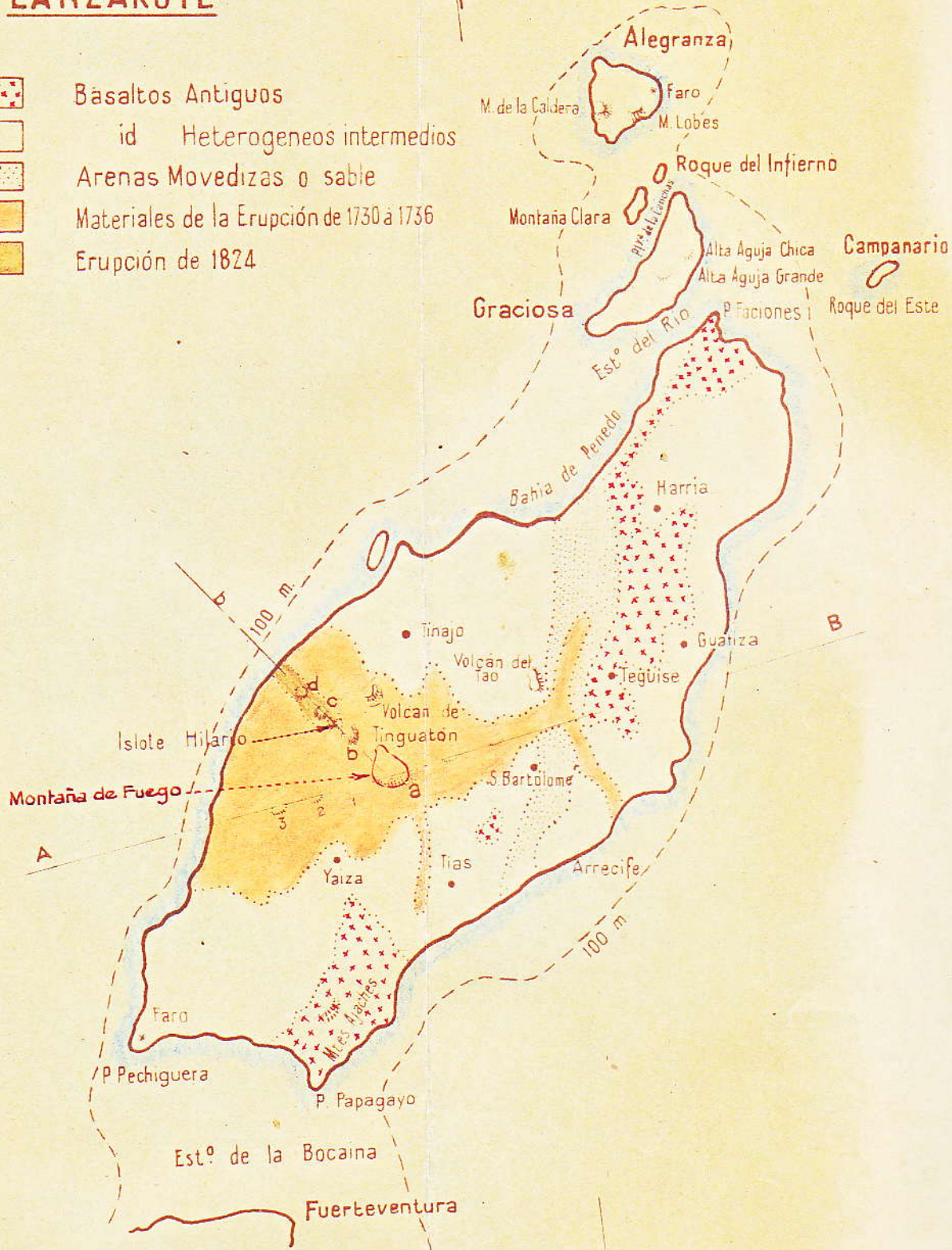
Por lo tanto, no parece que el subsuelo de estas Islas sea de grado geotérmico muy superior al normal de los continentes, pero sí puede asegurarse, que las condiciones volcánicas de estas Islas dan lugar a grandes anomalías térmicas en profundidad, como las observadas por los Ingenieros de la Jefatura de Minas de Las Palmas, en algunos pozos, en cuyos fondos, se encuentran, bancos de basaltos y lavas a temperaturas muy superiores a las de los bancos inmediatos infrayacentes y suprayacentes, y desde luego superior a lo que habría de corresponderle por su profundidad probablemente por estar sus prolongaciones en contacto con algún lacolito caliente y ser tales bancos de alta conductibilidad calorífica, dando esto lugar a que, en un mismo pozo y a la misma profundidad, se alumbren a veces dos aflujos de aguas subterráneas, una caliente y otra fría, procedentes de bancos de rocas próximos.

b).- Grietas tectónicas volcánicas de Lanzarote y sus dos últimas erupciones.-

En Lanzarote, después de muchos siglos de inactividad de sus volcanes, se produjo de 1730 al 36 una erupción a lo largo de una antigua grieta tectónica AB, Lám. 1^a y 2^a, de dirección E. 20° N., jalonada por una fila de cráteres contiguos, recubiertos algunos de ellos, como la "Montaña de Fuego", de espesos mantos de "lapili" o "picón"

LANZAROTE

-  Básaltos Antiguos
-  id Heterogeneos intermedios
-  Arenas Movedizas o sable
-  Materiales de la Erupción de 1730 a 1736
-  Erupción de 1824



ESCALA 1:300.000

MACIZO del FUEGO

Escala 1:8.000



Curvas de nivel

Cuadro de temperaturas

Montaña del Fuego			Islote Hilario		
Estaciones	Temperaturas	Observaciones	Estaciones	Temperaturas	Observaciones
T ₁	350°	Grieta superficial	T ₁	390°	Tomada en una grieta superficial.
T ₂	345°	Zanja de 160 m.	T ₂	388°	" " "
T ₃	335°	Grieta superficial	T ₃	360°	" " "
T ₄	325°	Sondeo de 125 m.	T ₄	345°	" " "
T ₅	280°	Calicata de 0.50 m.	T ₅	340°	" " "
T ₆	245°	" " " "	T ₆	330°	" " "
T ₇	240°	Grieta superficial	T ₇	325°	" " "
T ₈	210°	Sondeo de 0.50 m.	T ₈	270°	Calicata de 0.50 m.
T ₉	210°	" " " "	T ₉	270°	" " "
T ₁₀	159°	Calicata de 0.50 m.	T ₁₀	265°	" " "
T ₁₁	146°	" " " "	T ₁₁	260°	" " "
T ₁₂	120°	Hornillos	T ₁₂	260°	" " "
T ₁₃	116°	Calicata de 0.50 m.	T ₁₃	175°	" " "
T ₁₄	112°	" " " "	T ₁₄	170°	" " "
T ₁₅	160°	" " " "	T ₁₅	160°	" " "
T ₁₆	150°	" " " "	T ₁₆	160°	" " "
T ₁₇	145°	" " " "	T ₁₇	160°	" " "
T ₁₈	110°	idem de 150 m.	T ₁₈	85°	Calicata de 1.00 m.
T ₁₉	80°	" " " "	T ₁₉	70°	" " "
T ₂₀	75°	" " " "	T ₂₀	67°	" " "
T ₂₁	70°	" " 1.00 m.	T ₂₁	37°	" " "
T ₂₂	65°	" " " "	T ₂₂	30°	" " "
T ₂₃	26°	" " " "	T ₂₃	25°	" " "
T ₂₄	62°	" " " "	T ₂₄	25°	" " "
T ₂₅	45°	" " " "			
T ₂₆	45°	" " " "			
T ₂₇	33°	" " " "			
T ₂₈	29°	" " " "			
T ₂₉	94°	" " " "			
T ₃₀	92°	" " " "			
T ₃₁	90°	" " " "			
T ₃₂	85°	" " " "			
T ₃₃	65°	" " " "			
T ₃₄	65°	" " " "			
T ₃₅	60°	" " " "			
T ₃₆	52°	" " " "			
T ₃₇	46°	" " " "			
T ₃₈	26°	" " " "			
T ₃₉	19°	" " " "			
T ₄₀	19°	" " " "			
T ₄₁	15°	" " " "			
T ₄₂	12°	" " " "			

En pocos cráteres rebosó la lava, por los bordes de sus calderas, sino que generalmente rompió por grietas que se abrieron en las faldas de sus laderas, como es frecuente en los cráteres de paredes débiles, en erupciones faltas de presión. Sin embargo, la lava básica muy fluída de esta erupción, alcanzó gran extensión, cubriendo más de 1/4 de la superficie de la Isla devastándola, porque la lava se extendió sobre grandes superficies de tierra de cultivo y varios pueblecillos.

En la región central y más alta de la grieta tectónica A.B., está enclavado el macizo de la "Montaña de Fuego", de 510 mts. de altitud sobre el nivel del mar, cuya superficie no fué alcanzada por las lavas de la erupción de 1730 a 1736, conservando aún su recubrimiento de "picón", anterior a esta erupción, debido a que rompió por sus laderas, como antes hemos dicho, por numerosas bocas que se abrieron en las llanuras laterales del macizo.

Dicha erupción inyectó lavas en la grieta tectónica, sobre la que está situada la "Montaña de Fuego", que no lograron surgir a la superficie y quedaron en sus entrañas, formando un lacolito que por estar abrigado, como luego se explica, por una capa protectora de picón metamorfozido, que lo defiende del enfriamiento, da lugar a las manifestaciones térmicas, que se observan en la actualidad.

Por el contrario, los campos de lava extrusivos y las masas de lavas intrusivas de los cráteres desnudos de

picón, se enfriaron rápidamente en cuanto se solidificaron al contacto del aire las primeras y de las rocas frías de la superficie, las segundas, porque el aire atmosférico aceleró su enfriamiento, circulando por el interior de las masas de lava, por los numerosos circuitos de grietas, que la contracción de solidificación abrió en ellas.

Debido a esta razón, únicamente, el lacolito alojado debajo de la "Montaña de Fuego", aunque solidificado ya, conserva aún altas temperaturas, porque está abrigado según queda dicho por una capa de "picón cementado" de poca conductibilidad calorífica, que recubre la montaña, y sobre todo, porque dicha capa ha impedido la circulación del aire por las grietas de la lava del "lacolito", debido a que esta capa de "picón" superficial, se ha aglomerado formando una costra cementada naturalmente, impermeable al aire, que retiene como en una campana, el aire caliente que llena el campo de grietas del lacolito, sin dejarlo circular, ni surgir a la superficie, impidiendo así el enfriamiento por aereación, que tan rápidamente solidificó en general en otras zonas, las masas de lava.

En dicha costra de picón, han quedado cementadas los granos sueltos de lava, de que está formado este, por un aglutinante de sílice gelatinosa, segregada de la misma lava y del "picón", superabundante en sílice, por las acciones hidratantes meteóricas, metamorfoseándose estas gravillas volcánicas, en una lámina superficial continua, de

poco grueso, que se trocea con gran facilidad, en bloques de gran ligereza y poder aislante del frío, que son empleados en la Isla para la construcción de edificios.

El último paroxismo volcánico de Lanzarote, fué el del año 1824, en el que se abrió una grieta a - b lám^a. 1^a y 2^a, que partiendo de la grieta tectónica principal A.B. sale de la "Montaña de Fuego" hacia el NO.

Tampoco rompió esta erupción por los cráteres antiguos y fué mucho menos importante que la del siglo XVIII, dando solo lugar, a la apertura de pequeños cráteres y ampollas gaseosas de lava, que dieron una estrecha corrida de lava, que alcanzó al mar, representada en la Fig^a 1 y que produjeron un lacolito lávico (que probablemente se unió con el, alojado bajo la "Montaña de Fuego" de la erupción de 1730) creando una zona de calor bajo el islote de Hilario, también abrigado por el sedimento de "picón" y su costra superficial de "picón cementado".

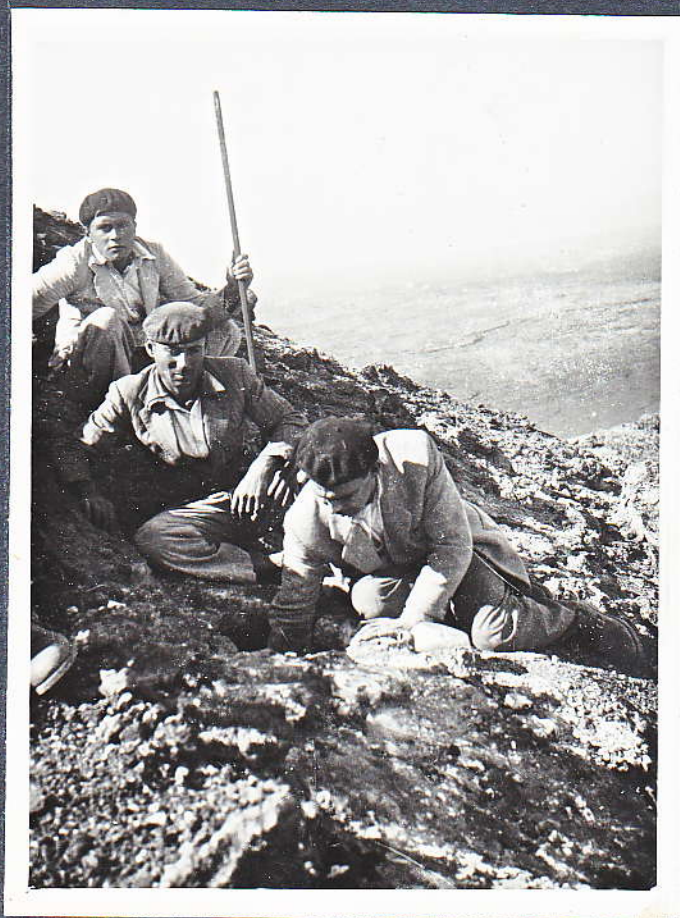
c) - "Montaña de Fuego" de Lanzarote.-

En el reconocimiento de esta Montaña, comenzamos por observar las temperaturas de 120° de los hornillos de la Fig^a. 2^a.

Estos hornillos son pequeñas cavidades practicadas a media ladera de la cumbre de la Montaña, bajo la costra de picón cementado, impermeable al aire, al Norte del Refugio de Turismo, a donde acuden los turistas que van a esta Montaña. Para su construcción, se rompe en un escarpe del te-



Hornillos de la Montaña de Fuego de alta termalidad, donde asan la carne los turistas.



Observación de la temperatura de la Montaña de Fuego, en una calicata hecha al pié de la misma

reño la costra de "picón cementado", para alcanzar el picón suelto infrayacente, a través del cual sale el aire caliente subterráneo, habitualmente retenido bajo la antedicha costra de picón.

La cavidad o cámara que se abre, tiene por techo la propia costra de picón cementado y su boca se refuerza con una pequeña obra de mortero de cal, dejando libre una entrada de 40 x 30 cm. de sección, que da acceso a dicha pequeña cámara de piso horizontal formada sobre el picón suelto, en dónde los turistas depositan las viandas que desean cocer o asar, por la acción del aire caliente que surge de entre los granos sueltos de lava que forman el picón.

Durante la operación, se optura la boca del hornillo con trozos de lava, para evitar que el aire frío de los fuertes vientos que habitualmente azotan esta Montaña, enfríe su interior.

Guiados por el Ingeniero Jefe del Distrito Minero de Gran Canaria, que había estudiado con anterioridad esta montaña, fuimos directamente al mayor foco de calor por él localizado, en la ladera Norte de la Montaña, situado a 220 mts. al NO de su cúspide, dónde existe un mojón geodésico de cota 510 mts.

Las temperaturas que este foco registra están comprendidas entre 325° y 350°.

En la ^{sospecha} ~~suposición~~ de que estas manifestaciones caloríficas, son debidas a masas de lavas calientes alojadas a lo largo

de la grieta tectónica AB, decidimos estudiar una serie de perfiles térmicos transversales a la grieta, para deducir de la anchura de las manifestaciones térmicas, la importancia que puede tener el lacolito lávico oculto, inyectado en el seno de la Montaña.

En dichos perfiles encontramos tres digitaciones térmicas C D y E, Lam^a.2, hacia el S.O. de la Montaña, que pierden temperatura conforme se alejan de la grieta tectónica, según puede observarse por el cuadro de temperaturas de la Lam^a que nos sirvió de base para trazar las líneas isotermas de temperaturas someras del subsuelo que tienen su representación en la antedicha figura.

En cambio hacia el Norte de la Montaña, la termalidad disminuye rápidamente, desapareciendo en los fondos de los cráteres 1 y 2 situados en la falda de la Montaña de Fuego.

Siguiendo hacia el Oeste, a lo largo de la grieta tectónica AB, recorrimos los volcanes que la jalonan por este rumbo y los encontramos sin restos de termalidad, incluso en las lavas de los fondos de los cráteres. En cambio, apartándonos de la grieta tectónica, hacia el NO y alineando nuestro recorrido en la dirección de las ampollas lávicas, levantadas en los campos de lava de la última erupción de 1824, encontramos una zona caliente muy interesante, que desde la Montaña de Fuego, corre hacia la corrida de lavas de 1824, pasando por los cráteres a y b y que tienen su máxima termalidad en el montículo conocido con el nombre de el Islote Hilario,



*Alineación de cráteres antiguos que jalonan la línea tectónica principal A-B.
Tomada en avión sobre la Montaña de Fuego por la Comandancia Aérea de
Las Palmas.*

16-011



La misma alineación de cráteres tomada desde el piso de la Isla.

Lám^a. 2^a, cuya zona termal sigue luego por los cráteres c y d.

Se denomina a este montículo el Islote de Hilario, porqué es una pequeña loma, de poco relieve, cubierta y abrigada por sedimentos de "picón cementado" superficialmente, que está rodeado por lavas recientes de la erupción de 1824. En este Islote se observaron temperaturas someras subterráneas de 300 a 390° superiores a todas las encontradas en la región hasta la fecha.

Las temperaturas más altas se observan, dónde existen grietas naturales antiguas, en la costra de "picón cementado" superficial, lám^a. 3 (b), por las que se han establecido corrientes ascensionales de aire lentas, pero permanentes, que traen a la superficie del terreno al aire caliente alojado en las grietas de las lavas inferiores que han conservado altos grados excepcionales de termalidad, debidos a las razones antes expuestas. Por ello no es preciso introducir profundamente los termómetros, entre el picón suelto del fondo de la grieta, para obtener estas altas temperaturas, sino que basta introducirlos en la grieta, lo indispensable para abrigo del viento de la superficie del terreno. La salida del aire por dichas grietas, es tranquila, de una velocidad de unos centímetros por segundo, porque al salir de las lavas infrayacentes, ha de filtrarse, para alcanzar la grieta de "picón cementado" de la superficie, entre la capa de picón suelto comprendido entre las lavas y la superficie, que como está compuesta de granos pequeños de lava,



Colonia de cráteres modernos de la erupción de 1824, situada en las proximidades del Islote Hilario.



Pequeño cráter o ampolla gaseosa de lava de la erupción de 1824, inmediata al Islote Hilario

dán paso fácil, pero no libre, al aire caliente subterráneo.

En cambio, los sistemas de grietas amplias formadas al solidificarse, en las lavas de los lacolitos alojados bajo estos focos de calor, no ofrecen resistencia alguna a la circulación del aire, cuando se le dá salida, rompiendo la corteza de "picón cementado" de la superficie del terreno. Este aire que acude a los lacolitos calientes, después de largos recorridos, a través de las lavas vecinas, también agrietadas, que rellenan en una gran extensión toda la alineación de la grieta tectónica. El acceso de dicho aire atmosférico, hacia las zonas profundas calientes del subsuelo, lo encuentra por aquellas regiones de la grieta tectónica, en las que la lava aflora desnuda en la superficie del terreno, sin recubrimiento protector alguno.

En el sistema de grietas de las lavas modernas calientes de los antedichos lacolitos, es dónde el aire se calienta y se crea la presión ascensional que le hace pasar a través del "picón" superficial que las recubre.

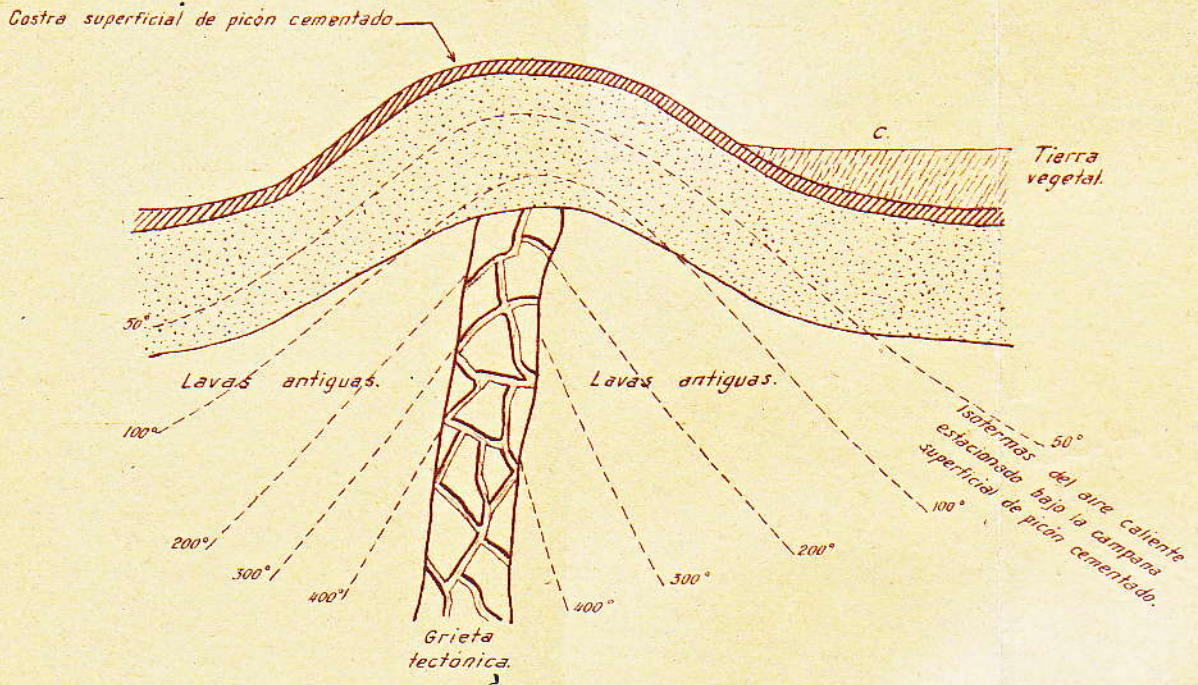
Dónde no existe grieta en la capa de "picón cementado" de la superficie del terreno, el aire inferior no tiene salida, y estacionado allí durante mucho tiempo, llega a enfriarse por la acción refrigerante de la superficie del terreno, distribuyéndose en capas de temperatura creciente en profundidad, como se representa en la Láma. 3 (a), por las curvas isotermas subterráneas.

Cuando se rompe la costra de "picón" en una zona dónde

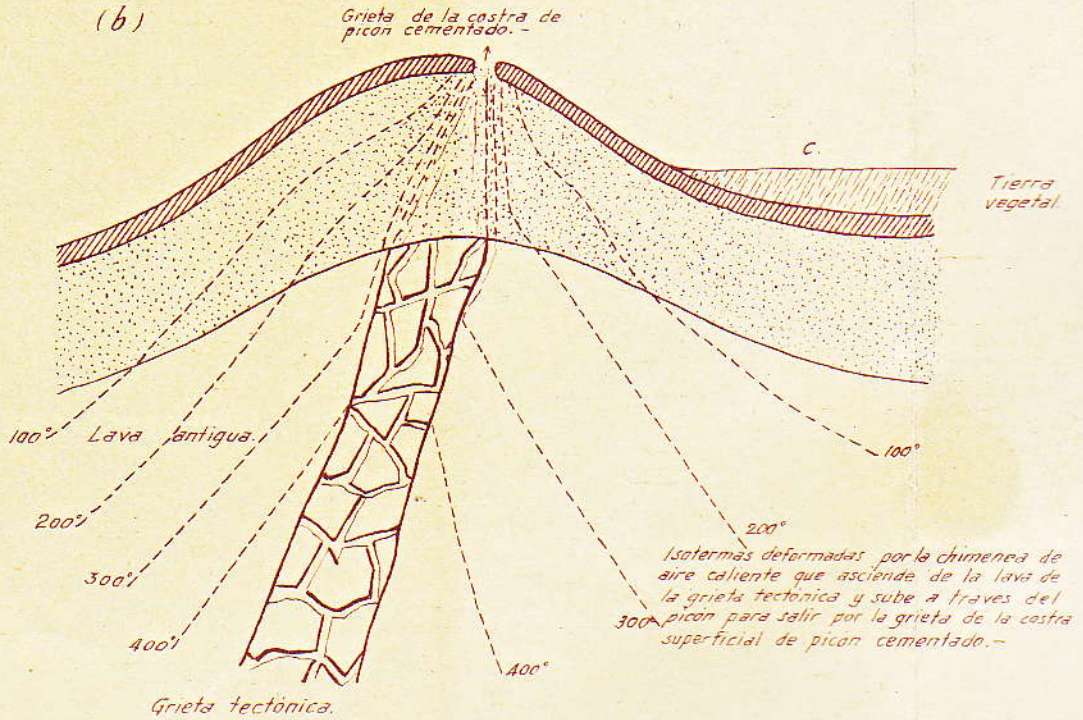
ISLOTE DE HILARIO.

(a)

Figura 3.



(b)



no existe grieta natural antigua, el aire que sale en los primeros días, es el templado acumulado bajo el "picón cementado", y las temperaturas hay que buscarlas profundizando en el picón suelto, para ir encontrando las isothermas crecientes con la profundidad, del aire estacionado bajo la costra de "picón cementado".

Dichas temperaturas crecen poco con la profundidad, como puede observarse en el cuadro de temperaturas de la Fig^a.2.

Sin embargo, en dichas excavaciones, relativamente frías, en los primeros momentos, surgen al cabo del tiempo las altas temperaturas del fondo, una vez estabilizando el tiro permanente de aire, que deforma las isothermas del terreno, como se representa en la Lá^ma.3 (b).

En las faldas de la Montaña, en puntos como el C. de la Lá^ma.3^a, dónde el picón está recubierto de tierra vegetal más compacta que el picón, e impermeable también al aire, no se encuentran aumentos sensibles de temperaturas en profundidad, hasta que se llega al picón suelto.

78
38

II - LAVAS DE LA MONTAÑA DE FUEGO DE LANZAROTE

De las muestras de diferentes tipos de lava que hemos recogido de la Montaña de Fuego, se ha formado el adjunto cuadro (Véase Lámpo nº 4) en el que figuran el resultado de sus análisis químicos, muestras que hemos clasificado, formando con ellas tres grupos: el 1º de lavas modernas de las erupciones de los siglos XVIII y XIX; el 2º de las antiguas metamorfizadas y el 3º en el que hemos reunido los productos de segregación de las mismas.

a).- Estudio del Magma.- Para conocer la composición magnética de estas lavas, se han formado los adjuntos diagramas de Levy, (Lámina nº 5) en los que se excluyen las lavas metamorfizadas cuyas composiciones magnéticas, se han alterado profundamente por los metamorfismos atmosféricos que han sufrido.

Para la formación de estos diagramas, hemos seguido el método clásico, del que damos un ejemplo a continuación referido al diagrama nº 1. (Lám 5)

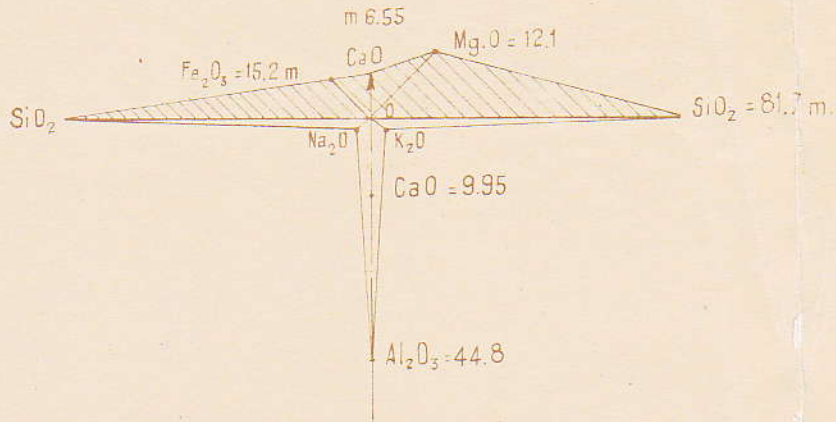
Cuadro de análisis de las lavas y productos segregados.

Diagrama n.º	Muestras n.º	Diagnóstico	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Pérdidas Calcinación	Azufre	Niquel	Total	OBSERVACIONES
1	1	Lava negra aluminosa.	49.00	22.83	12.17	9.22	4.83	0.30		0.02	98.37	
2	2	id id magnesiada.	49.00	17.75	12.65	8.99	9.34	0.60		0.02	97.75	
3	3	Picón ó lava granulada negra.	49.50	20.63	12.97	8.73	6.15	0.50			98.43	
4	4	Lava rojiza muy aluminosa y empobrecida en magnesia.	49.20	28.94	11.96	7.57	0.77	0.70			99.14	
5	5	Lava rojiza con azufre. muy magnesiada.	53.16	14.78	10.84	7.74	11.65	0.60	0.13	0.02	98.92	
LAVAS ANTIGUAS METAMORFIZADAS E HIDRATADAS CON PÉRDIDA DE ELEMENTOS PRIMITIVOS Y AGREGACIÓN DE ELEMENTOS EXTRAÑOS												
6	6	Lava empobrecida en sílice por haberse segregado esta.	55.00	19.72	12.48	9.06	9.19	10.70			96.13	
7	7	Lava color ocre muy empobrecida en sílice.	28.60	26.86	13.13	4.28	9.08	18.03		0.02	100.00	
8	8	Costra de picón cementado con sílice gelatinosa segregada de lavas adyacentes.	68.60	9.91	8.49	2.80	1.37	7.5			98.67	
PRODUCTOS DE SEGREGACIÓN DE LAS LAVAS												
9	9	Picón calcinado amarillo suelto con azufre de los bordes de la grieta del Isote Hilario.	56.40	13.12	6.88	1.80	5.21	12.60	0.40	0.01	96.42	
10	10	Sílice gelatinosa con alúmina	84.23	5.75	1.11	0.42	0.89	7.38			99.97	Contiene también de cloruro amónico 0.22
11	11	Picón con manchas blancas de cal y magnesia.	5.00	9.86	1.54	11.11	24.94	4.730			99.75	
12	12	Olivino.	42.80	3.70	7.92	CaO indicador	MgO 4.475	0.45		0.28	100.00	Al 44.75% de MgO. corresponden 26.96% de Mg. Esta muestra contiene también 0.10% de C ₂ O ₃ equivalente a 0.06% de Cr.

DIAGRAMAS DE LAS LAVAS DE LA MONTAÑA DE FUEGO
DE LANZAROTE

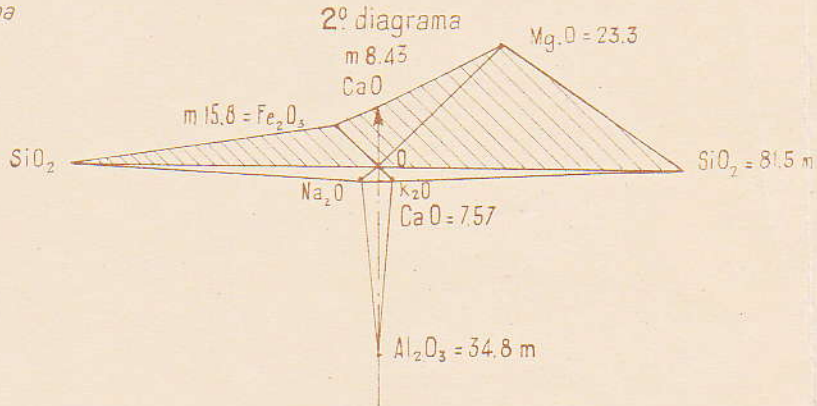
Lava Negra Aluminosa

1^{er} diagrama



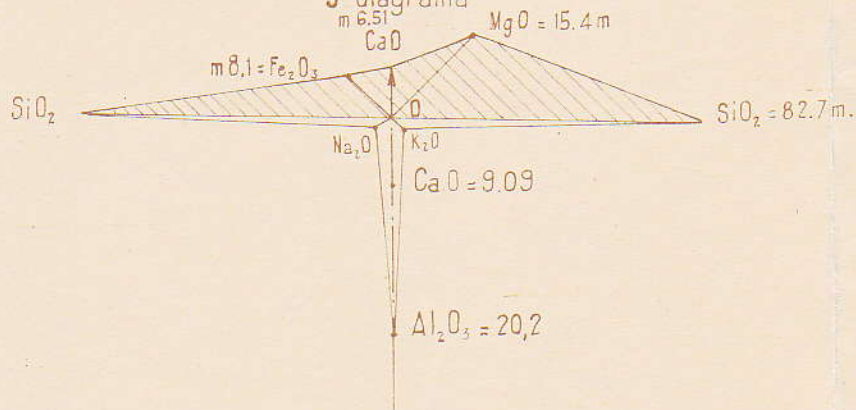
Lava Negra Magnesiana

2^o diagrama



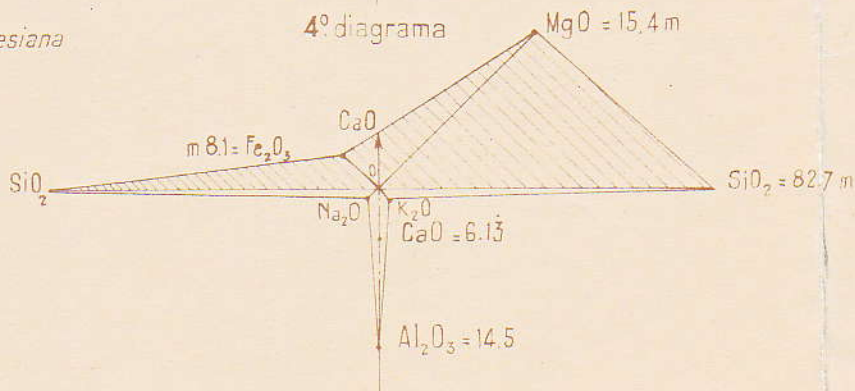
Picón o Lava Negra Granulada

3^o diagrama



Lava Rojiza muy Magnesiana

4^o diagrama



Formación del diagrama 1º de la lava negra aluminosa por su composición centesimal, en peso

		<u>Pesos moleculares</u>	<u>Moléculas por 10.000 unidades de peso de la lava</u>
		U	
Si O ₂	53,16 %	60	$\frac{53,16}{60} \times 100 = 88,6$
Al ₂ O ₃	14,78 %	102	14,5
Fe ₂ O ₃	10,84 %	160	6,7
Ca O	7,74 %	56	13,8
Mg	14,65 %	40	29,1
K ₂ O } Na ₂ O }	1,68	medio 78	2,2
Azufre	0,13	} Elementos accesorios de la lava	
Náquel	0,02		
	<u>100,00</u>	nº moléculas	<u>154,9</u>

- Línea Si O₂ la mitad de las 88,6 moléculas, a cada lado del origen 0, a escala de 1 m/n por molécula.
- Línea MgO, las 29,1 moléculas de MgO a partir del origen 0 sobre la diagonal a 45º de la derecha del gráfico.
- Línea Fe₂O₃ las 6,7 moléculas de Fe₂O₃ a partir del origen 0 sobre la diagonal izquierda.
- Línea K₂O y Na₂O moléculas de ambos cuerpos, representadas en las diagonales inferiores.

Para formar el silico-aluminato, ligero de peso, blanco y feldespático, representado por el polígono formado por debajo de la línea Si O₂, se deduce la cal que necesita para saturar a la alúmina.

Moléculas de alúmina	14,5
Moléculas necesarias de Alúmina, para saturar a las 2,2 moléculas de K ₂ O y Na ₂ O, a razón de una molécula de Aluminio para cada una de los álcalis	2,2
Alúmina disponible para saturarse de cal	12,3

Cada dos moléculas de Alúmina, se saturan con una de cal, por lo que la cal que pasará al Silico-aluminato será, 6,15 moléculas de las 13,8 moléculas que contiene la lava, quedando 7,65 moléculas de CaO libre para formar el silicato ferro-magnésiano representado por el polígono formado por encima de la línea Si O2.

En resúmen, estas lavas se componen, como todos los magmas, de un Silico-Aluminato, feldespático, ligero y blanco y de un silicato básico ferro-magnésiano, pesado y negro, disuelto en el anterior, que debe clasificarse, dadas sus características, como piroxénicas, porque todas ellas contienen, aunque en pequeñas cantidades, el elemento accesorio característico de los piroxenos, que es el Níquel y porque, por diferenciación se segregan de la masa de lava, los elementos ferro-magnésianos, con el níquel, con exclusión de la cal, para formar el Olivino (Análisis 12), del cual se encuentran determinados campos, en forma de verdaderas colonias de pequeños cristales cementados, como segregados de las lavas, en los que se ha concentrado la magnesia en proporción 4 veces mayor que el contenido medio normal de las mismas, concentrándose a su vez el Níquel, en una proporción 14 veces mayor, con relación al contenido normal de aquellas.

Es digno de tener en cuenta, que este Olivino puede considerarse como mena de Magnesio, puesto que tiene un contenido de Mg superior a las materias primas más corrientes, que se emplean para la obtención de este metal, que son las siguientes:

<u>Materias primas:</u>	<u>Mg</u>
Agua del mar	0,14 %
Carnalita	8,50 %
Serpentina	22 a 23 %
Magnesita (Mg Co ₃)	25 %
Olivino	27 %

Del cual se podría obtener por el procedimiento Müller, que parece ser el más adecuado para este tipo de minerales, en un solo proceso de fabricación, disoluciones concentradas de cloruro de magnesia, para su tratamiento electrolítico ulterior.

Es interesante consignar, que dada la composición química de esta mena (Véase cuadro de análisis) puede obtenerse como subproductos de este tratamiento, por cada tonelada de Olivino: 2,5 kilos de Níquel; y 400 kilos de Sílice, Si O₂ sumamente pura y porosa, tal y como se emplea como materia prima en la industria del cristal, o como masa purificadora del petróleo virgen, otras veces como vehículo para catalizadores, etc.

b).- Estudio de los diferentes tipos de lava.- La suma de Alúmina y Magnesia de estas lavas es sensiblemente constante, por lo que se diferencian entre sí, en lavas muy aluminosas, a expensas de la magnesia (Véase cuadro de análisis, muestra nº 1) y en lavas más básicas, por aumento de la magnesia, a expensas de la alúmina, lava negra nº 2.

El "picón" o lava negra granulada, que cubre toda la superficie de la Montaña de Fuego, es un tipo de lava intermedia entre las dos anteriores, muestra nº 3 del cuadro de análisis. Este "picón" ha desempeñado, como hemos visto, un papel decisivo en la conservación de los focos subterráneos de calor de la Montaña de Fuego.

Se encuentran también, fragmentos sueltos de lava rojiza, que deben su coloración al azufre, que en pequeñas cantidades contienen, de los mismos tipos anteriores, muy aluminosa, a expensas de la magnesia, muestra nº 4, y muy básicas magnesianas a expensas de la alúmina, muestra nº 5.

Las lavas más antiguas, anteriores a las erupciones de los siglos XVIII y XIX, están más o menos metamorfozadas e hidratadas por los agentes meteóricos, con pérdida unas veces de sus elementos primitivos y agregaciones otras de elementos segregados de las lavas vecinas.

Así se observan las muestras nº 6 y 7 de lavas muy empobrecidas en sílice, que se ha segregado en la forma de sílice gelatinosa, como la de la muestra 10, por hidratación de la sílice, por las aguas meteóricas, y en cambio la muestra nº 8, de "picón", se ha cementado a expensas de dicha sílice gelatinosa segregada de las lavas adyacentes. Este "picón cementado", es el que hemos dicho ha formado la costra impermeable al aire que ha evitado recubriendo la superficie, el enfriamiento por aereación de los lacolitos lávicos, que han dado origen a los focos de calor de la Montaña de Fuego.

La muestra nº 9 es de "picón" suelto de los bordes de la grieta natural de la costra superficial de "picón cementado" del Islote Hilarie, que está calcinada por los gases de elevada temperatura que por ella salen.

Este "picón" es de color amarillo ocre, debido a la hidratación del hierro segregado de la propia lava que forma el "picón", y es de color tan claro, que a veces parece contiene flores de azufre, habiendo dado lugar esto a lamentables confusiones, hasta el punto de haber sido denominado "Cerro del Azufre", la zona de la Montaña de Fuego que presenta estas coloraciones, aunque según puede verse por el análisis, solamente lo contienen en muy débil proporción, del 0,20 % que es suficiente para avivar el color del ocre, y hacer que tome esa coloración amarillo canario que ha dado motivo a dicha confusión. Sin embargo, en la actualidad no se observan en los gases subterráneos, desprendimiento alguno de hidrógeno sulfurado y es indudable que este debió aportar en otros tiempos dicho azufre remanente.

El análisis 11, es de algunas capas antiguas de "picón" suelto blanquecino, que yacen bajo otras de "picón" negro, que deben su color a precipitaciones de carbonatos de cal y magnesia, que se han depositado sobre los granos de "picón" negro, precipitaciones formadas en las épocas de desprendimientos moféticos del volcán.

III - VEHICULO QUE TRAE A LA SUPERFICIE EL CALOR DE LAS
LAVAS DEL SUBSUELO EN ESTE MACIZO MONTAÑOSO

De los análisis de las numerosas muestras tomadas en las zonas calientes, de los gases retenidos bajo la costra de "picón cementado", que salen a altas temperaturas por las grietas naturales de dicha costra, se deduce la siguiente composición media, en volúmen:

	<u>Gas volcánico</u>	<u>Aire atmosférico normal</u>
Oxígeno	19,50 %	21,00 %
Nitrógeno y Argon	80,00 %	78,97 %
Co ₂	0,10 %	0,03 %
Co	0,40 %	0,00
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

Por lo tanto, vemos que la composición del denominado "gas volcánico" es sensiblemente igual a la del aire atmosférico normal. Aunque un poco empobrecido en oxígeno y con un pequeño aumento de Nitrógeno, así como con la presencia de mayor ácido carbónico del normal y la del óxido de carbono, que no tiene nunca el aire.

Pueden por tanto clasificarse los desprendimientos de este gas, como fumarolas secas, constituidas principalmente

por aire atmosférico, que penetra en el subsuelo en la forma antes indicada, siguiendo después los circuitos profundos de las grietas de la lava. Dicho aire recoge los desprendimientos moféticos de estas lavas profundas y a ello atribuimos el exceso de ácido carbónico que contiene, y los productos de la combustión de los hidrocarburos que desprenden las lavas más profundas, en su proceso de solidificación.

El desprendimiento de hidrocarburos en las erupciones volcánicas, aunque no es general, no es raro y en este caso, es indudable que se produjeron en gran cantidad, en la erupción de 1824, de la grieta a b por dónde se produjo dicha erupción, porque los testigos presenciales de ella, hablan de la presencia de lenguas de llamas en la cumbre de la montaña, cuyo fenómeno, según cuentan, persistió durante varios meses; y estas llamas solamente se producen en las erupciones acompañadas de hidrocarburos.

Por lo tanto, del calor que los gases llevan, una parte es el de combustión de dichos hidrocarburos, de los cuales no hemos encontrado más que restos en las muestras tomadas, porque salen quemados.

Por esto, hemos de suponer a estos hidrocarburos, la composición media de los volcánicos, que contienen 24 de carbono por 4 de hidrógeno, lo que corresponde a una mezcla compleja de la serie de los hidrocarburos.

Como la composición volumétrica de los gases es constante a todas las temperaturas, porque todos los gases se dila-

tan térmicamente en la misma proporción, consideramos los gases a 0° para calcular sus contenidos en peso de cada componente.

En consecuencia, en cada 100 m³ de gas salen 0,40 mts³ de CO que pesan 0,4 x 1,25 kilos = 0,5 kilos.

$$\text{que contienen } \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \times \frac{12}{28} = 0,214 \text{ de carbono} \\ 0,5 \times \frac{16}{28} = \frac{0,286}{0,500} \text{ de oxígeno} \end{array} \right.$$

La combustión de los 0,214 kilos de carbono para formar el CO, desprende:

$$0,214 \text{ kilos} \times 2430 \text{ cal.kilo} = 520 \text{ cal.k.} = \frac{520}{100} \text{ cal k.por m}^3 \text{ de gas}$$

$$\frac{5,2}{1,30} = \underline{4 \text{ cal kilo por kilo de gas}}$$

Dichos 0,214 kilos de carbono están contenidos en

$$0,214 \times \frac{28}{4} = 0,2495 \text{ de Hidrocarburo que contienen,}$$

$$0,2495 \text{ kilos} \times \frac{4}{24} = 0,035 \text{ de Hidrógeno, que en su}$$

combustión produce 0,0355 kilos x 29030 cal.k. = 1030 cal. kilo, o sea 10,3 cal. por m³. y $\frac{10,3}{1,3} = \underline{7,9 \text{ cal. por kilo de gas}}$, consumiendo 0,0355 kilos x 8 = 0,284 de oxígeno y formando 0,319 kilos de agua, o sea 3,19 gr. por m³. de gas y

$$\frac{3,19}{1,30} = \underline{2,5 \text{ gr. por kilo de gas.}}$$

El oxígeno del aire consumido en las anteriores combustiones, es:

$$0,286 + 0,284 = 0,570 \text{ kilos, o sea } \frac{0,570}{1,43} = 0,4 \text{ m}^3 \text{ de oxígeno}$$

NOTA.-- No se tiene en cuenta el calor necesario para la descomposición del Hidrocarburo, porqué en la mezcla de hidrocarburos de estas emanaciones, los hay de descomposición endotérmica y otros exotérmica, que se compensan probablemente.

que sumados a los 19,50 m³ que tiene el gas, da los 21,00 -de oxígeno que tiene el aire normal.

Por lo tanto, el aire que a su entrada en los circuitos subterráneos de las grietas lávicas, llevaba la temperatura media del ambiente de 17°, en los días de nuestro estudio, ganaba en su trayecto subterráneo, por cada kilo de aire para salir a 350°; $0,24 (360° - 17°) = 80 \text{ cal. kilo}$, de los cuales $4 + 7,9 = 11,9 \text{ cal.}$ es decir 12 cal., eran debidas a la combustión de los hidrocarburos y el resto, al tomado de las lavas profundas.

Por lo tanto, apreciamos, que el calor de este gas volcánico se debe, en su 15 % a un manantial de calor interno, de la combustión de los hidrocarburos desprendidos por la propia lava y el 85 %, al calor tomado por el gas, del residual de las lavas, a las que enfría progresivamente.

A estas conclusiones llegamos, porque del análisis radiactivo de estas lavas, se deduce, que tienen menos de la mitad de los elementos radiactivos que contienen las rocas continentales, por lo que hemos de desechar la existencia de un foco subterráneo radiactivo, que contribuye a los desprendimientos caloríficos de esta montaña.

El aire que al entrar en los circuitos subterráneos de la lava a 17°, puede llevar, 9,9 gr. de agua por kilo de aire, de la brisa marina (del 90° de humedad,) tendrá a la salida, los 9,9 gr. más los 2,5 gr. que ganaron los gases al recoger el agua de la combustión de los hidrocarburos, por lo que

saldrá con 12,4 gr. de agua de los que se precipitan en la tierra vegetal, 2,4 gr. en las escasas regiones dónde existe alguna salida de aire entre el "picón", y dónde el gas sale filtrado entre la tierra a velocidad tan lenta que baja rápidamente a la temperatura de 17° del ambiente, por lo que se condensan los 2,4 gr. de agua por kilo de aire que le sobra a éste de los 11 gr. de su saturación a dicha temperatura. Agua que es retenida en la tierra vegetal, porque ésta protege mucho el agua que recibe y embebe, de las evaporaciones diurnas por la acción solar.

A este fenómeno atribuimos, que en estas regiones lávicas, se desarrollan, a veces, aunque pobremente, chumberas y juncos, en las pequeñas superficies dónde ha llegado a formarse tierra vegetal sobre el "picón".

IV - APROVECHAMIENTO DEL CALOR DEL INTERIOR DE LA TIERRA

a).- Pequeñez del flujo calorífico terrestre.- El flujo calorífico que del interior de la tierra asciende y surge por toda su superficie, a la atmósfera, es como término medio, del orden de $\frac{1.75}{10^3}$ cal. p. g. por c/m^2 y segundo. Por su pequeñez, es imposible determinarlo directamente por medio de calorímetros y hay que recurrir a su determinación indirecta, midiendo el coeficiente de conductibilidad calorífica de las rocas de la localidad estudiada, observando el calor que pasa a través de un cubo de $1 c/m^3$ durante un segundo, con una diferencia de temperatura de 1° , entre dos de sus caras opuestas.

Como término medio, las rocas tienen un coeficiente de $\frac{5.77}{10^3}$ cal. p.g. por c/m^2 y segundo y como el flujo calorífico terrestre es impulsado ascensionalmente por una disminución de temperatura de 1° por cada 33 metros de ascensión, el gradiente térmico impulsor es de 1° por cada 3300 c/m de ascensión y por lo tanto, el flujo calorífico terrestre es 3300 veces menor que el coeficiente medio de conductibilidad calorífica antes mencionado y tiene el valor medio de:

$$\frac{5.77}{10^3} \times \frac{1^\circ}{3300} = \frac{1.75}{10^6} \text{ cal p.g. } c/m^2 \text{ y segundo.}$$

Dicho flujo, expresado por los dos factores que lo integran, conductibilidad del medio que atraviesa y gradien-

te térmico impulsor, nos da, además del resultado del fenómeno de conducción calorífica de que se trata, el mecanismo de dicho fenómeno, resultado que varía tanto como la conductividad de las rocas, que es de $\frac{0,5}{10^3}$ cal.p.g. c/m² y segundo, para la piedra pómez y lavas, a 10 veces más para los basaltos y 20 veces más para los granitos.

b).- Necesidad de grandes superficies de captación, para que alcance el flujo calorífico terrestre, valores de cuantía apreciable.-

Es necesario recurrir a considerar un kilómetro cuadrado de la superficie de la tierra, para alcanzar un desprendimiento de calor apreciable de $\frac{1,75}{10^6} \times 10^{10}$ c/m² = 17,5 cal.kilo y segundo por Km², equivalente a 63.000 cal.kilo por hora, que representa el calor que desprenderían unos 8,4 kilos de carbón de unas 7.500 cal.

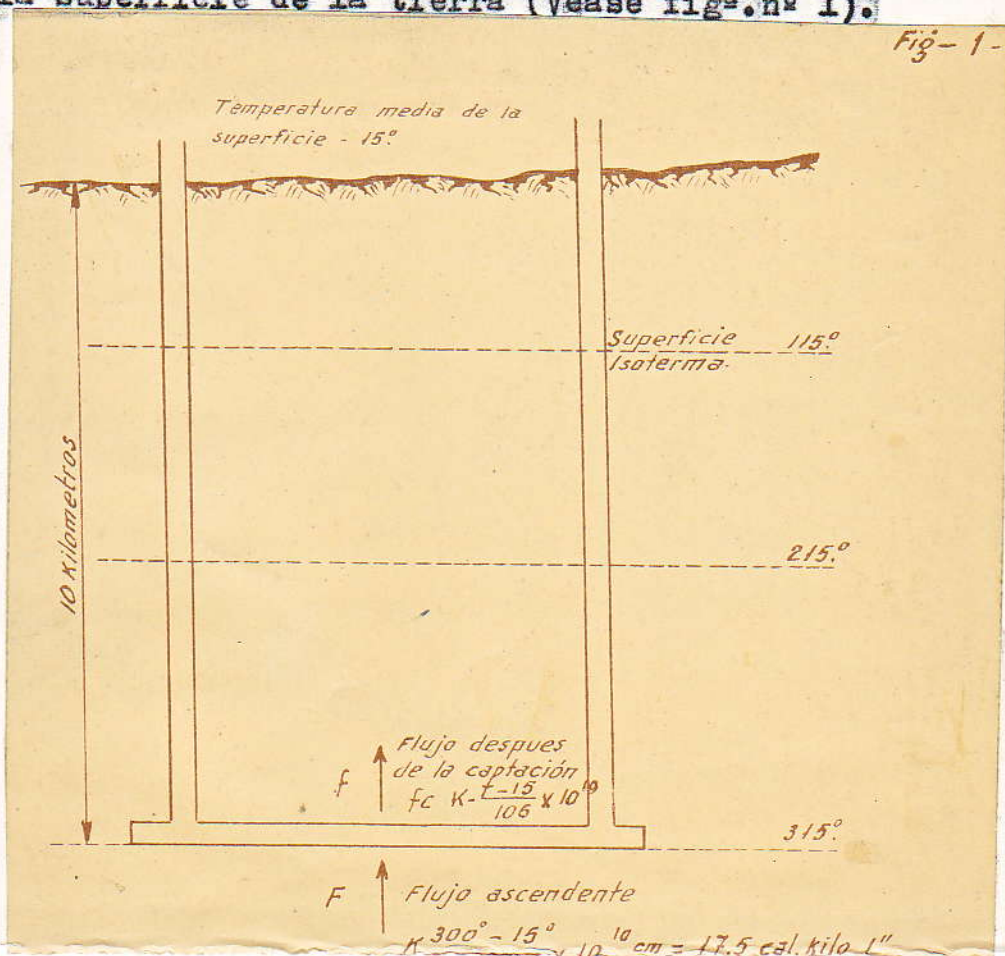
c).- Grandes profundidades que sería necesario alcanzar para lograr temperaturas convenientemente altas, para el aprovechamiento de este calor.-

Para el aprovechamiento del calor, es necesario disponer de una caída térmica, que en nuestro caso sería, la diferencia de temperaturas, entre las que podamos conseguir en el subsuelo y la que tenemos en la superficie, pero como el grado geotérmico terrestre es de 1º de aumento de la temperatura por cada 33 metros de aumento de la profundidad, o sea de unos 30º por kilómetro, se deduce que sería necesario profundizar a unos 10 kilómetros para alcanzar los 300º de temperatura. Temperaturas de este orden ascienden por el fenómeno natural que antes hemos expuesto, a la superficie de

la Montaña de Fuego.

- d).- Imposibilidad de situar a las antedichas profundidades instalaciones de gran superficie de captación, necesarias según queda dicho, para conseguir este aprovechamiento y pequeña cuantía del mismo.

Suponiendo que fuera posible alcanzar con labores mineras de pozos y galerías los 10 kilómetros de profundidad que no lo ^{es} ~~son~~, puesto que la minería más profunda no ha pasado de los 1.500 mts. de profundidad, y allí instaláramos un medio de captación del flujo calorífico ascendente, como por ejemplo, una coraza de cajas de palastro colocadas horizontalmente para que interceptaran dicho flujo, de 17,5 cal kilo segundo, por kilómetro cuadrado de superficie de las cajas, el calor podría captarse haciendo llegar un fluido apropiado desde la superficie hasta las cajas, por medio de un sondeo, haciendo salir el fluido ~~caliente~~ caliente por otro sondeo apropiado, a una temperatura t , superior a la media de 15° de la superficie de la tierra (Véase fig^a.n^o 1).



La obra minera necesaria para esta instalación, es por lo profunda de realización económica imposible en la actualidad y llena de dificultades, porqué habría que emplear una refrigeración intensa, para robar el calor de las rocas de las labores subterráneas, con el objeto de crear una cámara a la temperatura del ambiente de la superficie, que permitiera la realización del trabajo, y además absorber durante él, el flujo calórico ascendente por toda la superficie trabajada. Sin embargo, no es físicamente imposible, porqué una vez terminado el trabajo, e instalada la cámara de cajas, se elevaría pronto otra vez su temperatura a los 315° propios de la profundidad en que se instalaron, porqué el flujo calórico que asciende del interior de la tierra, es incesante y reproducirá de nuevo la temperatura subterránea.

La temperatura t conveniente, la conseguiríamos haciendo circular el fluido por las cajas, a una velocidad apropiada, puesto que la temperatura que éstas tomarían dependería del tiempo de permanencia del fluido en ellas.

La cantidad de calor captado en este caso sería de

$$F-p = K \cdot \frac{300^{\circ}-15^{\circ}}{10^6} \times 10^{10} - K \frac{t^{\circ}-15^{\circ}}{10^6} \times 10^{10} = K \frac{300^{\circ}-t^{\circ}}{10^6} \times 10^{10} = K(300^{\circ}-t^{\circ}) \times 10^4 \text{ cal Kilo}$$

y como el calor ascendente, sobre la temperatura del ambiente en la superficie es de $K \frac{300^{\circ}-15^{\circ}}{10^6} \cdot 10^{10}$, el rendimiento de la captación será

$$\frac{\text{calor captado } K(300^{\circ}-t^{\circ}) \times 10^4}{\text{calor total ascendente } K(300^{\circ}-15^{\circ}) \times 10^4} = \frac{300-t^{\circ}}{300-15^{\circ}}$$

siendo K la conductibilidad calorífica media del terreno, es decir, que el calor captado, sería tanto mayor, cuanto

menor sea t ; pero como por otra parte, el aprovechamiento del calor captado por las cajas y transportado por el fluido a la superficie, depende de que la temperatura t sea lo más alta posible, para que el rendimiento térmico que en los motores obtengamos del fluido, que tiene como expresión, como sabemos:

$$\frac{(273^{\circ}+t^{\circ})-(273^{\circ}+15^{\circ})}{273^{\circ}+t}$$

sea el más alto posible, utilizando la máxima caída térmica desde los t° a los 15° del ambiente de la superficie; tendremos que el rendimiento total que del flujo captado obtendríamos, sería:

Rendimiento captación Rendimiento termodinámico

$$\frac{(273^{\circ}+300^{\circ})-(273^{\circ}+t^{\circ})}{300^{\circ}-15^{\circ}} \times \frac{(273^{\circ}+t^{\circ})-(273^{\circ}+15^{\circ})}{273^{\circ}+t^{\circ}} = \frac{1}{300^{\circ}-15^{\circ}} \left(573+(273+t) \left(1 - \frac{288}{273+t} \right) \right)$$

que será máximo para el valor de t que anule a su derivada

$$573^{\circ} \frac{288^{\circ}}{273^{\circ}+t^{\circ}} - 1 = 0 \quad \text{por lo que } (273^{\circ}+t^{\circ})^2 = 573^{\circ} \times 288^{\circ}$$

$$\text{luego } 273^{\circ}+t^{\circ} = \sqrt{573 \times 288} = 413 \quad \text{de donde } t^{\circ} = 140^{\circ} \text{ centigr.}^{\circ}$$

Con la antedicha optima temperatura, el rendimiento de la captación sería

$$\frac{\text{calor captado } K \frac{300^{\circ}-140^{\circ}}{10^6} \times 10^{10} \text{ cal Kilo}}{\text{calor ascendente } K \frac{300^{\circ}-15^{\circ}}{10^6} \times 10^{10} \text{ cal Kilo}} = 0,561$$

el termodinámico de 0,303 y el total de 0,179, y el calor captado, por la coraza de cajas de un kilómetro de superficie, sería de $17,5 \times 0,561 = 9,83 \text{ cal.}$, del cual, en el motor dónde aprovecháramos el calor del fluido, se obtendría un rendimiento en calorías de : $9,83 \times 0,303 = 2,97 \text{ cal.}$

kilo por segundo, equivalente solamente a 1265 kilográmetros por segundo = 16,95 C. vapor.

Cifra que evidencia la poca importancia de este aprovechamiento, con relación a la obra gigantesca que representa.

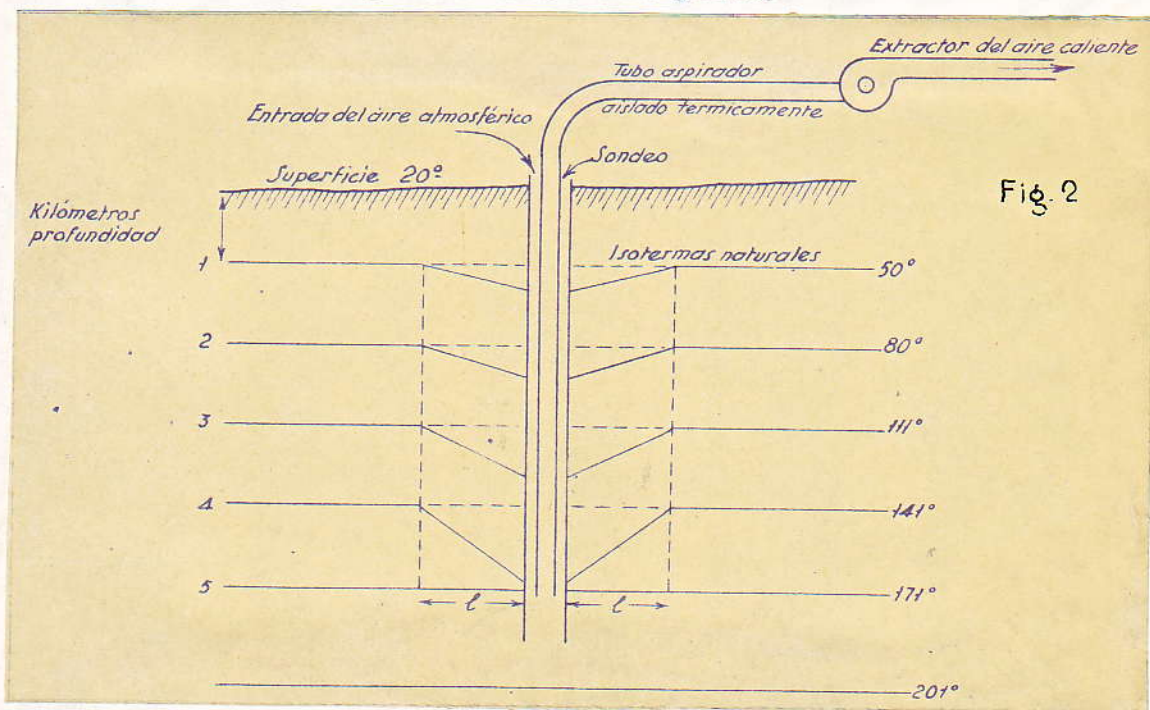
Aprovechamiento del calor acumulado en el subsuelo.-

Hemos visto que, por la poca cuantía del flujo calorífico terrestre, no es económicamente posible aprovecharlo de una manera permanente, aunque fuera posible realizar las obras mineras adecuadas, hasta la profundidad necesaria y de la extensión superficial que requerirían.

Sin embargo cabría aprovechar el calor acumulado en el subsuelo, que es de cuantía importante, si se refrigerasen volúmenes de terreno de consideración, siempre que las obras mineras de pozos y galerías, pudieran realizarse a mayores profundidades de los 1.500 á 2.000 mts. que en la actualidad se alcanzan en los pozos mineros de máxima profundidad, y si con los sondeos fuera posible rebasar los 5.000 mts. de profundidad que en circunstancias favorables para su perforación, se alcanza con ellos.

Dichos aprovechamientos del calor acumulado en el subsuelo, serían de carácter intermitente, pues después de enfriada una zona de terreno, decrecería tanto la captación de calor, que habría que suspenderla, para que con el tiempo, el pequeño flujo calorífico terrestre ascendente y continuo, repusiera el calor y las temperaturas extraídas.

Las obras mineras más apropiadas para la captación del calor almacenado en el subsuelo, son los sondeos, que pueden alcanzar mayores profundidades y temperaturas que los pozos y que no requieren la refrigeración del terreno que necesitan éstos durante su ejecución; por ello, una vez terminado un sondeo, puede comenzarse inmediatamente el aprovechamiento térmico, mientras que en los pozos, después de terminados, había que esperar muchos años, a que el débil flujo calorífico terrestre, repusiera al calor extraído del terreno, por la refrigeración que ha de hacerse en él, para hacer posible la perforación del pozo.



Sin embargo, a pesar de la idoneidad de los sondeos con los de máxima profundidad actuales de 5.000 mts., no se alcanzan, en los terrenos de grado geotérmico normal, de 1° de aumento de la temperatura, por cada 33 mts. de profundidad, más que $20^{\circ} \left\{ \begin{array}{l} \text{temperatura} \\ \text{media de la} \\ \text{superficie} \end{array} \right. + \frac{5.000}{33} = 171^{\circ}$, temperatura

insuficiente para grandes aprovechamientos. 55

Supondremos que el extractor comunicase al aire una velocidad de circulación en el sondeo (Véase Fig.^{2ª} adjunta) conveniente para extraerlo a 140°, máxima conveniente para disponer de 30° sobre la temperatura del pié del sondeo, como salto térmico indispensable para la captación del calor del subsuelo. La temperatura de 140° del aire extraído, resulta aún demasiado baja, a pesar de haber recurrido el sondeo de máxima profundidad posible, para aprovechamientos que no sean de evaporación de agua, o de producción de vapor de baja presión, de 1,5 atmósferas a 110°, con calderas muy voluminosas, de gran superficie de caldeo y antieconómicas, pues no se dispondría en ellas más que de un salto térmico de 30°, entre el aire calefactor y el agua de la caldera.

La captación del calor del subsuelo por un sondeo, produciría en él, la deformación de sus planos isoterms naturales, deprimiéndolos en forma de embudos, alrededor del sondeo, como se representa en la Figura, en la que l es la distancia a que se ha extendido la extracción de calor del terreno.

Esta distancia, es función del tiempo σ transcurrido desde el comienzo de la captación y están ligadas ambas magnitudes, por la relación siguiente (Véase Nota I, al final del Informe).

$$l^2 \left(\frac{l}{9r} + \frac{r}{4} \right) = \frac{K}{C} \sigma$$

siendo r , el radio del sondeo, K el coeficiente de conductibilidad calorífica del terreno, y C su capacidad calorífica

por unidad de volumen.

Para un sondeo de radio $r = 20 \text{ c/m}$ y valores medios de las lavas de $K = \frac{2}{10^3}$ y $C = 0,4$ resulta que, para que l alcance un metro de longitud, se necesitan

$$100^{-2} \text{ c/m} \left(\frac{100 \text{ c/m}}{9 \times 20 \text{ c/m}} - \frac{20 \text{ c/m}}{4} \right) = \frac{2}{10^3 \times 0,4} \text{ } \Theta \text{ segundos}$$

De donde se deduce segundos = 127,6 días

Para $l = 2 \text{ m}$ se requiere $\Theta = 4,88 \times 10^7$ segundos = 1,55 años

" $l = 3 \text{ m}$ " " " $\Theta = 11,95 \times 10^7$ " = 3,8 "

En los 124,6 días del 1º período, se habrá extraído el calor de las rocas que circundan el sondeo, comprendidas dentro de un cilindro circunscrito a él, de radio de 100 c/m que tiene un volumen de $\pi (100^{-2} \text{ c/m} \times 20^{-2} \text{ c/m}) 500000 \text{ c/m}$

Este volumen de terreno ha cedido como término medio unos 15º y como el calor específico de las rocas lo suponemos de 0,4 cal.p. por c/m³ de roca, el calor total cedido es

$$\pi (100^2 - 20^2) 500000 \times 15^\circ \times 0,4 = 9 \times 10^{10} \text{ cal paq}$$

y como término medio por segundo

$$\frac{9 \times 10^{10}}{1,111 \times 10^7} = 8,110^3 \text{ cal paq} = 8,1 \text{ cal kilo}$$

A este calor se sumaría el calor captado por la base del cilindro, del flujo ascendente terrestre, que es, como ya hemos dicho, $\frac{1,75}{10^6}$ cal p. por c/m³ y segundo, calor insignificante pues no asciende más que a

$$\pi \times 100^{-2} \text{ c/m} \frac{1,75}{10^6} = \frac{5,5}{10^2} \text{ cal paq por segundos}$$

que no tendremos en cuenta.

Por lo tanto el calor captado no sería más que de 8,1 cal kilo por segundo = 3460 kilográmetros, de los cuales, con un rendimiento óptimo termodinámico del 10% en el sistema de aprovechamiento que se adoptara, no se obtendrían más que $\frac{346}{75} = 4,6$ C V, resultado bien modesto, comparado con el esfuerzo que representa la perforación de un sondeo de tanta profundidad.

Además la captación se reduciría rápidamente, con el transcurso del tiempo, pues en el segundo período de 1,55 años = $4,88 \times 10^7$ segundos, al final del cual, el cilindro refrigerado tiene 2 mt. de radio, el calor captado ^{var nota I} como término medio, en este período sería de

$$\frac{(37,35 - 9) 10^{10} \text{ cal peg}}{(4,88 - 1,11) 10^7 \text{ cal peg}} = \frac{28,35}{3,77} 10^3 \text{ cal peg} = 7,52 \text{ cal kilo segundo}$$

El flujo terrestre captado sigue siendo insignificante, pues asciende en este período a

$$4 \frac{5,5}{10^2} = \frac{22}{10^2} \text{ cal p. totales por segundo.}$$

En el tercer período de 3,8 años = $11,95 \times 10^7$ segundo y 3 mt. de radio del cilindro refrigerado, el calor total captado es de

$$\pi (300^2 - 20^2) \times 5 \times 10^3 \text{ c/m} \times 15^\circ \times 0,4 = 84,2 10^{10} \text{ cal peg}$$

y la energía captado como término medio

$$\frac{(84,2 - 37,35) 10^{10}}{(11,95 - 4,88) 10^7} = 6,63 \text{ cal kilo por segundo}$$

Por lo tanto, tampoco el calor acumulado en el subsuelo, puede ser aprovechado en la actualidad, en los terrenos de grado geotérmico normal, y ha de posponerse toda iniciativa en este sentido, hasta que se consigan perforar sondeos de mucha mayor profundidad y grandes diámetros.

Nota I $\pi (200^2 - 20^2) 5 \times 10^5 \times 15^\circ \times 0,4 = 37,35 \times 10^{10} \text{ cal peg}$

23
e).- Tendencia general a admitir que en las regiones volcánicas el problema es menos difícil.-

No nos ocuparemos del aprovechamiento del calor de las lavas extrusivas, que en las erupciones se derraman por los bordes de los cráteres y se extienden por sus laderas, invadiendo y asolando grandes superficies de terreno, porque estas lavas pierden rápidamente su calor por radiación y al contacto con el aire, se solidifican pronto, desde cuyo momento, su enfriamiento se acelera, por los numerosos circuitos de aire que en su masa se establecen, a lo largo de las redes de grietas que se abren en las lavas, por las contracciones que sufre su masa al solidificarse.

Sin embargo, en casos especiales, de bombas volcánicas de algún volumen, de superficies no agrietadas, puede conservarse su núcleo fundido, muchos meses después de la erupción, por la poca conductibilidad de las capas de lava externas de la bomba.

Contrariamente a la tendencia que inclina a suponer que, en los terrenos volcánicos, el grado geotérmico debe ser menor que el normal de los continentes estables, debido a la presencia de lavas calientes relativamente poco profundas, la realidad es que en los terrenos volcánicos que no han sufrido paroxismos recientes, existe gran número de anomalías termales subterráneas de tipo local, pero en general el grado geotérmico no varía sensiblemente del continental.

La razón es, que aunque después de los paroxismos, que-

dan los aparatos subterráneos volcánicos llenos de lava fundida, que se inyecta entre rocas tanto más frías, cuanto mayor es su ascensión, por lo que se solidifican rápidamente, (como luego calcularemos) y al cambiar de estado, se abren en ellas las numerosas redes de grietas de contracción que ya hemos descrito, por las que se establecen los circuitos de aereación, ya mencionados, que refrigeran rápidamente a las masas de lavas hasta grandes profundidades, de manera que, en pocos años, las lavas llegan a alcanzar sensiblemente la temperatura que les corresponde, por la profundidad a que están situadas, a razón del grado geotérmico normal.

f).- Rapidez general del enfriamiento de las lavas en régimen normal.

En los paroxismos volcánicos, la lava asciende invariablemente, inyectándose en una grieta tectónica, abierta en el terreno, por los movimientos orogénicos locales de la corteza terrestre; si bien no surge a la superficie por toda la longitud de la grieta, sino solamente por chimeneas alineadas a lo largo de ella, situadas en los puntos de mínima resistencia de la grieta, al paso de la lava.

Cuando cesa la erupción, queda la lava rellenoando a la grieta, en forma de un lacolito laminar, más o menos continuo, a la temperatura T , de unos 1.200° , con que ascendió la lava fundida.

Una vez estacionada la lava dentro de la grieta tectó-

nica después de la erupción, se enfría el lacolito, cediendo su calor cada mitad de su anchura, a la roca encajante adyacente, mucho menos caliente que la lava.

Representamos en la lámina ⁶ del final de este Informe una sección del lacolito, por un plano normal a la grieta tectónica dónde está inyectado.

La anchura media del lacolito, la denominaremos m. La línea T T representa las temperaturas iguales de la lava en toda la anchura de la grieta, en el momento de la erupción, a lo largo del prisma a b de lava, de 1 c/m^2 de sección situado a la profundidad P, mediante el cual vamos a estudiar el proceso del enfriamiento de las lavas.

El prisma se prolonga indefinidamente en el terreno encajante según la línea b c, y sus longitudes, las expresamos en múltiplos de la semianchura de la grieta, $\frac{1}{2} \text{ m}$.

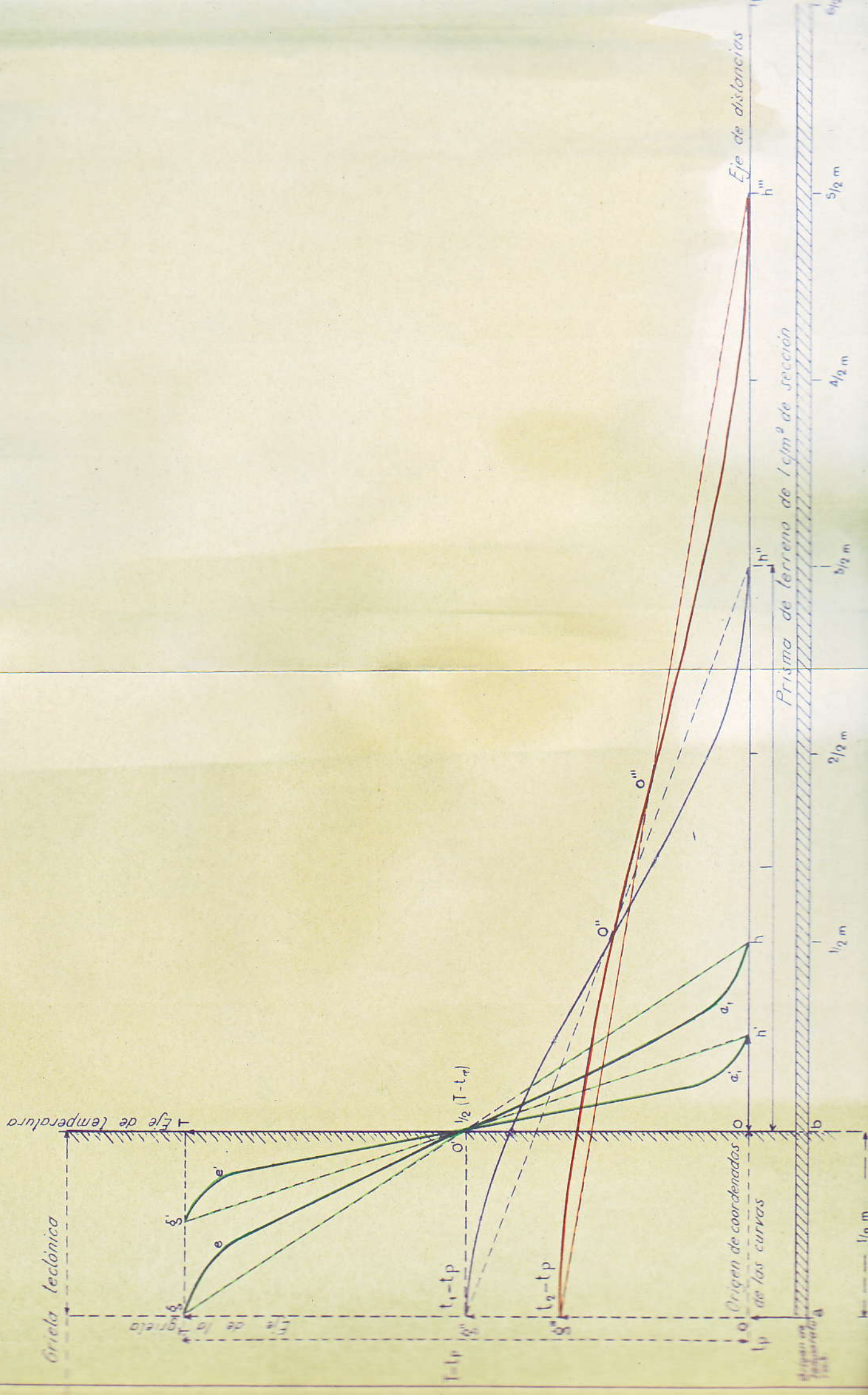
La línea t_p \bar{t}_p representa la temperatura propia del subsuelo a la profundidad p, a la cual están permanentemente todos los puntos del prisma b c, situados fuera de la grieta tectónica.

La temperatura t_p , es como sabemos igual a los 20° de la temperatura media anual de Canarias, más el aumento de la temperatura de la Tierra, con la profundidad; es decir

$$t_p = 20 + \frac{P \text{ Kilómetro}}{3.3} \times 100^\circ$$

o bien $t_p = 20 + \frac{P \text{ metro}}{33} \times 1^\circ$, según representemos a la profundidad P

Enfriamiento de los lacolitos lávicos en el transcurso del tiempo.



en kilómetros o en metros. (NOTA)

Hemos tomado un punto a de la grieta, suficientemente profundo, para que aún no haya alcanzado hasta él, después de la erupción, el efecto refrigerante de la superficie del terreno, por lo que en el fenómeno que vamos a estudiar, de los descensos de las temperaturas de lava en el transcurso del tiempo, no hay pérdida de calor alguno, sino solamente, paso del calor del lacilita hacia los terrenos encajantes, permaneciendo constante la cantidad de calor primitivo, si bien modificándose con el tiempo, su distribución en el terreno.

Consideraremos solamente los calores y temperaturas $T - t_p$, que la lava tiene, sobre la temperatura t_p propia de la profundidad p considerada.

Por lo tanto, en la figura, las áreas comprendidas entre las líneas representativas de las temperaturas y el eje

NOTA.- La temperatura en el subsuelo, no crece regularmente con la profundidad, sino que su aumento va disminuyendo con la profundidad, porque el flujo terrestre está compuesto de dos sumandos, el primero producido por el calor remanente interno de nuestro planeta, que permanece sensiblemente constante en estas regiones superficiales que consideramos de la corteza terrestre y el segundo que está compuesto por la suma de los calores desprendidos por los elementos radioactivos de todas las rocas situadas bajo el punto considerado, por lo que como este sumando decrece, con la profundidad, porque se le resta todo el calor que desprenden los elementos radioactivos de las rocas que quedan por encima, la suma de los dos sumandos que componen el flujo terrestre, disminuye también, a igualdad de conductibilidad calorífica del terreno. Sin embargo, debido a la pequeña proporción con que varían por kilómetro dichos elementos, en un planeta de 6370 Km. de radio, no se ha conseguido observar acusadamente dichas variaciones, ni aún en los sondeos más profundos, por lo que en las regiones superficiales que consideramos, admitiremos sin gran error, la constancia del aumento de la temperatura con la profundidad)

o t_p de longitudes, multiplicadas por la capacidad calorífica C del terreno, expresan las cantidades de calor contenidas en el prisma $a b c$: Por ejemplo, la cantidad de calor, del momento de la erupción, es el área del rectángulo $O T T b$ multiplicada por C , o sea $(T - t_p) \frac{1}{2} m C$.

En el primer período de enfriamiento de la lava, durante el cual permanece invariable la temperatura del centro de la grieta, el desplazamiento del calor de la lava, a lo largo del prisma $a b c$, está representado por las distribuciones de temperaturas, de las curvas verdes llenas $g e o e$, y $g^2 e^2 d e^2$, que giran alrededor del punto O^2 de temperatura $\frac{1}{2} (T - t_p)$, cumpliéndose la condición de que el calor total del prisma permanezca constante.

Dichas curvas tienen por ecuación la que se deduce en la Nota I al final del Informe).

Este período termina cuando la influencia ^{de} refrigeración de los terrenos encajantes, sobre el lacolito, llega hasta su eje alcanzando el centro de la grieta en g^2 y en el mismo momento el calor en el terreno laboral ha penetrado $\frac{1}{2} m$.

Como sabemos por la teoría de la conductibilidad del calor, (y como se deduce en la Nota II), la penetración del calor, por conducción, en un medio, es independiente de las temperaturas actuantes y sólo es directamente proporcional al tiempo transcurrido e inversamente a la penetración l alcanzada por el calor, hasta el momento considerado; según la fórmula; $l = \sqrt{\eta \frac{K}{C} \alpha}$ siendo $\frac{K}{C}$ un coeficiente específico cons-

tante del medio considerado, resultando de dividir su conducti-
 bilidad calorífica K por su calor específico C , y que se deno-
 mina, coeficiente de velocidad de transmisión de las tempera-
 turas en el medio, y n es un parámetro, que depende del caso
 de conducción que se estudie y que en nuestro caso es, δ (véa-
 se Nota I). El tiempo necesario para que después de la erup-
 ción, termine este primer período, es función del semigrueso
 $\frac{1}{2}$ m del lacolito y tiene por valor $\Theta_{1er\ period.} = \frac{1}{8} \frac{C}{K} \left(\frac{1}{2} m\right)^2$

Para las lavas que estudiemos de capacidad calorífica
 $C = 0,4$ cal peq por $\frac{C}{m^3}$ y grado de temperatura y coeficien-
 te de conductibilidad $K = \frac{2}{100}$ cal peq por $\frac{C}{m^2}$ grado y segun-
 do, tendremos que

$$\Theta_{1er\ period.} = \frac{1}{8} \frac{0,4}{2} \cdot 10^3 \left(\frac{1}{2} m \frac{C}{m}\right)^2 = 25 \left(\frac{1}{2} m\right)^2$$

Así para lacolitos de

$$\begin{aligned} m = 5 \text{ metros, } \Theta_{1er}'' &= 25 \times 25 \overline{0^2} \frac{C}{m} = 0,17625 \times 10^7 \text{ segundo} = 18 \text{ días} \\ m = 25 \text{ mtrs, } \Theta_{1er}'' &= 25 \times 125 \overline{0^2} \frac{C}{m} = 3,9125 \times 10^7 \quad " = 1,24 \text{ años} \\ m = 50 \text{ mtrs, } \Theta_{1er}'' &= 25 \times 25 \overline{0^2} \frac{C}{m} = 15,625 \times 10^7 \quad " = 4,95 \text{ años} \end{aligned}$$

En todos los casos, la temperatura no penetra al final
 de este período, más que $\frac{1}{2}$ m. en los terrenos encajantes del
 lacolito.

A continuación se inicia el segundo período de descen-
 sos de temperatura del centro del lacolito, en el cual el eje
 de la curva de color verde $\delta \text{ ó } c$, desciende su punto δ' , a lo
 largo del eje del lacolito, desplazándose a lo largo del eje
 de longitudes, su pie h , tomando dicho eje, las posiciones
 sucesivas, $d' h''$, $\delta'' h'''$ etc, etc., desplazándose el punto ó cen-

tro de la longitud del prisma en el que se desplaza el calor, a los puntos o', o'' etc.

Dicho desplazamiento, se sigue en el transcurso del tiempo, porque, la longitud l de penetración del calor en el terreno encajante, a partir del origen 0 de la pared de la grieta tectónica, es como hemos visto $l_{9m} = \sqrt{8 \frac{K}{C} \alpha''} = \frac{2}{10} \sqrt{\alpha''}$

y porque, como el calor permanece constante, tendremos que

$$(T - t_p) \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot C = \frac{1}{2} \cdot (t - t_p) \cdot (\frac{1}{2} m + l) \cdot C$$

Luego las temperaturas, decrecientes con el tiempo, de la cabeza del eje del lacolito, son

$$t = t_p + \frac{T - t_p}{\frac{1}{2} m + l} \cdot m = t_p + (T - t_p) \frac{m}{0,2 \sqrt{\alpha''} + \frac{1}{2} m}$$

En cada momento determinado, de un valor fijo de , las temperaturas del lacolito se distinguen en profundidad, de la manera siguiente:

$$t = 20^\circ + \frac{P \text{ Kilometros}}{3,3} \times 100^\circ + m \frac{T - (20 + \frac{P}{3,3} \times 100^\circ)}{0,2 \sqrt{\alpha''} + \frac{1}{2} m}$$

luego

$$t = (1200^\circ - 20^\circ) \frac{m}{0,2 \sqrt{\alpha''} + \frac{1}{2} m} + 20^\circ + \frac{P}{3,3} 100^\circ \left(1 - \frac{m}{0,2 \sqrt{\alpha''} + \frac{1}{2} m} \right)$$

Por ejemplo, al cabo de un siglo de la erupción = 3,15 x 10⁷ segundos, en el lacolito de anchura m = 5 mts., tendremos

$$t = 1188 \frac{500 \text{ c/m}}{0,2 \sqrt{3,15 \times 10^7} + \frac{1}{2} 500} + 20^\circ + \frac{P}{3,3} 100^\circ \left(1 - \frac{500}{0,2 \sqrt{3,15 \times 10^7} + \frac{1}{2} 500} \right)$$

luego

$$t = 1180^\circ \times 0,364 - 20^\circ + \frac{P}{3,3} 100^\circ (1 - 0,364) = 450^\circ + \frac{P \text{ Kilometros}}{5} \times 100^\circ$$

Es decir, que la temperatura del centro de la grieta,

en cada momento, (menos en la región superficial, alcanzada por la refrigeración de la superficie, en la que como veremos, las temperaturas son menores) crece con la profundidad p , desde una temperatura de 450° , imaginariamente situada en la superficie, a razón de 100° de aumento por cada 5 kilómetros de profundidad, es decir, mucho más despacio que los terrenos encajantes, que aumentan los 100° , cada 8,3 kilómetros; para que la temperatura de la roca, $20 + \frac{P}{33} \cdot 100^{\circ}$ y la de la lava, $420 + \frac{P}{5} \cdot 100^{\circ}$ coincidan a los 39 kilómetros de profundidad, en los 1.200° .

Por lo que se dice en la NOTA de la página nº 43, esta extrapolación a grandes profundidades, del grado geotérmico terrestre, que observamos en la superficie, nos conduce a dicha temperatura de 1.200° a los 39 kilómetros de profundidad, cuando lo probable es, que la profundidad dónde se alcanza tal temperatura, sea del orden de los 100 kilómetros, porque las temperaturas deben aumentar mucho más lentamente en las regiones profundas, que en las superficiales.

Despejado α de la fórmula $t = t_p + (T - t_p) \frac{m}{0,2 \sqrt{\alpha} + \frac{1}{2} m}$

tendremos $\alpha = \left(\frac{T - t_p}{t - t_p} - \frac{1}{2} \right)^2 \frac{m^2}{0,2^2}$

Lo que nos permite deducir el tiempo, que desde la erupción ha de transcurrir, para que el centro del lacolito, descienda a una temperatura determinada t .

La temperatura más interesante, objeto de este Capítulo, es la de 1.000° a la que la lava se solidifica. Consideraremos una profundidad importante de 6,6 kilómetros y vamos

a deducir el tiempo necesario para que la lava se solidifique a tales niveles.

La temperatura propia del subsuelo a dicha profundidad es: $t = 20^\circ + \frac{6,6}{3,3} \times 100^\circ = 220^\circ$

luego tendremos

$$Q = \left(\frac{1200^\circ - 220^\circ}{1000^\circ - 220^\circ} - \frac{1}{2} \right)^2 \frac{m^2}{0,2^2} = \left(\frac{0,756}{0,2} \right)^2 m^2 = 14,2 \cdot m^2$$

Es decir que

para $m = 5$ mtrs $Q = 14,2 \times 500^2 \text{ c/m} = 0,356 \times 10^7 = 41,2$ días

Por lo tanto, este lacclito, que en el primer período empleó 18 días, descendiende de temperatura, solidificándose hasta los 6,6 kilómetros de profundidad, en 23,2 días más.

Un lacclito de 25 mts. de espesor medio, se solidificaría hasta la antedicha profundidad, en:

$$Q = 14,2 \times 2500^2 \text{ c/m} = 8,9 \times 10^7 \text{ segundos} = 2,82 \text{ años}$$

Conclusión que confirma, la rápida solidificación, incluso a grandes profundidades, de las rocas eruptivas, inyectadas por los esfuerzos orogénicos, en las regiones altas de la corteza terrestre.

Con ello concluye la primera etapa, del segundo período del enfriamiento de las lavas, y comienza la segunda etapa, que es de un enfriamiento mucho más rápido de las lavas, si se establece en sus grietas de solidificación, una aereación intensa, interna, de aire atmosférico, que abisma las temperaturas útiles y aleja las posibilidades de su aprovechamiento.

78

Cuando no pueden establecerse corrientes del aire atmosférico por las grietas de la lava, como es el caso de la Montaña de Fuego de Lanzarote, o cuando se han cegado, o cerrado a grandes profundidades, por las presiones que allí reinan, el segundo período continúa sin interrupción regido por las fórmulas antes consignadas.

g).- Estudio de los casos especiales en que las lavas consiguen la máxima conservación posible de su calor.-

Únicamente se conserva el calor en los lacolitos lávicos, cuando a pesar de su agrietamiento de solidificación, que siempre se produce, es por algún medio evitada la circulación del aire de refrigeración que se filtra por sus grietas. Por ejemplo, cuando sobre la superficie del afloramiento de la grieta tectónica se han depositado sedimentos que recubren y opturan a la grieta, como sucede en la Montaña de Fuego de Lanzarote, en la que la capa espesa de "lapilli" o "picón" constituida como ya hemos dicho por piedrecillas sueltas de lava granulada, que recubre la Montaña, se ha cementado superficialmente porque por la acción de los agentes atmosféricos, se ha segregado del propio "picón", un cemento especial formado de sílice gelatinosa, que ha aglutinado las piedrecillas de lava del "picón", formando una costra continua en forma de coraza protectora sobre la montaña, haciendo toda su superficie impermeable al aire caliente que rellena las grietas de las lavas recubiertas por dicho "picón", impidiendo que aquel se escape hacia la atmósfera, quedando depositado como bajo una campana, dentro del lacolito lávico caliente.

En estos casos, como no tiene lugar el enfriamiento rápido de la lava, por su aereación interna, sólo pierde temperatura por la transmisión lenta de su calor, a los terrenos encajantes, estudiados en el apartado anterior, y una pérdida pequeña de calor, por conducción, hacia la superficie del terreno a través de la capa de "picón" protectora, que estudiaremos a continuación. Dicha superficie, tiene una temperatura media anual de 20° en Canarias.

Esta pérdida de calor hacia la superficie, es función de la temperatura t que conserva la lava de la zona alta de la grieta tectónica, temperatura que está situada a la profundidad hasta dónde ha llegado, en el tiempo transcurrido después de la erupción, el efecto refrigerante de la superficie del terreno.

$$\text{Dicha temperatura es } t = t_p + \frac{T-t}{l + \frac{1}{2}m} \cdot m$$

La profundidad a que alcanza el efecto refrigerador de la superficie del terreno, al cabo del tiempo después de la erupción, es como sabemos (Véase Nota II al final de este Informe) $P = \sqrt{4 \frac{k}{c} r}$; sin embargo, duplicaremos el valor del parámetro 4 , teniendo en cuenta que en nuestro caso, no sólo pierde calor la lava por conducción hacia la superficie, sino también por el aire caliente que de su seno logra atravesar la capa de "picón" y sale por las grietecillas de la costra superficial del suelo, pérdida que aunque es pequeña, porque el aire circula muy despacio entre el "picón", como ya hemos dicho antes, no deja de ser de consideración, por lo

que estimamos que por este concepto pierde la lava, tanto calor como por conducción, equivaliendo la duplicación del parámetro a admitir una conductividad calorífica K doble que la real para tener en cuenta la pérdida que describimos.

Un siglo después de la erupción, o sea cuando

$$\phi = 3,15 \times 10^7 \text{ segundos del año} \times 100; \text{ tendremos}$$

$$P = \sqrt{8 \frac{2}{10^3} \times \frac{1}{0,4} \times 3,15 \times 10^9} = 11225 \text{ } ^\circ\text{m} = 112,25 \text{ mtrs}$$

dónde reina una temperatura en el terreno encajante de

$$t_p = 20^\circ + \frac{112,25}{33} \text{ } ^\circ = 24^\circ$$

A profundidades mayores, no alcanzadas aún por la refrigeración superficial, la cesión de calor del lacolito, de anchura, $m = 5$ mts., en los 100 años considerados, a los terrenos encajantes, ha hecho descender su temperatura de $T = 1.200^\circ$ a t según la fórmula

$$t = 24^\circ + (1200^\circ - 24^\circ) \frac{500 \text{ } ^\circ\text{m}}{11225 \text{ } ^\circ\text{m} + 250 \text{ } ^\circ\text{m}} = 24^\circ + 51 = 75^\circ$$

En el lacolito de $m = 50$ mts.

Vemos que la lava de una grieta tectónica, en la que no circula el aire, por sus grietas internas profundas, puede conservar al cabo de un siglo de la erupción, temperaturas altas, muy próximas a la superficie del terreno, siempre que el lacolito tenga un espesor del orden de los 50 mts. En el subsuelo, ^{Sobre el lacolito} la temperatura aumentaría 1 grado por cada $\frac{11225 \text{ } ^\circ\text{m}}{428^\circ} = 26 \text{ } ^\circ\text{m}$ o sea $3^\circ,8$ de aumento de la temperatura por metro de profundidad.

Al cabo de dos siglos de la erupción, la acción refrigerante superficial alcanza la profundidad de

$$P = \sqrt{8 \frac{2}{10^3} \frac{1}{0,4} \times 2 \times 3,15 \times 10^9} = 159$$

011
y las temperaturas que conservarían el anterior lacolito en su zona alta debajo de la profundidad antedicha, serían

$$t = \frac{1175^{\circ}}{16263} 5000 + 25^{\circ} = 364^{\circ} + 25^{\circ} = 389^{\circ}$$

Descendiendo en este segundo siglo, 163º el lacolito de 50 mts. de anchura.

V - TERMALIDAD DEL MACIZO MONTAÑOSO DE TIMANFAYA

- a).- Determinación aproximada de las masas de lava caliente situadas bajo este macizo, en el que se encuentra la Montaña de Fuego y el Islote de Hilario, así como de la profundidad a que deben hallarse sus temperaturas aprovechables, y calor que inevitablemente pierden.-

El tiempo transcurrido desde la erupción de 1736 en que estuvo en actividad la grieta tectónica AB que cruza la Isla (Véase lám.^a.n^o 1), ha sido de 213 años, o sea : $3,15 \times 10^7$ segundos del año $\times 213 = 672 \times 10^7$ segundos.

La cabeza del lacolito laminar de lava caliente, que ascendió en dicha erupción por la grieta tectónica, es alcanzada por los circuitos de aire de sus grietas, quedando el aire caliente retenido en ciertas zonas, según queda dicho, bajo la costra superficial de "picón cementado", de la Montaña de Fuego. Dicha cabeza del lacolito está, por lo menos, a una temperatura media de 350° , máxima de los gases que surgen de las grietas de la costra de "picón cementado" en la superficie de esta montaña; y a 400° , observados en el Islote de Hilario.

Si los espesores del sedimento de "picón" suelto que yace entre la costra superficial de "picón" y la lava, es pequeña, como suponemos, la temperatura de la cabeza del lacolito será poco superior a los 350° y 400° respectivamente antes mencionados, porque en este caso, el aire subirá a tra-

vés de una capa de "picón" de pocos metros de espesor, sin tener tiempo de perder sensiblemente su temperatura. Pero si la capa de "picón" tuviera espesores de importancia, las temperaturas de la cabeza del lacolito pueden ser superiores a las observadas en la superficie, ya que según hemos dicho, la velocidad de ascensión del aire entre el "picón" es solamente de unos centímetros por segundo, y en este caso el aire ascendente tendría tiempo de enfriarse poco a poco mezclándose con las capas de aire, tanto más frías, cuanto más tiempo están retenidas bajo la campana de "picón cementado", y que se enfrían por causa de la conductibilidad a través del "picón" y de su costra superficial, que está constantemente en contacto con el aire atmosférico en el que se registra una temperatura media anual de 20°.

Será necesario por lo tanto, determinar la temperatura propia del lacolito en la actualidad, conocer el espesor de "picón" que recubre a la lava y localizar la profundidad hasta dónde ha sido afectado el lacolito, por la refrigeración de la superficie del terreno, por medio de dos sondeos de exploración; uno, en la Montaña de Fuego y el otro en el Islote de Hilario, que atraviesen el "picón" y continúen después por las lavas infrayacentes, hasta la profundidad a la que dejen de aumentar las temperaturas tomadas en el fondo del sondeo y permanezcan constantes en algunos metros más de profundidad, con lo que habremos logrado los fines antes expuestos.

Una vez determinada experimentalmente la temperatura

de la cabeza del lacolito que acusen los antedichos sondeos, y la profundidad a que se encuentran, seguiremos el método que vamos a exponer a continuación, para tratar de determinar las masas de lava caliente situada bajo la Montaña de Fuego, así cómo el calor que inevitablemente pierde por conducción a través del terreno, hacia la atmósfera.

La profundidad p que alcanza la acción de la refrigeración superficial, y a la que se ha retraído la temperatura propia de la cabeza del lacolito y la longitud l , que ha penetrado el calor de la lava en las rocas encajantes, tienen el mismo valor

$$P = l = \sqrt{\frac{4}{10^2} a''}$$

que en nuestro caso de la erupción de 1736, es: $1 \text{ am}^2 7, \text{ corta } 1^2$

$$P = l = \frac{2}{10} \sqrt{672 \times 10^7 \text{ segundos}} = 16400 \text{ } ^\circ\text{m} = 164 \text{ metros}$$

La temperatura subterránea propia de dicha profundidad es $t_p = 20^\circ + \frac{164}{33} \times 1^\circ = 25^\circ$

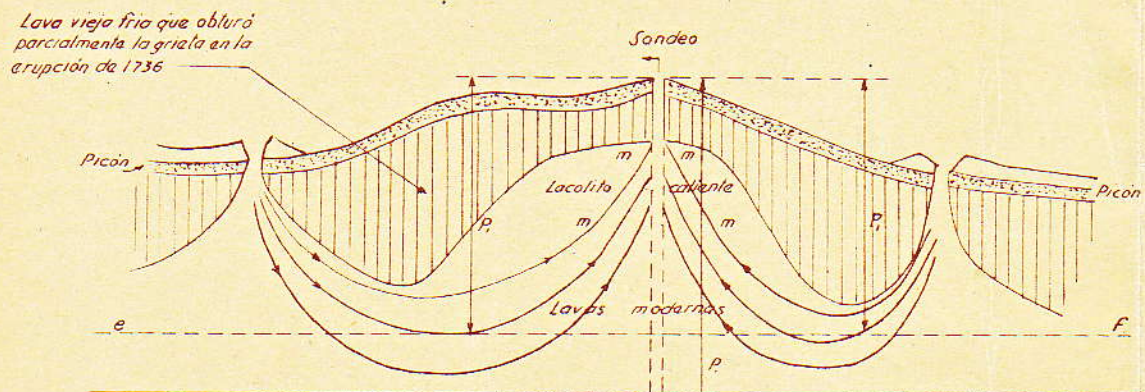
Con los antedichos datos, podemos conocer la probable masa del lacolito, determinando la anchura m de la grieta tectónica rellena de lava del año 1736, suponiendo al lacolito laminar, así cómo a la grieta que lo aloja, mediante la fórmula

$$t = \frac{T - t_p}{l + \frac{1}{2} m} m + t_p$$

luego
$$m = \frac{t - t_p}{T - \frac{1}{2} t - \frac{1}{2} p}$$

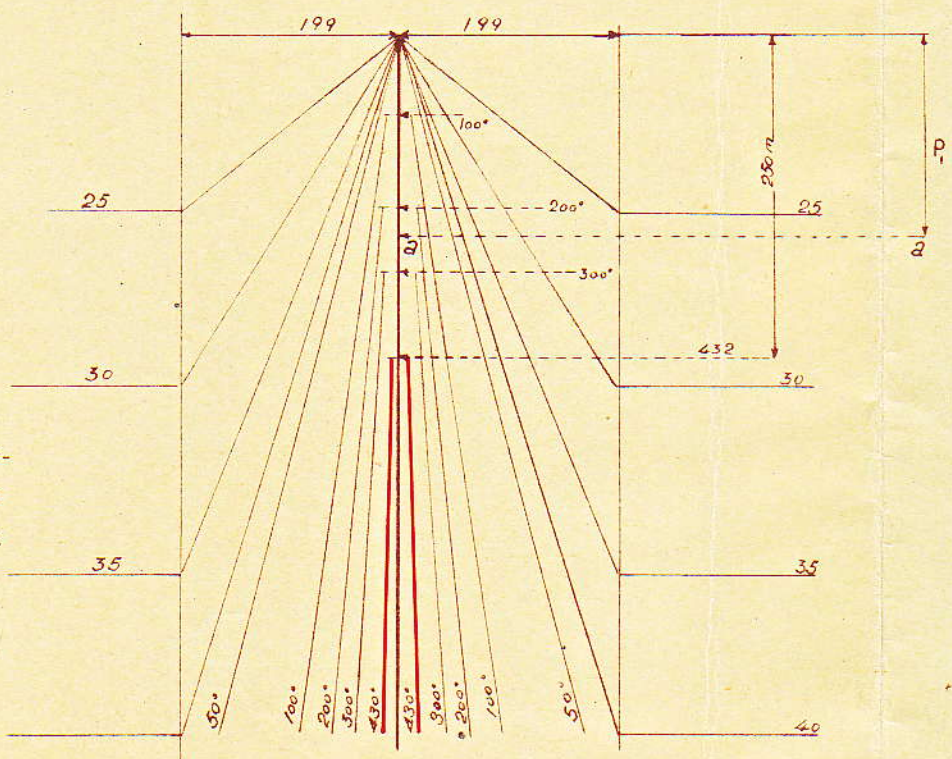
Si como suponemos, el espesor del "picón" es pequeño y la temperatura de la cabeza del lacolito poco superior

CORTE VERTICAL LONGITUDINAL DE LA GRIETA TECTÓNICA PRINCIPAL DE LA MONTAÑA DE FUEGO



Disposición de las Isotermas, en el caso de que durante el siglo, haya sido objeto el lacolito de aprovechamiento a razón de 123 cal: Kilo por segundo.

3

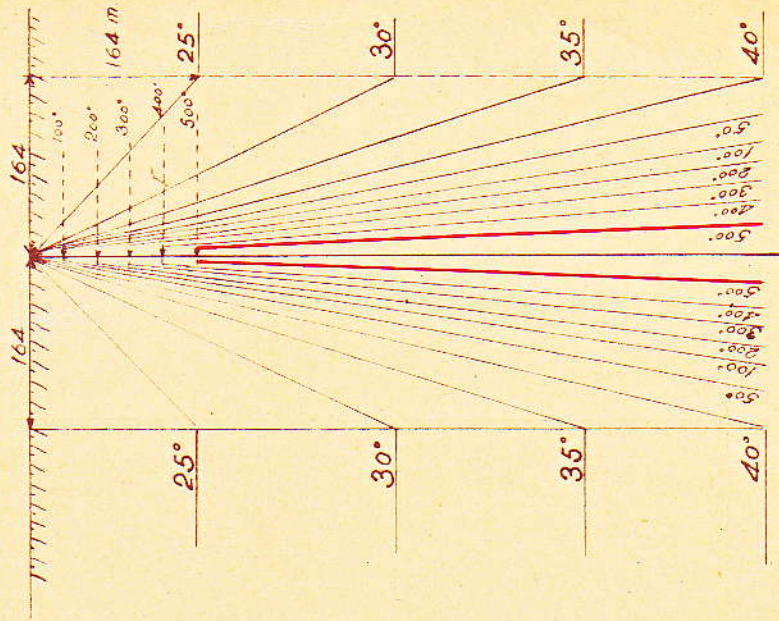


El campo de deformación de la isoterma, no se ha ensanchado mas a causa del aprovechamiento.

La cabeza del lacolito aunque conserva su temperatura de 430°, se ha alejado a 250 m. de la superficie. Mientras la profundidad p, del corte vertical longitudinal de la grieta tectónica, de la parte alla de la lamina sea mayor de 250 m. las temperaturas del aire extraído por el sondeo, serian de 430° propia de lacolito, pero si la profundidad p, fuera menor de los 250° m, por ejemplo el punto a de este corte transversal a la grieta tectónica, las temperaturas logradas en el sondeo estarian comprendidas entre 200° y 300°.

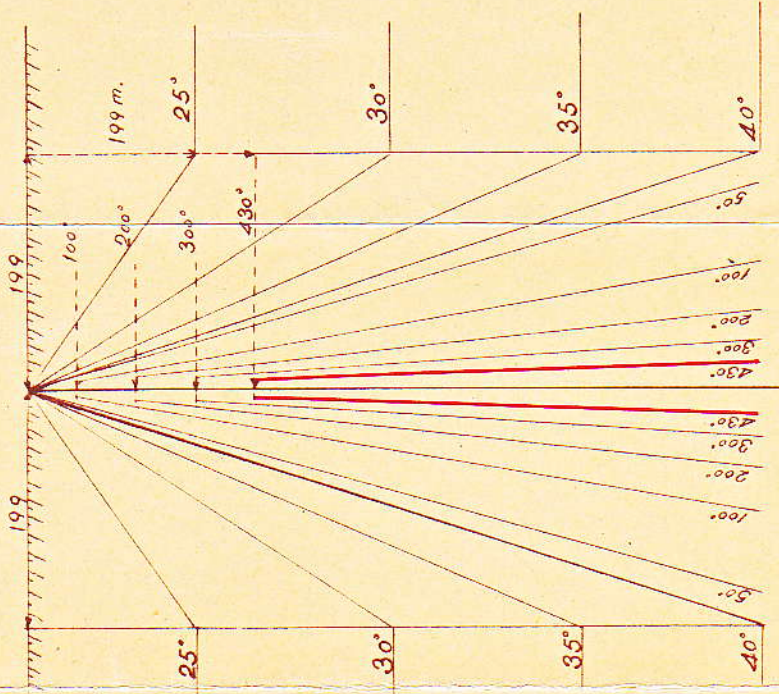
Cortas transversales de la grieta tectónica.

1



Temperatura actual de la cabeza del lacolito. 500°; situada a 164 m. de profundidad. Los planos isotermos naturales subterráneos están deformados en forma lanceolada.

2



Disposición de las isotermas un siglo después. El campo de deformación de las isotermas se ha ensanchado a 199 m. a cada lado del lacolito. La temperatura de la cabeza del lacolito ha disminuido a 430° y se ha alejado a 199 m de la superficie.

a los 350° observados en la superficie de la Montaña de Fuego, la anchura de la grieta será

$$m = \frac{350^{\circ} - 25^{\circ}}{1200^{\circ} - 175^{\circ} - 12,5} \times 16400 = 5270 \text{ c/m} = 52,7 \text{ mtrs}$$

Pero si por el contrario, la temperatura que encontramos con los sondeos taladros en la cabeza del lacolito, fuera de 500, la anchura de la lámina lacolítica sería:

$$m = \frac{500^{\circ} - 25^{\circ}}{1200^{\circ} - 250^{\circ} - 12,5} \times 16400 = 8310 \text{ c/m} = 83,10 \text{ mtrs}$$

considerablemente mayor.

El calor que se pierde por segundo inevitablemente por conducción, hacia la superficie en este foco de calor de la Montaña de Fuego, admitiendo para el lacolito caliente una longitud a lo largo de la grieta tectónica de unos 400 mts., que sugiere la impresión que acusan las líneas isothermas de la lám^a. 2^a, sería :

Para $t = 350^{\circ}$; calor perdido = $\frac{t - t_p}{l} \cdot 2 \cdot K \cdot (\text{superficie calorífica})$

calor $\frac{350^{\circ} - 20^{\circ}}{16400 \text{ c/m}} \cdot 2 \cdot \frac{2}{10^3} \times (5270 \text{ anchura grieta} + 2 \times 16400 : \text{longitud}) \cdot 40000$

= 123400 cal gr = 123,4 Cal kilo por segundo, que podría reducirse a casi la mitad, completando con mortero de cal, la impermeabilidad al aire, de la costra de "picón" que recubre la montaña.

para $t = 500^{\circ}$: calor perdido = $\frac{500^{\circ} - 20^{\circ}}{16400} \cdot \frac{4}{10^3} (8310 + 2 \times 16400) \cdot 40000 = 211 \text{ cal Kilo}$

Considerando transcurrido otro siglo después de la erupción, es decir a 100 años fecha, la profundidad p a que habrá alcanzado la refrigeración superficial, y la longitud l que habrá penetrado el calor de la lava en la roca encajante será:

Lám^a 7 corte 2°: $P = l = \sqrt{\frac{4}{10^2} (672 + 315) 10^7} = 19900 \text{ c/m} = 199 \text{ mtrs}$

a cuya profundidad la temperatura natural propia de la roca encajante, es de $t_p = 20 + \frac{199}{33} 1^\circ = 26^\circ$

Por lo que la fórmula $t = t_p + \frac{T - t_p}{19900 + \frac{1}{2}m} m$; nos dará:

para $m = 52,7$ mts.

$$t = 26^\circ + \frac{1200^\circ - 26^\circ}{19900 + 2635} \times 5270 = 26 + 274 = 300^\circ$$

luego tendremos que la temperatura de la cabeza del lacolito de 350 en la actualidad, descenderá en el transcurso del siglo, por cesión de su calor a los terrenos encajantes, a la temperatura de 300° o sea $350 - 300 = 50^\circ$.

Descenso de temperatura inevitable y muy perjudicial, porque cambia por completo las características del aprovechamiento que se hubiere montado, a base de los 350° que hoy se registran.

Este descenso de temperatura, no aumentaría con el aprovechamiento que se instalase.

El aprovechamiento que se instale, influirá en cambio, aumentando el desplazamiento natural hacia abajo, de las temperaturas de la cabeza del lacolito, por su enfriamiento inevitable por conducción, por el terreno, de parte de su calor, hacia la superficie.

Suponiendo que el aprovechamiento montado fuera de la misma cuantía, que las 123 cal kilo por segundo, que hemos visto que inevitablemente pierde el lacolito, en el primer caso antes considerado, por conducción hacia la superficie, las pérdidas de calor hacia arriba se duplicarían, análogamente a si el factor de conductibilidad del

terreno se hubiera duplicado, luego en el transcurso del siglo que consideramos, la profundidad a que se retraería la cabeza caliente, a 300°, del lacolito, sería

$$p = \sqrt{8 \frac{2K}{c} \alpha} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{4}{10^2} 987 \times 10^7} = 1,415 \times 199 \text{ mtrs} = 283 \text{ mtrs}$$

mucho más, que los 199 mts. a que como hemos visto antes, se desplazaría naturalmente, en dicho tiempo la temperatura de la cabeza del lacolito.

Este descenso, puede comprometer la captación del aire caliente si se hace por sondeos taladros hasta alcanzar solamente la lava del lacolito, en el caso de que los circuitos de circulación subterráneos del aire, no alcanzan dicha nueva profundidad, porque entonces, ya no llegaría a la superficie del terreno, la temperatura de la cabeza del lacolito, de 300° al cabo del siglo, sino los inferiores, correspondientes a la serie de temperaturas, que desde dicha cabeza, decrecen hacia arriba, hasta los 20° de la superficie.

En cambio, si la temperatura de la cabeza del lacolito que nos revelen los sondeos, fuera de 500° y $m=83,1m$.

la relación $t = \frac{T - t_p}{\sqrt{\frac{2}{10^2} \alpha} + \frac{1}{2} m} \cdot m + t_p$

nos daría al cabo del siglo considerado $Lam 7 \text{ corte } n=2$

$$t = \frac{(1200^\circ - 26^\circ) 8310}{19900 + 4155} + 26 = 406^\circ + 26^\circ = 432^\circ$$

luego la temperatura de la cabeza del lacolito, en la actualidad de 500°, descendería por cesión de calor a los terrenos encajantes, a la temperatura, en el transcurso

del siglo considerado a 432°.

Descenso de calor de 500° - 432° - 68 más acusado que en el anterior caso, pero en cambio, un aprovechamiento de la misma importancia que en dicho caso de 123 cal. kilo por segundo, no representaría más que el $\frac{123}{211} = 0,583$ de la pérdida natural de calor del lacolito hacia la superficie y el desplazamiento hacia abajo de la temperatura de la cabeza del lacolito será inferior al caso anterior, pues la pérdida, más el aprovechamiento, equivaldría a un coeficiente de conductibilidad $k = 1.582$ veces superior al del terreno y el desplazamiento hacia abajo de la temperatura antedicha de 437° será de $L_{am}^2 \cdot 7$ corte n° 3

$$P = \sqrt{1,582} \sqrt{\frac{4}{10^2} \times 987 \times 10^7} = 250 \text{ mtrs}$$

bastante inferior al de 280 metros, del caso anteriormente considerado.

Resumiendo, vemos que este foco de calor tiene las siguientes características:

Temperatura actual	Temperatura natural al cabo de un siglo	Pérdida natural de calor por seg.	Aprovechamiento durante el siglo por segundo	Desplazamiento de la temperatura en profundidad
Caso 350°	300°	123 cal.k.	0	de 164m a 199= 35m
" 350°	300°	123 +	123	" 164m a 283= 119m
" 500°	432°	211	0	" 164m a 199= 35m
" 500°	432°	211 +	123	" 164m a 250= 86m

87

Por lo tanto hemos de tener muy en cuenta para proyectar la potencia del aprovechamiento, la disminución secular inevitable de la temperatura de la cabeza del lacolito por cesión de su calor a los terrenos encajantes y su alejamiento progresivo de la superficie, por el enfriamiento inevitable también de la cabeza del lacolito, por conducción de su calor, por el terreno, hacia la superficie.

b).- Islote de Hilario.- Haciendo las mismas consideraciones para el foco calorífico del Islote de Hilario, dónde la temperatura máxima del aire, tomada en las grietas de la costra de "picón" ha sido de 400° , admitiremos que esta sea la temperatura actual del lacolito, observada por medio de los sondeos propuestos.

Tendremos en cuenta, que el tiempo transcurrido desde la última erupción por la grieta secundaria a b de 1824 (Véase Fig^a.1) es de 124 años, o sea $3,15 \times 10^7 \times 124 = 391 \times 10^7$ segundos.

La profundidad alcanzada por la refrigeración de la superficie en esta grieta será

$$P = \sqrt{\frac{4}{10^2} \times 391 \times 10^7} = 12500 \text{ cm} = 125 \text{ mtrs}$$

a la que corresponde una temperatura propia del terreno de

$$t_p = 20^{\circ} + \frac{125}{33} \cdot 1^{\circ} = 24^{\circ}$$

La anchura de la lámina de lava de esta grieta será aproximadamente de

$$m = \frac{(400^{\circ} - 24^{\circ}) 12500 \text{ cm}}{1200^{\circ} - 200^{\circ} - 12^{\circ}} = 4760 \text{ cm} = 47,6 \text{ mtrs}$$

La distancia alcanzada lateralmente en la roca encajante por el calor de la lava, igual a P; o sea l=125m.

El calor que se pierde inevitablemente por este foco admitiendo que tiene unos 300 mts. de longitud a lo largo de la grieta a juzgar por la impresión recogida de la línea isoterma del plano nº 1, es

$$\text{Cal} = \frac{400^{\circ} - 20^{\circ}}{12500} \cdot 2 \cdot \frac{2}{10^3} (4760 \text{ g/m anchura grieta} + 2 \times 12500 \text{ g/m}) \times 30000 \text{ g/m}$$
$$= 108400 \text{ cal seg} = 108,4 \text{ cal Kil.}$$

Al cabo de otro siglo la profundidad P a que habrá descendido la refrigeración superficial será:

$$P = \sqrt{\frac{4}{10^2} \times (391 + 315) \cdot 10^7} = 2 \sqrt{706 \times 10^5} = 16750 \text{ g/m} = 167,5 \text{ mtr}$$

La temperatura natural propia de la roca encajante a dicha profundidad es $t_p = 20 + \frac{167,5}{33} = 25^{\circ}$

Por lo que, la temperatura a que descenderá en dicho siglo, la cabeza de lava caliente a 400² de este foco será:

$$t = \frac{1200^{\circ} - 25^{\circ}}{16750 + 2380} \times 4760 + 25^{\circ} = 292^{\circ} + 25^{\circ} = 317^{\circ}$$

Montando un aprovechamiento de 108,4 cal.kg. por segundo, del mismo orden que la pérdida natural de calor del lacolito, por conducción hacia la superficie, su pérdida se duplicaría, como si el factor de conductibilidad K se duplicara, luego P será igual al valor anterior multiplicado por $\sqrt{2}$, o sea $P = 167,5 \times 1,415 = 237 \text{ mtr}$

088

Resumen Islote de Hilario.-

Temperatura actual	Temperatura natural al cabo de un siglo	Pérdida de calor por seg.	Aprovechamiento durante el siglo por segundo	Desplazamiento de la temperatura en profundidad
400°	317°	108,4 cal	0	de 125 a 167,5=43,5
400°	317°	108,4 "	108,4	de 125 a 237=112m.

VI - CAPTACION DE LOS GASES VOLCANICOS

Por el caracter fungible de este depósito de calor, que si no se aprovecha pronto y rápidamente, se enfría naturalmente en el transcurso del tiempo, sin provecho alguno, debe ser aprovechado desde el primer momento, a la mayor intensidad.

Para alcanzar las regiones calientes del subsuelo, con el objeto de aprovechar su calor, son inadecuadas las labores mineras por pozos y galerías, por ser inaccesibles, como hemos visto antes, las profundidades que sería necesario alcanzar para lograr temperaturas aprovechables, en los campos térmicos normales de 1º de aumento de la temperatura por cada 33 mts. de profundidad, y en los campos volcánicos modernos, como los de Lanzarote objeto de este Informe, porque a pesar de poderse encontrar en ellos, como hemos visto, regiones calientes no muy profundas, accesibles a esta clase de labores, como su ejecución exige la refrigeración intensa del propio foco calorífico, que pretendemos aprovechar, para crear en dichas labores, el ambiente fresco que requiere el personal minero que realiza el trabajo, se roba al terreno precisamente el calor que pretendemos aprovechar, acelerando el retraimiento continuo natural, de estos focos caloríficos a mayores profundidades, por el enfriamiento que sufren, por la acción de los terrenos fríos que los rodean.

Además el resultado de estas labores en los campos volcánicos, sería completamente nulo, porqué así cómo en un campo calorífico subterráneo normal, volverían a reponerse las temperaturas propias de la profundidad, cuando se terminara la obra y se suspendiera la refrigeración, en los campos volcánicos, una vez disminuídas las temperaturas por la refrigeración de las labores, no volverían a reponerse después de suspendida ésta, sino que continuarían descendiendo a mayores profundidades cada vez.

Los sondeos son la única labor minero, que para alcanzar regiones profundas del subsuelo no requieren la refrigeración previa del terreno y por ello son los más indicados para estas captaciones del calor subterráneo de los campos volcánicos.

La captación del calor interno requiere cavidades profundas en el subsuelo y un agente que desde el exterior penetre en ellas, tome el calor subterráneo y lo transporte a la superficie.

Existen estos aparatos naturales en los manantiales de aguas termales, los geiseres, las solfataras y los soffionis, en los cuales, además del calor, se aprovechan las sustancias útiles que puedan contener.

En nuestro caso, la Montaña de Fuego de Lanzarote dispone de un aparato de captación, compuesto de la red de grietas que surcan la lava de la grieta tectónica de la Isla, abiertas por la contracción de su masa al solidificarse

328

y el agente que penetra en ellas, les roba el calor que aún conservan, por circunstancias especiales que se han comentado antes, y transporta el calor a la superficie del terreno, es el aire atmosférico, que no hay más que darle salida de la campana de "picón cementado" que lo retiene, para que pueda ser objeto de aprovechamiento.

Parece pues lo más fácil y económico, para esta captación, la perforación de una serie de taladros o sondeos someros, alineados a lo largo del trozo de la grieta tectónica, dónde las lavas conservan aún su calor, que no atraviesen más que a la capa de "picón", hasta llegar a las lavas infrayacentes del lacolito, en las cuales fácilmente encontrarían una de sus múltiples grietas, por dónde se extraería el aire caliente estacionado en la red de grietas del lacolito, por medio de un extractor centrífugo montado en la cabeza del sondeo, que provocaría una serie de circuitos, en dicha red de grietas, que se extiende por toda la lava que rellena a la grieta tectónica, en las que entraría el aire atmosférico, por los muchos puntos no lejanos de la Montaña de Fuego, en los que las lavas de la grieta tectónica afloran desnudas, y por las cuales el aire atmosférico tendría fáciles accesos hacia el lacolito caliente, de dónde acudiría, después de calentado, hacia el pié del sondeo, por la aspiración del extractor.

Dichos sondeos taladros, serían muy económicos, pues no tendrían que atravesar más que los elementos sueltos del "picón" y no tendrían más profundidad que el espesor de la capa de "picón".

18

No creemos que entre los circuitos, se establecieran algunos someros, que en su recorrido subterráneo, no alcanzan a la región más caliente del lacolito, porque la campana de la costra de "picón" impermeable al aire, que recubre a la montaña, tiene bastante continuidad y relieve, para impedir la entrada del aire por cotas altas, que pudieran dar lugar a circuitos someros fríos.

Sin embargo, hay que tener muy presente la anterior contingencia, para ensayar previamente con cautela este sistema tan económico de captación, que si no diera resultado, por excesiva abundancia de circuitos fríos o ^{poco} calientes, se haría mucho más difícil la captación que estudiamos, porque habría que recurrir a sondeos profundos, que penetraran ampliamente en las lavas del lacolito, bajo la profundidad hasta dónde ha sido alcanzado por la refrigeración superficial, para tener garantías de que todos los circuitos fueran profundos y pudiera obtenerse la temperatura propia del lacolito y no otra menor.

Por ello, a pesar de la conveniencia de aprovechar este calor a la mayor intensidad posible, debe ensayarse previamente, la antedicha captación, por taladros sondeos someros antedichos, en aras de su economía, con una instalación piloto de prueba.

Para el estudio de dicha instalación piloto, creemos prudente colocarnos en el caso más desfavorable, de que el lacolito que ha conservado su calor, sea laminar como es

lo probable, ya que está alojado en una grieta tectónica; si inclinarnos a la posible existencia de bolsadas y ensanchamientos de grieta y lacolito, que aumentarían sus reservas de calor.

La antedicha favorable contingencia será aclarada por la instalación piloto, que en caso de existir bolsadas lávicas calientes, el descenso anual de la temperatura de los gases extraídos para la instalación, será menor que el que corresponderá al lacolito laminar, de menor volúmen y menores reservas caloríficas.

También nos colocaremos en el caso de que los sondeos someros de la captación, no den más que las temperaturas que hemos observado, de 360° en la superficie de la Montaña de Fuego, y 400° en el Islote de Hilario.

Previamente deberán opturarse cementándolas, las grietas naturales de la costra de "picón" de la Montaña, para evitar que continúen enfriando al lacolito, y para que no pueda entrar por ellas aire atmosférico frío, cuando se seccione por los sondeos de captación de los gases, ó aire caliente del lacolito, retenido bajo la camapa natural de "picón cementado" de la superficie.

Captación por sondeos someros.- Para la extracción de un kilo de aire caliente por segundo, que es la succión que después propondremos, es necesario extraer unos 1800 litros de "gas volcánico" por segundo, con tres sondeos entubados de 40 m/m de diámetro, por los cuales con un extractor cen-

trífugo, se extraerá el "gas volcánico" a una velocidad de 5 mts. por segundo, debiendo establecerse otros tres sondeos más de repuesto, para hacer uso de ellos en el caso de que quede obturado alguno de los que estén en servicio.

Las cabezas de los sondeos, se unirán por una conducción general, de tubo de acero, en dónde se montará el extractor. Todas las tuberías exteriores, deberán protegerse contra el enfriamiento, por gruesas capas de aislantes térmicos.

En la cabeza de cada sondeo, se mantendrá una válvula de regulación del paso del "gas volcánico" y un termómetro, para regular en cada uno la extracción del gas, de manera que en todas ellas las temperaturas sean iguales, y las más convenientes a la instalación de aprovechamiento.

VII - SOLUCION PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR
INTERNO

Después de meditado estudio, hemos llegado a la conclusión de que no debe decidirse desde el primer momento, el aprovechamiento intensivo máximo del calor interno, si no que debe llegarse a esta intensidad paulatinamente y con la mayor cautela, comenzando por montar un motor de aire caliente, en una instalación piloto de ensayo apropiada a la temperatura que los sondeos de exploración den en el foco más caliente, que en este caso es el del Islote de Hilario, calculada para aprovechar según queda indicado, el calor de 1 kilo de gas extraído por segundo, a 340°, con el fin de que esta misma estación sirva para ser trasladada después a la Montaña de Fuego que tiene en la superficie 350°, dejando así un margen de unos 10° de pérdidas en las tuberías de conducción.

Se observará metódicamente el funcionamiento de esta instalación piloto en el Islote de Hilario, durante un año por lo menos, con el fin de ver cuanto decrece con el tiempo la temperatura del gas. Si el decrecimiento es muy pequeño, del orden de 1/3 a 1/4 de grado al año, se desmontará la instalación piloto y se instalará otro motor 3 o 4 veces más potente, para trabajar con "gas volcánico" a 350°, dejando un margen hasta de 400°, propios de este Islote, para

la pérdida de calor de las tuberías de captación y sobre todo, para preveer, el descenso de temperaturas del lacolito durante los 25 años, necesarios para la amortización de la instalación.

La instalación piloto de 1 kilo de gas por segundo desmontada del Islote Hilario, deberá ser trasladada a la Montaña de Fuego y si durante otro año, no acusa tampoco allí más que decrecimientos insignificantes de temperatura, debe procederse a ampliar esta instalación para una extracción de 2 o 3 kilos de gas por segundo, calculando el motor de aire caliente para trabajar a la temperatura que la práctica aconseje, teniendo en cuenta las pérdidas de calor en la tubería de captación y el descenso secular de la temperatura propia del lacolito en esta montaña.

a).- Características de la instalación piloto de prueba a base de vapor de agua.-

El aprovechamiento a la temperatura propuesta de 340° suponiendo que en lugar de un motor de aire caliente se montara una máquina de vapor, sería muy honerosa, dada la absoluta carencia de aguas en la isla de Lanzarote, tanto en cauces superficiales, como subterráneos, por lo que habría que elevar ésta desde el mar a la montaña, o elevar el agua dulce desde Isla de Las Palmas trae periódicamente a Lanzarote un barco cisterna en los años de sequía, para abastecer de agua potable a los habitantes de estas Islas. Además sería necesario condensar todo el vapor de las máquinas en condensadores de gran superficie de refrigeración, empleando como

refrigerante el aire a 25° del ambiente, lanzado este en el condensador por medio de ventiladores centrífugos. Por lo tanto habría que adoptar una temperatura mínima en la utilización de vapor en la máquina de 50°, que corresponda a una tensión de un vacío de 0,2 atmósferas.

Denominando T'' la temperatura conveniente a la caldera, el rendimiento del calor captado en el gas del volcán será:

$$\frac{0,24(340 - T'') \text{ calorías aprovechadas por la caldera}}{0,24(340 - 25) \text{ calorías captadas con el gas}} = 75 \text{ calk. por 1 k. de gas}$$

del calor de la caldera, se aprovecharía en la máquina de vapor:

$$\frac{(T'' + 273) - (50 + 273)}{T'' + 273} "$$

El rendimiento total alcanzado sería:

$$\frac{(340 + 273) - (T'' + 273)}{(340 + 273) - (25 + 273)} \left(1 - \frac{50 + 273}{T'' + 273} \right) = \frac{1}{315} \times \\ \times (613 - (T'' + 273)) \left(1 - \frac{50 + 273}{T'' + 273} \right)$$

que será máximo cuanto mayor sea $(613 - (T'' + 273)) \left(1 - \frac{50 + 273}{T'' + 273} \right)$

es decir para $T'' + 273 = 444$ luego $T'' = 171$

Esta temperatura sería, por lo tanto, la más conveniente para la caldera, que produciría vapor a 8,1/4 atmósferas, que habría que expansionar en el cilindro de la máquina hasta 0,20 de atmósfera, para aprovechar toda su energía posible.

El rendimiento total será:

Rendimiento de la caldera	Rendimiento de la máquina
Aprovechado por la caldera. $(340^{\circ}-171^{\circ})0,24 = 40,5 \text{ cal Kil.}$	
Calor del gas $(340^{\circ}-25^{\circ})0,24 = 75,6 \text{ cal Kil.}$	$\times \left(1 - \frac{323^{\circ}}{444^{\circ}}\right) = 0,536 \times 0,276 = 0,1463$

De las 75,6 cal. k. que lleva cada kilo de gas volcánico, se aprovecharían pues teóricamente $75,6 \times 0,1463 = 11,06 \text{ cal. k.}$

Por el apartamiento del ciclo real del vapor, del teórico de Rankin, el rendimiento por este concepto descendería al 0,90, y un 0,75 por la pérdida mecánica de rozamientos de la máquina, por lo que el rendimiento práctico será de:

termodi	Resistencia
caldera	máquina
námico.	mecánica.

$$0,536 \times 0,273 \times 0,90 \times 0,75 = 0,0986$$

Por lo tanto, de las 75,6 cal. k. que lleva cada kilo de gas, se aprovecharían 7,46 cal.k., equivalente a 7,46 cal. x 427 = 3.185 kilogrametros = 42,5 C.V. De los cuales 12,5 C.V. sería necesario emplear para accionar los tractores centrífugos del gas volcánico y otros 10 C.V. para los ventiladores del condensador, quedando en definitiva como energía utilizable unos 20 P.V.

b).- Propuesta de motor de aire caliente para este aprovechamiento.

Para evitar el empleo del agua en la instalación, proponemos el motor de aire caliente con las instalaciones siguientes:

El "gas volcánico" extraído de los sondeos como ya hemos dicho por un extractor centrífugo, será conducido a una caldera tubular, donde cederá su calor de 613° absolutos (1), hasta $T + 25^{\circ}$, al aire atmosférico que circulará por dentro de los tubos, después de comprimido con un compresor, desde 1 a P atmósferas de presión. Este aire comprimido entra en la caldera a la temperatura T' por la compresión que sufre.

El antedicho aire comprimido se calienta en la caldera a T'' y a dicha temperatura y presión P atmósferas, será utilizado en el cilindro motor, donde se expansiona y cede su energía, desde la presión P a 1 atmósfera, descendiendo su temperatura desde T'' a T''' .

El calor cedido a presión constante, por cada kilo de "gas volcánico" es: $C(613^{\circ} - (T + 25^{\circ})) = C(588^{\circ} - T') = C(588^{\circ} - 298^{\circ} \times P^{0.29})$

(Véase fórmula del pie de la lámina 8).

El calor tomado en la caldera por los kilos de aire comprimido que es conveniente inyectar en la caldera, por cada kilo de "gas volcánico", que pasa por ella es:

$$C.m. (T'' - T') = C.m. (T'' - 298^{\circ} \times P^{0.29})$$

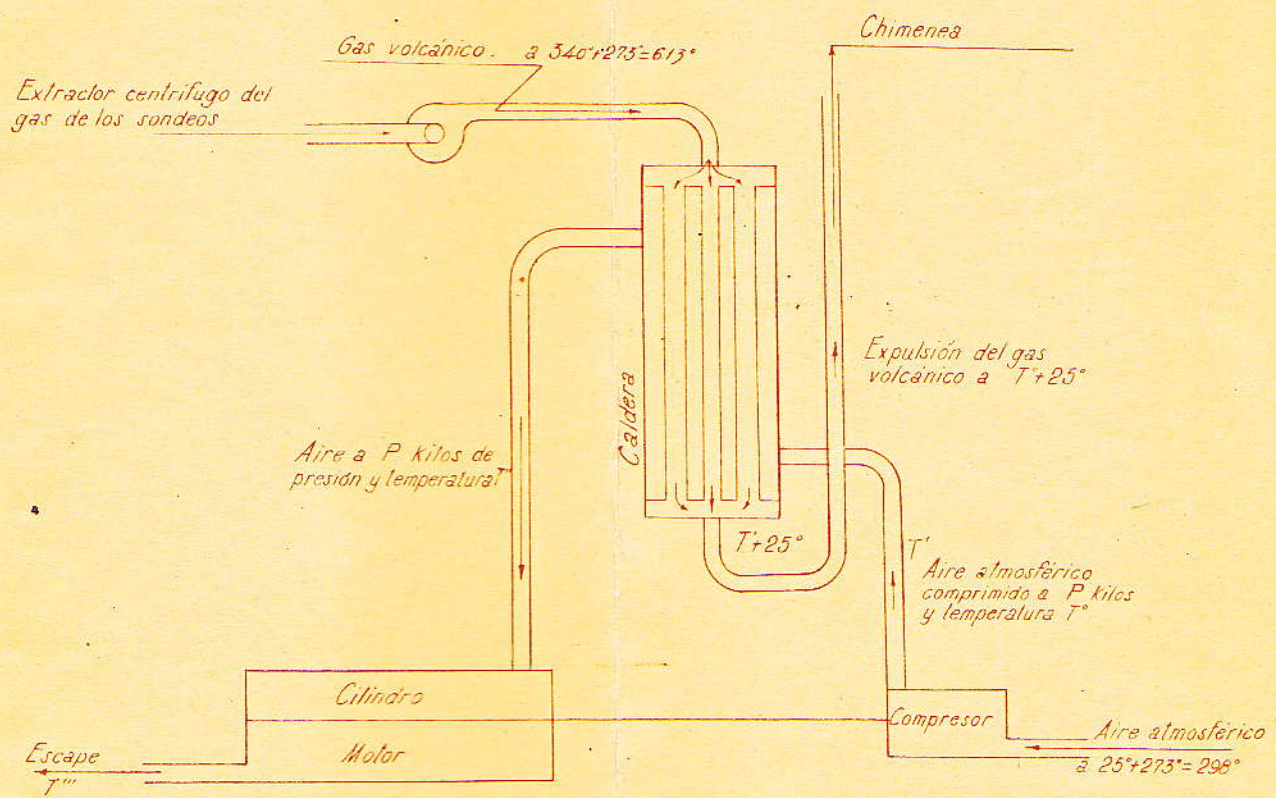
y como evidentemente, el calor cedido por el "gas volcánico" es igual al tomado por el aire comprimido

$$C(588^{\circ} - 298^{\circ} \times P^{0.29}) = C.m. (T'' - 298^{\circ} \times P^{0.29})$$

(1) Véase lámina 8.-

Propuesta del motor de aire caliente

351



Expansión adiabática de P a 1 atmósf

$$\frac{T''}{T} = P^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = P^{0.29}$$

Compresión adiabática de 1 a 6 atmósferas

$$\frac{T}{298} = P^{0.29}$$

$C = 0.24$ calor específico del aire a presión constante
 $c = 0.168$ " " " " " " volumen constante

$$\frac{C}{c} = \kappa = 1.41$$

$$\frac{T''}{T} = \frac{T}{298}$$

Equivalente mecánico del calor - 1 caloría Kilo = 4.27 kilogrametros

La temperatura del aire que va al motor es:

$$T'' = \frac{588^\circ + 298^\circ (m-1) \times P^{0.29}}{m}$$

Para calcular el rendimiento de la caldera, tendremos en cuenta que, el número de calorías que lleva 1 kilo de "gas volcánico" sobre la temperatura ambiente de $25^\circ = 298$ grados absolutos, es el siguiente:

$$C (613^\circ - 15^\circ) \text{ cal Kilo} = 0.24 \times 315^\circ = 75.6 \text{ cal Kilo}$$

siendo dicho rendimiento:

$$\frac{\text{Calor que cede el kilo de gas en la caldera } C (588^\circ - 298^\circ \times P^{0.29})}{\text{Calor que lleva el gas por kilo } C (613^\circ - 298^\circ)}$$

Del estudio termodinámico de esta clase de motor (Véase Nota III al final del Informe), resulta que el valor más conveniente de m es, $m = 1$.

Para dicho valor $m = 1$, T'' toma el valor de 588° , deduciéndose la compresión P , concordante de la fórmula de la

$$\text{Nota } P^{0.29} = \sqrt{\frac{588^\circ}{298 + 1 \times 52.15}} = \sqrt{1.68} = 1.295$$

$$\text{es decir } P = 1.68^{\frac{1}{2 \times 0.29}} = 2.446 \text{ atmósferas}$$

con lo que se deduce la escala de temperaturas del equipo.

Aire aspirado por el compresor	298°	Temperaturas absolutas	Centígrados	25°
Aire comprimido e introducido en la caldera	$T' = 298^{\circ} \times P^{0,29} = 298^{\circ} \times 1,295 = 286$			113°
Aire comprimido, calentado en la caldera, para su admisión en el motor	$T'' = 613^{\circ} - 25 = 588^{\circ}$			315°
Aire de escape del motor	$T''' = 588^{\circ} \frac{1}{P^{0,29}} = 588^{\circ} \frac{1}{1,295} = 454$			181°
Gases de la chimenea	$T' + 25 = 386 \times 25 = 411$			138°
Temperatura de los gases volcánicos	613			340°

El rendimiento de la instalación sería:

$$\frac{\text{Rendimiento de la caldera}}{\frac{T'' - T'}{613^{\circ} - 298^{\circ}}} \times \left(1 - \frac{T'''}{T''} - 52,15 \text{ m} \frac{P^{0,29} - 1}{T'' - T'} \right) = \text{Rendimiento del motor}$$

Sustituyendo valores, el rendimiento es:

Rendimiento de la instalación mecánica

Rendimiento de la caldera	Rendimiento termo-dinámico	Pérdida en la compresión del aire	Rendimiento caldera motor
---------------------------	----------------------------	-----------------------------------	---------------------------

$$\left(\frac{202}{315} = 0,641 \right) \times \left(\left(1 - \frac{454}{588} = 0,228 \right) - \left(52,15 \frac{1,295 - 1}{202} = 0,076 \right) \right) = 0,641 \times 0,152 = 0,0974 \text{ o sea } \text{el } 9,74 \%$$

De los (340°-25°) 0,24 = 756 cal.k. que tiene el kilo de gas, se aprovecharían teóricamente más que

$$75,6 \times 0,0974 = 7,36 \text{ cal.k.}$$

En la Nota IV del final del Informe, se estudia la conveniencia de aprovechar los escapes del motor, que llevan 181° y los de la chimenea, que escapan con 138°; en una segunda instalación de aire caliente, resultando, que no se ganaría en ella más que un aprovechamiento efectivo de 1,93 cal.kilo por

kilo de "gas volcánico" extraído del subsuelo, por lo que es preferible conformarse con las 7,36 cal. aprovechadas en el primer motor.

El ciclo termodinámico del aire casi no se aparta del ciclo de Rankin, por lo que por este concepto descendería el rendimiento sólo 0,95, (algo menos que en la máquina de vapor que es de 0,90) por ser el aire que empleamos en el motor un gas perfecto que sigue fácilmente el ciclo de Rankin y por las pérdidas mecánicas de rozamiento de la maquinaria, descendería el rendimiento al 0,70, (algo más que en la máquina de vapor, que es de 0,75), por ser el motor de aire de cilindros mucho más voluminosos que la máquina de vapor, por lo que el rendimiento práctico sería de:

Cámara		
de ca-	Terme-	
lenta-	diná-	Mecá-
miento.	Motor	nico.

$$0,641 \times 0,152 \times 0,95 \times 0,70 = 0,0648$$

Por lo tanto, de las 75,6 cal k. que lleva cada kilo de "gas volcánico", aprovecharíamos solamente en la cámara de calentamiento del aire 48,5 cal.k., de las cuales, en la máquina se aprovecharía el 0,101, o sea 4,9 cal.kilo, equivalentes a 2.070 kilogrametros, o sea 28 C.V. De los que, restando unos 13 C.V. necesarios para los extractores centrífugos del "gas volcánico", (la energía consumida en los compresores, cuyas pérdidas se han tenido en cuenta al calcular el rendimiento del motor), resultaría una energía libre utilizable para esta "estación piloto", de 15 HP., en lugar de los 20 HP que se conseguirían con la máquina de vapor.

CONCLUSIONES

Como complemento de cuanto queda expuesto, podemos establecer las siguientes conclusiones:

A).- El aprovechamiento del flujo calorífico que del interior de la tierra asciende hasta la superficie, así como el acumulado por dicho flujo en el subsuelo, es imposible captarlo para su utilización racional con los medios que hoy disponemos, dada la gran profundidad que es preciso alcanzar para obtener una temperatura lo suficientemente alta, para que el desnivel termodinámico entre dicha temperatura y la de la superficie, fuera técnicamente aprovechable. Esto sin tener en cuenta la gran extensión de terreno que sería preciso ocupar para obtener un potencial apreciable, según ha quedado demostrado.

B).- En las regiones volcánicas modernas, como es en este caso la Isla de Lanzarote, en dónde se han registrado recientemente reiterados fenómenos volcánicos, que han producido en el subsuelo de la Isla varios lacolitos lávicos que aún están calientes, alojados dentro de las grietas tectónicas volcánicas de la Isla, el problema del aprovechamiento del calor interno es diferente, ya que los lacolitos poco profundos, acercan sus altas temperaturas a la superficie y son grandes focos de calor acumulado que están constantemen-

te emitiendo flujos de calor, que en ciertos casos puede ser aprovechado.

En general, estas inyecciones de lava fundida se solidifican y enfrían rápidamente por estar encajadas en las regiones superficiales de rocas finas de la corteza de la tierra; casi con tanta rapidez como la que surge a la superficie y sobre ella se extiende; porque se surca profusamente de una red de canales y grietas orientadas en todos los sentidos, abiertas en la lava por la contracción que sufre, al pasar de su estado líquido fundido a su solidificación.

Por las regiones dónde afloraría la superficie, dichas grietas y canales, entra el aire frío atmosférico, que corre a lo largo de la grieta tectónica y alcanza las zonas de lava caliente, y se calienta rápidamente en su recorrido entre la lava y busca después su salida a la superficie ascendiendo por otras grietas, merced al tiro que produce su alta temperatura.

Estos circuitos de aire, en su recorrido, enfrían rápidamente las lavas y abisman sus temperaturas, imposibilitando generalmente su aprovechamiento.

Debido a esto, en Lanzarote se ven verdaderas colonias de cráteres y aparatos volcánicos fríos, a pesar de que sus últimas erupciones, tuvieron su período de actividad, entre los años 1730 al 1736 y en el año 1824.

C).- Sin embargo, hay que tener en cuenta que el grado geotérmico de estas regiones volcánicas siempre es más elevado que el de los continentes estables y puede ser aprovechable si existe un agente que desde la superficie pueda descender hasta las regiones de lava calientes, robando al magma parte de su calor, para transportarlo después hasta la superficie, como sucede con las "aguas juveniles" y "géiseres", o con las "solfataras" y "sofiones", en los que el agente son gases producidos en la última fase de la erupción, de los que se puede aprovechar no sólo su termalidad, sino también los elementos útiles que pueden contener.

En la Montaña de Fuego, no se observa ninguna de estas manifestaciones, pero en cambio, han contribuido dos circunstancias favorables a mantener el calor de las lavas relativamente cerca de la superficie.

Una de estas es que en el lacolito lávico que existe bajo la montaña, no obstante estar tan agrietado y permeable al aire como todas las lavas solidificadas, el aire que ha penetrado en sus grietas, está aprisionado, bajo la campana impermeable al aire, de la costra de "picón cementado" que cubre la superficie de la Montaña, que ha impedido la aereación del lacolito y por lo tanto, su enfriamiento.

Y la otra circunstancia, es debida a la retención del calor de las lavas debajo de estas costras de "picón metamórfico", debido a su gran poder diatérmico que evita el enfriamiento de la lava al quedar aislada de la atmósfera fría de

la superficie. Dada la poca conductibilidad calorífica de esta costra, y su perfecto aislamiento, dichas campanas hacen el papel de un acumulador del calor interno, que retrasa notablemente la retroacción del calor de las lavas fundidas hacia el interior de la tierra. Hasta el punto de haber llegado a observar, por las grietas que se forman en la superficie de esta costra, de "picón", según queda dicho, temperaturas de 350° en la Montaña de Fuego y 400° en el Islote de Hilario, a escasa profundidad de la superficie.

D).- Basta romper esta costra de "picón cementado" en las zonas de este macizo montañoso, dónde se observa calor en la superficie, para que surja el aire caliente almacenado debajo de ella, produciéndose los espectaculares fenómenos caloríficos que tanto atraen al turismo en esta Isla.

E).- Dos focos principales de calor existen en este macizo montañoso, según puede verse en el adjunto plano; uno en la vertiente Norte de la Montaña de Fuego; y otro en la falda Noroeste de dicha montaña, conocido con el nombre de Islote de Hilario.

En el primer foco se obtiene aire caliente con temperaturas de 250° a 350°, dando una media normal de unos 300°.

F).- Este aire caliente subterráneo, que aunque por su composición química hemos podido comprobar que no es más que aire atmosférico, le hemos denominado "gas volcánico", para distinguirlo del aire frío del exterior, en las consideraciones

que para su aprovechamiento industrial hemos hecho. La captación de dicho aire caliente es muy sencilla, pues basta perforar una serie de sondeos, más o menos profundos, según convenga, atravesando el "picón suelto" hasta llegar a la lava caliente y aspirar por ellos dicho "gas volcánico". Conviene recubrir previamente con mortero de cal, las grietas naturales de la costura de "picón cementado" de la superficie, para evitar las pérdidas de aire caliente al exterior.

G).- Para el aprovechamiento de la energía calorífica de este gas, consideramos que lo más práctico es recurrir a una instalación de motores de aire caliente, en vista de las enormes dificultades que habría que vencer para obtener el agua suficiente para alimentar un turbo-generador de vapor, dada su gran distancia al mar y elevada altitud, - de 300 metros en la Montaña de Fuego y 200 metros en el Islote de Hilaric - y la carencia absoluta en esta región de aguas superficiales de escorrentía ni subterráneas.

H).- Antes del aprovechamiento del calor de estos dos focos, con motores de aire caliente, proponemos la instalación de una "estación pilote" de 25 C.V. de potencia en el Islote de Hilaric, que es el que reúne mejores condiciones de ensayo, por su elevada termalidad y fácil acceso, de cuya potencia descontamos 13 C.V. para el accionamiento de los extractores del "gas volcánico" y que han de impulsarlo a lo largo de las tuberías de pequeña sección de la caldera, quedando una energía aprovechable de unos 15 C.V. de libre utilización industrial.

Con tal instalación de prueba se estudiaría el comportamiento del lacolito en el transcurso del tiempo, por lo menos un año, con todo detenimiento y la pérdida de



MINISTERIO
INDUSTRIA Y COMERCIO

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO
DE ESPAÑA

501

calor de los gases volcánicos, tanto en dicho lugar como en la Montaña de Fuego, una vez que fuera transportada esta instalación a dicho lugar, después que se haya estudiado bien las características de su comportamiento en el Islote de Hilario.

Estudiado dicho comportamiento, habría llegado el momento de proyectar una instalación mayor, dentro siempre de las posibilidades de utilización térmica de este macizo montañoso a que dieron lugar dichas observaciones, respondiendo esta con un mayor conocimiento de causa a las características más adecuadas para su utilización industrial.

Lo que juzgamos ha de ser la solución más adecuada que puede darse al aprovechamiento del calor de dicha Montaña de Fuego de Lanzarote, dando con esto por terminada la honrosa misión que se nos ha confiado.

Madrid 8 de Marzo de 1949

El Ingeniero Delegado
Jefe del Distrito Minero
de Las Palmas,

El Ingeniero Vocal

Antonio Lombas

T. Llorca

El Ingeniero Vocal
Jefe de la Expedición,

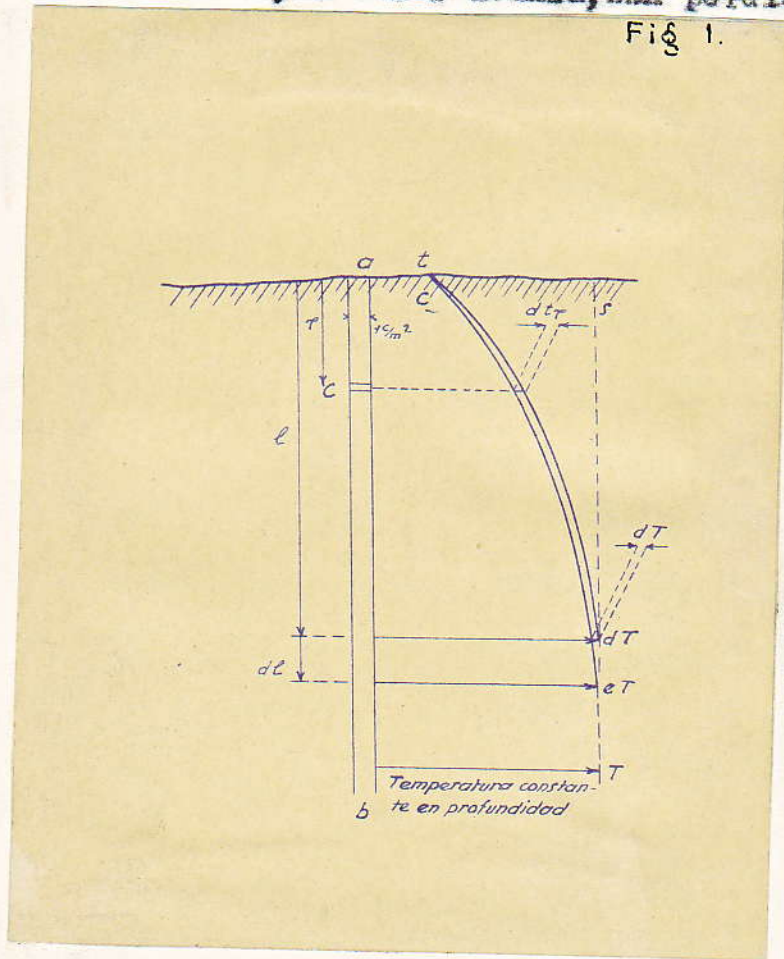
Vº. Bº.
EL DIRECTOR,

Fernando Berrio

Yacé y- Llorca

Refrigeración de los terrenos por pozos o sondeos

Para el estudio del avance de la refrigeración de una masa de terreno, que está a la temperatura T , por una superficie plana, que está mantenida a una temperatura t inferior constante, nos valemos del prisma ab de 1 cm.^2 de sección de la fig. adjunta, dentro del cual, el calor avanza, sin pérdida lateral alguna.



El calor que sale por la cabeza a del prisma en el tiempo θ es el área del triangulo curvilíneo acd comprendido entre las curvas de temperaturas del prisma a lo largo de el cd correspondiente al tiempo θ y la cs correspondiente al tiempo $\theta + d\theta$

En el tiempo $d\alpha$ la refrigeración ha penetrado en el terreno dl .

301

Rectificando dicho triangulo de base $d\alpha=dl$ y de altura $cg=T-t$, el calor antedicho será, aproximadamente

$$1/2 \text{ dl } (T-t)c$$

Por otra parte, dicho calor puede expresarse en función del gradiente térmico medio $\frac{T-t}{l}$ que lo impulsa hacia la superficie y el coeficiente de conductibilidad K del terreno; calor que en el tiempo considerado, $d\alpha$ será $K \frac{T-t}{l} d\alpha$

Iguando las anteriores expresiones del calor que nos ocupa, tendremos $\frac{1}{2} dl(T-t)c = K \frac{T-t}{l} d\alpha$

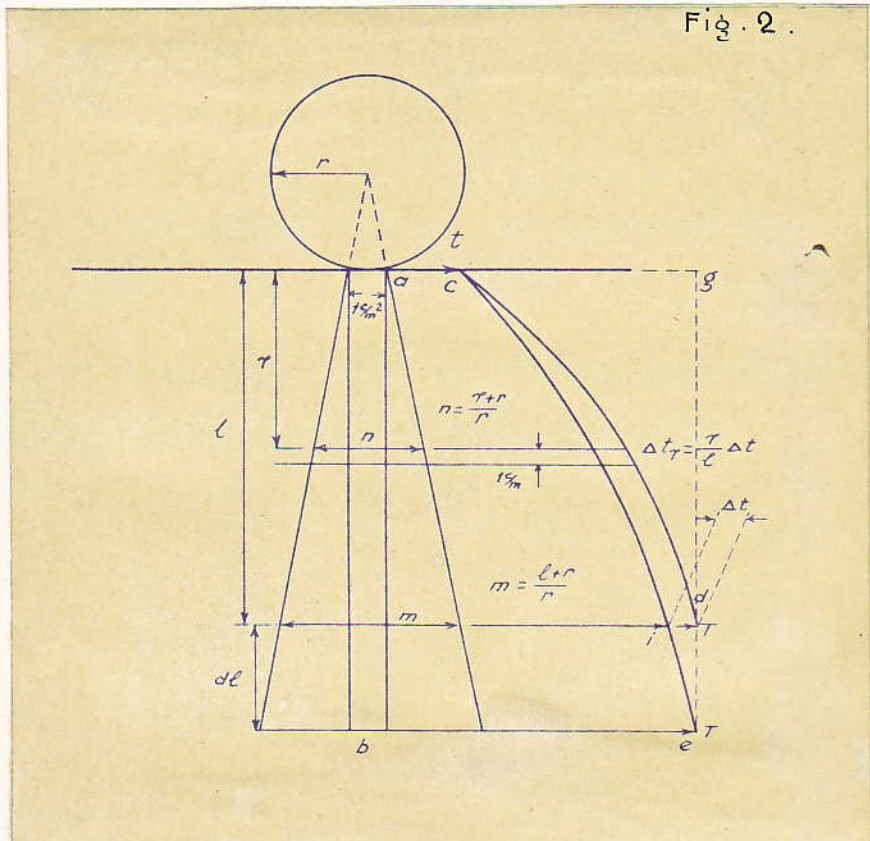
Llegando a la sorprendente conclusión de que la velocidad instantánea de refrigeración $\frac{dl}{d\alpha} = 2 \frac{K}{c} \frac{1}{l}$ no depende del desnivel térmico, sino solamente de una constante $\frac{K}{c}$ que es específica del medio considerado por estar integrada por constantes de dicho medio y que se denomina, coeficiente de velocidad de propagación de la temperatura en el medio considerado.

Integrando la antedicha expresión de $l=0$ a L y de $\alpha=0$ a α , tendremos la relación que liga a la penetración de la temperatura en el medio, en función del tiempo.

$$l = \sqrt{4 \frac{K}{c} \alpha}$$

En los casos de pozos o sondeos, el problema es mas complejo y recurriremos al artificio de comparar el calor que sale por cada $cm.^2$ de pared del pozo o sondeo en el tiempo $d\alpha$ con el que surge de la superficie plana.

En la superficie plana, el calor que sale de la cabeza del prisma gb en el tiempo α puede expresarse tambien, por el triangulo curvilíneo de base t y de altura l , despreciando el triangulo inferior $1/2 \Delta t \alpha$ por ser producto de infinitesimales. dicho calor será $1/2 \Delta t \cdot l \cdot C$



En el caso de pozos o sondas de radio r (vease fig.ª 2) con sideraremos, la cuña truncada de base menor de l cm. como la cabeza del prisma, y de base mayor $l \text{ cm.} \times m = l \text{ cm.} \times \frac{l+r}{r} \text{ c/m}$

La cantidad de calor, que en este caso sale por a la obtendremos de $l = 0$ a l la cantidad de calor que pierde cada sección recta de la cuña truncada, que es

$(l \text{ cm} \times n = \text{base})(l \text{ cm} = \text{altura})(\Delta t_r \text{ caída de temp.}^\circ) \cdot C =$

$$\frac{r+r}{r} \times \frac{r}{l} \Delta t_r c = \frac{\Delta t}{l r} c (r^2 + r^2)$$

que integrada nos da el valor

$$\frac{\Delta t}{l r} c \left(\frac{1}{3} l^3 + \frac{1}{2} r l^2 \right) = \Delta t c \cdot \frac{1}{r} \left(\frac{l}{3} + \frac{r}{2} \right)$$

La relación de los calores de ambos casos es:

$$\frac{\text{sondeo o pozo } \Delta t c \frac{l}{r} \left(\frac{l}{3} + \frac{r}{2} \right)}{\text{superficie plana } \frac{1}{2} \Delta t c l} = \frac{2}{r} \left(\frac{l}{3} + \frac{r}{2} \right) = \frac{2}{3} \frac{l}{r} + 1$$

En la misma relación han de estar las expresiones del calor en función de la diferencial del avance calorífico dl , luego

$$\frac{\text{Expresión desconocida de pozo o sondeo}}{\text{id de superficie plana} = \frac{1}{2} dl (T-t) \cdot C} = \frac{2}{3} \frac{l}{r} + 1$$

Luego en el pozo o sondeo, la expresión del valor que consideramos es $\frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} \frac{l}{r} + 1 \right) (T-t) C dl$ que igualada con la otra expresión del mismo valor en el tiempo $d\alpha$ en función del gradiente término medio $\frac{T-t}{l}$ y de K , tendremos $\frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} \frac{l}{r} + 1 \right) (T-t) C dl = \frac{T-t}{l} K d\alpha$

$$\text{de donde } \frac{l^2}{3r} dl + \frac{1}{2} l dl = \frac{K}{C} d\alpha$$

que integrada de $l = 0$ a l y de $\alpha = 0$ a α

$$\text{nos da la relación } \frac{1}{3} \frac{l^3}{3r} + \frac{1}{2} \frac{1}{2} l^2 = \frac{K}{C} \alpha$$

que liga la distancia l a la que se extiende la refrigeración de un pozo o sondeo, en los terrenos circundantes, y el tiempo α transcurrido durante la refrigeración

$$l^2 \left(\frac{l}{9r} - \frac{1}{4} \right) = \frac{K}{C} \alpha$$

En un sondeo de radio $r = 20$ cm y terreno de coeficiente $K = \frac{2}{10^3}$ y $c = 0,4$, el tiempo necesario para que la refrigeración alcance 10 mts. de profundidad es de

$$\alpha = \frac{0,4}{2} \times 10^3 \times 1000 \text{ cm}^2 \left(\frac{1000 \text{ cm}}{9 \times 20 \text{ cm}} + \frac{1}{4} \right) = 116 \times 10^7 = 36,82$$

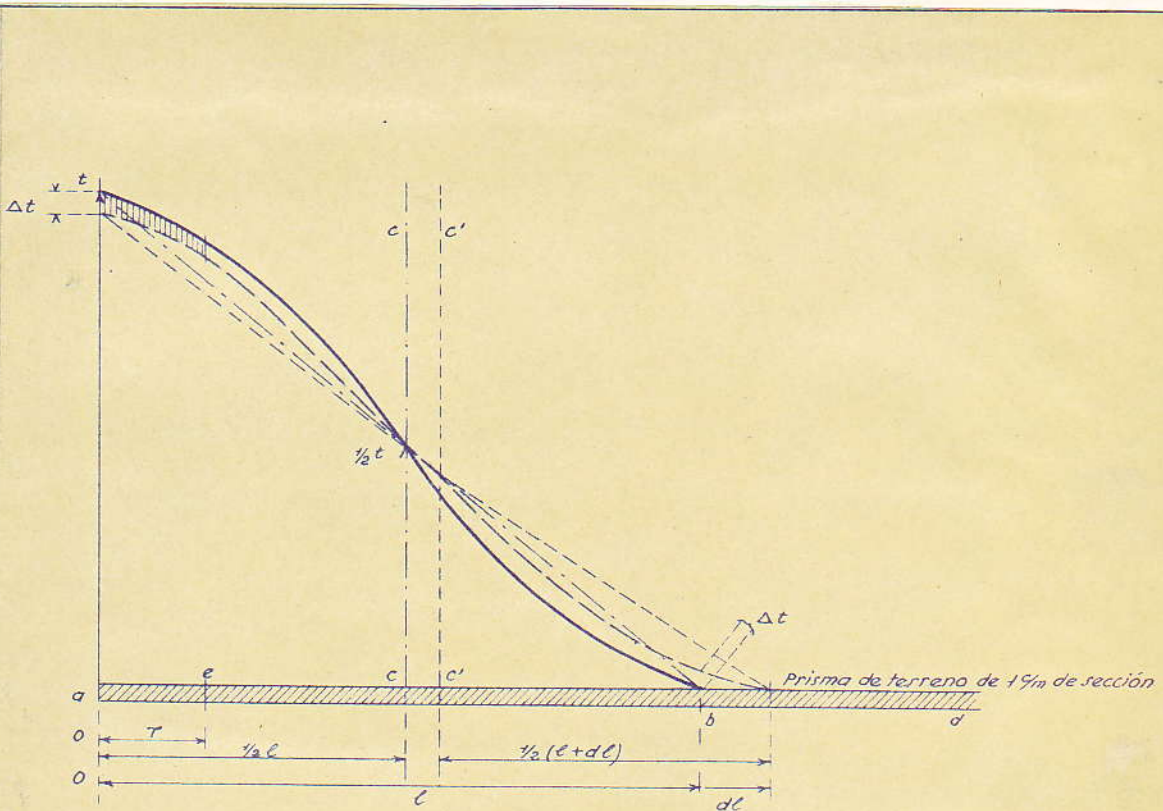
El mismo terreno enfriado por superficie plana, tarda solamente

$$\tau = \frac{0,4}{2} \times 10^3 \times \frac{1000^{-2} \text{ c/m}}{4} = 5 \times 10^7 \text{ segundos} = 1,57 \text{ años}$$

Nota II

Progresión del calor propio del extremo de un prisma, a lo largo de él, en el transcurso del tiempo, sin alimentación alguna de calor externo y sin pérdidas laterales de calor.

Fig.
1^a



PROGRESIÓN DEL CALOR PROPIO DEL EXTREMO DE UN PRISMA, A LO LARGO DE ÉL, SIN PERDIDA ALGUNA DE CALOR LATERALMENTE.

En el prisma abc de 1 cm . de sección de la figura adjunta, consideraremos que su extremo ab está caliente y sus temperaturas están distribuidas en el tiempo α según la curva llena roja de la figura El resto del prisma está a cero grados.

En el tiempo unidad posterior a α la cabeza α habrá descendido Δt de temperatura, que es ganada por el punto b, progresando el calor $d\ell$ hacia la derecha, y distribuyéndose las temperaturas según la línea azul llena de la figura El calor que ha pasado del segmento de la cabeza del prisma ad, a su prolongación db, a través de la sección C, media de ab, es el área del triángulo curvilíneo $\frac{1}{2} \Delta t \frac{1}{2} \ell$ multiplicado por el calor específico por unidad de volumen C de la materia del prisma.

El calor que pasa por la sección e hacia la derecha, es el área del trapecio rayado $\frac{\Delta t + \Delta ct}{2} \times r$ multiplicado por C y como $\Delta t_r = \Delta t \frac{\frac{1}{2} \ell - r}{\frac{1}{2} \ell}$ el mencionado calor será

$$c \frac{\Delta t}{2} \left(2r - \frac{r^2}{\frac{1}{2} \ell} \right)$$

Dicho calor, expresado en función del gradiente término $\frac{dt}{dr}$ que lo impulsa para pasar a través de la sección e y del coeficiente de conductibilidad calorífica K de la materia del prisma, es:

$$\frac{dt}{dr} K$$

Luego $dt = \frac{c}{k} \frac{\Delta t}{2} \left(2r - \frac{r^2}{\frac{1}{2}l} \right) dr$ que integrada desde t a t_r y de r a r $\int_t^{t_r} (-dt) = \frac{c}{k} \frac{\Delta t}{2} \left(\int_r^r 2r dr - \int_r^r \frac{r^2}{\frac{1}{2}l} dr \right)$ nos da $t - t_r = \frac{c}{k} \frac{\Delta t}{2} \left(r^2 - \frac{1}{3} \frac{r^3}{\frac{1}{2}l} \right)$ por lo que la ecuación de la curva de temperatura es $t_r = t - \frac{c}{k} \frac{\Delta t}{2} \left(r^2 - \frac{1}{3} \frac{r^3}{\frac{1}{2}l} \right)$ que para $r = \frac{1}{2}l$ nos dará la temperatura \hat{t} del punto central d de la transmisión de calor; luego

$$\frac{1}{2} t = t - \frac{c}{k} \frac{\Delta t}{2} l^2 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{3 \cdot 4} \right) = t - \frac{c}{k} \frac{\Delta t}{2} l^2 \frac{1}{6}$$

por lo que $\frac{c}{k} \frac{\Delta t}{2} = \frac{6}{l^2} \frac{1}{2} t$

Luego la ecuación de la curva de temperaturas en función de los términos geométricos de la figura es

$$t_r = t - \frac{6}{l^2} \frac{1}{2} t \left(r^2 - \frac{1}{3} \frac{r^3}{\frac{1}{2}l} \right)$$

Velocidad de la progresión del calor a lo largo del Prisma.

Como el tiempo unidad que hemos tomado antes, es el segundo, puede considerársele por su pequeñez como da y a Δt como dt .

El calor que ha salido del segmento ad y ha pasado por el punto d , se ha distribuido por el segmento db y su valor es el área comprendida entre las dos curvas de temperaturas roja y azul, que podemos considerar como un triángulo curvilineo, de base dl y altura \hat{t} , por lo que dicho calor será aproximadamente $\frac{1}{2} dl \times \frac{1}{2} t.c$

El gradiente término impulsor que desplaza a dicho calor y lo distribuye a lo largo de la longitud \hat{l} del segmento db es $\frac{\frac{1}{2}t}{\frac{1}{2}l}$ por lo que el calor puede expresarse en la

forma $\frac{t}{l} k d\alpha$ Por lo que tendremos $\frac{1}{2} dl \times \frac{1}{2} t.c$

La velocidad instantanea del avance del calor a lo largo del
prima es $\frac{dl}{d\alpha} = 4 \frac{k}{c} \frac{1}{l}$ independiente de la temperaturas que
impulsaron al calor y solo proporcional al coeficiente espe-
cifico del medio $\frac{k}{c}$ que se denomina, coeficiente de veloci-
dad de progresión de las temperaturas en el medio considera-
do e inversamente proporcional a la longitud l alcanzada por
el calor, en el momento considerado.

Integrada la anterior expresión entre 0 y l y 0 y

tendremos $\frac{1}{2} l^2 = 4 \frac{k}{c} \alpha$

y el avance del calor en el tiempo α es $l = \sqrt{8 \frac{k}{c} \alpha}$

Estudio termodinámico del motor de aire caliente.

El calor perdido por el escape del motor, que lleva los m kilos de aire expansionados en él ^{hasta} a 1 atmósfera, a volumen constante, es $m.c.(T'''-298)$ y el calor perdido por el trabajo mecánico efectuado por el cilindro motor para expulsarlo a la atmósfera, a la temperatura T''' es :

$m.V''' \text{ mtr.}^3 \times 10.000 \text{ kilos} = m.R.T'''$; equivalente a una cantidad de calor $m \cdot \frac{R}{E} \cdot T'''$, del que hay que restar, el trabajo que produce en el cilindro del compresor, la entrada de los m kilos de aire a 298° , que es $m.V \text{ mtr.}^3 \times 10.000 \text{ kilos} = m.R.298$ equivalente a un calor $m \cdot \frac{R}{E} \cdot 298$

La compresión del aire en el compresor, requiere un trabajo, equivalente a una cantidad de calor

$$m.c.(T' - 298) = m.c.(298.P^{0.29} - 298)$$

Esta compresión requiere un trabajo mecánico 1,25 superior al antedicho por las pérdidas mecánicas del compresor, es decir $1,25 \times m.c.298 (P^{0.29} - 1)$, y como en el cilindro motor no se recupera mas que $m.c.298 (P^{0.29} - 1)$, resulta una pérdida por este concepto de $0,25.m.c.298 (P^{0.29} - 1)$.

Sumando todas las pérdidas antedichas resulta un total de $m.c.(T'''-298) + (m \cdot \frac{R}{E} \cdot T''' - m \cdot \frac{R}{E} \cdot 298) + 0,25.m.c.298.(P^{0.29}-1).m \times (c + \frac{R}{E}) \times (T''' - 298) + 0,25.m.c.298.(P^{0.29}-1)$

y como para la relación paramétrica $c + \frac{R}{E} = c.k = C$, el calor perdido total Q_2 será $Q_2 = m.C (T''' - 298) + 0,25.m.c.298 (P^{0.29} - 1)$
El calor que toman en la caldera los m kilos de gas, comprimido a presión P constante, es como ya hemos dicho antes

$$Q_1 = m.C (T'' - T')$$

Luego el rendimiento calorífico que se logra en el motor

$$\text{es } \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{(T'' - T') - (T''' - 298)}{T'' - T'} - 0,25 \cdot \frac{c}{C} \cdot 298 \cdot \frac{P^{0,29} - 1}{T'' - T'} = \left(1 - \frac{T''' - 298}{T'' - T'}\right) - 0,25 \cdot \frac{0,168}{0,24} \cdot 298 \cdot \frac{P^{0,29} - 1}{T'' - T'} = \left(1 - \frac{T''' - 298}{T'' - T'}\right) - 52,15 \frac{P^{0,29} - 1}{T'' - T'}$$

y teniendo en cuenta que $T' \cdot T'' = T''' \times 298$, y que $T' = 298 \cdot P^{0,29}$ (veanse formulas al pie del croquis de la instalación), re-

$$\text{sulta } \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \left(1 - \frac{T''}{T'} \frac{T''' - 298}{T''' - 298}\right) - 52,15 \frac{P^{0,29} - 1}{T'' - 298 P^{0,29}}$$

Sustituyendo en la formula anterior el valor de

$$T'' = \frac{588 + 298(m-1)P^{0,29}}{m} \quad \text{y como } \frac{T''}{T'} = \frac{1}{P^{0,29}}$$

$$\text{tendremos } \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \left(1 - \frac{T''}{T'}\right) - 52,15 \frac{m(P^{0,29} - 1)}{588 + 298m P^{0,29} - 298 P^{0,29} - 298 P^{0,29}}$$

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \left(1 - \frac{1}{P^{0,29}}\right) - 52,15 m \frac{P^{0,29} - 1}{588 - 298 P^{0,29}} = 1 - \frac{1}{P^{0,29}} - 52,15 \cdot m \left(-\frac{1}{298} + \frac{0,973}{588 - 298 P^{0,29}}\right)$$

El rendimiento total será:

← Rendimiento caldera →

$$\begin{aligned} & \frac{588 - 298 P^{0,29}}{613 - 298} \left(1 - \frac{1}{P^{0,29}} + 52,15 m \frac{1}{298} - 52,15 m \frac{0,973}{298 \left(\frac{588}{298} - P^{0,29}\right)}\right) = \\ & = \frac{1}{613 - 298} \left(588 - \frac{588}{P^{0,29}} + 588 \frac{52,15}{298} m - 52,15 m \cdot \frac{588}{298} \cdot \frac{0,973}{(1,973 - P^{0,29})} - 298 P^{0,29} + \right. \\ & \left. + 298 - 52,15 m \cdot \frac{298}{298} P^{0,29} + 52,15 m \frac{298}{298} \frac{0,973 \times P^{0,29}}{1,973 - P^{0,29}}\right) = \frac{1}{613 - 298} \left(588 + 298 - \frac{588}{P^{0,29}} - 298 P^{0,29} + m 52,15 (1,973 - P^{0,29} - 0,973)\right) = \\ & = \frac{1}{613 - 298} \left(588 + 298 - \frac{588}{P^{0,29}} - 298 P^{0,29} + m 52,15 - m 52,15 P^{0,29}\right) \end{aligned}$$

Este rendimiento será máximo cuando la relación entre los valores de P y m anulen a su derivada, con relación a P

$$-588 (-0,29) P^{-1,29} - 298 \times 0,29 \times P^{-0,71} - m \cdot 52,15 \times 0,29 \cdot P^{-0,71} = 0$$

luego $\frac{588}{P^{1,29}} = \frac{298+m \cdot 52,15}{P^{0,71}}$ por lo tanto, $\frac{P^{1,29}}{P^{0,71}} = \frac{598}{298+m \cdot 52,15}$ $P^{0,58} = \frac{588}{298+m \cdot 52,15}$

Por lo que $P = \left(\frac{598}{298+m \cdot 52,15} \right)^{\frac{1}{0,58}}$ $P^{0,29} = \left(\frac{588}{298+m \cdot 52,15} \right)^{\frac{0,29}{0,58}} = \frac{1}{2}$

La temperatura de la caldera, $T'' = \frac{588+298(m-1)P^{0,29}}{m}$

toma la forma $T'' = \frac{588+298(m-1)\sqrt{\frac{588}{298+m \cdot 52,15}}}{m}$

Para no perder los 25° de diferencia térmica, que hemos adoptado al pie de la caldera, entre los gases y el aire para facilitar el paso del calor de los unos al otro, la temperatura T'' de salida del aire comprimido de la cabeza de la caldera, no debe ser mayor de 613 - 25 = 588° es decir que:

$$T'' = \frac{588+298(m-1)\sqrt{\frac{588}{298+m \cdot 52,15}}}{m} = 588$$

por lo que a m, no se le puede dar valores inferiores a la unidad que aumenta el valor de T'' sobre 588°.

El valor de m = 1 mantiene la temperatura T'' exactamente igual a 588°, sosteniéndose la misma diferencia térmica entre gases y aire, en la cabeza y en la base de la caldera.

Para valores de m mayores a uno, el valor de T'' disminuye por debajo de los 588°, aumentándose la diferencia térmica entre gases y aire en la cabeza de la caldera, en beneficio del paso del calor de los gases al aire, pero para estos valores de m, disminuye el rendimiento, por los mayores volúmenes de aire que hay que comprimir mecánicamente con el compresor, por lo que el valor más conveniente de m es m = 1.

Nota IV

Segunda máquina para aprovechar los gases calientes del escape de la primera.

Los gases del escape del motor a $180^{\circ} = 454^{\circ}$ absolutos y de la chimenea a $138^{\circ} = 411^{\circ}$ absolutos, deben emplearse en una segunda instalación semejante a la anterior, en la que se aprovechará para cada kilo de gas extraído del lacolito, 2 kilos de gas caliente a la temperatura media de

$$\frac{411+454}{2} = 432^{\circ} = 159^{\circ} \text{ cent}^{\circ}$$

Tomaremos la relación $\sqrt[m=1]{}$ entre los pesos de los gases calefactores y el aire comprimido aspirado por el compresor y la diferencia de temperaturas de 25° entre el gas calefactor y la caldera.

La escala de temperaturas de esta segunda instalación será

Aire aspirado por el compresor	298°	$25^{\circ} \text{ cent}^{\circ}$
" comprimido " " "	$T' = 298^{\circ} \times P^{0.29} = 298 \times 1.077 = 321^{\circ}$	48° "
" " por el motor	$T'' = 432^{\circ} - 25 = 407^{\circ}$	134° "
Aire del escape del motor	$T''' = 407^{\circ} \frac{1}{P^{0.29}} = 378^{\circ}$	105° "
Temperatura del gas calefactor	432°	153° "
" " " de la chimenea	$T' + 25 = (321 + 25) = 346^{\circ}$	73° "

Encontraremos el valor de P por la formula

$$P^{0.29} = \sqrt{\frac{407}{298 + 1 \times 52.15}} = \sqrt{1.160} = 1.077$$

lo que nos dá una temperatura de los gases de la chimenea de $T' + 25 = 346^{\circ} = 73^{\circ}$ centígrados y del aire del escape del motor de $378^{\circ} = 105^{\circ}$.

La presión P conveniente para el compresor será

$$P = 1.163^{\frac{1}{0.29}} = 1.297 \text{ atmosferas}$$

, bastando para ello un ventilador centrifugo.

El rendimiento de la instalación ser'a

$$\frac{407-321}{432-298} \left(1 - \frac{378}{407} - 52,15 \times 1 \times \frac{1,077-1}{86} \right) = 0,641(1-0,929-0,0407) = 0,641 \times 0,03 = 0,01923$$

De los $2(159^{\circ}-25^{\circ}) \times 0,24 = 64 \text{ cal Kilog}^{\circ}$ que tienen los 2 kilos de gas calefactor utilizado en esta segunda instalación, por cada kilo de gas volcánico extraído del lacolito, se conseguiran aprovechar en esta segunda instalación

$$64 \times 0,01923 = 1,23 \text{ cal}$$

En la primera instalación el aprovechamiento térmico como hemos visto es	7,36 cal
En la segunda instalación el aprovechamiento térmico también es.	1,93
T o t a l	<hr/> 9,29

