

T
621.47
C 348



**Escuela Superior Politécnica
del Litoral
Facultad de Ingeniería Mecánica**

**Gnomonica: Utilización Ingenieril de la Geometría
Descriptiva y de las Matemáticas Avanzadas, para
mediciones de tiempo por medio de energía solar**

**Tesis de Grado
Previa a la Obtención del Título
de: INGENIERIA MECANICA**

**Presentada por:
Juan Carlos, Castelblanco Zamora**

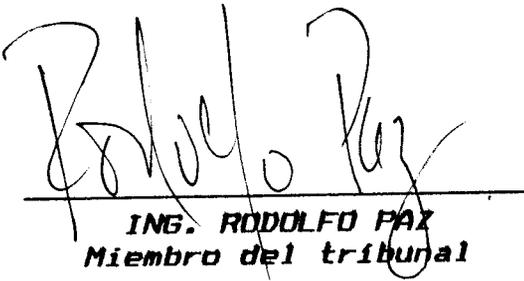
**Guayaquil - Ecuador
1991**



ING. NELSON CEVALLOS B.
Decano



ING. MARCO PAZMIRO
Director de Tesis



ING. RODOLFO PAZ
Miembro del tribunal



ING. MARIO PATINO A.
Miembro del tribunal

DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, corresponden exclusivamente al autor; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL "

< Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL >



JUAN CARLOS CASTELBLANCO ZAMORA

AGRADECIMIENTO

A MIS PADRES gracias a quienes he llegado a ser alguien en la vida.

Al Ing. Marco Pazmiño, director de mi Tesis.

Al Sr. Xavier Roca, Jonsi Castelblanco, Arq. Jorge Rivas, Alejandro Tapia, Rubén Guerrero, Ximena de Rivas, Ing. Johan Dreher, César Coronel, Ing. Nelson Cevallos, Alfredo Villamar, Dionicio Macías, Sra. Celia, Carlos Martin, Javier Velasquez, mis alumnos del Colegio Javier, personal depto. de Transportes Ingaseosas S.A., y, al grupo Alegres Corazones; por su tiempo, preocupación y servicios dados desinteresadamente en el presente trabajo.

A María Cecilia Roca por tu gran amor, pues sin tu apoyo NUNCA hubiera logrado realizar el sueño de conseguir mi título, gracias por estar siempre a mi lado y por tus oraciones.

D E D I C A T O R I A

A DIOS.

A mi MATTER.

A mi AMADA COMPANERA.

A mis Padres y Hermanos.

A mis Suegros y Cuñadas.

A mis Alumnos.

Al Personal del Transportes.

*A los jóvenes con anhelos de
justicia y constructores de un mundo
de amor.*

Y a los que vendrán, mis hijos.

RESUMEN



Uno de los principales propósitos para la ejecución de este estudio investigativo, fue la creación de un signo, hito, simbolo que da un carácter de identidad, orientación y preocupación a lo que sería tratar de ser más consecuentes con lo que nuestra casa de formación debería significar para cada uno de sus hijos, y por lo tanto, contribuir de alguna manera a sentirla más nuestra y desear que hallamos contribuido a su engrandecimiento.

El reloj urbano como servicio público, es más una señal de servicio que la respuesta a un problema existente. El gnomon que se diseñará, tratará de dirigir la mirada de todos hacia ese gran caudal de energía proveniente del astro rey, abundante en nuestro país, pero lamentablemente desaprovechada. Trataremos por lo tanto de ampliar el campo de la señal hacia nuevos objetivos.

Nuestro diseño tratará de introducir un cambio en nuestra visualización de que la energía solar solo puede ser utilizada por aquellos que están al alcance de la tecnología en, este campo, mientras que nosotros proponemos una solución al como producir información, sin pérdida de energía.

El proyecto gnomónico consta de una serie de volúmenes

interrelacionados y proporcionados entre si, no intentamos ser monumentales, pero sí emblemáticos, públicos y ecuménicos, tratar de traspasar los límites de nuestra Politécnica, para una identificación con frutos directos para Guayaquil, Ecuador y América. En definitiva colocar al Sol, como originador de vida, el tiempo como espacio astronómico y la sombra como medida natural.

El presente trabajo tratará de cumplir con el objetivo de ofrecer una metodología eficaz y de fácil manejo para el diseño de relojes de Sol, sean estos verticales, polares, declinantes u horizontales, además incluiremos la explicación sobre todas las clases de relojes de Sol, que han existido a lo largo de la historia; y su construcción en base a :

- 1) Una fórmula matemática y un proceso geométrico-descriptivo, para la obtención de relojes de Sol, en cualquier lugar del mundo, cuyos datos de ingreso son la situación geográfica del lugar elegido para la construcción, y el tipo de reloj que se desea construir.
- 2) Una maqueta en base a las fórmulas obtenidas, la que luego se comprobará y servirá como base para la construcción del prototipo.

3) Se desarrollard a lo largo de **estas** pdginas numerosas explicaciones **sobre** el origen, desarrollo, metodologia de construccibn, **diseño** y ubicacibn de **los relojes** de Sol, con sus **debidas** demostraciones, para **hacer** de este trabajo un manual de **consulta** y apoyo para el **estud iante .**

4) Se construird un prototipo, que quedard en nuestra **Politécnica** como simbolo de la utilidad del Sol, y de que **se** puede dejar una huella de nuestro **paso**, por la **institución** que nos hizo **profesionales**; es decir que cuando **se quiere se** puede.

En **otras palabras se** desarrollardn y **se** obtendrn objetivos que **seguiremos** a cabalidad y **se** llevardn aún mds allá, en beneficio de una ciencia productfva, dirigida a elevar el medio de vida de **todos**, en especial para **los jóvenes** con anhelos de **justicia** y constructores de un mundo de **amor**, para **quienes** va dirigido este trabajo.

La **mejor** aplicacibn que podemos darle a este sistema gnomónico **sería** en la **demostración** de que la energia solar **se** encuentra a nuestro alcance, debido a que no **estaría** supeditado a que **existan** **técnicos extranjeros** que nos desarrollen en **ese** campo, **sino** que **nosotros** mismos

somos los responsables de nuestro desarrollo, y que los frutos de la politécnica no son solo teóricos y para pocos, sino prácticos y para todos, como se necesita que sea.



INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	X
INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE FOTOS	XVI
INTRODUCCION	
CAPITULO 1: MARCO HISTORICO REFERENCIAL	4
1.1 Necesidades de los primeros tiempos	4
1.1.1 Nacimiento del reloj de Sol	5
1.1.2 Primeras variedades de la antigüedad y evolución	7
1.1.3 De los relojes de agua a los de cuarzo	8
1.1.4 Veinticuatro husos horarios	20
1.2 Introducción a la Energía Solar	28
1.2.1 El Sol	29
1.2.2 La Tierra	39
1.2.2.1 Nuestra situación geográfica	45
CAPITULO 2: PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.....	49
2.1 Altitud y Azimut del Sol	49
2.2 Tipos de Gnomons	59
2.3 Convenios Gnomonicos	61



2.4	Gnomons en Guayaquil	86
2.4.1	Investigación de campo	89
2.4.2	Ecuación de tiempo	92
CCIPITULO 3: DETERMINACION DE NUESTRO MODELO		97
3.1	Determinacion geométrico-descriptiva	97
3.2	Determinacion de un modelo matemático completo	99
3.2.1	Cdculos representativos.....	100
3.3	Tablas de datos y resultados	103
3.4	Modelo digno de estudiar	104
3.5	Diseño ideal para situación real	105
3.5.1	Justificación del diseño	108
3.5.2	Dimensionamiento del modelo	110
3.5.3	Determinación de la ubicación mas conveniente	111
3.5.4	Cdculos adecuados y revisión del terreno	113
CCIPITULO 4: CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO		114
4.1	Materiales y equipos a utilizarse	114
4.2	Procedimiento experimental	116
4.3	Pruebas en terreno	118
CCIPITULO 5: ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS		119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		123

BIBLIOGRAFIA 166



INDICE DE FIGURAS

- N° 1.1.1 : Principio de los relojes de Sol.
- N° 1.1.2.A : Reloj de Sol egipcio, Tutmosis III.
- N° 1.1.2.B : Primeros relojes verticales franceses.
- N° 1.1.2.C : Principio de la medición de tiempo, por medio de la variación de la sombra.
- N° 1.1.2.D : Reloj solar vertical Caldeo.
- N° 1.1.2.E : Reloj solar griego, con orificio. De bolsillo.
- N° 1.1.2.F : Reloj solar romano de cuenco.
- N° 1.1.2.G : Reloj solar judío, basado en la estrella polar.
- N° 1.1.2.H : Reloj solar vertical inglés.
- N° 1.1.2.I : El reloj solar más difundido: Horizontal.
- N° 1.1.2.J : Reloj solar sajón de bolsillo.
- N° 1.1.2.K : Reloj babilónico vertical.
- N° 2.3.A : Movimiento de la Tierra alrededor del Sol.
- N° 2.3.B : Variación en la inclinación del Sol, en la bóveda celeste en el año.
- N° 2.3.C : Relación entre la latitud y la inclinación del eje solar.
- N° 2.3.D : Relaciones terrestres solares.
- N° 2.3.E : Reloj solar anular.

- N° 2.3.F : Cálculo de un reloj solar vertical.
- N° 2.3.G : Cuadrante de un reloj solar vertical.
- N° 2.3.H : Obtención de un reloj solar de ánulo.
- N° 2.3.I : Escala de un reloj solar de ánulo.
- N° 2.3.J : Reloj solar de ánulo.
- N° 2.3.K : Metodología del reloj solar cilíndrico
- N° 2.3.L : Reloj solar cilíndrico.
- N° 2.3.M : Signos del zodiaco y sus correspondencias.
- N° 2.3.N : Relojes solares polares.
- N° 2.4.1.A : Obtención de la línea norte sur solar.
- N° 3.1.A : Método descriptivo de cálculo para nuestro modelo.
- N° 3.1.B : Cálculo de un reloj de Sol horizontal.
- N° 3.2.1.A : Diagrama del gnomon en base a nuestra ecuación.
- N° 3.2.1.B : Diagrama base para la obtención de nuestra ecuación.
- N° 3.5.2.A : Diseño del modelo
- N° 3.5.2.B : Plano de nuestro modelo
- N° 3.5.2.C : Numeración Maatiga.
- N° 3.5.2.D : Reloj lunar vertical, para el periodo de cuarto creciente a luna llena.
- N° 3.5.2.E : Reloj lunar vertical, para el periodo de luna llena a cuarto menguante.
- N° 4.1.A : Posibles alternativas del proyecto gnomónico

- N° 4.1.B : Fossible alternativa del proyecto gnomónico.
- N° 4.1.C : Fossible alternativa del proyecto gnomónico.
- N° 4.1.D : Complejo Gnomónico "Facultad de Ingeniería Mecánica".



INDICE DE FOTOS

- A** : Vista frontal del complejo gnomónico "Facultad de Ingeniería Mecánica".
- B** : Vista lateral del complejo gnomónico.
- C** : Vista posterior desde la secretaría de la facultad de Ingeniería Mecánica.
- D** : Vista posterior desde el área de Metalurgia.
- E** : Vista desde la secretaría de la facultad de Ingeniería Eléctrica.
- F** : Vista desde las aulas de la facultad de Ingeniería Eléctrica.
- G** : Vista del gnomon, con la facultad de Ingeniería Mecánica atrás.
- H** : Complejo gnomónico visto desde la plazoleta de la facultad de Ingeniería Eléctrica.
- I** : Señalamiento de los datos obtenidos por medios teóricos, para su comprobación y posterior marcaje definitivo.
- J** : Algunos valores ya comprobados y otros por comprobar.
- K** : Albañiles trabajan en la construcción de los cuadrantes declinantes.
- L** : Etapa de la construcción de parte del complejo.
- M** : Ultimos toques a la parte civil del complejo

gnomónico " Facultad de Ingeniería Mecánica".

INTRODUCCION

La energía solar es una de las fuentes de energía más antiguas y más usadas; aún cuando su empleo se remonta a muchos siglos, no ha sido un factor dominante en el consumo de energía para el desarrollo de los países en los últimos 50 años, debido a la abundancia de los combustibles orgánicos. En los años recientes, en que se está realizando un suministro limitado de estos, ha surgido la necesidad de desarrollar la energía solar con moderna tecnología a gran escala.

Una de las fuentes alternas de energía que puede ser utilizada en nuestro país como alternativa energética, es la proveniente del Sol, que puede ser utilizada adecuadamente por medio de paneles, acumuladores, calentadoras, sistemas de mediciones; toda vez que en gran parte de los lugares de la patria se cuenta con este inagotable y renovable recurso; es así como en el Litoral (Costa) se tiene un gran potencial de rayos solares originado por la situación de privilegio que ocupamos.

El presente trabajo tiene por objetivo facilitar la construcciones de sistemas gnomónicos de mediciones solares a nivel artesanal, para ello se ha desarrollado una metodología para ir encontrando los parámetros necesarios para diseñar relojes de Sol en base a las

necesidades y **características propias** del lugar de instalacido.

La necesidad de medir el tiempo **está** ligada a la actividad **útil**, al llamado tiempo de trabajo. Desde la antigüedad el hombre **sintió** la necesidad de poder medir de una **forma** o de otra, la luz del **sol**, y poder de esta manera, **utilizar** para su **mejor** provecho, las horas del día.

Puesto que el medir el tiempo está ligado a la actividad **útil**, el hombre se fue **haciendo** dependiente de esta necesidad, con lo que **nació** el tiempo de trabajo o **Jornada laboral**; el ser humano fue **teniendo** necesidad de saber cuanto tiempo había **pasado** y **por lo tanto** cuanto quedaba, cuando su jornada no fuera de sol a sol. Fue hasta entonces que **los relojes pasaron** a ser un **reto** a la habilidad **del** orfebre y **al** ingenio mecánico. El trabajo y el hombre eran solares.

En **este trabajo** nos introduciremos en el fondo de esta filosofía, la de poder medir el tiempo, filosofía que nos ha esclavizado a través de **los siglos** sin **importar razas**, procedencias, edades, **sexo**, **instrucción**, etc. ; introduciremos el **tema** desde **sus** inicios, para **luego establecer sus** aplicaciones a nuestra **realidad** actual, y sentirnos vinculados con el Sol, tal y **como** lo hicieron

· los primeros descubridores, que desarrollaron la ciencia de las mediciones de tiempo, para esto nos valdremos de la energia mas limpia y económica por el hombre conocida, presente en gran abundancia para nuestra situacion geográfica, para la cual aplicaremos el calculo y el diseño ingeneril, en su mas pura esencia, la de un reloj solar en un punto geográfico cualquiera de la Tierra, con sus limitantes por todos conocidas.

CAPITULO I

MARCO HISTORICO REFERENCIAL

1.1 NECESIDADES...DEDS, PRIMEROS TIEMPOS

Desde la antigüedad el hombre sintió la necesidad de poder medir de una forma o de otra, la luz del sol, y poder de esta manera, utilizar para su mejor provecho, las horas del día.

Puesto que el medir el tiempo esta ligado a la actividad útil, el hombre se fue haciendo dependiente de esta necesidad, con lo que nació el tiempo de trabajo o jornada laboral; el ser humano fue teniendo necesidad de saber cuanto tiempo habia pasado y por lo tanto cuanto quedaba, cuando su jornada no fuera de sol a sol. Fue hasta entonces que los relojes pasaron a ser un reto a la habilidad del orfebre y al ingenio mecánico. El trabajo y el hombre eran solares.

En este trabajo nos introduciremos en el fondo de esta filosofia, la de poder medir el tiempo,

filosofía que nos ha esclavizado a través de los siglos sin importar razas, procedencias, edades, sexo, instrucción, etc. ; introduciremos el tema desde sus inicios, para luego establecer sus aplicaciones a nuestra realidad actual, y sentirnos vinculados con el Sol, tal y como lo hicieron los primeros descubridores, que desarrollaron la ciencia de las mediciones de tiempo, para esto nos valdremos de la energía más limpia y económica por el hombre conocida, presente en gran abundancia para nuestra situación geográfica, para la cual aplicaremos el cálculo y el diseño ingenieril, en su más pura esencia, la de un reloj solar en un punto geográfico cualquiera de la Tierra, con sus limitantes por todos conocidas.

1.1.1 NACIMIENTO DEL RELOJ DE SOL

Esto nos lleva a la importantísima pregunta: Qué es un reloj?, la respuesta más simple es la más adecuada para nuestros fines, podríamos decir, que un reloj, es un aparato que sirve para medir el tiempo. Todos los métodos para estas mediciones se basan en la utilización de algunos movimientos regulares, por medio de los cuales la diferencia de tiempo se transforma en diferencia de espacio

fácilmente apreciable.

Pero luego de esto surge nuestra segunda incógnita: Qué es un reloj solar?, al igual que la definición anterior, trataremos de aclararlo de manera muy simple, reloj solar, desde sus inicios, es la utilización de las sombras proyectadas por objetos iluminados directamente por dicho astro (fig # 1), estas cambian de longitud durante el curso del día, basadas en la velocidad de la tierra sobre su propio eje, o en la aparente velocidad de rotación del Sol en torno a la tierra, siendo en realidad este el movimiento de traslación terrestre. Este instrumento no se podía utilizar de noche, o en tiempo nublado, por lo que los antiguos recurrían a la "Clepsidra".

De igual manera existieron otros métodos para medir el tiempo de noche o sin sol, o en interiores, el hombre tuvo que inventar otros métodos, y entre los primeros que discurrió figuraban los relojes de fuego, en los cuales se podía precisar el tiempo en tardaban en consumirse determinada sustancia combustible. Solían hacerse arder con este fin cuerdas de cañamo que llevaban nudos a intervalos regulares, bujías marcadas con anillos, o bien, aceite que se colocaba en lámparas en que se podía

medir la cantidad de combustible.

Los primeros relojes solares, fueron probablemente, piedras colocadas en derredor de un poste vertical, marcando las posiciones de la sombra de este conforme el sol avanzaba en la bóveda celeste. La ciencia que enseña a construir los relojes solares o de sol, o de cuadrantes recibe el nombre de Gnomónica.

1.1.2 PRIMERAS VARIEDADES DE LA ANTIGUEDAD Y EVOLUCION

El reloj de sol es un aparato fundado en la variable posición del Sol respecto de la Tierra para cada instante, y por lo tanto la variación del lugar de la sombra arrojada sobre una superficie plana o de curva, por un cuerpo iluminado directamente por dicho astro, nos indica las diversas horas del día (fig. # 2). Estos fueron los primeros relojes empleados por el hombre, llamados cuadrantes, o piedras horarias, atribuidas (desconociéndose el por qué), al Babilonio Berroso (s. VI A.C.), quien la llevó a Grecia, donde fue perfeccionado por tales de Mileto Anaximandro y Eudoxos.

Aunque esto se complementaria con relojes más antiguos de los que se tiene noticia, siendo estos claramente de sol y los primeros conocidos por la humanidad, los desarrollados en el siglo VIII A.C. en Judea, para serlos luego en el siglo VII A.C. en Babilonia, de donde pasaron a Grecia y posteriormente a Roma (fig. # 3).

Mas o menos en el siglo VI A.C., Ferecides de Lenos construyó el reloj o nomón, en la isla de Tenos, para observar los movimientos solares. Tambien se atribuye este descubrimiento a su contemporáneo Anaximandro de Mileto, aunque es probable que nuevamente en este caso, la fuente fuera de Babilonia, como fué explicado anteriormente. Anaximandro observó mas adelante como el punto en que el Sol de medio dia esta en la vértical, se desplaza continuamente con un movimiento de espiral de trópico a trópico.

Entonces algunos historiadores afirman que el primer reloj de Sol viene de Judea o de Babilonia (aproximadamente unos 600 años antes de Cristo), pero esta comprobado hoy, que los chinos construyeron 2500 años antes de la era cristiana muchos gnomons, esto es, torres elevadas que proyectaban su sombra sobre un círculo graduado

cuyo centro coincidía con el pie del eje longitudinal de la torre.

Quedan aun restos de las grandes piedras horarias (asi llamados los primeros relojes de Sol), levantados por los astrólogos Caldeos. Los astrólogos Caldeos construyeron relojes de sol en Grecia, 6 siglos antes de Jesús, y que fueron, de acuerdo a citas anteriores, perfeccionados por los matemáticos griegos Tales de Mileto, Anaximandro y otros. En el tercer siglo fueron introducidos los relojes de Sol en Roma, pero mucho antes lo habian sido en Egipto...

Ahora si podemos decir con seguridad, que el primer instrumento para medir el tiempo diario data de hace más de 3000 años, y fue muy probablemente el reloj de Sol chino, aunque no esta muy claro la diferencia que tuvo con la aparición del reloj de Sol egipcio, en lo que algunos historiadores difieren, dandole mayor antigüedad a los egipcios; lo más importante ha de ser que no hubo influencia alguna entre ambos, por la incomunicación entre sus pueblos y por las diferencias claramente establecidas entre los dos modelos. Asi es que el fundamento de reloj egipcio era el de medir el

tiempo mediante el movimiento de una sombra a lo largo de una escala (clave). Estos relojes han de ser colocados cuidadosamente en un cuadrante solar horizontal, la posición correspondiente a las 12 del mediodía apuntará al norte y en uno de pared, verticalmente hacia abajo. La introducción de estos relojes egipcios dió a conocer en Europa la hora duodécima. El reloj lleva el nombre de **Tutmotis III** y por tanto tiene unos 34 siglos de antigüedad.

Los griegos adoptaron estos relojes mucho después de la época de Tutmotis. Entonces es así que cuando el movimiento del Sol era la mejor forma para saber la hora, en el antiguo Egipto, el principal artefacto para decirlo fue el cuadrante solar. Adoptó incontables formas: cuadrantes planos, cúbicos, globos ahuecados, etc.; pero todos operaban bajo el mismo principio un objeto llamado nomón (que en griego significa "el que sabe", [fig. # 4]), proyecta su sombra en una escala numerada para señalar la hora. Para que la sombra avance uniformemente por el cuadrante, el nomón deberá formar una paralela con el eje de la Tierra. Como el eje de la Tierra apunta hacia la estrella polar y dicha estrella se eleva más sobre el horizonte en las regiones del norte, que en las del sur, el nomón debía tener una elevación de acuerdo con esa

latitud.

Los astrólogos egipcios también emplearon sus relojes solares, entre otras cosas, para calcular la duración de un año, la altura de los astros, la longitud del arco del meridiano terrestre, la posición de los puntos equinocciales, la oblicuidad de la elíptica (fig. # 6 y # 7).

A medida que transcurrió el tiempo, los modelos se perfeccionaron; los egipcios del siglo VIII A.C., usaron un objeto horizontal en forma de T, la barra en cruz fue ubicada en una base mirando al sol, y proyectaba su sombra a lo largo de un vástago que estaba dividido en doce partes (horas); (fig. # 4).

Los griegos y los romanos tallaron un hemisferio, o sea un cuarto de superficie esférica, en piedra, dividido por líneas que se unían en un punto donde se ubicaban un eje o gnomón que proyectaba la sombra sobre el cuadrante (fig. # 8). El eje que proyecta la sombra recibe el nombre de estilete. En especial el reloj de Sol romano era un instrumento que señala las horas mediante un estilo que incide sobre un cuadrante en el que están marcadas las horas por unas líneas llamadas horarias . El

estilo siempre tiene la dirección paralela al eje de rotación terrestre; en cambio el cuadrante puede adoptar diferentes posiciones, y en cada caso son también diferentes las líneas horarias. Los caldeos también perfeccionaron su reloj dándole la forma de cuenco, en el que la sombra trazada por un estilo o gnomón, ya nombrados, marcaba las horas del día.

El reloj de sol no solo fue usado por los orientales, chinos, romanos, egipcios y caldeos; sino también por los Mayas, los cuales lo utilizaron para estudiar al sol y los movimientos de la Tierra. Los Incas se servían de unos relojes cilíndricos compuestos de piedras colocadas en círculo con una vara en el centro; la sombra que esta producía era el índice observado por los funcionarios destacados especialmente, que dependían de los colegios sacerdotales.

La sombra del sol proyectada a diurno, primero por una barra y luego por objetos tan grandes como obeliscos, dio los primeros y rudimentarios índices del paso de las horas, que fue el principio de la búsqueda de un movimiento periódico regular. La imposibilidad de controlar la sombras proyectadas por el sol para medir pequeños espacios

del tiempo, indujo a los antiguos a usar otros movimientos naturales constantes para dichas funciones. Saber, por ejemplo, que hoy estamos a 21 de Enero de 1991, y que en este instante son las 23 horas, 53 minutos y 30 segundos, parece la cosa más natural y fácil. Y lo es. Pero, para poder saber con precisión que día y hora es en un momento determinado, ha habido que recorrer un largo camino; fue preciso establecer un calendario acorde con las estaciones naturales, aprender a descifrar la hora que es por la disposición o la posición del Sol en el firmamento y a medirla con la ayuda de relojes cada día más exactos.

Los hombres prehistóricos no sabían determinar la hora. La sucesión de luz y la oscuridad marcaba el ritmo de su vida.

1.1.3 DE LOS RELOJES DE AGUA A LOS DE CUARZO

Pero, al observar los cambios de posición del Sol en el firmamento, los hombres se dieron cuenta de que la sombra de los objetos cambiaba de lugar y longitud a lo largo del día. Gracias a esta observación nacieron en Egipto y Babilonia los relojes de sol; consistían en una regla o un

círculos graduados sobre los que se proyectaba la sombra de una varilla fija que indicaba la hora, varilla que recibe el nombre de gnomón (fig. # 3). Sin embargo, por la noche y en los días nublados, la varilla no proyectaba sombra alguna y por tanto no indicaba la hora. Así que pronto se pensó en otro sistema para medir el tiempo en todo momento. Y así nació el reloj de agua o clepsidra: un recipiente de pared graduado y un orificio inferior por donde se vaciaba el agua.

Cuando salía el Sol, llenaban el recipiente; este se iba vaciando a lo largo del día y de la noche, y el nivel del agua al bajar iba coincidiendo con cada una de las doce divisiones marcadas en la pared indicando la hora, como el sistema se basaba en la división del día y de la noche en doce partes iguales, en verano, cuando los días son más largos que las noches, de día se hacía más pequeño el orificio de salida del agua para que el recipiente tardara más en vaciarse, es decir, se alargaban las "horas"; y por la noche se abría un orificio mayor para que se vaciara más deprisa, es decir, se acortaban las "horas". En invierno se invertía el cambio de orificios.

Para subsanar todas esas inexactitudes, poco a poco

se fueron perfeccionando los relojes de agua hasta convertirlos en relojes automáticos. En el siglo XIII se inventaron los primeros relojes mecánicos de esfera y agujas; consistían en un juego de ruedas dentadas, accionado por el peso de una

Pero estos grandes relojes medían el tiempo con mucha inexactitud. Lo mismo hay que decir de los primeros relojes de mano, fabricados en el siglo XVI, en los que la fuerza de un muelle en espiral ponía en funcionamiento el sistema de ruedas dentadas.

Fue en el siglo XVII cuando se descubrió el mecanismo para que los relojes tuvieran un movimiento regular. Ya Galileo se había dado cuenta de la regularidad del movimiento pendular, observando el balanceo de una lámpara colgada del techo en la catedral de Pisa. Inspirándose en las observaciones de este sabio italiano, en 1657 el holandés Huygens adaptó el péndulo al mecanismo del reloj y construyó un modelo de relojes que aún hoy se llaman de péndulo. Este holandés también inventó un balancín espiral con el que fabricó



relojes de mano muy exactos, dotados de una aguja suplementaria para indicar los minutos.

Hoy día los relojes han alcanzado gran perfección. El reloj de cuarzo, por ejemplo, lleva un oscilador de cuarzo en vez del muelle espiral; solo se adelanta o atrasa unos pocos segundos cada mes. Con los adelantos actuales se llega incluso a medir fracciones de tiempo inferiores a una milmillonésima de segundo.

Todos los calendarios, ideados para fijar la cronología de los hechos, se basan en tres divisiones fundamentales: el año, el día y el mes (de origen lunar). Un buen calendario ha de basarse, ante todo, en la duración exacta del año solar, que se determina observando la posición de las estrellas en el firmamento, conocida actualmente con gran precisión.

Los sumerios establecieron, hace 5.000 años, el primer calendario conocido. Se basaba en el mes lunar o lunación, es decir, en el tiempo que hay entre el comienzo de dos lunas nuevas consecutivas, que es algo más de 29 días (exactamente 29 días, 12 horas y 44 minutos). Por tanto, el año -formado de 12 meses que se componían de 29 ó 30 días,

alternativamente- era demasiado corto: solo tenia 354 dias.

Pronto se vió que este calendario no iba acorde con el paso de las estaciones. Por ejemplo, al cabo de 8 años, cuando en el calendario era marzo estaba comenzando todavía la estación invernal. Para que el calendario siguiera siendo válido, de vez en cuando habia que "ponerlo al día" añadiendo un décimo tercer mes. Los egipcios basaron su calendario en el curso del Sol y no en los cambios de la Luna. Su año estaba dividido en 12 meses de 30 dias(total 360 dias), a los que se añadian 5 dias que se consagraban a las ceremonias en honor de la reaparición de Sirio. Pero, al cabo de 730 años, había un desfase de 6 meses. En el año -46, Julio Cesar estableció un calendario que tomó su nombre: el calendario juliano. En este, los meses eran de 30 ó 31 dias, excepto el de febrero que solo tenia 28. Y para corregir el retraso del calendario respecto a las estaciones, cada cuatro años el mes de febrero tenia un dia mas: 29. Ese año se llama bisiesto. De este calendario deriva el nuestro.

En realidad, el año del calendario juliano era 11

minutos y 14 segundos mas largo que el año natural. Este pequeño desajuste hizo que en 1582 la diferencia fuera ya de 10 dias. Por eso el Papa Gregorio XIII mandó hacer una reforma de las fechas: los dias 5 al 14 de octubre de 1582 no existieron. Y para evitar que este problema volviera a surgir en el futuro decidió que había que suprimir 3 dias cada 400 anos (suprimiendo como tales 3 años bisiestos). Por el calendario surgido de esta reforma, el calendario gregoriano, nos regimos todavía. De hecho, nuestro año aún es un poco mas largo que el natural, y por eso allá por el año 5.000 habrá que quitar un día más.

Poco a poco, el calendario gregoriano fue siendo adoptado por la mayoría de los paises. Sin embargo, Inglaterra no lo adoptó hasta 1752 y Rusia hasta 1918. En Francia dejaron de regirse por el en 1793, fecha en que entró en vigor el calendario republicano. Pero volvió a adoptarse en 1806.

Los musulmanes emplean otro calendario que se basa en los cambios de la Luna y no guardan relación con la sucesión de las estaciones. Su numeración de los años es muy diferente de la nuestra: no consideran como año cero el del nacimiento de Cristo, sino el de la hágira de Mahoma, que ocurrió el dia 16 de

julio del 622 de nuestra era.

El calendario judío arranca del 7 de octubre del año -3760, fecha de la creación del mundo. Nuestro año 1991 corresponde al año 5751 de los judíos ($3760 + 1991 = 5751$).

Como la Tierra rota de oeste a este, el Sol sale por el este y se eleva hasta alcanzar su cenit al mediodía, descendiendo a continuación hasta ponerse por el oeste. Este ciclo se cumple una vez cada día.

La alternancia del día y la noche fue la base para establecer la primera unidad de tiempo. Los egipcios dividieron el ciclo completo en 24 horas. Luego, los griegos subdividieron cada una de estas horas en 60 minutos, disponiendo así de una unidad bastante precisa para medir el tiempo.

El tiempo empleado por la Tierra en dar la vuelta completa sobre sí misma es un día solar. Se mide desde que el Sol pasa por un meridiano hasta que vuelve a pasar por el mismo. Pero el día solar tiene una duración variable, pues la órbita de la Tierra no es circular y el eje de nuestro planeta

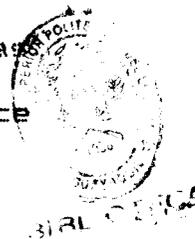
no es perpendicular al plano de la órbita; por eso se utiliza el día solar medio, que tiene una duración fija de 24 horas (tiempo de los relojes). Comparando el tiempo medio del día solar con el tiempo verdadero de un día determinándose obtiene lo que se llama la ecuación del tiempo. La diferencia máxima entre ambos es de 16 minutos. Para obtener una medida del día mas precisa hay que observar las estrellas, mucho mas alejadas de nosotros que el Sol. En este caso, la rotación de la Tierra se mide como un día sidéreo, que es el tiempo transcurrido durante una revolución (aparente) de una estrella y que equivale a 23 horas, 56 minutos y 4 segundos. A la traslación de nuestro planeta sobre su órbita se debe esta diferencia entre el día sidéreo y el día solar, que es algo mas largo que aquel. Por eso es por lo que las estrellas "salen" unos 4 minutos mas pronto cada día.

11.4 VEINTICUATRO HUSOS HORARIOS

En tiempos pasados, cada ciudad tenia su propia hora; era mediodía cuando el Sol estaba en el cénit (tiempo civil). Pero al viajar de este a oeste, o viceversa, habia que cambiar repetidamente la hora del reloj. Se dividió, pues, la Tierra en 24

del reloj. Se dividió, pues, la Tierra en 24 secciones limitadas por líneas trazadas desde el polo Norte al polo Sur. Estas secciones se denominan husos horarios. Se tomó como meridiano de origen el que pasa por Greenwich (Inglaterra). El tiempo civil de Greenwich se considera tiempo universal (TU). Las tierras y mares que están dentro de un mismo huso tienen la misma hora (tiempo legal). Cuando es mediodía en Greenwich (huso 0), es la 1 en Berlín (huso 1), un hora más en Moscú (huso 2), etcétera. En cierta época del año, algunos países utilizan un horario que no es el que corresponde a su huso. Es el horario de verano, que consiste en adelantar una hora respecto al tiempo legal. La línea de cambio de día está situada hacia el meridiano 180 grados, que corresponde a un huso en el que hay pocas tierras habitadas. Y en función de las entidades políticas de estas tierras, dicha línea sufre algunas variaciones.

La duración de una revolución completa de la Tierra en su órbita al rededor del Sol es otra base para medir el tiempo. Al observador terrestre le parece que es Sol el que desplaza en relación a las estrellas y pasa de Oeste a Este por las doce



constelaciones del zodiaco. El plano de esta trayectoria aparente del Sol, llamada eclíptica, tiene una inclinación de 23 grados y 27 minutos respecto al ecuador celeste.

El tiempo que el Sol tarda en ocupar dos veces consecutivas el mismo lugar en el firmamento se llama año sidéreo y equivale a 365 días, 6 horas, 9 minutos y 9.98 segundos. El punto de la eclíptica en que el Sol atravieza el ecuador celeste de Sur a Norte recibe el nombre de punto vernal o equinoccio de primavera. El punto opuesto de la eclíptica es el equinoccio de otoño. En estos dos momentos del año (el 20 ó 21 de marzo y el 22 ó 23 de septiembre), el día y la noche tienen exactamente la misma duración.

La altura del Sol respecto al ecuador celeste (llamada declinación) es la máxima (23 grados, 27 segundos) hacia el 20 ó 21 de junio y el 20 ó 21 de diciembre, que son, respectivamente, el solsticio de invierno y el solsticio de verano. El día del solsticio de invierno, el Sol está encima del trópico de Cáncer (23°27' de latitud Norte), y el día del solsticio de verano, encima del trópico de Capricornio (23°27' de latitud Sur). El tiempo comprendido entre dos equinoccios de primavera



BIBLIOTECA

consecutivos (365 días, 5 horas, 48 minutos y 45,97 segundos) recibe el nombre de año trópico. Este año es mas corto que el sidéreo, debido a la precesión de los equinoccios. El tiempo de las efemérides astronómicas se basa en la traslación de la Tierra alrededor del Sol . Su unidad es el segundo, que se define como la fracción $1/31.556.925,9747$ de la duración del año trópico 1900 (que se eligio como año de referencia).

Sin embargo, este tiempo astronómico no es aún bastante regular. Por eso se ha buscado otra unidad en el tiempo atómico, que se basa en un fenómeno invariable: las vibraciones del átomo de Cesio. Este segundo atómico equivale a 9.192.631.770 vibraciones de dicho átomo.

A lo largo del año, mientras la Tierra gira al rededor del Sol, se suceden las estaciones. En invierno hace frío y en verano calor, aunque en ciertos lugares se distinguen más que por la temperatura como factor primordial, la cantidad de lluvias presentes en el año, tal es el caso del litoral ecuatoriano, pues se denomina invierno a la temporada anual en que las temperaturas son mas elevadas, mas la fuerte presencia de lluvias, ha

llevado a llamar a esta estación del año como invernal; otra característica digna de resaltar es la de que solo se encuentran dos estaciones: invierno y verano. Que explicación tienen estas variaciones?.

Ya hemos visto que la órbita de la Tierra es una elipse. En realidad la podemos considerar como un círculo ligeramente deformado, ya que la distancia del Sol a la Tierra varía muy poco en un año. Sin embargo, hay algo que puede parecer sorprendente: la Tierra se halla en su perihelio (menor distancia del Sol) a comienzos de enero, y en su afelio (mayor distancia del Sol) a comienzos de julio. Ahora bien, en el hemisferio Norte, es en enero cuando hace más frío. Mientras los habitantes de este hemisferio tiritan, los del hemisferio Sur sudan de calor. No hay, pues, relación alguna entre la distancia Sol-Tierra y las estaciones.

La sucesión de las estaciones depende, en realidad, de la inclinación del eje de la Tierra en su órbita. Como el eje de la Tierra está siempre orientado en la misma dirección del espacio, las diversas regiones del globo terráqueo reciben la luz del Sol de una manera desigual.

Hacia el 21 de marzo (equinoccio de primavera en el hemisferio boreal y de otoño en el hemisferio austral), los dos polos reciben la luz del Sol y los días y las noches tienen la misma duración. Es el comienzo de la primavera y del otoño, respectivamente.

Luego, el polo norte va quedando cada vez más cerca del Sol y recibe sus rayos durante seis meses consecutivos, mientras el polo sur va entrando en una oscuridad que dura también seis meses.

Hacia el 21 de junio (solsticio de verano y de invierno respectivamente, en el polo norte y en el polo sur), las regiones situadas al norte del círculo polar ártico ($66^{\circ}33'$ de latitud norte) reciben la luz del Sol durante 24 horas. Es lo que se llama el Sol de medianoche. Como los días son largos y el Sol está muy alto en el firmamento, hace calor en el hemisferio Norte y frío en el hemisferio Sur, que tiene días muy cortos y el Sol está muy bajo en el firmamento. Mas abajo del círculo polar antártico ($66^{\circ}33'$ de latitud sur), no brilla el Sol durante al menos 24 horas del 21 de junio.

Hacia el 23 de septiembre, los días y las noches vuelven a ser igual de largo de largos. El polo norte se halla orientado hacia el otro lado del Sol mientras el polo sur empieza a salir de la noche invernal: comienza el otoño en el hemisferio Norte y la primavera en el hemisferio Sur. Concluyendo el ciclo, hacia el 21 de diciembre empieza el invierno en el hemisferio Norte y el verano en el hemisferio Sur.

Lo esencial sobre... **El tiempo y el calendario**

Tiempo solar verdadero: tiempo real según la posición del Sol.

Tiempo solar medio: tiempo de los relojes, basado en el día solar medio (24 hrs).

Ecuación del tiempo: tiempo medio menos tiempo verdadero. La diferencia máxima es de 16 minutos.

Tiempo sidéreo: tiempo basado en la situación de las estrellas.

Día sidéreo: tiempo que emplea la Tierra en dar una revolución completa respecto a una

estrella (23 horas, 56 minutos y 4 segundos).

Año sidéreo: tiempo que **emplea** el Sol en volver de nuevo a su misma posición en el firmamento (365 días, 4 horas, 9 minutos y 10 **segundos** = 365,25636556 días).

Año trópico: tiempo que separa dos equinoccios de primavera consecutivos. Es la base de los calendarios. Equivale a 365 días, 5 horas, 48 minutos y 46 segundos = 365,2419878 días).

Tiempo legal: tiempo de cada huso horario.

Tiempo legal de Greenwich: tiempo medio local (GMT) del meridiano de origen.

Tiempo universal: (TU), tiempo legal de Greenwich (basado en la rotación de la Tierra).

Tiempo de las efemérides: tiempo basado en la revolución de la Tierra

al rededor del Sol.

Segundo de las efemérides: es $1/31.556.925,9747$ del año trópico 1900, que fue tomado como año de referencia.

Segundo atómico: 9.192.631.770 vibraciones del átomo de Cesio.

Mes lunar o lunación: tiempo que separa dos lunas nuevas consecutivas.

1.2 INTRODUCCION A LA ENERGIA SOLAR

La energía proveniente del Sol es extraordinariamente pura y prácticamente inagotable. La adecuada utilización de esta fuente energética significa para los ciudadanos y en forma mucho mas amplia para los estados, un significativo ahorro económico, el uso racional de energía y una duración mucho mayor de sus reservas energéticas tradicionales tales como el petróleo, leña, carbón, etc.

Los conceptos dicen que la fuente original de todos los combustibles fósiles como el petróleo, carbón,

gas, etc. es el Sol; podemos asegurar que la humanidad ha dependido de la energía solar.

Energía viene del griego en y ergon, que significan: en acción. No es posible una definición matemática exacta del término energía, pero si es aceptable decir que es aquello capaz de producir trabajo. Si se toma en cuenta los fenómenos relativistas, la energía es igual a la masa multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz; energía es una de las cantidades fundamentales de la física y es a menudo convertida de una u otra forma, pero no puede ser creada, ni destruida. Puede tomar la forma de movimiento, calor o de campos electromagnéticos o ser almacenada en fuerzas de baja tensión incluyendo las fuerzas en los átomos y sus núcleos.

1.2.1 EL SOL

Cuando brilla el Sol, no vemos nada mas en el cielo. Solo la Luna muestra a veces su pálida cara en pleno día. Sin embargo, los millones, e incluso miles de millones de cuerpos celestes (estrellas, planetas, etc.), están siempre en su lugar.

En realidad, el Sol no es más que una estrella como tantas otras, solo que mucho más cercana a nosotros que las demás. Sin ella, solo habría frío mortal y noche eterna. La luz y el calor de nuestra estrella tardan 8 minutos en llegar hasta nosotros. La Tierra no intercepta más que la cantidad adecuada: dos calorías por minuto y por centímetro cuadrado. Podría creerse que ha sido exactamente calculada para la vida. Copérnico demostró en 1543 que la Tierra y los demás planetas giran al rededor del Sol. Y este se convirtió entonces en el centro de nuestro Universo.



El Sol forma parte de un enorme conjunto de estrellas: la galaxia. Sigue los movimientos generales de esta. La Tierra y los planetas son arrastrados con él, en dirección a la estrella Vega, a la velocidad de 21 km. por segundo. Al ser tan luminoso, el Sol resulta difícil de observar. Pero, en ocasiones, la Luna se coloca entre él y nosotros: entonces se produce un eclipse de Sol, parcial o total. Esto facilita mucho el estudio de nuestra estrella. Los espectrógrafos permiten descomponer la luz de los rayos solares y analizar la composición del Sol.



BIBLIOTECA

Contrariamente a la Tierra, el Sol no es sólido. Es

una enorme masa de gas. Quanto más cerca se halla del centro más comprimido se halla el gas. Incluso si pudiese resistir las fantásticas temperaturas y la enorme atracción del Sol (el peso en la superficie es 28 veces mayor que en la Tierra), ningún astronauta podría poner jamás el pie en la superficie, pues no existe. El astro del día parece encontrarse, a primera vista, a la misma distancia que la Luna; en realidad está unas 400 veces más lejos, a 150 millones de km de nosotros. El disco del Sol y el de la Luna tiene una dimensión aparente muy parecida. Sin embargo, esta gigantesca esfera gaseosa es mucho mayor: tiene un diámetro de 1.400.000 km. (109 veces el de la Tierra; 1300.000 veces su volumen). Si el Sol fuese un balón de fútbol, la Tierra sería un granito de arena, girando a su alrededor a 25 metros de distancia.

Pero, ¿qué es este gas?, en su mayor parte (98%) es una mezcla de hidrógeno (75%) y de Helio (23%). El 2% restante está formado por elementos que abundan en la Tierra: carbono, nitrógeno, oxígeno, etc. El Helio se encuentra muy raramente en la Tierra; fueron los astrónomos Lockyer y Frankland quienes, en 1868, después de haberlo hallado en el Sol (helio es el nombre griego del Sol, > fue Lockyer

quién bautizó con él, este elemento), predijeron que se descubriría en nuestro planeta; lo hizo Ramsay en 1895.

La composición del Sol no es uniforme, pudiéndose distinguir en él, cuatro zonas principales. Desde el exterior, son estas:

- **Corona Solar.** es una especie de atmósfera donde el gas está muy rarificado y muy caliente. Su espesor puede alcanzar varias veces la dimensión del Sol; su forma algo alargada, varía en función de la actividad solar.
- **Cromósfera.** (8.000 km. de espesor) está exactamente encima de la superficie visible. Su temperatura varía entre 20.000 y 5.000 grados. No es lo bastante luminosa como para poder verla.
- **Fotósfera.** corresponde a la superficie visible. Es de esta capa fina (300km de espesor) de donde nos llega la luz. La temperatura de esta superficie alcanza unos 5.500 grados centígrados.



BIBLIOTECA

De estas tres primeras capas salen todas las radiaciones que se reciben del Sol: rayos X, ultravioletas, luz visible, infrarrojos, ondas radioeléctricas.

Una zona intermedia donde la temperatura aumenta con la profundidad, impide que la energía del núcleo se escape demasiado rápidamente. El núcleo es la parte central del Sol, su caldera; es allí donde se crea la energía. Cada segundo el Sol pierde unos cuatro millones de toneladas, incluso a este ritmo, ha perdido menos del 1% de su masa durante los últimos 4.500 millones de años, y aun le queda el mismo tiempo antes de cambiar.

Cuando los sabios observan el Sol, constatan varios fenómenos: la rotación, las manchas, las protuberancias y las erupciones. Desde luego, el Sol gira sobre si mismo, pero no como un cuerpo sólido: el ecuador gira más rápido (25 días) que los polos (30 días). Es la rotación diferencial. Los otros fenómenos son las manifestaciones de la actividad solar, todavía no conocemos bien su mecanismo, pero se sabe que el campo magnético influye en ellos decisivamente. Por otra parte, periodos de fuerte actividad parecen reproducirse de modo más o menos regular (en ciclos de 8 a 14

años), aunque los máximos no alcanzan siempre la misma intensidad.

Astrónomos chinos habían observado ya manchas hace mas de 1.000 años, pero hasta el siglo XVIII no se observó un ciclo de 11 años, sin embargo, entre 1645 y 1715 no se vió ninguna mancha. despues este ciclo recomenzó más o menos regularmente, esto fue confirmado de modo sorprendente por el estudio de los círculos concéntricos que se distinguen en el corte transversal de los troncos de los árboles: se ha visto que estos círculos se estrechan y se ensanchan siguiendo el mismo periodo que las manchas solares. Así, precisamente, en árboles muy viejos, no ha habido ninguna variación entre 1645 y 1715.

Las protuberancias son enormes puentes de materia gaseosa que se elevan por encima de la fotosfera. Son retenidas por el campo magnético del Sol, estas protuberancias llegan a elevarse varios cientos de miles de kilómetros. Pueden permanecer casi igual de uno a cien días. Pueden tambien aparecer como una erupción rápida, y despues desaparecer en unas horas. A veces, proyectan grandes cantidades de materia y energía. En la Tierra, las comunicaciones de radio por ondas cortas pueden ser perturbadas.

Estas partículas que nos llegan del Sol causan tormentas magnéticas y auroras polares.

Algo esencial que se debe saber del Sol sería: que la distancia media entre el Sol y la Tierra es de 149.6 millones de Km, agregando que su afelio se encuentra a 152,1 y el perihelio a 147,1; el diámetro del Sol es de 1.392.000 km.; su ángulo de diámetro aparente visto desde la Tierra es de 31'59"; su volumen es $1,412 \times 10^{18}$ km³ (1.300.000 el de la Tierra); su composición es del 75% de hidrógeno, 23% de helio, 2% de gases diversos; la masa del Sol es 2×10^{30} kgrs. (333.432 veces la de la Tierra); su densidad media es 1,41 (agua=1); la gravedad es de 27,9 g (Tierra =1); la temperatura de la superficie aparente es de 5.507 grados centígrados; su temperatura central 15 millones de grados centígrados; la presión en el centro 221 mil millones de atmósferas; su clasificación es de estrella enana G2V ; y; su edad es de 4.600.000.000 años.

El Sol es una estrella tal como los miles y miles de estrellas que se ven en el firmamento en una noche despejada. Pero, qué es una estrella?. Es una gran masa esférica formada de gas muy caliente

que se mantiene agrupado debido a su propia fuerza de gravedad, brilla incandescente debido a su alta temperatura. Este elevadísimo nivel térmico se mantiene gracias a que en su centro se sucede un fenómeno de fusión nuclear en cadena. En este fenómeno descansa la energía del Universo: energía nuclear en el centro de las estrellas. La gran mayoría de esta energía proviene de la lenta conversión de Hidrógeno en Helio y puesto que la inmensa mayoría de estrellas están compuestas de Hidrógeno, ellas tienen suficiente combustible para miles de millones de años.

El Sol tiene aproximadamente 4.500 millones de años de edad y se calcula que durará otro tanto más. Es una estrella ordinaria y mas bien pequeña comprandola con otras estrellas o soles del Universo.

Una pregunta básica es aquella referente a la fuente de energía del Sol. Esta puede responderse en términos de reacciones nucleares. La violenta actividad solar de tiempo en tiempo, sin embargo, presenta otro problema, pues parece deberse al flujo de gas en campos magnéticos.

La principal fuente de energía del Sol se cree muy

firmente es debida a la cadena Protón-protón, la cual es una reacción nuclear continuada en donde el hidrógeno se fusiona transformandose en Helio como dijimos anteriormente. En el 99.75% de las reacciones, dos protones se combinan para dar un núcleo de deuterio o hidrogeno pesado, el cual a su vez emite un positrón y un neutrino; ocasionalmente dos protones y un electrón se combinan para dar un núcleo de deuterio y un neutrino. El núcleo de deuterio formado por cualquiera de estos procesos se combina luego con un protón para formar un núcleo de helio-3 (un isotopo liviano de helio) y un fotón. En alrededor del 86% de las veces el núcleo de helio-3 se combina con otro núcleo de helio-3 formando un núcleo de helio-4 ordinario con la liberación de dos protones.

Hay otras alternativas en la cadena protón-protón en la cual se forman núcleos de berilio, litio, boro, etc.

El Sol esta a 150 millones de kilómetros de distancia de la Tierra y apenas una infinitésima parte de la energía que libera llega a nuestro planeta en la forma de radiación electromagnética o energía solar.

La energía del Sol ha sido determinada con bastante exactitud en estas dos últimas décadas gracias a los viajes de las sondas interplanetarias, los viajes a la luna y los últimos adelantos técnicos de observación y análisis.

La energía liberada en la cadena protón-protón de reacciones termonucleares que toman lugar en el núcleo del Sol, llegan gradualmente hasta la fotosfera que es la superficie o parte visible. Esta energía es transportada por medio de procesos radiativos en los cuales los átomos son absorbidos y la radiación es reemitida y dispersada. En un lugar alrededor del 80% de camino entre el núcleo del Sol, y la superficie, el gas se vuelve inestable a movimientos a lo largo del radio y la energía es entonces transportada por convección. Las ondas de choque en la zona de convección llevan energía hasta la cromósfera pasando por la zona de transición y la corona. Muy dentro de la estructura del Sol y pasando por la zona convectiva, la corona y aún más allá, están los campos magnéticos que dan lugar a las manchas solares, las prominencias y demás actividad que se observa en el Sol.

1.2.2 LA TIERRA

Vista desde un satélite, la Tierra aparece como una gran esfera azulada moteada de nubes. Este color azul se debe en parte a las propiedades de la atmósfera, pero sobre todo a los océanos, que son elementos característicos de nuestro planeta.

El cielo ha desempeñado siempre un papel importante en la vida de los hombres. Algunos imaginaron el mundo donde vivían como un disco plano flotando sobre el agua; otros, como un cubo soportado por pilares, etc. Los griegos fueron los primeros en suponer que la Tierra era esférica; y la situaron inmóvil en el centro del Universo. La Tierra, el Sol, la Luna, los planetas y la esfera de las estrellas gravitaban en círculos perfectos: era el sistema de Tolomeo. Para explicar las visiones cada vez más precisas, esta visión del mundo fue modificada, pero hubo que esperar a Nicolás Copérnico para que apareciese el sistema Heliocéntrico: el Sol ocupa el centro del sistema solar; la Tierra y los demás planetas giran al rededor de él.

La Tierra esta principalmente sometida a dos

fuerzas: la fuerza de gravedad, que atrae la Tierra hacia el Sol, y una fuerza, dirigida en sentido tangencial, que se debe a la velocidad de rotación de la Tierra sobre su órbita. Estas dos fuerzas son exactamente iguales, y se compensan exactamente y, en todo momento, este equilibrio mantiene a la Tierra en su órbita.

Los movimientos de la Tierra que marcan la alternancia de los días y de las noches y la vuelta periódica de las estaciones han servido durante milenios de base para la medida del tiempo. Pero estos movimientos son demasiado irregulares para definir una unidad de tiempo precisa: el estudio de ciertos corales fósiles ha demostrado que la duración del día era de veintiuna horas hace 500 millones de años. La actividad solar varía periódicamente, bruscos aumentos modifican el campo magnético terrestre y crean tormentas magnéticas.

El planeta Tierra, o simplemente la 'Tierra, brilla suspendida en el espacio, en el "cielo" lunar, parcialmente iluminada por el Sol. La 'Tierra refleja hasta el 40 por ciento de la luz que recibe, en comparación del 7 por ciento que refleja la Luna. El poder de reflejar la luz visible se llama albedo.



BIBLIOTECA

Para los primeros astronautas, que viajaron a bordo de la nave espacial Apolo 8 en órbita lunar en diciembre de 1968, mientras giraban en torno a la Luna, la Tierra parecía "elevarse" sobre el horizonte de la Luna. La luz solar que incide sobre la Tierra se dispersa por la atmósfera, de tal modo que la luz que refleja, se ve muy azul. Las manchas blancas son capas de nubes; el "cielo" en torno a la Tierra es negro retinto. La Tierra aparecería como un disco de azul brillante, mirada desde gran distancia. Desde Marte, la Tierra parecería una estrella, pero desde los planetas más lejanos sería invisible sin telescopio porque estaría siempre en la misma parte del cielo que el Sol. Las fotografías de la Tierra tomadas desde el espacio son muy útiles para los meteorólogos. Estudiando las configuraciones de las capas de nubes se puede comprender y predecir mejor el clima. El desarrollo y el movimiento de las formaciones nubosas permite rastrear, predecir y analizar tormentas.

Las estaciones: se deben a la inclinación del eje terrestre con respecto al Sol. Cuando el polo norte se inclina hacia el Sol, en el hemisferio norte hay verano y en el sur hay invierno. Seis

meses despues, la Tierra esta al otro lado del Sol y las estaciones se invierten. Primavera y otoño ocurren cuando el eje de la Tierra no esta inclinado respecto al Sol.

Estadísticas sobre la Tierra:

Edad: 4600 millones de años aproximadamente

Masa: cerca de 6000 millones de billones de toneladas

Diámetro: de polo a polo pasando por el centro de la Tierra, 12.719 km; diámetro ecuatorial pasando por el centro de la Tierra, 12.757 km.

Circunferencia: pasando por los polos, 40.020 km en torno al ecuador, 40.091 km.

Superficie: Tierra firme 149.142.560 km² o sea el 29%

 Água 360.932.040 km² o sea el 71%

 Total 510.074.600 km², 100%.

Altitud media de tierra firme: 840 m sobre nivel del mar.

Profundidad media del oceano: 3795 m por debajo nivel mar.

Atmósfera: La atmósfera de la Tierra es una envoltura de gases delgada y transparente que protege la vida del vacío del espacio. Sin ella, el calor del Sol quemaría todo lo viviente durante el día, y por la noche las temperaturas descenderían por debajo de la de congelación. Respecto al volumen del planeta, la atmósfera es comparable con la piel de un melocotón.

Escala vida de la Tierra: Si se reduce cada año de la vida de la Tierra (que en total tiene unos 4.600.000.000 de años) a un segundo, la tabla que sigue diría cuanto hace que han ocurrido grandes acontecimientos, a esa escala.

HRCE

RCONTECIMIENTO

114 Años	Formación de la Tierra.
Entre 90 y 18 años	Vida primitiva: hongos, algas marinas y animales marinos invertebrados.
18 años	Esponjas, gusanos y medusas.
11 años	Reptiles primitivos, insectos gigantes.
6 años	Dinosaurios, primeros mamíferos, y aves.
1 año	Primeros antropoides conocidos.
2 semanas	Primeros verdaderos hombres.
16 horas	Hombre actual (Homo sapiens).
5 1/2 horas	Fin del último período glacial.
2 3/4 horas	Comienzos de la civilización.
1 1/4 horas	Construcción pirámides de Egipto.
33 minutos	Nacimiento de Cristo.

15 minutos	Conquista de Inglaterra por los Normandos.
8 minutos	Colón descubre América.
3 minutos	Hazañas de George Washington y Napoleón.
28 segundos	Finaliza la II Guerra Mundial.

Composición química de la Tierra.

(por ciento de la masa total)

Oxígeno	46.6
Silicio	27.7
Aluminio	8.1
Hierro	5.0
Calcio	3.6
Sodio	2.8
Potasio	2.6
Magnesio	2.1
Otros elementos	1.5

1.2.2.1 NUESTRA SITUACION GEOGRAFICA

Ecuador estado de América del Sur, el mas pequeño de los países de andinos, tiene una superficie de 270.670 km², situado en el noroeste del continente. Los Andes atraviezan el país de norte a sur. Al

pie de la cordillera Occidental se extiende la region de la Costa, área de bajas mesetas y depresiones, como la cuenca del Guayas, que alcanza la anchura máxima de 150 km. al norte de Guayaquil. Ecuador cuenta con 640 km. de litoral, en los que aparecen algunas entrantes.

Por su latitud, Ecuador pertenece a la zona de clima tórrido pero la presencia de los Andes y la influencia marítima introducen notables variaciones. Aquí pueden advertirse las tres zonas climáticas características de los Andes: tierras calientes, tierras templadas y tierras frías, que vienen determinadas no solo por su altitud, sino también por la humedad y por la orientación.

El régimen de lluvias se caracteriza por dos máximos, en enero y mayo, o lluvias cenitales. La estación seca va desde los meses que corresponden de julio a noviembre, debiéndose añadirse un periodo seco que sigue al solsticio de invierno.

La Tierra se divide por medio de meridianos, en veinticuatro husos iguales, llamados husos horarios, y se numeran hacia oriente de 0 al 23. El meridiano de Greenwich pasa por el centro del huso



BIBLIOTECA

O, de acuerdo con estos husos horarios, cada país ha elegido como hora oficial o legal la del centro del huso al que pertenece, con lo que se consigue que los países situados en el mismo huso tengan la misma hora y que la diferencia entre horas, de los diferentes países sea un número exacto de horas.



BIBLIOTECA

La hora legal adoptada en Ecuador es la referida al meridiano 75, y difiere a la hora de Greenwich en 5 horas.

En Ecuador por ejemplo, el meridiano 75 que marca la hora civil (a excepción de las Islas Galapagos, que se encuentran en el meridiano 90 de longitud Oeste), cuando son las doce horas solares en el meridiano 75, son las doce horas civiles en Ecuador continental aunque, no son las doce horas solares en ningún otro punto del país.



BIBLIOTECA

Guayaquil, capital de la provincia del Guayas, en el litoral ecuatoriano, se encuentra aproximadamente a 2° de latitud sur y 79° de longitud oeste, puesto que se encuentra bajo la línea del ecuador y al Oeste del meridiano de Greenwich.

Es muy importante para nosotros determinar la

ubicación exacta del nuevo Campus de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, la latitud del lugar ("altura de polo", según el tratado de Arfe), se determinó sobre cartografía de Guayaquil, tomando como referencia el hito situado en el cerro colindante a la hacienda La Prosperina (perteneciente a nuestra querida institución la Escuela Superior Politécnica del Litoral, y más específicamente su Nuevo Campus Universitario), punto más cercano de latitud exactamente conocida. El resultado fue de $2^{\circ}9'51.3''$, de latitud Sur; y $79^{\circ}55'51.6''$, de longitud Oeste, datos facilitados por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). Es esta entonces la posición geográfica deseada, aunque se podría añadir los valores correspondientes en 9.760.740 UTM al Norte y 618.880 al Este.

CAPITULO II

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

2.1 ALITUD Y AZIMUT DEL SOL

El comportamiento del Sol, es fundamental en todo tipo de experimentación con energía solar y es por esto que comenzamos con experimentos tendientes a determinar la posición del Sol en el firmamento.

El aparente movimiento del Sol se debe a la rotación de la Tierra alrededor de su eje, puesto que el Sol realmente no se mueve alrededor de ella. Es posible también que Ud. haya observado que el Sol no siempre sale por el mismo sitio en el horizonte oriental y tampoco se oculta en el mismo punto en el occidente, durante todo el año; esto es mas notorio por su efecto en la sombra proyectada por los cuerpos en la Tierra, la cual varia según el dia del año. Este cambio norte-sur aparente del Sol se debe a la inclinación del eje terrestre y a su traslación al rededor del Sol dandole una vuelta completa una vez cada año. En figuras puede verse la trayectoria del

Sol relativa a sitios sobre la línea equinoccial, o sobre el Ecuador. En figuras puede verse trayectorias para observadores localizados en el hemisferio norte. Para observadores que están en lugares del hemisferio sur las trayectorias se inclinan hacia la derecha.

Las sombras proyectadas por una barra o poste vertical también son graficadas y nos permiten ver la diferencia para observadores colocados en diferentes latitudes sobre la Tierra, se puede observar también que en cualquier día a las 12:00 en punto, la sombra es lo más corta posible y está alineada hacia el norte para diciembre 21, hacia el sur para Junio 21, para observadores ecuatoriales y siempre hacia el norte para observadores en ese hemisferio; esto puede comprobarse comparando el alineamiento con la estrella polar en una observación nocturna o con brújula durante el día.

Es notorio también el efecto sobre la temperatura del ambiente, la misma que es menor cuando el Sol está bajo en el horizonte y más elevada cuando el Sol está arriba de nuestra cabeza. Esto se debe a que hay mayor energía por unidad de área cuando los rayos inciden sobre la superficie en forma

perpendicular a ella, es decir 90° grados, que cuando los ángulos son mayores o menores

Cuando los rayos llegan a una superficie dada con un ángulo de 90° grados, se dice que el ANGULO DE INCIDENCIA ES CERO; esto se debe a que se ha convenido internacionalmente en el análisis científico, a medir los ángulos respecto a la normal (perpendicular) a la superficie. De acuerdo con este convenio entonces el efecto de calentamiento o irradiación, es decir de la radiación solar que llega a una superficie, es máximo cuando el ángulo de incidencia es cero decreciendo este efecto a medida que crece este ángulo; cuando el ángulo de incidencia es 90° grados, la radiación absorbida por la superficie es CERO. de acuerdo con esto podemos decir entonces que la intensidad de la radiación solar incidiendo sobre una superficie varía directamente con el coseno del ángulo de incidencia. Es lo que explica la importancia que tiene la inclinación de cualquier aparato solar puesto que su efectividad depende de su alineamiento e inclinación respecto del Sol.

Más adelante en este mismo trabajo analizaremos estudios que aclararan aún más la importancia de la inclinación de los aparatos que trabajan con

Como indicamos antes, la altitud del Sol no es otra cosa que el ángulo vertical que forman los rayos solares con una línea horizontal sobre la superficie de la Tierra.

El procedimiento para determinar este ángulo es el siguiente:

- a) Trace una línea en el centro de la plancha de plywood y ponga un clavo sobre esta línea a unos 5.0 cm. de uno de los extremos. El clavo no debe tener cabeza. Chequee que el clavo este perpendicular a la plancha.

- b) Coloque la plancha sobre una superficie perfectamente nivelada y exactamente a las 12:00 del día alinee la plancha de tal manera que la línea trazada sobre ella coincida con la línea norte-sur de la Tierra. El clavo deberá estar al sur si se encuentra en el hemisferio norte y deberá estar al norte si se encuentra en el hemisferio sur. La sombra que proyecta el clavo debe caer sobre la línea que divide en dos el pedazo de plywood. Asegure la plancha de tal manera que no se mueva y que todas las lecturas sean hechas con esta orientación.

La determinación precisa de la línea norte-sur verdadera requiere de una corrección a la hora del reloj en 4 minutos por cada grado de diferencia de longitud entre el punto de observación y el centro de la zona de tiempo. El Ecuador por ejemplo está comprendido en la zona 7, es decir 5 horas de atraso con respecto a la hora en el Meridiano de Greenwich. El meridiano trazado a 75 grados oeste es aquel que cruza por el centro de la zona de tiempo y es respecto a este que debemos hacer la corrección indicada. Por ejemplo, si esta haciendo la observación en una localidad ubicada en la longitud 77 grados oeste, el Sol deberá cruzar su meridiano 2 minutos después de que cruzó el meridiano 75 que es el central en su zona de tiempo; si hace la observación en un punto a 74 grados de latitud oeste, la corrección será de 4 minutos, es decir que el Sol estará sobre su meridiano a las 11:56 en punto. En figuras posteriores, se podrán ver las zonas de tiempo en el mundo. Además de la corrección indicada anteriormente es necesario hacer otra corrección por el hecho de que la Tierra no mantiene una velocidad constante alrededor del Sol, debido a que la órbita no es

exactamente circular, lo cual hace aparecer al Sol "adelantado" unas veces y un tanto "atrasado" otras respecto del reloj; esta variación puede llegar a ser como de +16 minutos, o hasta de -14 minutos. La ecuación de tiempo estará graficada en figuras que se presentarán adelante la cual nos indicará cual es la corrección apropiada. El método práctico mucho más simple es el de observar el alineamiento de la sombra cuando esta es mínima, en ese momento será exactamente mediodía en su localidad.

c) Usando la regla milimetrada mida con la mayor exactitud posible, la altura del clavo y la longitud de la sombra proyectada por este. Con las medidas tomadas es posible determinar la altitud del Sol, a dicha hora puesto que el ángulo formado por la línea que conecta el extremo del clavo con la punta de la sombra y el plano del pedazo de plywood es la altitud solar. El ángulo puede determinarlo usando trigonometría o mediante el transportador.

d) Es necesario repetir estas mediciones varias veces al día para tener un buen dato sobre la altitud del Sol durante todo el año. Es recomendable hacer las mediciones a las 9:00;

12:00; y; 3:00 p.m. el 21 de cada mes, o máximo, 1 ó 2 días antes o después de este día, que es aquel en que coincidirán los solsticios y equinoccios, temas que despejamos con anterioridad en este mismo trabajo.

Al igual que la determinación de la altitud del Sol, seguiremos un procedimiento, lo mas claro posible, tratando de que quede totalmente claro, en un procedimiento paso a paso, la determinación del Azimut solar :

- a) Anote la fecha de la observación, hora y día.
- b) Cada vez que mida la altitud, en el citado experimento anterior, mida también el ángulo horizontal que hace la sombra con la línea norte-sur marcada en el pedazo de plywood, ya que este determina el azimut solar como se indicó en figuras pasadas.
- c) Sobre un papel cuadriculado o milimetrado construya las líneas con los ángulos medidos. Trace una línea recta que represente el meridiano que cruza por su punto de observación; a continuación trace otra línea que intersecte a la

línea anterior, con un ángulo igual al que forma la sombra con la línea norte-sur. La intersección indica la posición sobre la superficie de la Tierra en la cual fue hecha la observación. Obsérvese que la sombra es por sí misma, la proyección horizontal de la línea de vista sobre el papel.

d) Dibuje esta línea de la sombra y prolonguela a través del punto de observación hacia la posición del Sol. Esta prolongación es la proyección horizontal de la línea de vista al Sol y el ángulo que forma con su meridiano es el AZIMUT solar.

e) La sombra cae al oeste del meridiano durante la mañana, es decir cuando el Sol está en la sección oriental del cielo. Existe una posición Sol-sombra correspondiente en la tarde y que forma el mismo ángulo con la línea norte-sur dando lugar entonces a dos azimuts durante el día; para un azimut de 15 grados por ejemplo, existe una posición en la mañana y otra en la tarde. En general lo que sucede en la mañana, sucede en la tarde exactamente, en la misma forma que con la imagen en un espejo.

f) **Anote** la latitud **solar** y la **hora** de la observación.

g) En los equinoccios, es decir en Marzo 21 y Septiembre 21 el Sol sale exactamente por el este y se oculta por el oeste del punto de observación. Es decir que el azimut solar durante estas fechas es de 90 grados. Para las localidades en el hemisferio norte que tienen las cuatro estaciones, se observa que durante los equinoccios de primavera (marzo 21) y de otoño (septiembre 21), las sombras de temprano en la mañana y del final de la tarde caen al sur de una línea este-oeste puesto que el Sol sale y se oculta al norte de una línea este-oeste. El azimut se mide relativo a la parte norte de la línea norte-sur en estas ocasiones; por este motivo es necesario llevar anotaciones cuidadosas respecto de las líneas de referencia que se usan para determinar los azimuts. Para el Ecuador tendremos sombras al sur de una línea este-oeste durante una parte del año y sombras al norte de una línea este-oeste durante otra parte del año para aquellos observadores justo en la línea equinoccial. Las sombras variaran de acuerdo en que sección del país nos encontramos y pueden ser

fácilmente observadas siguiendo las indicaciones del experimento que se está realizando.

2.2 TIPOS DE GNOMONS

Los relojes de Sol, reciben distintos nombres según la posición respecto de los planos del Ecuador y el Meridiano de la superficie sobre la que se traza:

- **Relojes Horizontales:** están trazados sobre un plano horizontal formando el gnomón un ángulo igual a la latitud.
- **Verticales:** están trazados sobre un plano vertical, perfectamente orientado al Sur o Norte geográfico y por tanto, la superficie tiene la dirección Este-Oeste. El gnomón está contenido en un plano perpendicular al reloj y forma con la superficie un ángulo igual a la latitud. Las líneas son simétricas respecto a las de las 12 horas (si marca la hora solar).

- **Verticales Declinantes** el plano del reloj es vertical, pero forma un cierto ángulo con la

dirección Este-Oeste que se denomina declinación. Se reconocen fácilmente porque el plano del gnomón no es perpendicular al reloj y las líneas horarias no son simétricas respecto a las 12 horas.

- **Laterales:** están situados en un plano vertical que tiene la dirección Norte-Sur y por tanto, paralelo al plano del Meridiano del lugar. El gnomón es paralelo al plano del reloj y se reconoce por tener sus líneas horarias paralelas. Solo dan la hora medio día: la mañana, los que miran al Este; y; la tarde, los que lo hacen al Oeste.

- **Ecuatoriales:** el plano del reloj es paralelo al del Ecuador y, por ello perpendicular al gnomón. Las líneas horarias distan entre sí 15 grados, y la lectura de la hora se realiza en invierno sobre el plano Sur, y en verano sobre el plano Norte (en nuestro medio).

- **Armiliares:** son relojes ecuatoriales, pero substituyen el plano por un cilindro sobre el que se trazan las horas, equidistantes 15 grados.

- **Polares:** el reloj se traza sobre un plano que es perpendicular al Ecuador y al Meridiano. El gnomón es paralelo a la superficie y las líneas horarias son paralelas entre sí.

- **Inclinados:** el plano del reloj no es vertical, ni horizontal, no polar, ni ecuatorial. Las líneas horarias son resultado de la intersección con la superficie de los planos correspondientes, y el gnomón está situado en el plano meridiano.

2.3 CONVENIOS, DE GNOMONÍA

Tratado de gnomónica o arte de construir relojes de Sol, nos lleva a una pequeña explicación esta parte del proyecto es sumamente importante, puesto que deberemos de entenderla para la correcta asimilación de este proyecto, además de comprender lo que llamaremos los principales círculos de la esfera .

Para delinear los relojes de Sol, que en la antigüedad solían construirse de oro y plata, y que son los horizontales, cilindros y anulares, presentaré con brevedad posible, los nombres de los principales círculos de la esfera, para que sirviendo de preliminar, nos facilite el entendimiento de lo que trataremos mas adelante.

Esfera es una revolución de un medio círculo, al rededor de su diámetro: fórmase prácticamente en un círculo, y la trazaremos oblicua, según la tenemos en las ciudades cuyo horizonte es oblicuo respecto del eje sobre que se considera moverse o girar la Tierra. En este círculo se da un diámetro AB, el cual representa el horizonte, y de allí arriba es lo que vemos de cielo, y el otro semicírculo interior es lo que se nos esconde y oculta a nuestra vista, como lo observamos cuando estando en un campo raso nos parece terminarse el cielo por toda la circunferencia que avistamos. Este mismo círculo se divide en cuatro partes A B C D, y el punto C, es el cénit, que es el que corresponde perpendicularmente sobre nuestras cabezas, y el punto D, su opuesto, es el nadir, que cae perpendicularmente bajo nuestros pies. Del horizonte B, al cénit C, que es una cuarta parte del círculo, se cuentan noventa grados y por

consiguiente en todo el círculo tenemos trescientos sesenta grados; y cada uno de estos grados se divide en sesenta minutos. El polo, o la dirección que tiene el eje del mundo, respecto de nuestro horizonte en Guayaquil, es el punto E, y esta elevado sobre el, un número que determinaremos mas adelante de grados desde B a E. Este punto E es el que llamamos norte, desde el cual, tirando una línea que pase por el centro Z, señala en el lado opuesto, el otro polo, que llamamos Sur, y es el punto F, y esta línea EF, es el eje de la esfera o del mundo: hecha esta línea se tira GH, que corta el eje por el medio en ángulos rectos, y representa el círculo equinoccial sobre el que camina el Sol, al principio de primavera y otoño, y tiene altura sobre nuestro horizonte veinte y ocho grados de A en G: tómase despues con el compás desde el punto B veinte y tres grados y medio, y esta distancia se pone a un lado y otro de G en I y en K, y tambien a ambos lados de K en M y L. Dada una línea de I a M paralela a la equinoccial, señala el trópico de Capricornio, por cuyo círculo camina el Sol, a principio del estío, que es cuando le tenemos mas inmediato y mas perpendicular sobre nuestro horizonte, y de que proviene la mayor duración del día en aquella estación, por estar en su máxima altura AI; y tirada la línea, KL, representa el trópico de Cáncer, por

cuyo circulo gira el Sol de principio de invierno, que es cuando le tenemos mas distante, y el dia mas chico de todo el año, despues se tira una linea de I a L, la cual se llama eclíptica, y en ella desde I se toman seis grados a cada lado hasta N y O, lo mismo desde L a P y Q; y tirando las paralelas y QQ, señalan el zodiaco, que es sitio de los doce signos por donde pasa el Sol, entrando cada mes en el suyo. Tomanse despues con el compas veinte y tres grados y medio, y se pone desde el polo E a ambos lados hasta los puntos R y S, desde los cuales se tira una linea RS, que representa el circulo ártico; y desde el polo F se hace lo mismo, y se traza la linea TV, que denota el circulo antártico; y hecho esto, se ha de entender que la circunferencia es uno de los circulos coluros que pasa por los trópicos de cáncer y de capricornio, y otro es el que representa el de los polos EF, que corta en angulos reços al otro GH, que es el de la equinoccial, y pasa por los principios de aries. El circulo de Capricornio IM dista de la equinoccial veinte y tres grados y medio; y cuando el Sol anda en él, sale por el horizonte en el punto X, y llega hasta I al medio dia, haciendo, como hemos dicho, el dia mayor del año por ir elevado setenta y un grados y medio sobre nuestro horizonte, y es en 22 de

Diciembre. Por el círculo de Cáncer, que llaman brumal, camina el Sol saliendo por el punto Y, y llega hasta K al mediodía, haciendo el día menor del año, y es en 22 de Junio; y cuando el Sol camina por el círculo equinoccial saliendo por Z, llega a G al medio día, y es el día tan largo como la noche; esto es en 21 de Marzo y en 23 de Septiembre. Los puntos S y T muestran los polos del zodiaco, lo cual basta para que en adelante se entienda lo que trataremos.

El cuadrante es el instrumento fundamental y universal sobre que estriba la construcción de todo género de relojes de Sol, tanto horizontales, como mural, etc. Hácese en un cuarto de círculo partido en noventa grados, dividiéndose primero en tres partes, cada una de estas tres en seis, cada una de las diez y ocho que resultan en cinco; y hecho esto, se señalan por los puntos de división los grados de uno en uno, y de cinco en cinco, como se ve en los graficos al final de esta tesis. La línea AB representa el horizonte; la línea AC el círculo vértical, que señala el cenit; y la que va de A a D representa el perno de la equinoccial y eje del mundo, que esta elevado cuarenta y dos grados sobre nuestro horizonte en Guayaquil, segun que diremos, y de otros lugares del mundo, que pondremos mas adelante.

De los relojes horizontales: su construcción es tan sabida de todos que pocos son los que la ignoran; pero por dar principio a los demás, para los cuales es necesaria, y sirve como de base y fundamento, la explicaremos inicialmente. Para dar comienzo a la construcción del reloj horizontal se pone en el cuadrante ABC el pie de un compas en A, y el otro se tiende por el horizontal AB lo que se quiere; y suponiendo que se tendio hasta E, esta distancia AE es semidiámetro del reloj que se hiciera.

Desde el punto E se sube una línea EF, que forme ángulos rectos con AB, la cual se llama línea vertical, y la línea AE se dice línea horizontal. Después desde el ángulo E se tira otra línea que cae en ángulos rectos entre F y A, determinando el punto K: esta se dice línea de la Equinoccial. Hecho esto en el cuadrante, se empieza el reloj sobre una línea perpendicular AB, que se llama meridional, la cual se cruza perpendicularmente con otra CD, que se dice de la contingencia. Luego se abre el compas en el cuadrante de E a K, y esta abertura se sienta en la meridional de G a E, desde cuyo punto E se traza un círculo, que es el de la equinoccial, el cual se divide en cuatro partes, y la cuarta FG se divide en

seis partes iguales, y hacentada la regla en el centro E, se tiran líneas por los puntos de división, que todas paran en la línea CD. Después se toma en el cuadrante siguiente, la línea AE, y se pone en el reloj desde G a H, y desde este punto se traza el círculo horizontal GKBI; y todas las líneas que se dieron desde el centro E hasta la línea de la contingencia CD, se vuelven de allí al centro H, trasladando este círculo, al otro lado de G, las mismas líneas con las distancias respectivas de unas a otras, poniendo en los espacios de entre ellas las horas, según que se muestran en figuras mas adelante. El triángulo AEF que se hizo en el cuadrante, es el gnomón o veleta, cuya sombra señala las horas en el reloj, en el cual se asiente poniendo el ángulo A sobre H, y el ángulo E sobre G, y estando derechamente sentado en ángulos rectos sobre la superficie del reloj.

Sabiendo hacer el reloj de la forma que he explicado, si se hubiera de asentar en alguna parte en que haya de estar fijo, ha de ser el asiento a nivel, y se ha de buscar la línea meridiana, o determinar el punto adonde esta el Sol, al medio día, de esta manera. Procurese antes de cualquier cosa, que la parte en donde se ha de asentar este a nivel, como hemos dicho, y clave en el medio un

perno o varilla igualmente delgada, que por todos los lados este en angulos rectos con la superficie, comprobandolo con la escuadra, cuyo asiento sera el punto A_1 , y mirese donde llega la sombra de la varilla a una hora determinada, como por ejemplo, a las diez de la mañana, señalada por un buen reloj, sea este mecanico, electrico, electronico o de Sol; y suponiendo que llegaba al punto B_1 , se señalara este punto, y quitando la varilla se sentará un pie del compas en el punto A_1 , y con el otro se trazará un círculo que pase por el punto B_1 . Despues se volver a clavar en la forma dicha en el punto A_1 , y se observará donde llega otra sombra igualmente distante de las doce o medio dia, como lo estan las diez y las dos de la tarde o las catorce horas; quitando la varilla, y señalando el punto, que se supone sera C_1 , se centrara el compas sucesivamente en C_1 y B_1 , y se trazaran dos arcos BD_1 y CD_1 , que se crucen en D_1 , desde cuyo punto a A_1 , se tirará la linea AD_1 , que será la verdadera que muestra el mediodia, en cuyo derecho se asienta la meridiana del reloj, y se asienta el gnomon para que apunte las horas.

Si se hubiere de poner aguja, se ha mirar cuanto nordestea en el lugar donde se hubiere de hacer el

reloj. Nordestea se llama lo que se desvía de la línea meridiana hacia el norte; y conforme a los grados que nordesteare, se ha de hacer la señal de la aguja, en la cajuela donde se pone, para que puesta en aquel derecho, este el reloj al mediodia, y señale el gnomon las horas ciertas. Para todo esto se ha de hacer el cuadrante ABC, dividido en noventa grados; y en la línea meridiana, que ha de ser un lado CA del cuadrante, se pone la aguja sobre una puntilla muy sutil, y luego ella se desvia poco o mucho hacia el norte; de manera que de dicho se supone que si se pone la aguja en el punto A, y nordestea cinco grados, se ha de dar una línea hasta A, que pase adelante, y que será oculta de puntos, y que ella se señalara la aguja, como hemos dicho.

De los relojes cilindricos: Para formar los cilindros y ámulos es necesario poner las tablas de las diferentes alturas de polo, de los lugares mas notables que se desean conocer, o en los que se estaria interesado en poner o instalar este nuestro tipo de reloj de sol cilindrico; para que sirvan en el lugar que quisiesen, ya dijimos en la figura de la esfera, que cada uno tenia sesenta minutos, y asi se ha dispuesto poner en las tablas los minutos. Tambien se ha dispuesto poner los lugares en los grados en que estan en todo su paralelo, que es lo

que tienen de altura de grado en grado, sin los minutos que tuviere; quiero decir, que si un lugar estuviere a treinta y ocho grados y treinta minutos de altura de polo, se tomara la tabla de treinta y nueve grados, porque medio grado mas o menos no causa sensible diferencia. Igualmente se tomaran en cuenta las casillas de las horas, los grados y minutos, pero no asi los medios, tercios y cuartos, porque son de mucha confusión para aquellos que no son muy versados en las matemáticas avanzadas; ademas que los relojes se trazan con mas puntualidad y seguridad por grados y minutos que por tercios, medios y cuartos; los cuales equivalen, el tercio a veinte minutos; el medio a treinta; y el cuarto a quince; cuyo modo utilizaron los antiguos matemáticos como Tolomeo y otros.

Para hacer los relojes cilindros o anillos es necesario conocer los doce caracteres con que se representan los signos por donde pasa el Sol caminando por el zodiaco, los cuales se colocan muchas veces cuando el tamaño del reloj lo permite, y para que se conozcan, pondremos en nuestra lista de graficos uno de los signos del zodiaco, colocando al lado derecho las primeras letras de los doce meses del año, en los cuales entra el Sol en el

signo correspondiente en esta forma: en 22 de Diciembre entra en Capricornio, que es primero, y hace el dia mas largo por estar lo mas cerca de nosotros; en 20 de Enero entra en Acuario; el 19 de Febrero en Piscis; el 21 de Marzo en Aries, y en este empiezan los nombres de los signos, por ser primero de los septentrionales, y en él son los dias y las noches iguales; a 21 de Abril entra en Tauro; a 21 de Mayo entra en Géminis; a 22 de Junio entra en Cáncer, y hace el dia menor de todo el año, por estar lo mas distante de nosotros; a 23 de Julio entra en Leo; a 23 de Agosto entra en Virgo; a 23 de Septiembre entra en Libra; y aqui vuelven a igualar los dias y las noches; a 23 de Octubre entra en Escorpión; y a 22 de Noviembre en Sagitario, con que da toda la su vuelta.

Para formar este reloj, se hace un cuadrante ABC partido en noventa grados, y se da una linea perpendicular desde A. Despues se toma en el cuadrante la linea meridiana en setenta y un grados y treinta minutos, que es lo que sube el Sol, en el trópico de Cáncer. Esta linea se toma puesto el canto de la regla desde el centro C por los setenta y un grados y treinta minutos, hasta encontrar la AD, en cuyo punto D sera justo el largo de la sombra al medio dia en 22 de Junio; y el vuelo o salida del

nomon o veleta que causa la sombra señalando la hora, ha de ser como uno de los lados del cuadrante de A hasta C. Los setenta y un grados y treinta minutos se señalan en la línea AD, según manifestaremos en gráficos mas adelante. Después se tira otra línea EF, distante lo que se quiera de AD, y se cierran arriba y abajo. La línea EA representa el horizonte, esto es, para tomar las horas, como se dirá adelante. Este instrumento se hace redondo o cilindrico en toda su altura, y su horizonte se divide en doce partes iguales, para expresar los doce meses del año, y cada una de esas partes se divide en seis para señalar los días del mes de cinco en cinco, porque en estos días es casi insensible la mudanza o diferencia que el Sol muestra en las sombras.

Como en la forma cilindrica no pueden mostrarse proporcionalmente ni todas las divisiones de los meses ni días, nos valdremos por esto de tender la circunferencia G en largo, trazándola y en su parte alta AB, que representa el horizonte, las doce partes dichas de los doce meses del año, y en cada uno de estos espacios otros seis para los días del mes, por ser lo mismo que si se hiciera en su forma redonda o cilindrica, con una columna tan ancha de

arriba como de abajo, y en la parte inferior pondremos las letras de los meses con los signos que les corresponden, advirtiendo que las dos letras primera y última sirven para una división o mes único, porque sus líneas son la unión de la figura volviendola en redondo. Los doce signos empiezan en Capricornio, que corresponde a Diciembre, y van procediendo hasta Sagitario, que pertenece a Noviembre, según manifestaremos en una figura que presentaremos más adelante en la sección de los gráficos.

Para determinar y trazar las líneas de las horas en el cilindro es necesario tener presentes, y valerse de la figura antes mencionada, y la tabla de la altura según el polo, para nuestro caso específico, que es la ciudad de Guayaquil, y para esto se mira cuántos grados tiene en la casilla para Junio en la primera casa, y se halla que son una cantidad de grados determinada, y tomándolos con compás desde A hacia D, prepararemos otra figura, construida con las mismas dimensiones, y se sienta en la línea de Junio desde el horizonte hasta H señalando este punto. Vuélvese luego a la tabla y se miran los grados que tienen Mayo y Julio, que son determinados e iguales, tomándolos en la primera figura desde A hacia D, se trasladarán a la siguiente figura a las

líneas de Mayo y Julio, desde el horizonte hasta donde alcance el compás. Vuélvese luego a la tabla, y se mira los grados que tienen Abril y Agosto, determinandose tambien sus valores iguales, se toman en la figura inicial pasando luego a la siguiente figura a las líneas de Abril y Agosto desde el horizonte hasta donde en ellas alcance el compás; y de esta manera, señalando en las demás líneas de los otros meses, las distancias que en la figura primera hubieren determinado los grados y minutos que para cada mes se hallan en la tabla, se describiría la línea curva que se denota en la figura última con las letras KHI que es la que señala la sombra causada por el Sol en todos los meses del año a la hora de las doce.

Señalada esta curva, se procede para determinar la de las once y la una de esta manera: se buscará en la tabla cuantos grados tiene Junio, para las once y la una, que son una cantidad lista a determinarse, los cuales se tomarán con el compás de la primera figura y luego la trasladarán al siguiente gráfico en la línea de Junio desde el horizonte hasta la una y las once; después se volverá a la tabla, y se mirarán los grados que tienen Mayo y Julio en la misma hora, o casilla de las once y la una y

tomándolos en la figura uno desde A hacia D, se pasarán a la otra figura trasladándose a las líneas de Mayo y Julio desde el horizonte hasta donde alcance el compás en dichas líneas; y de esta manera, procediendo hasta Diciembre y buscando las cantidades de estos, que la tabla señala para cada hora, y tomándolos en la figura primera, se trasladarán a la siguiente colocándolas en las líneas de los meses y quedarán trazadas las diferentes curvas que manifiesta la misma figura a para horas del día que en ellas estan anotadas. Advirtiéndole para esto que la línea de las siete de la mañana fenece en 14 de Escorpión, que sera 6 de Noviembre, los veinte y tres de la entrada del signo y los catorce del signo. La línea de las seis fenece en principio de Libra, a 23 de Septiembre, y la línea de las cinco fenece en 16 de Leo, que es a 8 de Agosto, y por esta cuenta se pone a la parte K, quitando con la pluma los angulos que hacen las líneas de punto a punto, y asi se hará con cualquiera de las tablas.

Este instrumento o reloj se hace, segun hemos dicho anteriormente, cilindrico, esto es, igual, tan ancho o grueso por arriba como por abajo, y se le adorna con su basa o remate. Este remate se hace movable, que venga tan justo con el cañon que pueda

moverse igualmente, dando vuelta por todos los meses sobre el horizonte, y en él ha de estar clavado el gnomon o veleta que causa la sombra, o con un pasador, para llevarlo guardado cuando se lo necesitase.

Para ver las horas, despues de hecho el instrumento, se saca la veleta fuera, y se pone por los dias de los meses en el dia que se quiera mirar; interpretándolo, si se quiere mirar la hora el 8 de Marzo, se ha de contar en el horizonte del cilindro, donde estan los dias partidos de cinco en cinco en el mismo mes, y pasado el espacio que hace los cinco primeros dias, se la colocara en el segundo espacio algo mas adelante del medio, que se entienda que es algo mas; y colgado de esta suerte de un cordón el instrumento, según se podrá ver en las figuras, como caiga sombra al plomo, se mira en que linea para, y por la linea donde para se va a las horas, y alli se ve que hora es, bien que las medias y los cuartos han de interferir un poco mas o menos, porque en instrumentos pequeños no se pueden mostrar con mas precisión, descontando actualmente aquellas unidades que no funcionan por medios mecánicos, sino mas bien por el adelanto tecnológico de la humanidad.

De los relojes ánuolos: estos son los relojes que se llaman anulares, puesto que en ellos se forman anillos, se hacen tambien, las horas cilindricas, y para ir sucesivamente las trazaremos en este reloj, en función de la tabla de altura del polo, del sitio al cual nos estariamos refiriendo. Este reloj se hace de una chapa, cuyos lados sean paralelos, formando angulos rectos ABCD, y todo lo largo se divide por el medio con la linea EF. Despues desde los puntos CD como centros, con la abertura de compás CA o DB, se trazan dos cuadrantes de círculo, de los cuales se dividen cada uno en tres partes, y por las divisiones 1, 3 y 2,4; se tirarán lineas, y cada espacio de los tres en que se han dividido los cuadrantes, se divide en otros tres, que hacen en cada uno nueve, y son los noventa grados del cuadrante partidos de diez en diez.

Hecho esto se abre el compas en la figura desde D hasta F que es el medio de la sortija, y en este largo se hace la tabla de noventa grados de diez en diez, despues de dos en dos, por ser corta la distancia, y mirando en la tabla de la altura correspondiente de polo, cuantos tiene Junio en la casilla de las doce, que son los que se tomarán estos con el compás desde I hacia D, y se pondrán a un lado y a otro de la linea EF, señalando los

puntos GH, desde los cuales se tiran perpendiculares GI y HK, que representan el horizonte, y en ellas se señalaran los cuadrantes que se pusieron entre $k_{4,3}B$, y el otro entre $l_{2,1}A$.

Despues de esto, se pasa a hacer otra figura de las mismas dimensiones, la cual se hace para evitar confusiones, que resultarían de tirar en aquella las nuevas líneas, que se tirarán en la nueva; y se ha de advertir que en todas las alturas de polo, se han de poner los horizontes por este orden. Tomando los grados de la mayor altura, que es en 22 de Junio, en tablas y son setenta grados y treinta minutos, se ponen desde el medio a ambos lados, porque si la meridiana tiene sesenta grados y treinta minutos, que se complemento a los noventa grados, todos los puntos y cuartas del círculo no sirven mas que para quedar formados los horizontes en sus lugares, y divididas en ellos las doce casas de los signos. En el horizonte GI se ponen los seis meses de invierno y otoño desde Septiembre hasta Marzo, y en el horizonte HK se escriban los seis meses de verano y esto es de Marzo a Septiembre, y en estos mismos horizontes se apuntan los dias de cada mes de diez en diez; o de seis en seis puntos en cada espacio de las paralelas, como se manifestará en figuras

posteriores.

Puesta la figura en la forma que hemos dicho, para señalar las líneas horarias se va a la tabla de cuarenta y tres grados de altura de polo, y se mira cuantos grados tiene junio en la casilla de las doce, que son sesenta y treinta minutos, los cuales se toman en el compás de la figura anterior, y se trasladan a la figura actual desde H, y llegan hasta el medio justamente, cuyo punto se señala; y se va luego a la tabla a la casilla de las once en el mes de Junio, y se ve que tiene sesenta y seis grados y cincuenta y cuatro minutos, los cuales se tomarán con el compás en la figura anterior y se trasladarán a la actual, poniendolo desde H hasta donde alcance el compás, y allí se señala otro punto; y así procediendo se determinan las demas horas desde las siete a las cinco, que acaban en 18 de Leo, que será 16 de Agosto. Despues de esto se va a la misma tabla de altura de polo y casilla de Marzo a Septiembre, y se miran los grados que tienen las horas de las doce; y así se prosigue con las demas horas a un lado y a otro, señalando sus puntos hasta las seis, que acaban en la primera de libra, que es a 23 de Septiembre a la K, y al otro lado que acaba en cinco y siete a doce de escorpión, que será a cuatro de noviembre. Despues se va a la tabla misma



de cuarente y tres grados de altura, y se miran los grados que tiene diciembre a la hora de las doce, haciendo uso del compás, pasando de la figura anterior a la actual, en métodos similares a los ya utilizados, se determinarán esta y las demás horas; dadas estas líneas despues de punto a punto, y escritas las horas, se vuelve la chapa formando una sortija, dejando estas líneas a la parte de adentro. En los puntos PQ, que estan en la juntura de la chapa, se hace un agujero pequeño para poner un cordón; y en el horizonte GI, entre Septiembre y Octubre, se hace otro agujero, y entre Marzo y Abril otro, y por ellos entra el Sol a señalar las horas.

Es necesario que cuando se miraren las horas en este reloj, se ha de colocar de suerte que entre el Sol en el paralelo del mes que se mirare, y al derecho del dia de los que estan señalados de diez en diez o de seis en seis en los horizontes. Pero esto se entiende mirando con cuidado, como se ha de hacer estos relojes cilindros y anulares por las alturas que quisieren en el lugar que correspondan. Hay otras maneras de relojes, pero nosotros hemos hablado de los que se hacían de metal.

Una adición a los tratados de gnomónica, en lo que

se deja tratado anteriormente en orden al modo de formar los relojes *de Sol* horizontales, se dijo tambien que había otros murales, de los cuales me ha parecido conveniente tratar en esta tesis, para que el lector *sepa* en esta materia algo *de* la que se debe para construir todo género de relojes. Estos relojes murales se llaman así, porque comúnmente se hacen en los muros, tapias o paredes de cualquier fabrica o edificio donde da el Sol, y se llaman verticales, porque no están asentados de plano en alguna superficie como los horizontales, sino vueltos de lado y como pegados a la pared.

De estos unos son verticales meridionales, y son los que están en un muro que mira derechamente al mediodia, y otros son verticales declinantes, porque están sentados en un muro que no mira al mediodia derechamente, sino que se inclina algo hacia el levante o poniente, y otros hay tambien verticales laterales, los cuales son los que se construyen en una pared que mira derechamente a poniente o a levante, por lo cual se llaman en el caso lateral oriental, y en el otro caso lateral occidental. De todos estos trataremos con la mayor claridad y brevedad que nos sea posible; pero antes nos ha parecido conveniente tratar del reloj horizontal, enseñando otro modo más fácil y más seguro que el

tratado anteriormente, y es del modo que sigue.

Reloj Horizontal:

Ante todas las cosas trácese un cuadrante ABC, el cual se dividirá en noventa grados de diez en diez, y luego dividanse estas nueve partes que resultan, cada una en otras diez, con lo que quedará exactamente el cuadrante en lo que se necesita. Despues tírese la línea ED paralela a AC, desde el centro A tirense radios, que pasen por los quince gradns, por los treinta y por los cuarenta y cinco grados, hasta encontrar la línea ED, en cuyos puntos se señalaran las tiasas como manifiesta una proxima figura.

Hecho estyo se pasará a delinear el reloj de esta manera: tírese la recta CD, y perpendicularmente a esta tírese la línea CS, tómese despues el compás, y con una abertura igual a DB, esto es, con un radio igual al de la cuarta del circulo en que están medidos los grados, trácese el cuadrante CHD, con lo cual tendremos ya con la línea CS las doce del dia. Para formar o apuntar las demas horas es necesario conocer la altura de polo, o lo que es lo mismo, la altura a la que se encuentra al Sol sobre el horizonte en el lugar en que nos hallamos, o se

construye el reloj, entonces al saber los grados, se tomarán estos en la cuarta de círculo de la figura anterior, y se podrán en la cuarta del círculo CDH de la figura siguiente desde H a M, y por este punto M se tirará la línea FN perpendicular a CD, la cual servirá para apuntar las horas señaladas en la figura, que se ha de hacer de la siguiente manera.

Desde el punto B, se tomaran las distancias de las horas, y se podrán en la línea FN de la figura, esto es, poniendo la distancia de B a la línea de las siete, y la una desde F a X la distancia de B a la línea de las ocho, y las dos desde F a Z, y la distancia de B a la línea de las nueve, y las tres desde F a N, con lo que tendremos en X las siete, en Z las ocho y en N las nueve de la mañana. Despues, para señalar las diez y las once, se tirará desde el punto D, extremo del cuadrante, la perpendicular DR hasta encontrar la línea de las nueve, tirada desde el centro C por el punto N, y desde el punto de contacto R se tirara la línea RS perpendicular a CS, y en ella se pondrá la distancia de B a la línea de las siete, y la una en la figura para las once, y la distancia de B a la línea de las ocho, y las dos para las diez desde S a T y desde S a B. Despues desde el centro C se tiraran líneas que pasen por los puntos hallados para las horas hasta tocar en la

extremidad del reloj, sea cuadrado, ochavado o redondo, y en la dicha extremidad se pintarán las horas de la mañana, y si se quisiere poner las cinco, no hay que hacer mas que alargar mas con el compás la cuarta del circulo CDH, y poner en ella la distancia que hay desde el punto D a la linea de las siete, y tirar por alli una linea desde el centro C hasta el extremo del reloj, como manifestaremos en una figura.

Para formar las horas de la tarde, no hay mas que trazar otro medio reloj como el que queda explicado, o abierto el compás con la abertura CH, acabar desde el punto C el semicirculo y trasladar a él las mismas distancias de las horas, con lo que se verá que en la linea CD caen las seis de la tarde, en la CX las cinco, en la CZ las cuatro, en la CN las tres, en la CB las dos, y en la CT la una, y si se continuase el semicirculo, como se hizo para las cinco de la mañana, será la linea de las siete de la tarde.

El nomón de este reloj es el triángulo CLM, el cual se corta con la punta de una navaja o con unas tijeras, por las lineas CM y LM, despues se dobla sobre la CL, y dejandole a plomo o en angulos rectos

sobre la línea CS desde el centro C, señalara las horas y servira para plantilla o registro de fijar el nomon o cortarle en plancha de hierro o cualquier otro metal. Pero si en lugar del nomon se quisiese poner varilla, esta se debe colocar en angulos rectos en el punto L; y aunque puede ser tan larga como se quisiere, lo mejor es que no sea mas que de L a M, guardando la proporcion del semicirculo segun su tamaño.

Este reloj asi trazado se sentará sobre la meridiana, que se haya hallado por metodos anteriores, de modo que la línea de las doce caiga sobre la meridiana, y las doce caigan a la parte del setentrion.

Para simplificar la construcción de los relojes de Sol, se admiten las hipótesis siguientes:

- 1._ Los rayos de Sol que llegan a nosotros se consideran paralelos entre sí.
- 2._ El Sol describe cada dia en la esfera celeste un círculo (paralelo diurno), de plano perpendicular al eje polar, cuyo centro situado siempre sobre dicho eje, varía de posición cada día.

3.- La duración de este recorrido diurno que se describe, es de 24 horas.

4.- A una misma hora, durante todos los días del año, el centro del disco solar se encuentra sobre un plano que pasa sobre el eje polar (plano horario), el cual, a las 12 del día (hora solar verdadera), coincide con el meridiano del lugar. De acuerdo con esta última condición, a las 12 del día, el Sol se encontrará sobre el meridiano superior en un arco de círculo máximo o curva horaria de las 12.

2.4 GNOMONS EN GUAYAQUIL

El principio del reloj de Sol, se debe a la participación de dos elementos fundamentales, como se ha venido tratando a lo largo de toda esta Tesis. Estos elementos fundamentales son el gnomón y el cuadrante.

El gnomón es aquel que produce sombra, y el cuadrante es aquel que la recibe, marcando así el paso del tiempo. Será necesario resaltar que de los dos elementos el más importante es el gnomón, puesto que el cuadrante podrá teniendo una escala graduada tener pocos limitantes en cuanto a dimensiones y

formas; en cambio el gnomón deberá tener condiciones especiales y particulares de inclinación, orientación y ubicación.

Su inclinación deberá ser tal que quede paralelo al eje polar terrestre, por tanto su orientación será Norte-Sur, para que la incidencia de este sobre el cuadrante sea uniforme y constante, variando solo en su longitud y entonces puedan ser leídas las horas durante todo el año.

Deberá ser fundamental el O.G. al gnomón posea estas características, puesto que en caso contrario, es decir que no posea las características citadas, entonces solo podrán ser leídas con exactitud un día al año, debido a que la proyección de la sombra sobre el cuadrante variará tanto en longitud como en inclinación.

Por tanto, debemos enfrentar dos problemas para el diseño y cálculo del reloj de Sol:

- 1) Orientar el gnomón en la dirección Norte-Sur solar, también llamada meridiana, similar a la Norte-Sur magnética, y para su obtención se deberá realizar un estudio de campo.

2) Hallar la inclinación del gnomón de tal forma que este paralelo al eje polar.

Para un punto cualquiera de la Tierra, la vertical, la meridiana, o dirección Norte-Sur solar, y la paralela al eje polar están situadas sobre la perpendicular al plano sobre el que se encuentra dicho punto.

Esto nos permite enunciar que la paralela al eje polar forma con el horizonte y con la vertical ángulos respectivamente iguales a la latitud y colatitud del lugar, y su proyección ortogonal sobre el horizonte coincide con la línea meridiana.

Es por tanto que el dato indispensable para la colocación del gnomón paralelo al eje polar, es el de la latitud, o colatitud exacta, lo mas cercana posible del lugar donde va a ser implantado el reloj, dependiendo de este dato la exactitud del mismo.

De esta forma cada reloj de Sol es único y solamente válido para un punto geográfico determinado.

La latitud del lugar ("Altura del Polo" según

tratado de Arfe), se determinará sobre cartografía de Guayaquil, tomando como referencia algún hito, situado lo mas cerca del lugar determinado para la colocación del reloj , punto mas cercano de latitud exactamente conocida. El resultado sera en grados, minutos y segundos de latitud Sur; y; grados, minutos y segundos de longitud Oeste, datos que obtendremos en investigación respectiva en el Instituto Oceanográfico de la Armada.

2.4.1 INVESTIGACION DE CAMPO

Para hallar la orientación Norte-Sur polar o meridiana del gnomon es necesaria una sencilla investigación de campo, basada esencialmente en el conocimiento del movimiento simétrico del Sol (estudio Geocentrico), como ya hemos visto, el Sol nace en el Este y muere en el Oeste, pero su recorrido en la bóveda celeste varía veinte y tres grados y medio, tanto al Norte como al Sur, siendo su eje de simetría el medio día (12 horas solares) o línea meridiana, entonces el proceso para hallar la meridiana en cualquier punto del planeta es:

- 1) Determinación de un punto A cualquiera en un plano horizontal (a nivel).

- 2) Colocación de una plomada sobre el punto A, que sería la línea vertical.
- 3) Sobre la vertical colocamos un punto de referencia B, el cual proyectará una sombra al plano horizontal B', permitiendonos las correspondientes lecturas.
- 4) Siendo las doce horas solares, nuestro eje de simetría (línea meridiana) se deberán tomar en horas simétricas a esta, verbigracia, 11am con 1pm; 10am con 2pm; 9am con 3pm, etc.
- 5) Con centro en A y tomando como radio la distancia desde A hasta la primera muestra de B' se trazaré un arco. Y cuando la sombra de B, o segunda muestra corte al arco nuevamente obtendremos el arco de circunferencia B',B.
- 6) Del ángulo alfa, hallamos su directriz, siendo esta la línea meridiana ■ dirección Norte-Sur solar.

En posteriores investigaciones deberemos probar con un teodolito cual es la variación del norte solar con el norte magnético, pues siendo el norte

magnético un valor variable, mientras que el norte solar es permanente y constante a lo largo de todo el año.

Así mismo fue indispensable el determinar la situación geográfica exacta de nuestro gnomón pues es por ello que el dato indispensable para la colocación del gnomón paralelo al eje polar, es el de la latitud o co latitud exacta (así cercana posible del lugar donde va a ser instalado el reloj. dependiendo de este dato la exactitud del mismo.

De esta forma cada gnomon es único y solamente válido para un punto geográfico determinado.

La latitud del lugar ("altura de polo", según el tratado de Orfe), se determinó sobre cartografía de Gwayaquil, tomando como referencia el hito situado en el cerro colindante a la hacienda La Prosperina (perteneciente a nuestra querida institución la Escuela Superior Politécnica del Litoral, y más específicamente su Nuevo Campus Universitario), punto más cercano de latitud exactamente conocida. El resultado fue de dos grados nueve minutos y cincuenta y un segundos, de latitud Sur; y treinta y nueve grados cincuenta y cinco minutos y cincuenta y un segundos, de longitud Oeste, datos facilitados

por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). La longitud geográfica nos servirá para hallar la ecuación de tiempo para Guayaquil. Y la latitud para trabajar con valores del hemisferio Sur.

2.4.2 ECUACION DE TIEMPO.

Antiguamente y hasta la universalización del tiempo, en cada lugar, pueblo o ciudad había una hora local distinta a la de los lugares aledaños, y se basaba siempre en el Sol. Cuando este se hallaba en su Zenit o punto culminante de su trayectoria diaria, eran las doce o mediodía.

Se llama mediodía verdadero el instante en que el centro del disco solar pasa por el meridiano. En dicho momento son las doce horas del día solar (tiempo verdadero), y cuando el Sol pasa por el meridiano opuesto, las cero horas.

Observando el paso del Sol por el meridiano durante una serie de días con un buen cronómetro, comprobaremos que la duración del día solar no es constante y que el Sol tampoco pasa por el meridiano a la misma hora.

Para compensar tales irregularidades y ante la imposibilidad de adaptar los relojes al tiempo verdadero, por no ser este uniforme, ha habido la necesidad de imaginar un Sol ficticio, llamado Sol medio que pasa por el meridiano con rigurosa puntualidad y conserva invariable la duración del día medio.

El tiempo y día referido al Sol medio, se llama tiempo medio y día medio, y el correspondiente al meridiano de una localidad, tiempo medio local. Tomando como origen del día para dicha localidad, el paso del Sol medio, por su meridiano opuesto a aquella (medianoche media), se tiene tiempo civil local, es decir la hora local.

El tiempo medio civil en Greenwich, es el llamado tiempo universal.

Para evitar las complicaciones que traería consigo el que cada comarca o región utilizase su propia hora local, las diversas naciones del globo han adoptado lo que hemos dado por llamar la hora oficial o legal, que es la cual por la que se rige una nación.

Para ello la Tierra se divide por medio de meridianos, en veinticuatro husos iguales, llamados husos horarios, y se numeran hacia oriente de 0 al 23. El meridiano de Greenwich pasa por el centro del huso 0, con lo que en cada huso, su meridiano central tendrá una hora local que diferirá de la de Greenwich en un número entero de horas.

De acuerdo con estos husos horarios, cada país ha elegido como hora oficial o legal, la del centro del huso al que pertenece, con lo que se consigue que los países situados en el mismo huso tengan la misma hora y que la diferencia entre horas, de los diferentes países sea un número exacto de horas.

La hora legal adoptada en Ecuador es la referida al meridiano 75, y difiere a la hora de Greenwich en 5 horas.

En Ecuador por ejemplo, el meridiano 75 que marca la hora civil (a excepción de las Islas Galapagos, que se encuentran en el meridiano 90 de longitud Oeste), cuando son las doce horas solares en el meridiano 75, son las doce horas civiles en Ecuador continental aunque, no son las doce horas solares en ningún otro punto del país.

El reloj de Sol se basa en los movimientos de este y marca la hora solar, es por tanto que traerá un desfase entre la hora civil en el Ecuador y la hora solar en Guayaquil, ya que cuando el Sol se encuentre en su cenit en Guayaquil, ya han pasado veinte minutos desde que el Sol pasó por el meridiano 75, a la altura del cenit en el firmamento, entonces un reloj de Sol en Guayaquil marcaría las horas con un adelanto de aproximadamente veinte minutos.

Para conocer exactamente el valor del desfase entre la hora civil y la hora solar en un punto cualquiera, respecto a su huso horario, nos valemos de la ecuación del tiempo, que es la cantidad que hay que sumar o restar al sol medio para obtener el sol verdadero, para lo que nos servimos de las tablas de conversión de arcos solares a tiempo.

Sabiendo que la longitud de Guayaquil es de $79^{\circ}55'51.6''$ del Oeste, y haciendo los cálculos respectivos resulta una variación de $19'11,65''$.

Por tanto en Guayaquil cuando un reloj de Sol, marcara las 12, debemos esperar $19'11,65''$, hasta que el Sol se encuentre en su cenit o punto máximo, o

mediodia solar en Guayaquil.

Cabe resaltar la importancia de este desfase para el calculo de un reloj solar que indique la hora civil.

mediodia solar en Guayaquil.

Cabe resaltar la importancia de este desfase para el calculo de un reloj solar que indique la hora civil.

CAPITULO III

DETERMINACION DE NUESTRO MODELO

3.1 DETERMINACION GEOMETRICO DESCRIPTIVA

El método descriptivo, el reloj horizontal basado en el ecuatorial, esto es, con horas divididas en ángulos iguales de 15 grados, varia al proyectarlo a cualquier otro plano. En el plano horizontal, que es el que sirve como génesis de los demas relojes solares, a excepción de los polares, en geometría descriptiva.

Para construir un reloj de Sol horizontal por el procedimiento de la geometría descriptiva, primeramente, situaremos la traza T del gnomón donde nos convenga y dibujaremos su proyección ortogonal TC que ha de coincidir con la meridiana del lugar.

Abatiendo ahora el plano proyectante del gnomón (plano meridiano) sobre el horizontal, el abatimiento g del gnomón formara con la charnela TC un ángulo igual a la latitud del lugar. De aqui la

construcción.

Trazar una recta g que forme con TC un ángulo δ , igual a la latitud, sobre ella tomar la longitud $T(E)1$ el abatimiento g del gnomón. $TE1$ es la proyección ortogonal del gnomón, también llamada subestilar y la longitud $E1$ $(E)1=h$, la altura sobre el suelo de su extremo E .

Tracemos ahora por el extremo E , el plano ecuatorial, para lo cual se trazara por $(E)1$, la normal a g , que corte en C_1 a TC . La normal t a TC , por C_1 , es la traza del plano ecuatorial y (E) el abatimiento de E sobre el horizontal, habiéndose obtenido este abatimiento tomando sobre la prolongación de TC la longitud C_1 $(E)=C_1$ $(E)1$.

No queda más que trazar una circunferencia arbitraria de centro (E) , (círculo horario equinoccial abatido), y dividirla en 24 partes iguales, a partir de su intersección XII con la prolongación de TC , numerándolas como muestro en el gráfico.

Las rectas que unen el centro con los puntos de división son los abatimientos de las rectas horarias, y sus intersecciones C_1 , I_1 , H_1 , B con t ,

unidas con T las sombras del gnomón en dichas horas.

Ya solo faltaría fijar las dimensiones y forma del cuadrante (rectángulo K en la figura), o trasladar los ángulos obtenidos a otro cuadrante.

3.2 DETERMINACION DE UN MODELO MATEMÁTICO COMPLETO

El método trigonométrico-matemático, resuelve el reloj de S₁ en base a una deducción de la progresión armónica en los ángulos rebotantes que marcan las horas y sus subdivisiones en el cuadrante. Es una secuencia de números recíprocos a la forma de la progresión aritmética.

La fórmula está en función de dos datos básicos que son θ_1 y α . θ_1 es el valor de la ecuación de tiempo en Guayaquil, esto es, 19 minutos 11.83 segundos, equivalente a 4,931 grados y α es el ángulo formado entre el gnomón y el cuadrante al cual proyecta su sombra. Una vez obtenidos los resultados del cálculo del reloj mediante el método descriptivo (existentes en los tratados de gnomónica) y debido a los movimientos simétricos del Sol, se deduce que estos valores debían responder a algún tipo de relación, proporción o progresión matemáticas. **Esto**

me llevo a la investigación y de allí a la deducción de una fórmula matemático-trigonométrica, válida para el cálculo de un reloj de Sol, con solo obtener su posición geográfica totalmente determinada, es decir conociéndose su latitud y longitud lo más aproximadas posible, exceptuándose de esta fórmula los valores polares, por no tener este ángulos entre sus líneas horarias.

Para la obtención de ángulos, podríamos ver algunos ejemplos, como poniendo el, caso de nuestro reloj cuyo cuadrante tiene una inclinación de 90° respecto a la horizontal, y el gnomon con una inclinación de 45° con respecto a la horizontal, el ángulo sería entonces de $90^\circ - 45^\circ$, dando como resultado 45° .

3.2.1 CALCULOS REPRESENTATIVOS

Obtención de X_1 ,

$$(Y - Y_1) = \operatorname{tg} \theta_1 (X - X_1)$$

reemplazo

$$F_2 (0, 1 + \operatorname{sen} \alpha)$$

$$Y = 1$$

tenemos

$$[1 - (1 + \operatorname{sen} \alpha)] = \operatorname{tg} \theta_1 (X - 0)$$

$$-\operatorname{sen} \alpha = \operatorname{tg} \theta_1 (X)$$

pero θ_1 es el angulo inicial
y a partir de este comienza
el decrecimiento, según:

$$-\operatorname{sen} \alpha$$

$$X = \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{tg} \theta_1}$$

$$d = 15^\circ \text{ c/hora}$$

$$d = 7.5^\circ \text{ c/ } 1/2 \text{ hora}$$

$$d = 3.75^\circ \text{ c/ } 1/4 \text{ hora}$$

Entonces:

El angulo resultante

sería:

$$X_1 = - \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{tg} \theta_1}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = X$$

$$\alpha = \operatorname{arc} \operatorname{tg}(X)$$

$$X_2 = - \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{tg}(\theta_1 - d)}$$

reemplazando:

$$\alpha_n = \operatorname{arc} \operatorname{tg}(X_n)$$

$$X_n = - \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{tg}(\theta_1 - 2d)}$$

$\alpha_n = \frac{\operatorname{tg}^{-1}(\operatorname{sen} \alpha)}{\operatorname{tg}[\theta - d(n-1)]}$

de donde:

$$X_n = - \frac{\text{sen} \alpha}{\text{tg} [\theta_1 - d(n-1)]}$$

Sabemos que el ángulo θ_1 , o ángulo inicial es igual a 4,931 grados (ecuación de tiempo), entonces siendo la fórmula:

$$\alpha_n = \text{tg}^{-1} - \frac{\text{sen} \alpha}{\text{tg} [\theta_1 - d(n-1)]}$$

entonces, como ya vimos que el recorrido del Sol al rededor de la Tierra es de 15 grados por hora, entonces sería de 7.5 grados por cada media hora y de 3.75 grados por cada cuarto de hora. El valor d representa este recorrido,

El valor n obedece al número del ángulo que queremos hallar. Por ejemplo si queremos hallar que ángulo formaría la sombra del gnomón en el cuadrante de las ocho de la mañana, y siendo las ocho el tercer ángulo ignoto, el resultado sería:

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\theta = 4,931^\circ \text{ ó } 355,069^\circ$$

$$d = \text{valor tomado cada hora } (15^\circ)$$

$n = 3^{\text{er}}$ ángulo

$$\alpha_3 = - \operatorname{tg}^{-1} \frac{\operatorname{sen} 45^\circ}{\operatorname{tg}[355,069^\circ - 15(3-1)]}$$

$$\boxed{\alpha_3 = -45,354^\circ}$$

3.3 TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS.

HORAS	n	α_n
6	1	83.04°
7	2	62.85°
8	3	45.35°
9	4	30.74°
10	5	18.3°
11	6	7.1°
12	7	.45°
1	8	-14.38°
2	9	-26.28°
3	10	-40.05°
4	11	-56.51°
5	12	-75.9°
6	13	-83.04°

3.4 MODELO DIGNO . . . REALIZAR

El modelo del que hablamos, representa un reloj que se conserva en el museo de Berlín. Por la mañana el travesaño AA se ponía de cara al este y su sombra caía sobre el brazo BB, en el punto que indica la figura, marcando así la hora primera. Al levantarse el Sol se iba acortando la sombra y su sitio en el brazo dividido en 6, la sombra señalaba la hora hasta llegar al mediodía. Al mediodía el travesaño AA se volvía hacia el oeste, y se medía entonces en el brazo BB la sombra que se alargaba.

Este reloj llevó el nombre de Tutmosis III. El travesaño AA ha sido restaurado según Borchardt. Se compone de una varilla llamada estilo y de una superficie plana sobre la que aquella arroja su sombra, pero colocadas ambas de tal manera que en todas las épocas del año, la sombra del estilo arrojada sobre la superficie pase a la misma hora exactamente por los mismos puntos.

De otro punto de observación se nos indica que cuando brilla el Sol, un palo clavado en el suelo proyecta una sombra que se mueve girando alrededor del palo en el lado opuesto al Sol, por la mañana la

sombra es larga. A mediodía la sombra es corta; y por la tarde la sombra vuelve a ser larga. Cuando se descubrió que la sombra se mueve siempre a la misma velocidad, comenzó a usarse entonces el reloj de Sol, para medir el tiempo.

* 1. El reloj de Sol, es una varilla que proyecta la sombra sobre una esfera de reloj en la que están marcados los números de las horas.

* 2. A mediodía, el Sol está en el punto más alto del camino que recorre durante el día. La sombra de la varilla se proyecta sobre las 12.

* 3. La sombra de la varilla recorre los números al cambiar de posición el Sol en el cielo.

3.3 DISEÑO IDEAL PARA NUESTRA SITUACION ACTUAL.

La construcción de estos relojes que antiguamente se hacían de una manera tosca y por tanteos, se hace por medio de la Descriptiva. Como en estos relojes no se necesita una precisión astronómica, se admite:

1) Que el movimiento del Sol es uniforme sobre un mismo paralelo;

2) Que el Sol, al moverse, describe cada día un círculo normal al eje de los polos, y cuyo centro estando siempre sobre dicho eje, varía de posición para cada día;

3) Dada la pequeñez de nuestro planeta, comparado con cuanto le rodea, se admite también que cualquier recta que pase por el polo celeste y un punto de la Tierra, se confunde con el eje polar;

4) Se consideran paralelos entre los rayos que del Sol llegan hasta nosotros. Admitido esto, tracemos una recta, que tomaremos como estilo que pase por el punto de la Tierra donde queremos colocar el reloj y el polo celeste del hemisferio correspondiente, hagamos pasar por dicha recta 12 planos equidistantes entre si, uno de los cuales coincide con el meridiano del lugar, y otro normal a los mismos pasando por el punto considerado. El paso de la sombra del estilo por cada una de las intersecciones de este último plano con aquellos que nos da las horas, siendo la del mediodía la intersección con el plano meridiano. Estos relojes llamados ecuatoriales por ser sensiblemente paralelos al ecuador celeste, en la práctica no se

orientación necesaria, empleándose solamente los llamados CUADRANTE HORIZONTAL Y CUADRANTE VERTICAL NO DECLINANTE, calificados así porque en ambos se traza el reloj sobre el plano vertical; pero el primero, este es normal al meridiano, y el segundo tiene una orientación cualesquiera.

En el ecuador donde la estrella polar está muy baja en el horizonte, el nomón deberá ser inclinado a 45° para señalar la dirección correcta; al subir hacia el norte, el nomón deberá irse elevando; en el polo su posición es vertical y la más alta. El cuadrante solar ajustado a la latitud respectiva es notablemente exacto, al grado de que durante siglos se empleó para corregir los errores en los relojes mecánicos. Sin embargo, para las normas modernas el instrumento no es muy preciso; el cuadrante solar ordinario da la hora con minutos de diferencia.

Relojes de acuerdo a su posición con el plano del cuadro, o los relojes de Sol, por la posición que tiene el plano del cuadro, se clasifican en:

1.) Ecuatorial: aquel cuyo plano del cuadro es paralelo al ecuador.

- 2.) Horizontal: **si** el plano del cuadro **es** horizontal.
- 3.) Meridianos: **si** el plano del cuadro coincide **con** el meridiano del lugar.
- 4.) Orientales u occidentales: **segun** la cara del plano sobre el que estan **construidos**, mire respectivamente al este o al oeste.
- 5.) Verticales: **construidos** sobre el plano del cuadro que son verticales .
- 6.) Vértical sin declinación: **si** el vértical, **es** el perpendicular al plano del meridiano del lugar.

3.5.1 JUSTIFICACION DEL DISEÑO

El diseño y justificación formal de este elemento gnomónico podría ser presentado de la siguiente manera, uno de los principales propósitos para la ejecución de este estudio investigativo, **fué** la creación de un signo, hito, simbolo que da un

caracter de idéntidad, orientacion y preocupacion a lo que sería tratar de ser más consecuentes con lo que nuestra casa de formación debería significar para cada uno de sus hijos, y por lo tanto, contribuir de alguna manera a sentirla mas nuestra y desear que hallamos contrubuido a su engrandecimiento.

El reloj urbano como servicio público, es mas una señal de servicio que la respuesta a un problema inexistente. El gnomón que diseño a continuación, tratará de dirigir la mirada de todos hacia ese gran caudal de energia proveniente del astro rey, abundante en nuestro país, pero lamentablemente desaprovechada. Trataremos por lo tanto de ampliar el campo de la señal hacia nuevos objetivos.

Nuestro diseño tratará de introducir un cambio en nuestra mentalidad estrecha de que la energia solar solo puede ser utilizada por aquellos que estan al alcance de la tecnologia en este campo, mientras que nosotros proponemos una solución al como producir información, sin pérdida de energia.

El proyecto gnomónico consta de una serie de volúmenes interrelacionados y proporcionados entre

si, no intentamos ser monumentales, pero sí emblemáticos, públicos y ecuménicos, tratar de trascender los límites de nuestra Politécnica, para una identificación con frutos directos para Guayaquil, Ecuador y América. En definitiva colocar al Sol, como originador de vida, el tiempo como espacio astronómico y la sombra como medida natural.

3.5.2 DIMENSIONAMIENTO DEL MODELO Y SUS PARTES.

Las características principales de este proyecto gnomónico, son las de tener por coordenadas geográficas: $2^{\circ}9'51.3''$ de latitud Sur; y $79^{\circ}55'51.6''$ de longitud Oeste.

Esta definido por un estilo de 2.24 metros de altura y una superficie de 9.60 metros cuadrados, y lo componen:

- 1 reloj solar vertical ecuatorial, de 2.00×2.80 metros con una superficie de lectura de 3.60 m^2 , que marca la hora civil y el signo del zodiaco en el que se realiza la lectura, mediante las líneas de declinación solar correspondientes a cada signo.
- 1 reloj solar horizontal circular, de 1.5 m^2 de

superficie (1.4 m de radio) que marca la hora solar civil.

- 1 reloj solar polar ecuatorial armillar, de 0.85 m de radio, con una superficie de lectura de 0.375 m², que marca la hora solar civil, dividido en intervalos de quince minutos.
- 1 reloj vertical declinante, de 0.7 m² (1.4 m de radio y declinación semicircular), orientado al Sur que marca la hora solar legal..

Por lo tanto nuestro proyecto gnomónico tiene una superficie de lectura de 8.65 m², que puede ser leído por todos los estudiantes de las facultades de Ingeniería y ciclo básico, siendo este proyecto el más completo del Ecuador, proporcionando la hora con precisión casi absoluta por la variedad de relojes, vistas y perspectivas que ofrece.

3.5.3 DETERMINACION DE LA UBICACION MAS CONVENIENTE

Luego de analizar las diferentes alternativas que existían, encontramos entre el autor de esta tesis, el director de la misma y el decano de la facultad de Ingeniería Mecánica; la ubicación mas adecuada

para los requerimientos de sombra, lectura, recepción de los rayos solares el mayor tiempo posible, dimensiones y estética.

El lugar escogido fue una posición limitante entre las facultades de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, que puede ser divisada desde ambas secretarías de facultad; pero por la necesidad de orientar el cuadrante hacia el Sur, la lectura del sistema gnomónico, la realizarán las personas que van desde los terrenos de la facultad de Ingeniería Eléctrica, hacia la de Mecánica.

Por sus dimensiones, puede ser visto, al igual que determinada la hora, desde mucha distancia, esto es desde la biblioteca, el ciclo básico de Ingenierías, la vía de salida, y otros.

Presentada la justificación de la elección del sitio más adecuado, podríamos decir que la utilidad de este reloj será ilimitada, pues prestará información a miles de estudiantes, sin pérdida de energía alguna y los pondrá a pensar en las bondades de la energía solar y su utilidad para nuestro país.

3.5.4 CALCULOS ADECUADOS Y REVISION DEL TERRENO

El terreno fue adecuadamente revisado, es terreno pedregoso, base de cerro, por esto tiene buenas cimentaciones, pero el sitio elegido lastimosamente se encontraba a desnivel, por lo que fue indispensable el relleno y nivelación del terreno, lo que se hizo con material delgado de cascajo.

Fue necesario la construcción de una pequeña base a nivel, para los cálculos de la meridiana y la obtención de el norte-sur solar, para la orientación del gnomon o estilo que debió ser exacta.

Con la ayuda de un teodolito, facilitado por el director de esta tesis, pudimos comprobar la dirección norte-sur solar y verdadera, y su desviación para este año según los tratados solares, y una vez determinadas estas líneas se podrían construir los cuadrantes y el estilo, base para la orientación del gnomon.

CAPITULO IV

CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO



4.1 MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZARSE

El método para construir el reloj de sol o gnomon hace necesario que se dividan las necesidades de materiales y equipos a lo que se podría señalar como las diferentes etapas que nos llevaron a la construcción en sí, y que serán fácilmente determinables en el procedimiento seguido durante la construcción del citado sistema gnomónico.



Para la etapa previa, se necesitó de mano de obra capacitada, por lo que fué necesario la contratación de un maestro albañil, un albañil y un ayudante para estos. Luego de la elección del lugar ideal, necesitamos de material de relleno, y fue comprado un metro cúbico, luego fue nivelado, para eso se utilizó palas, pico, tiras de madera y un nivel.

Luego para la construcción de una base pequeña nivelada, también se necesitó de dos sacos de

cemento, uno de piedra, varias tiras de madera, además de un flexómetro, bailejos, paletas y demás elementos utilizados tradicionalmente en la albañilería.

Luego fue necesario determinar la dirección norte-sur solar, para lo que utilizamos un teodolito, el cual está provisto de niveles y de una brújula, con una navaja dejamos marcados los puntos indispensables en el piso, estos fueron los elementos previos a la construcción.

No podemos dejar de resaltar la construcción de unas maquetas para comprobar el buen funcionamiento de los cálculos teóricos, en lo que sería el prototipo para la construcción de estas maquetas se utilizó balsa y pancacoa, cartulina y papel bond.

Para la construcción del prototipo, se utilizaron aproximadamente unos treinta y cinco sacos de cemento, mas de cien bloques, unos quince sacos de piedra, varillas de hierro, ladrillos, tiras de madera, plywood, tiza, pintura y dos placas recordatorias. Cabe resaltar que en la pintura del prototipo se trataron de elegir colores armónicos con el medio.

4.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Podríamos dividir este procedimiento experimental en pasos secuenciales para la construcción del sistema gnomónico, o como un cronograma de construcción que tendría como unidad la semana, y que me parece sería lo más adecuado para dar al lector una idea del tiempo empleado en cada parte.

I semana: construcción de las maquetas, y dimensionamiento de sus partes, teniendo una escala adecuada por lo que podría construir un prototipo, de las dimensiones que quisiera.

II semana: Revisamos el terreno y determinamos el lugar más adecuado, límite entre la facultad de ingeniería mecánica y eléctrica, este por encontrarse a desnivel, debió rellenarse y nivelarse lo cual se hizo en dos días, usándose para este efecto un metro cúbico de cascajo liviano. Al siguiente día se construyó una base perfectamente nivelada, para realizar las mediciones de las direcciones norte sur solar y la meridiana, mediante el uso de un teodolito y una brújula.

III semana: Luego se amplió la base para las dimensiones adecuadas, es decir de unos diez metros

cuadrados, claro está perfectamente nivelada. Al segundo día se comenzó la construcción de los cuadrantes y del gnomon, lo que se alargó toda la semana.

IV semana: se realizó la construcción de los anexos a los cuadrantes, que son elementos estéticos que forman parte del conjunto del sistema gnomónico.

V semana: se construyeron los relojes solar polar, vertical declinante y horizontal.

VI semana: se colocaron en alto relieve las líneas correspondientes a la posición del Sol en el zodiaco y de cada una de las horas.

VII semana: en alto relieve igualmente se colocaron los símbolos correspondientes a los signos del zodiaco y de los números desde las seis de la mañana hasta las seis de la tarde.

VIII semana: se pintó todo el prototipo, tratando de que los colores de este fueran lo más armónicos con el medio circundante, también se colocaron las placas recordatorias y se realizaron las pruebas de rigor.

4.3 PRUEBAS EN TERRENO

Se realizaron las pruebas en terreno, como se habían hecho anteriormente en la maqueta, que se construyó para estos efectos, por lo que debemos señalar, que resultaron por demás satisfactorias, la diferencia es casi imperceptible en cada hora y la exactitud de cada uno de los relojes de Sol, está dentro de los parámetros aceptados para la hora obtenida por medio de la sombra, esto de acuerdo a los patrones internacionales, debemos señalar que debido a un error en la construcción, había una diferencia de diez minutos en las tres de la tarde y diez de la mañana (de acuerdo al reloj atómico de la Armada), pero se corrigieron adercuadamente, también cabe señalar, que estos errores se cometieron debido a que el autor de estas líneas tuvo un accidente por el cual debió estar en una clínica durante unas semanas, por lo que existieron errores que luego se enmendaron.

CAPITULO V

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

Concluidas las pruebas experimentales, se procede a analizar y evaluar lo siguiente :

- 1) El diseño y construcción del prototipo, mediante la comparación de los parámetros medidos y los parámetros calculados con las ecuaciones desarrolladas en este trabajo.

El diseño del sistema gnombnico presenta un gran reto de construcción e instalación, aunque existen algunos elementos que deben ser analizados adecuadamente para determinar el éxito de este diseño, tales como :

- El Estilo o gnomon, deberá tener el ángulo adecuado para realizar las mediciones, puesto que por la cercanía que tenemos a la estrella polar, esto podría complicar las mediciones, una alternativa para este problema sería la de utilizar un gnomon que forme noventa grados con la horizontal, en vez de los cuarenta y cinco que se diseño; pero el diseño que

utilizamos nos dió muy buenos resultados, antes del fin de la construcción del prototipo se decidió alargar con el mismo ángulo el estilo, puesto que daba una apariencia mas estética.

- Los cuadrantes, fueron cálculos en la dirección exacta este-oeste solares, mediante el uso del teodolito; tienen noventa grados con la horizontal, en el caso de tener un estilo de noventa grados, deberían tener entonces cuarenta y cinco grados, es decir se tendría un diseño alternativo, a mi parecer muy adecuado para nuestra posición geográfica, no importa sus dimensiones, no así las del gnomon que deben ser precisamente calculadas.

- Los relojes solar polar, vertical declinante y horizontal, se construyeron para revisar la exactitud del reloj principal, que es un vertical ecuatorial, responden adecuadamente y con una exactitud adecuada para un reloj de Sol, que da la hora local civil.

Los otros parámetros como la variación de la hora del gnomon con la legal del país, fué medida para determinar las variaciones máximas y mínimas, las cuales fueron de:

- Dos minutos la máxima
- Exacta, sin variación en la mayoría de las horas.

Esta variación es aceptable en los parámetros de construcción de relojes de Sol, que son de hasta diez minutos, para estándares internacionales según información proporcionada por el club de constructores de relojes de Sol en España.

En cuanto a la construcción del Reloj de Sol, se observó que es de un buen grado de facilidad, para quien sea diestro en la albañilería, estudios de suelos, topografía y Astronomía.

Un diseño alternativo se lograría si usáramos elementos de alta resistencia, bajo peso, y que no se corroan en ambientes de alta humedad y que tenga similares características para doblar y soldar el material. El aluminio sería una propuesta que se debería tomar en estudio, ya que aunque cumple con lo anterior su costo es superior al del cemento y es más meticuloso para el doble y la suelda. Siendo una premisa de estudio para la elección de los materiales el costo, se deberá tomar esta propuesta para el análisis, ya que los relojes de Sol tienen una larga vida de funcionamiento y requieren de poco mantenimiento.

Los datos de nuestro sistema gnomónico son los de tener por coordenadas geográficas :

- $2^{\circ}9'51.3''$ de latitud Sur

- $79^{\circ}55'51.6''$ de longitud Oeste.

Está definido por un estilo de 2.20 metros de altura y una superficie de medición de 15.68 metros cuadrados; y lo componen :

1 Reloj Solar Vertical Ecuatorial

- 1 Reloj Solar Polar

- 1 Reloj Solar Vertical Declinante

1 Reloj Solar Horizontal

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Uno de los principales propósitos para la ejecución de este estudio investigativo, fué la creación de un signo, hito, símbolo que da un carácter de identidad, orientación y preocupación a lo que sería tratar de ser más consecuentes con lo que nuestra casa de formación debería significar para cada uno de sus hijos, y por lo tanto, contribuir de alguna manera a sentirla mas nuestra y desear que hallamos contrubuido a su engrandecimiento.

El reloj urbano como servicio público, es mas una señal de servicio que la respuesta a un problema existente. El gnomón que se diseñó, tratará de dirigir la mirada de todos hacia ese gran caudal de energía proveniente del astro rey, abundante en nuestro país, pero lamentablemente desaprovechada. Trataremos por lo tanto de ampliar el campo de la señal hacia nuevos objetivos.

Nuestro diseño tratará de introducir un cambio en nuestra mentalidad estrecha de que la energía solar solo puede ser utilizada por aquellos que estan al alcance de la tecnologia en este campo, mientras que nosotros proponemos una solución al como producir información, sin pérdida de energía.

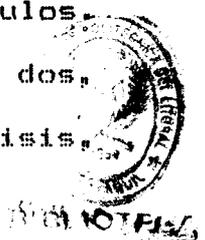
El proyecto gnomónico consta de una serie de volúmenes interrelacionados y proporcionados entre sí, no intentamos ser monumentales, pero sí emblemáticos, públicos y ecuménicos, tratar de traspasar los límites de nuestra Politécnica, para una identificación con frutos directos para Guayaquil, Ecuador y América. En definitiva colocar Al Sol, como originador de vida, el tiempo como espacio astronómico y la sombra como medida natural.

El presente trabajo ha cumplido con el objetivo de ofrecer una metodología eficaz y de fácil manejo para el diseño de relojes de Sol, sean estos verticales, polares, declinantes u horizontales, además incluimos la explicación sobre todas las clases de relojes de Sol, que han existido a lo largo de la historia; y su construcción fruto de lo cual se ha obtenido :

1) Una fórmula matemática y un proceso geométrico-descriptivo, para la obtención de relojes de Sol, en cualquier lugar del mundo, cuyos datos de ingreso son la situación geográfica del lugar elegido para la construcción, y el tipo de reloj que se desea construir.

2) Se obtuvo una maqueta en base a las fórmulas obtenidas, la que luego se comprobó y que sirvió como

base para la construcción del prototipo, donde se comparó el comportamiento de esta maqueta con la que nosotros esperábamos en base de nuestros cálculos. Comprobándose la gran similitud que hay entre las dos, es decir, que las ecuaciones bases para el análisis, estuvieron y están muy bien encaminadas.



3) Se desarrolló a lo largo de estas páginas numerosas explicaciones sobre el origen desarrollo, metodología de construcción, diseño y ubicación de los relojes de Sol, con sus debidas demostraciones, para hacer de este trabajo un manual de consulta y apoyo para el estudiante.

4) Se construyó un prototipo, que quedará en nuestra Politecnica como simbolo de la utilidad del Sol, y de que se puede dejar una huella de nuestro paso, por la institución que nos hizo profesionales; es decir que cuando se quiere se puede.



En otras palabras se han desarrollado y obtenidos los objetivos propuestos a cabalidad y se ha avanzado aún más allá, en beneficio de una ciencia productiva, dirigida a elevar el medio de vida de todos, en especial para los jóvenes con anhelos de justicia y constructores de un mundo de amor, para quienes va dirigido este trabajo.

Se han elaborado algunas recomendaciones, para posteriores estudios, así tenemos :

1) El estudio de sistemas alternos de energía, como la eólica, hidráulica; que serán la respuesta que andamos buscando para el futuro, en pro de beneficios sin perdida de energía y sin gasto por su uso, sino tan solo de inversión.

2) En cuanto al diseño del reloj de Sol, se observa que deberi ser tomados en cuenta los siguientes criterios, entre los cuales cito :

- La implementación de relojes lunares, para poder tener acceso a la hora, en los periodos de luna, que van de cuarto creciente a luna llena y los que van de luna llena a cuarto menguante, logicamente esta solución será para poder usar el reloj por las noches.

- Los ángulos y algunas dimensiones deben ser evaluadas según las ecuaciones respectivas de este trabajo para que el rendimiento sea el más óptimo.

- Para efectos de futuros estudios se deberá

revisar aun mejor los datos geográficos obtenidos, para obtener aun mas exactitud, y asi nuestros resultados sean más óptimos en diseño, y tener un cierto margen de seguridad.

- 3) En cuanto a la construcción del reloj de Sol, una mejora que se puede hacer en este campo, sería el de usar materiales mas esteticos, esto lo lograríamos si usáramos elementos sustitutos, como por ejemplo, el aluminio.

- 4) La mejor aplicación que podemos darle a este sistema gnomónico sería en la demostración de que la energia solar- se encuentra a nuestro alcance, debido a que no estaría supeditado a que existan técnicos extranjeros que nos desarrollen en ese ramo, sino que nosotros mismos somos los responsables de nuestro desarrollo, y que los frutos de la politécnica no son solo teoricos y para pocos, sino prácticos y para todos, como se necesita que sea.

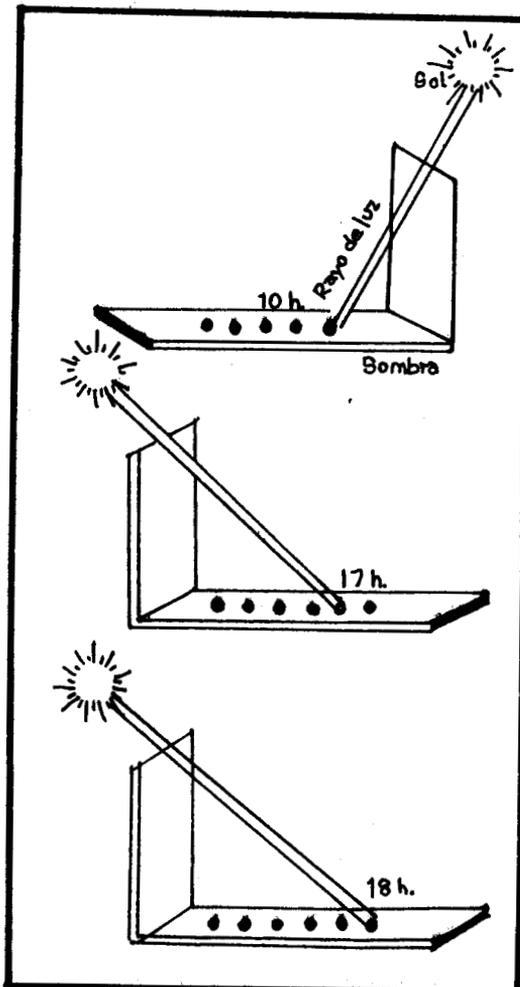
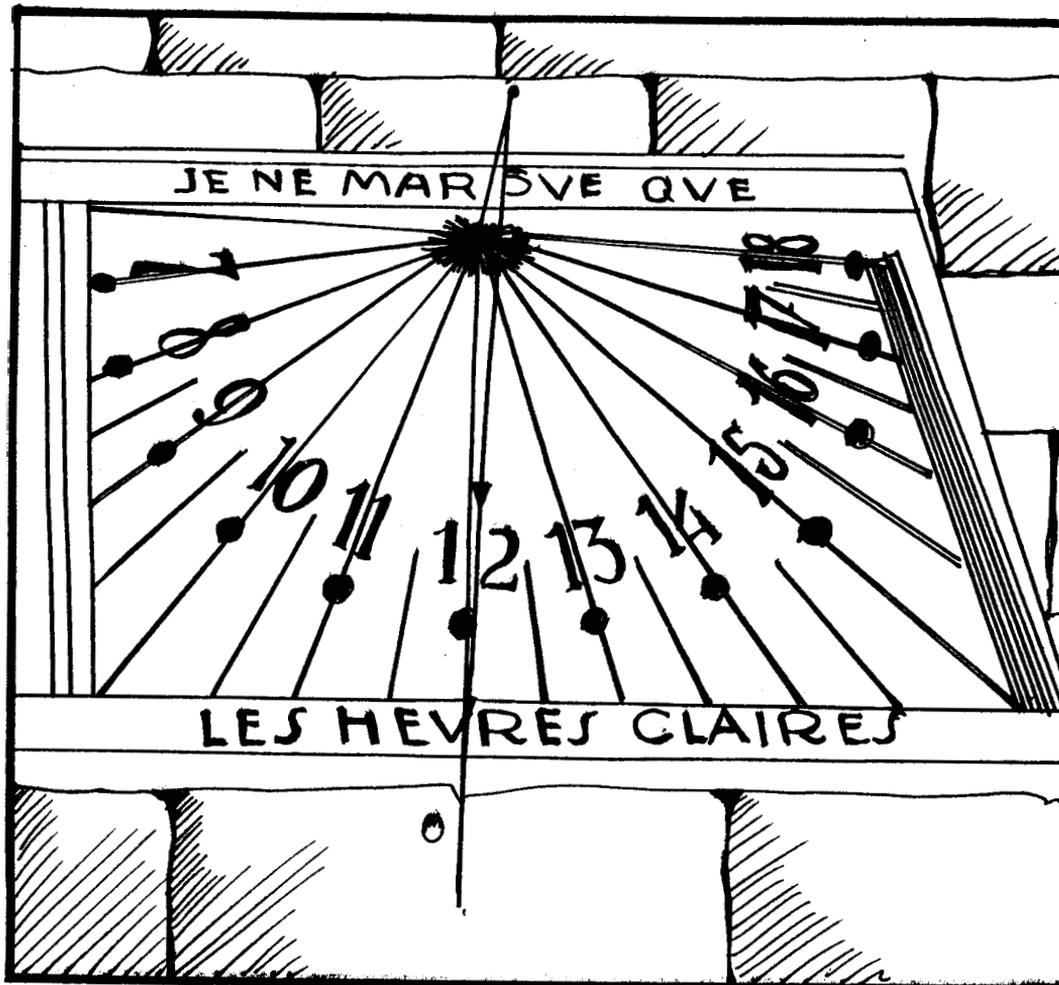


FIGURA Nº 1.1.2B : Primeros relojes verticales franceses.

FIGURA Nº 1.1.2C : Principio de medición de tiempo por medio de la variación de la sombra.



FIGURA Nº 1.1.2 D : Reloj Solar
vertical Caldeo.

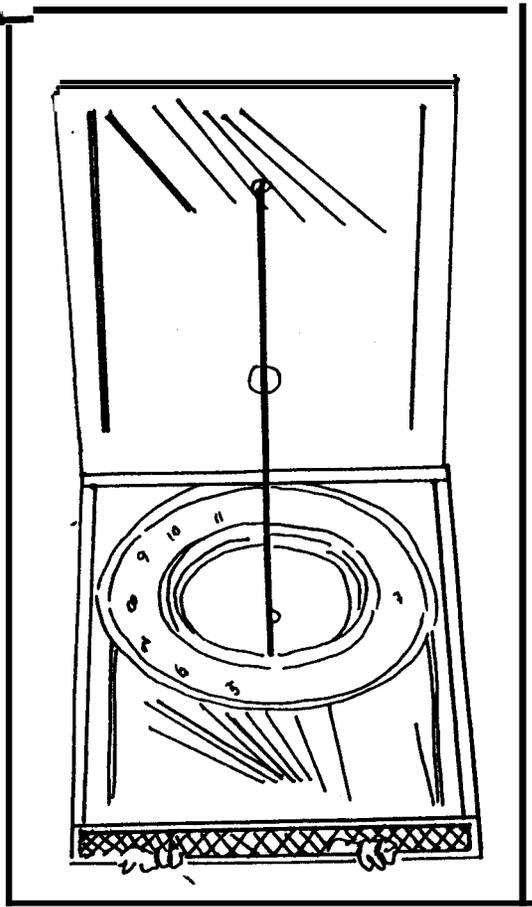


FIGURA Nº 1.1.2E :Reloj solar con orificio, de bolsillo.

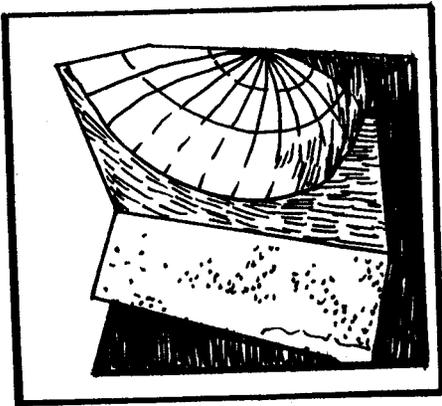


FIGURA Nº 1.1.2F :Reloj solar de cuenco.

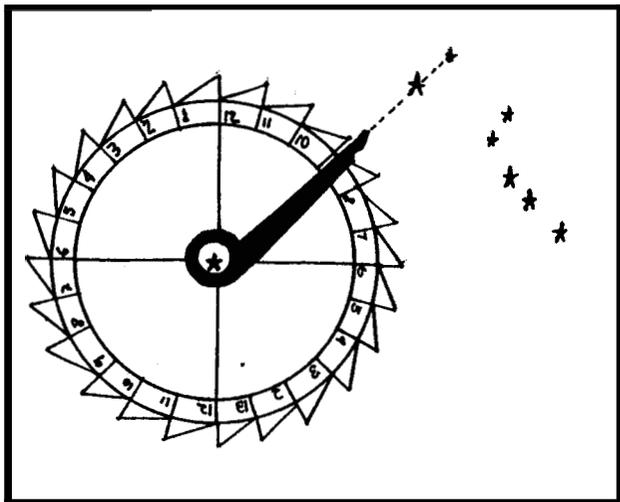


FIGURA N° 1.1.2G :Reloj solar judío
basados en la estrella polar.

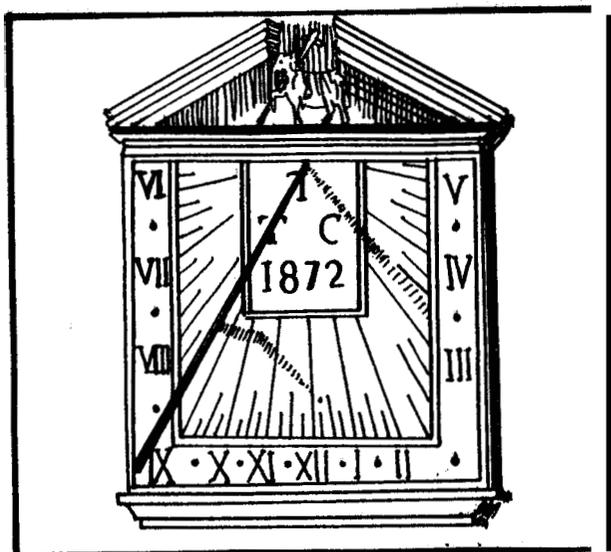


FIGURA N° 1.1.2H :Reloj solar
vertical ingles.

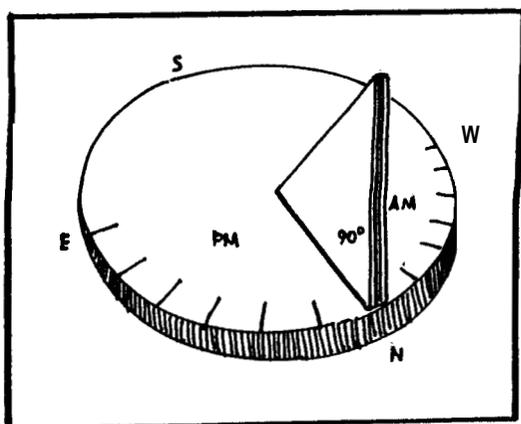


FIGURA N° 1.1.2I : El reloj solar
difundido: Horizontal.

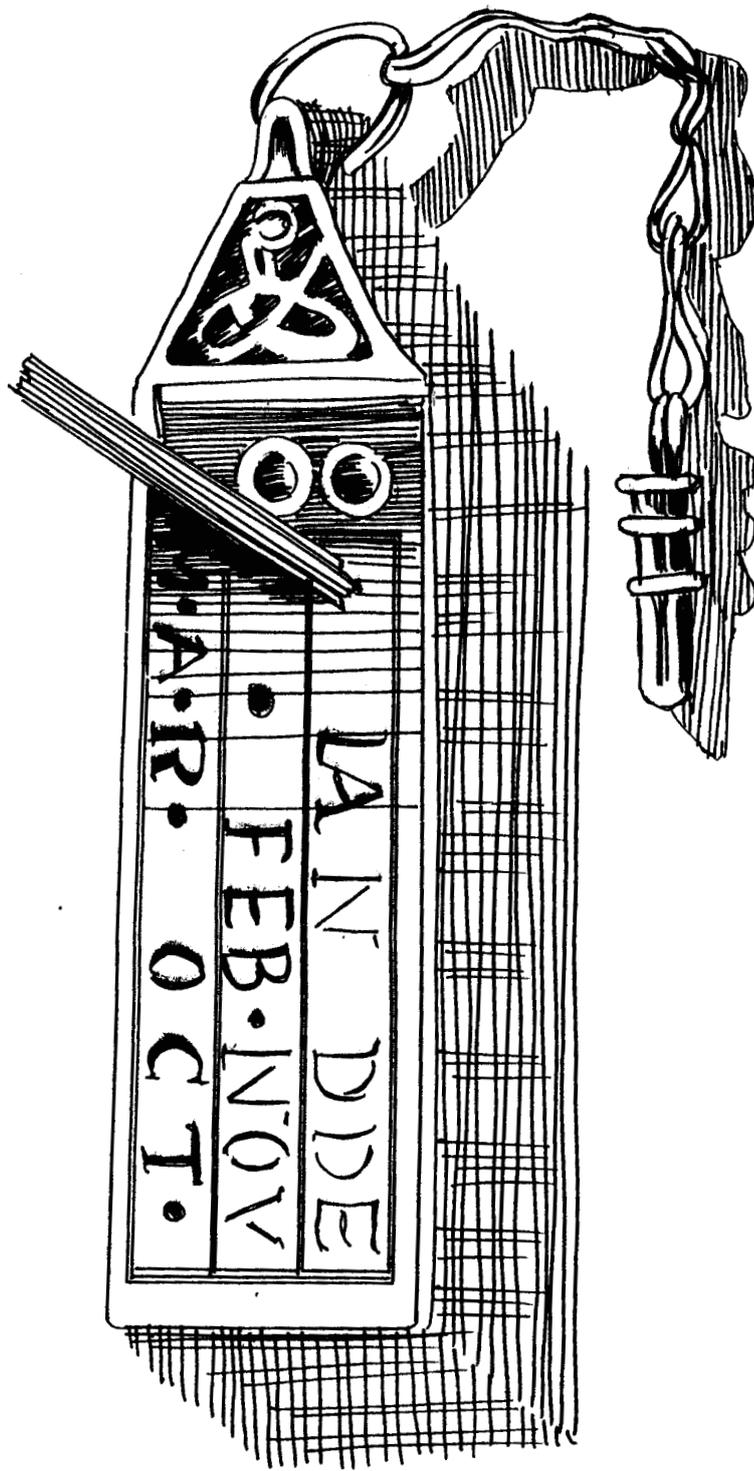
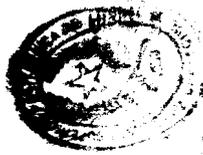


FIGURA Nº 1.1.2J :Reloj solar Sajón de bolsillo.



FIGURA Nº 1.1.2K : Reloj Babilónico vertical.



MOVIMIENTO DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL.

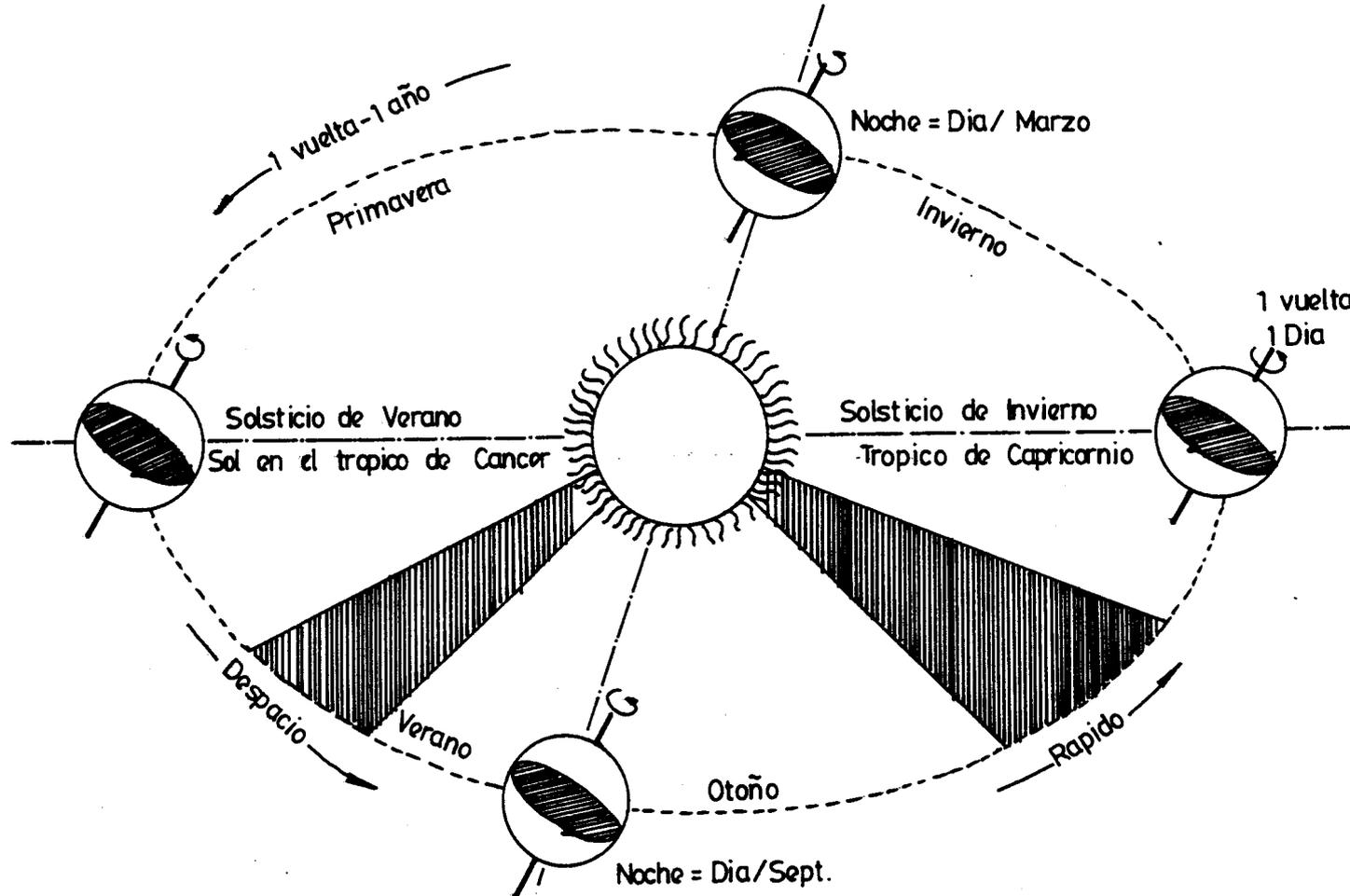
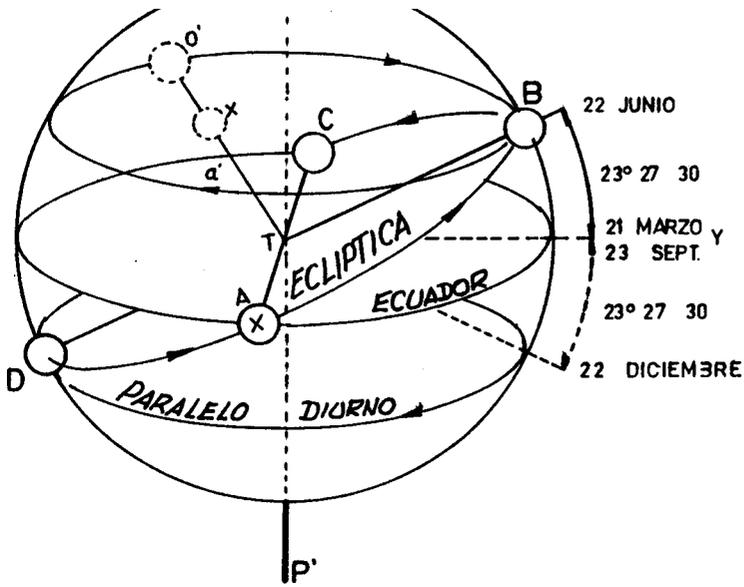


FIGURA Nº 2.3B :



Variación en la inclinación del Sol en la bóveda celeste en el año.

FIGURA Nº 2.3C :

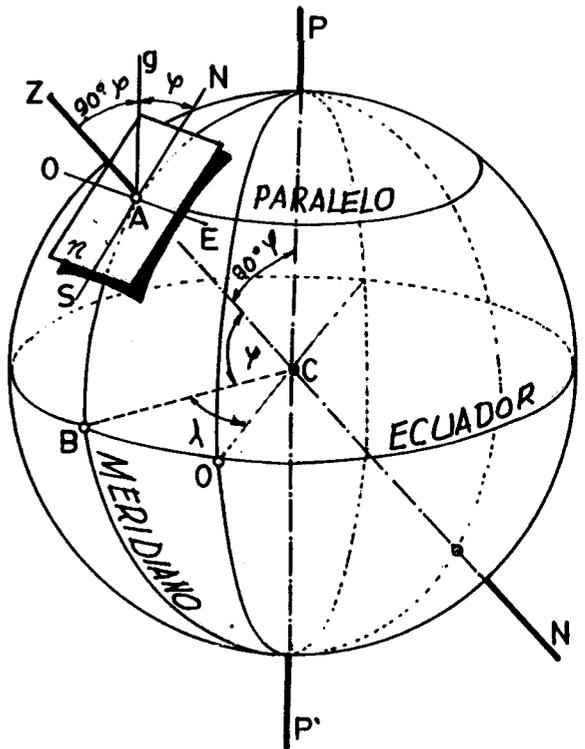


Figura 1.
Relación entre la Latitud y la inclinación del eje solar.

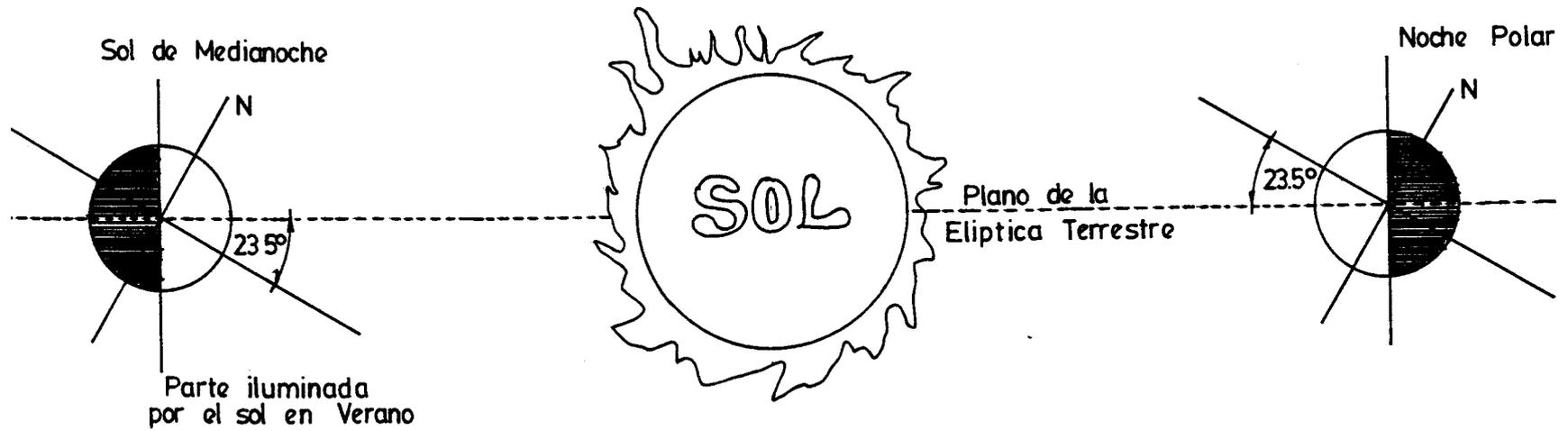


FIGURA Nº 2.3 D : Relaciones terrestre solares.

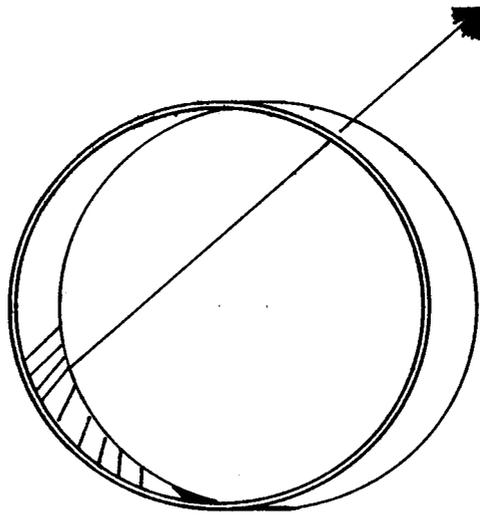


Figura N 2.3 E : Reloj solar Anular.

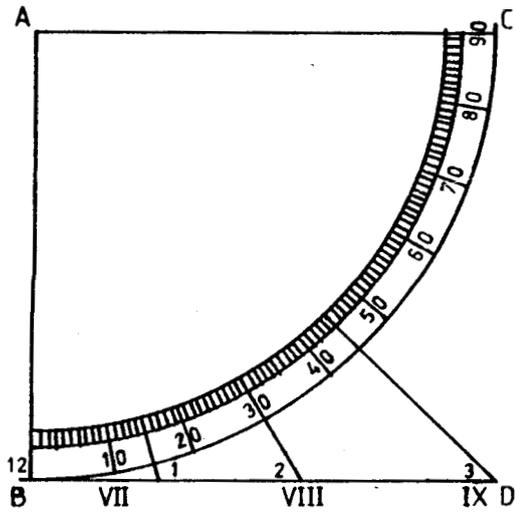


Figura N 2.3 F : Calculo del reloj solar vertical.

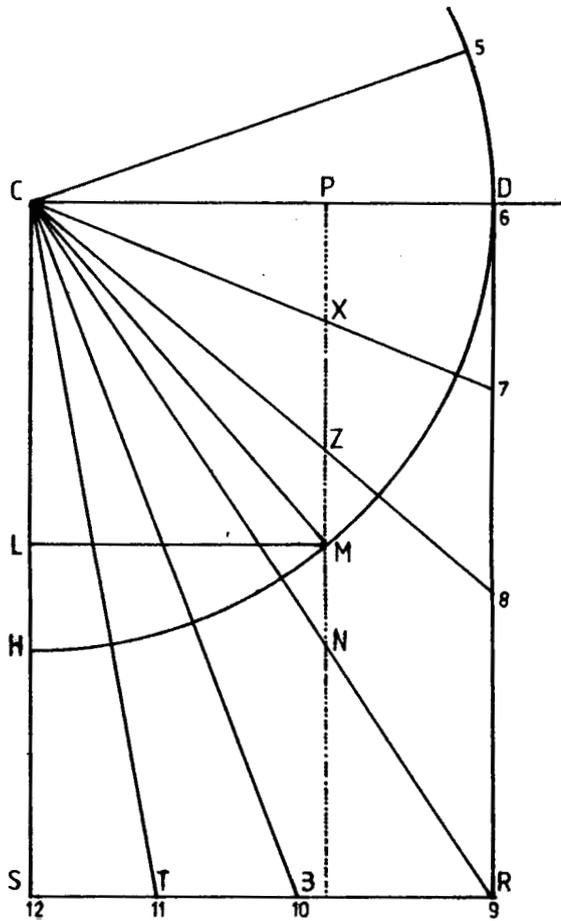


Figura N 2.3 G : Cuadrante de Reloj solar vertical.

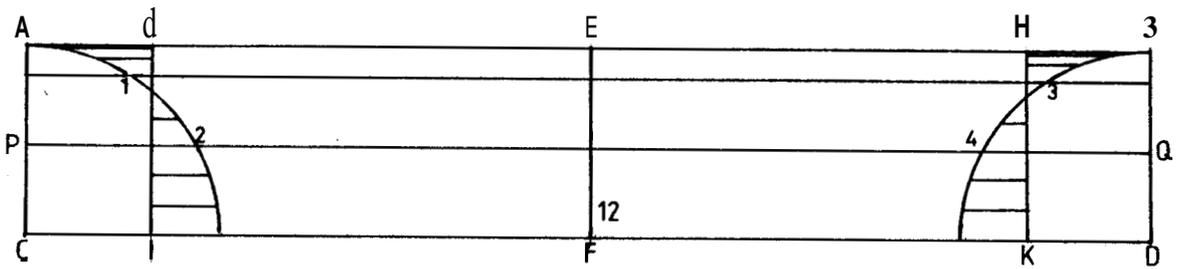


FIGURA Nº 2.3 H : Obtención de un reloj solar de ánulo.

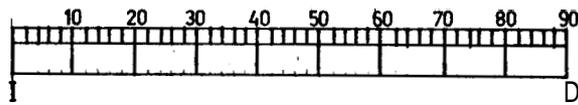
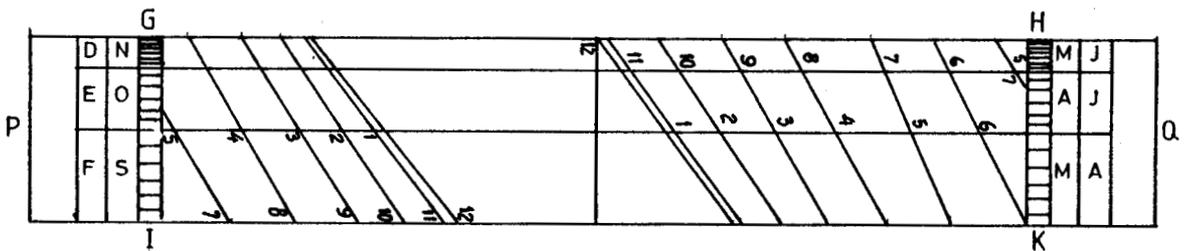


FIGURA 2.3 I : Escala del reloj solar de ánulo.

FIGURA Nº 2.3J : Reloj solar de ánulo.



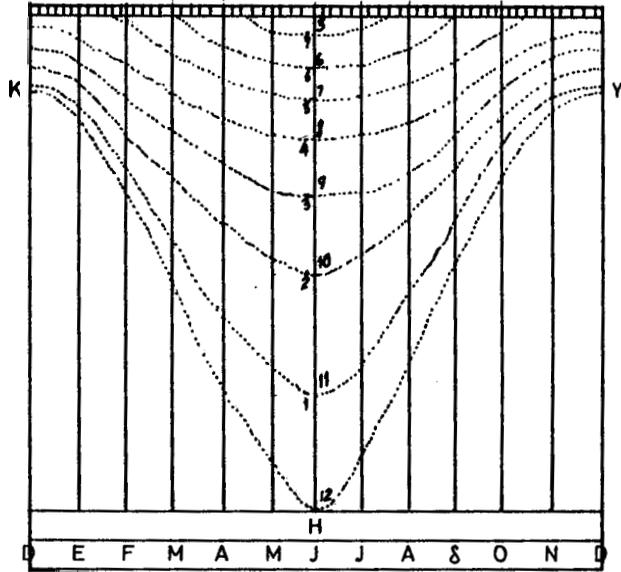


FIGURA Nº 2.3 K : Metología del reloj solar cilíndrico.

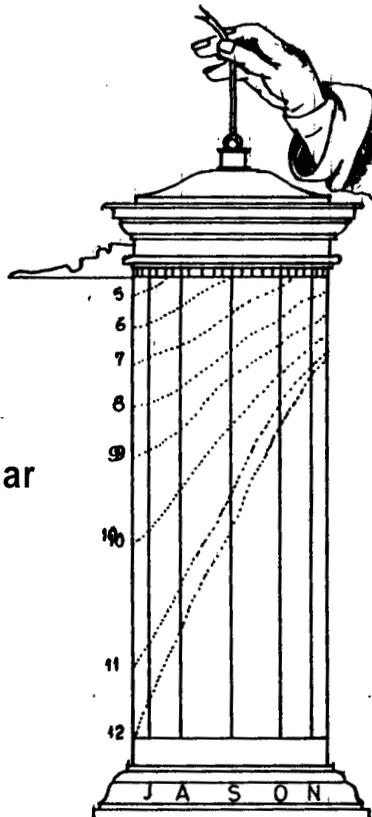
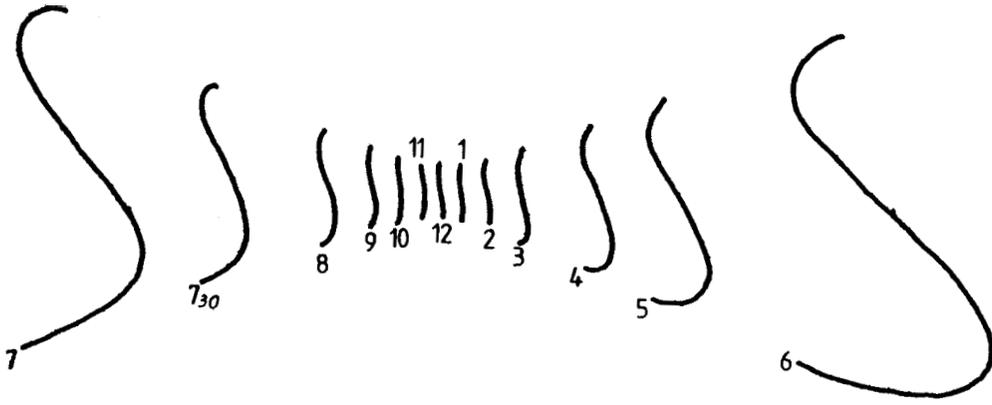


FIGURA Nº 2.3 L : Reloj solar cilíndrico.

FIGURA Nº 2.3 M : Signos del zodiaco y sus correspondencias.

D		10.	Capricornio
E		11.	Aquario
F		12.	Piscis
M		1.	Aries
4		2.	Tauro
M		3.	Geminis
J		4.	Cancer
J		5.	Leon
A		6.	Virgo
S		7.	Libra
O		8.	Escorpion
N		9.	Sagitarario



21 DIC / 21 JUN

21 JUN / 21 DIC

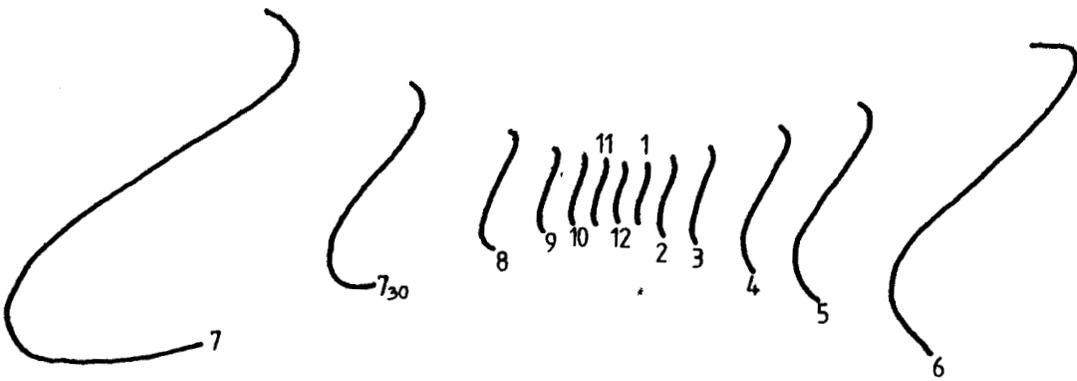


FIGURA Nº 2.3 N : Relojes solares polares

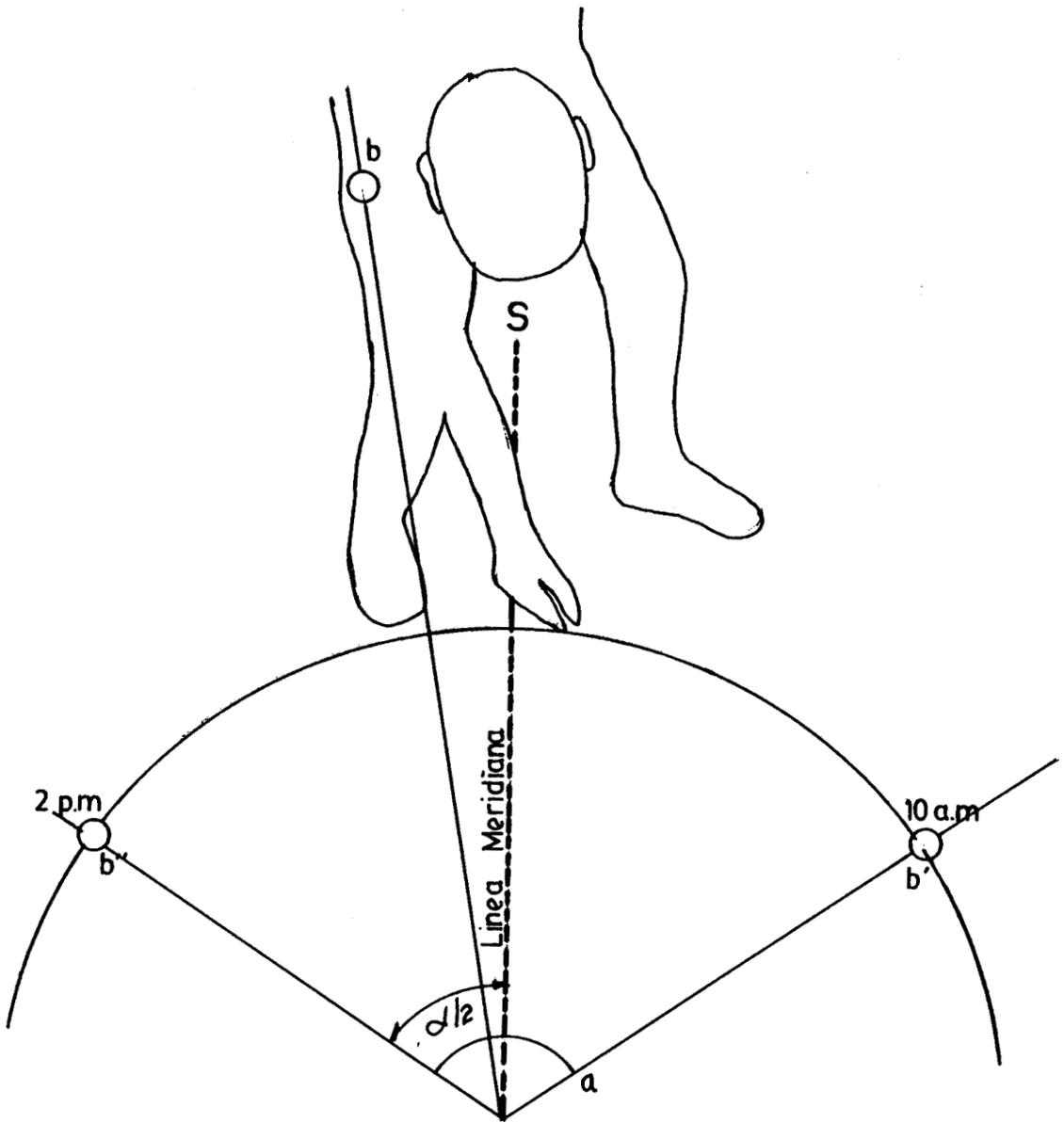


FIGURA Nº 2.4.1 : Obtención de la línea norte - sur solar.

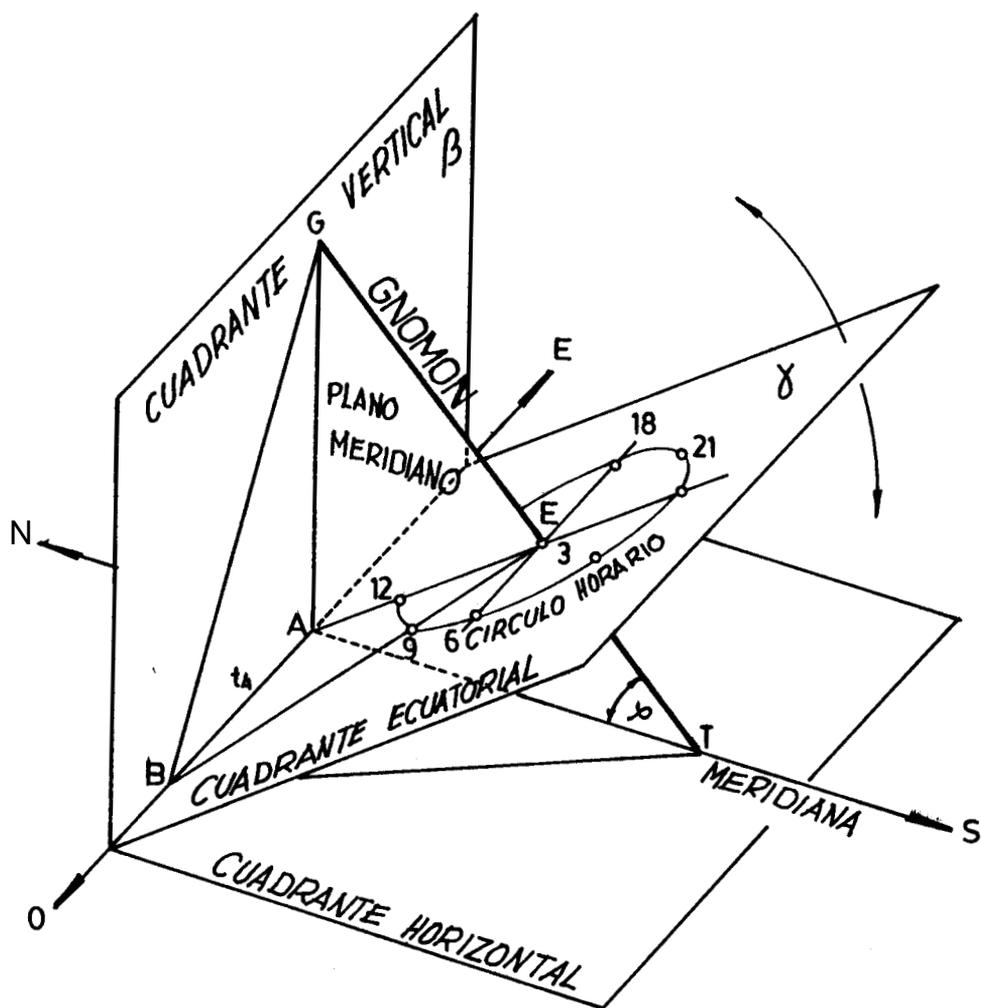
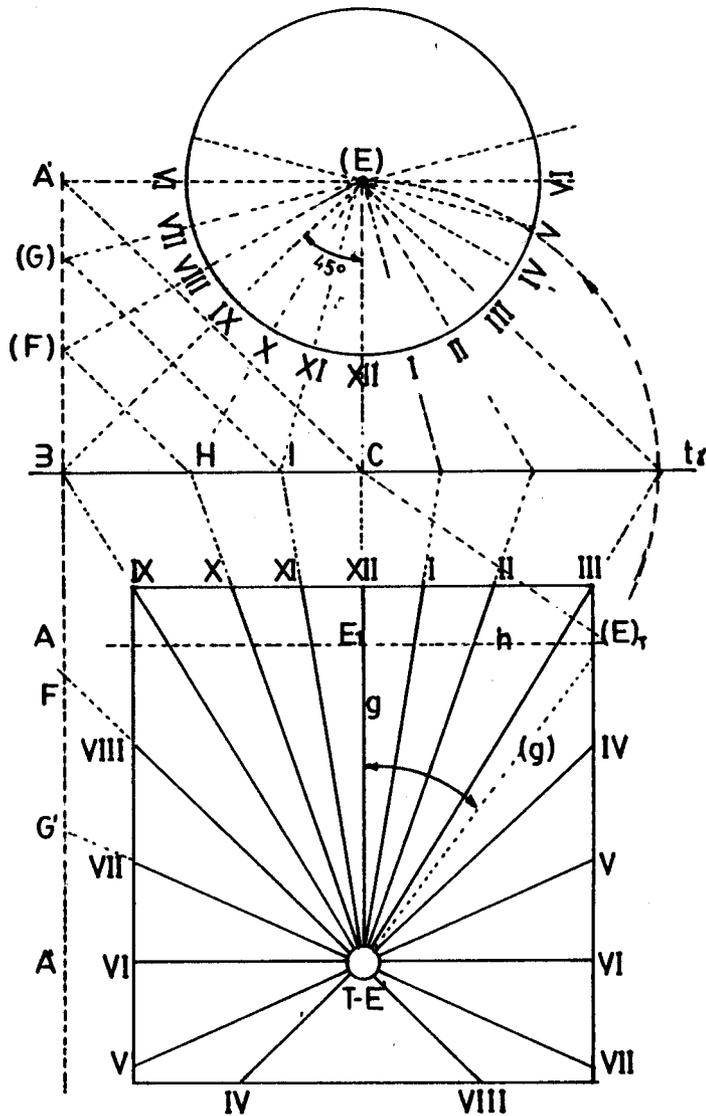
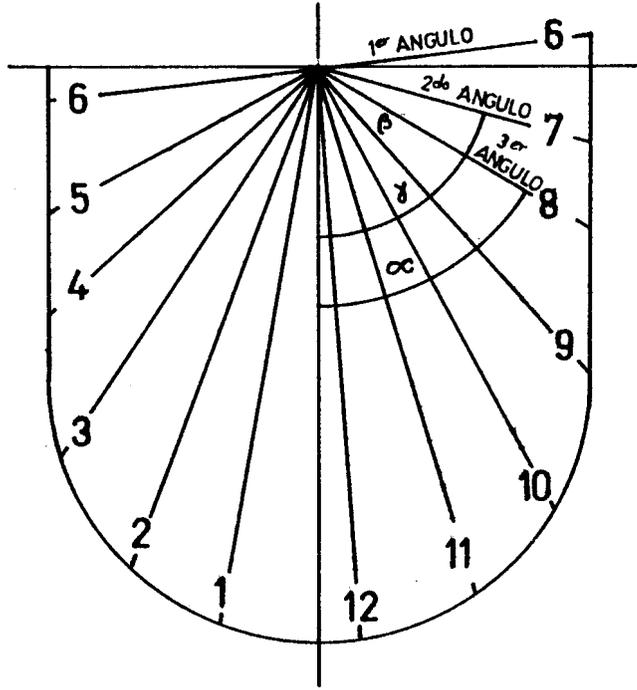


FIGURA Nº 3.1 A : Método descriptivo de cálculo para nuestro modelo.

FIGURA Nº 3.1 B :

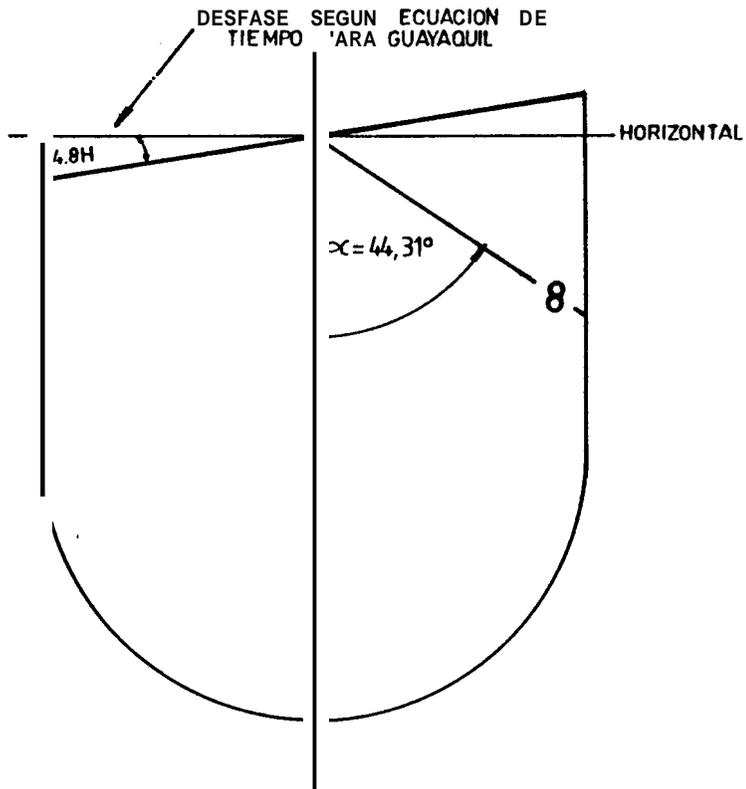


CALCULO DE UN RELOJ DE SOL
HORIZONTAL
(Metodo Descriptivo).



VERTICAL

Figura N 3.2.1 A : Diagrama del gnomon en base a nuestra ecuacion.



VERTICAL

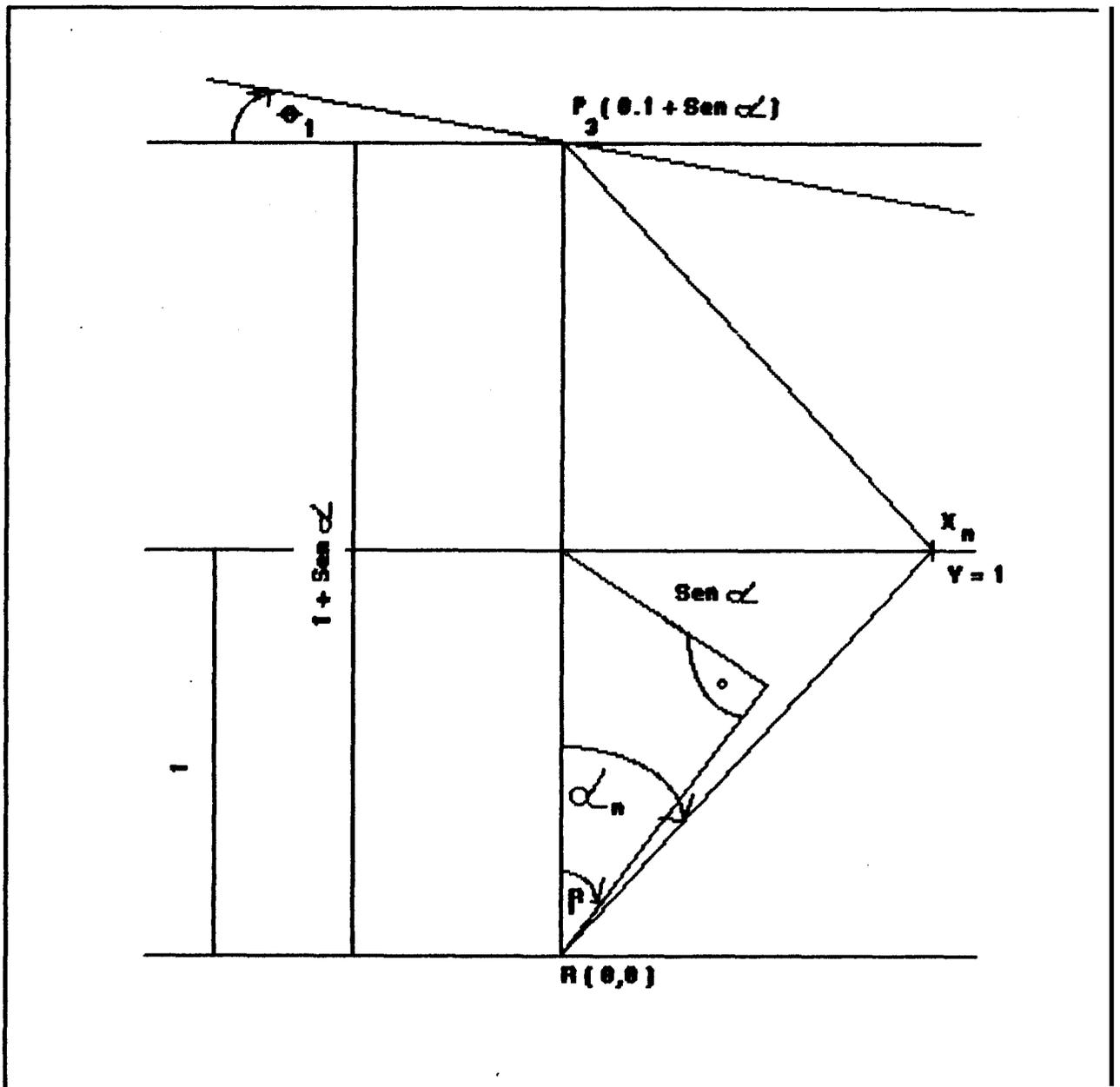
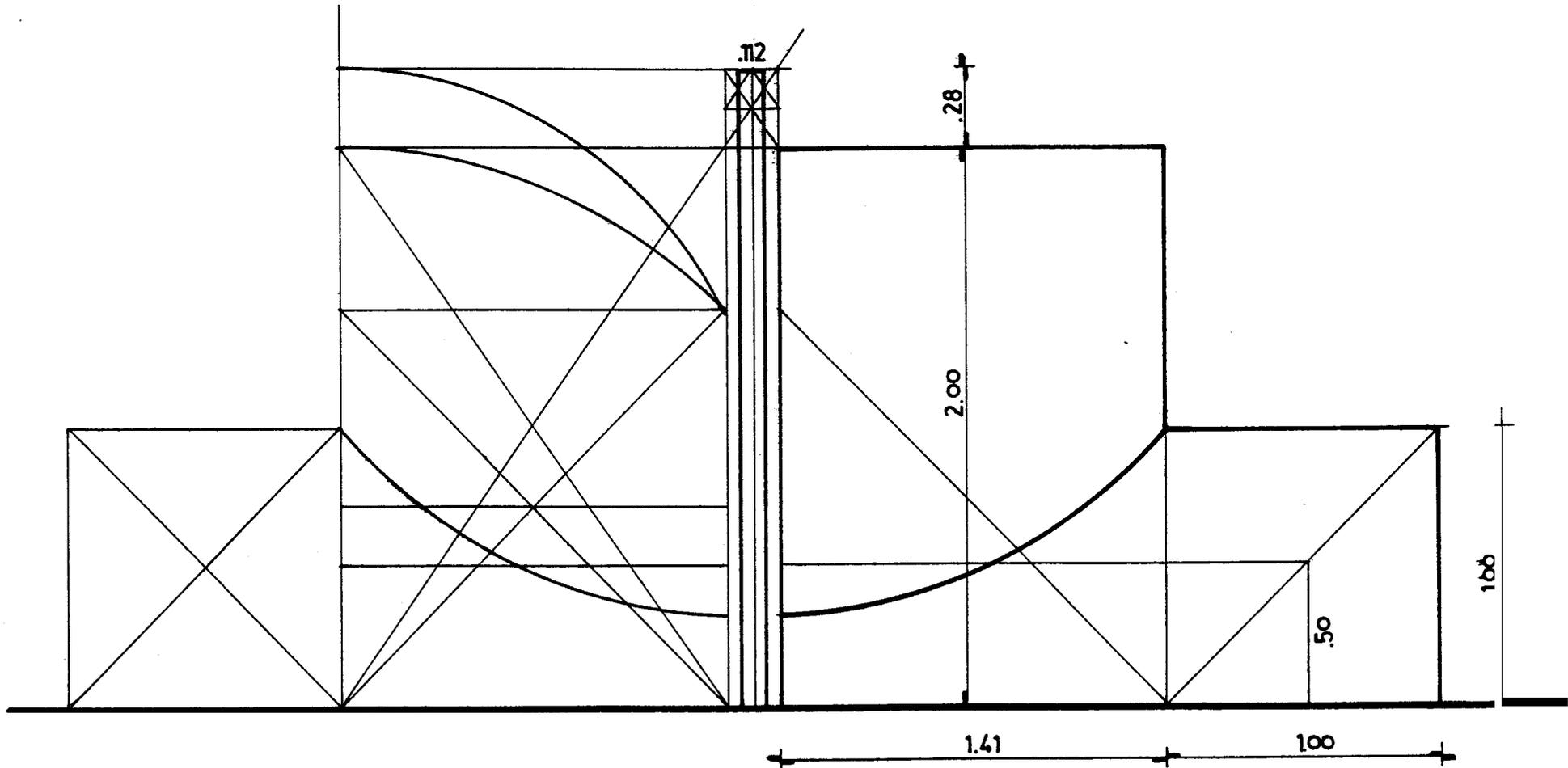


FIGURA Nº 3.2.1 B: Diagrama base para la obtención de nuestra ecuación.

PROPORCIONES Y DIMENSIONES



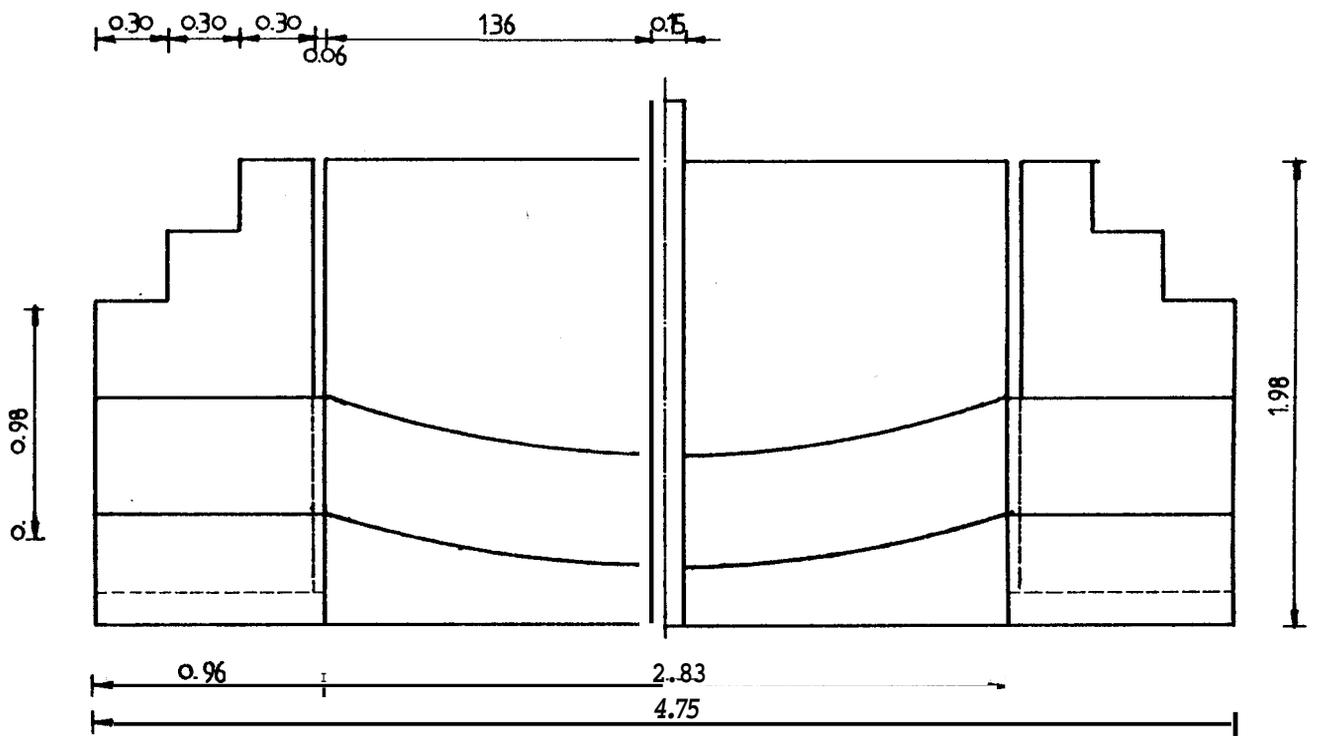
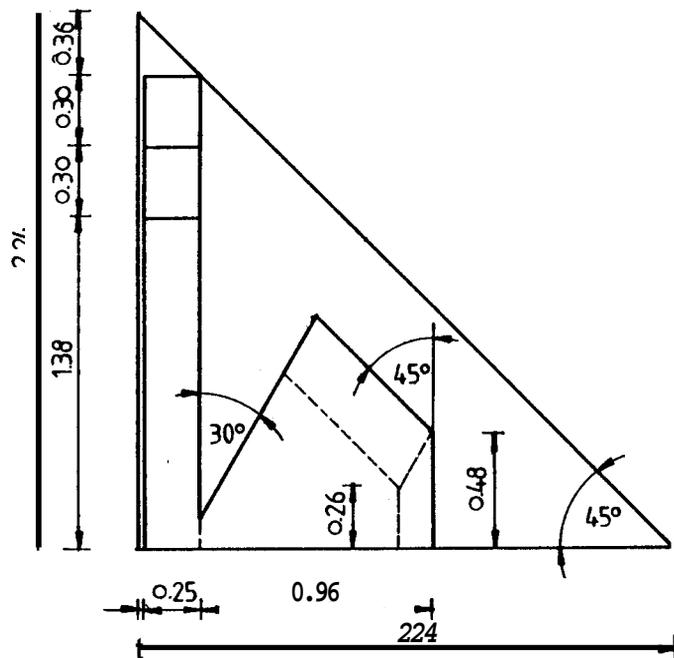


Figura N 3.5.2 B : Plano de nuestro modelo.



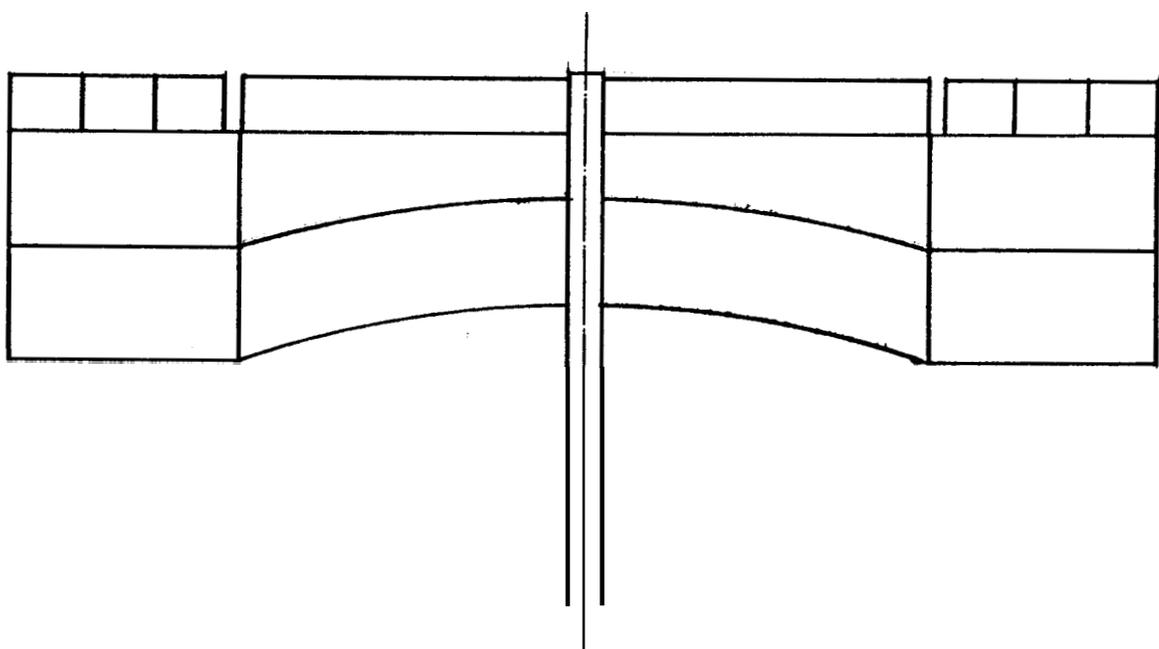


Figura N 3.5.2 B : Plano de nuestro modelo.

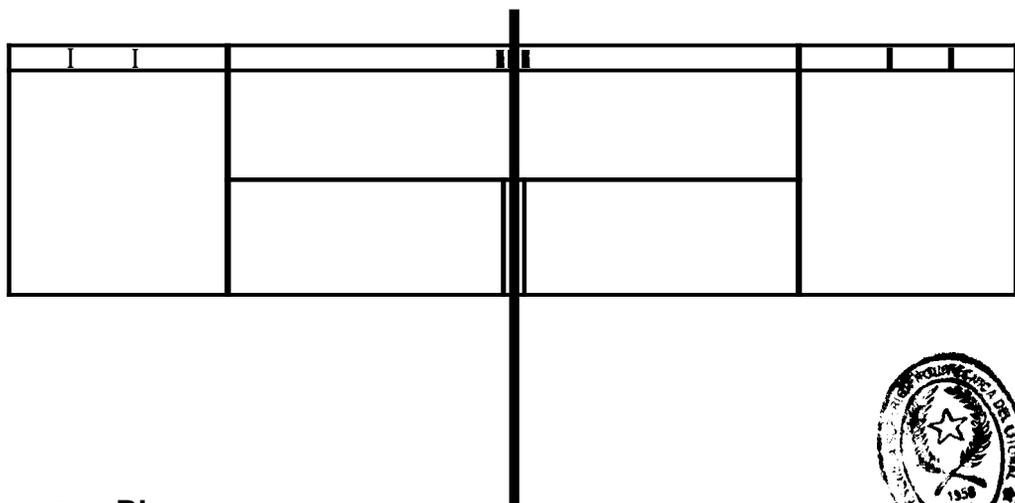
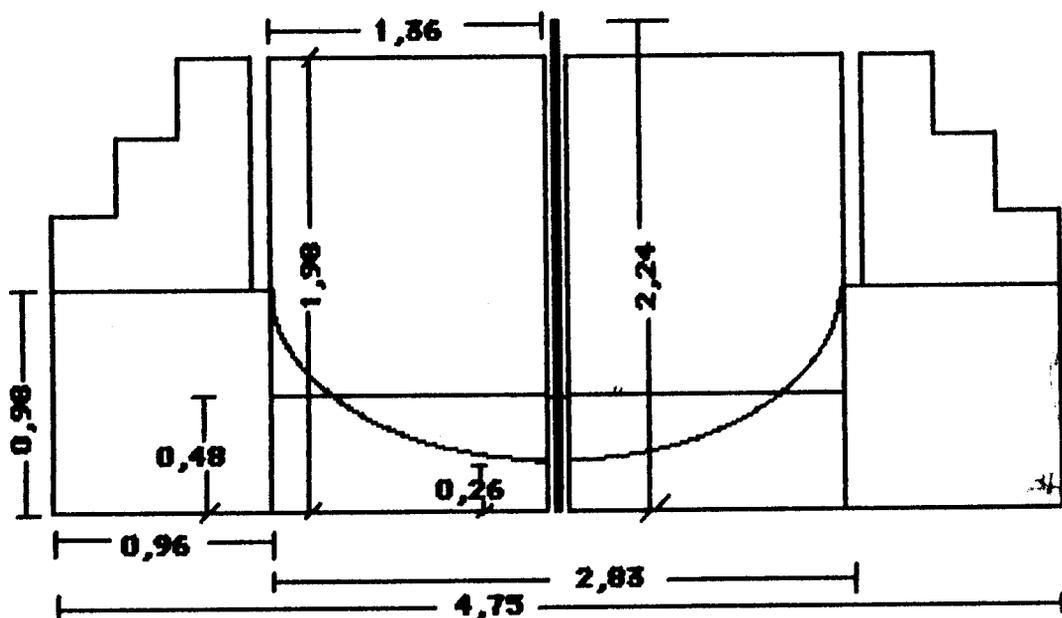
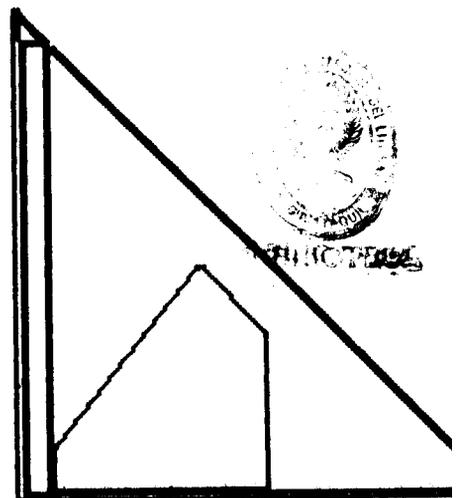
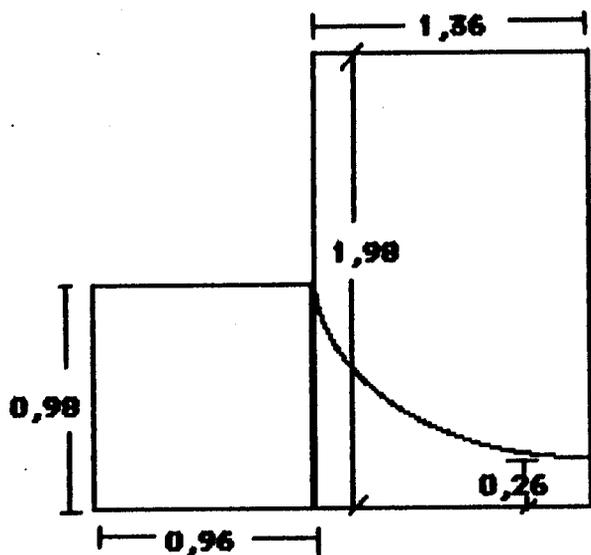
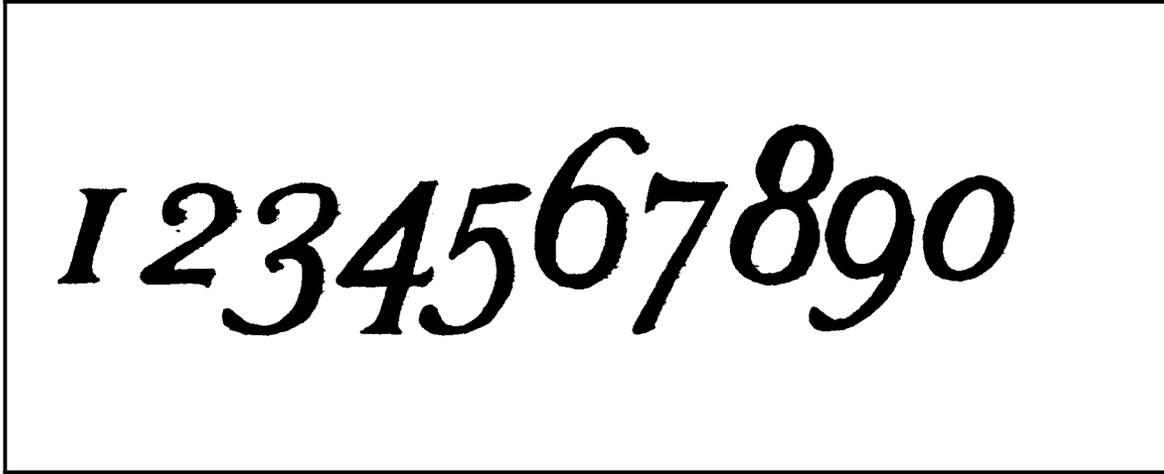


FIGURA Nº 3.5.2B : Plano de nuestro modelo.



1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

FIGURA Nº 3.5.2 C : Numeración Arabiga.

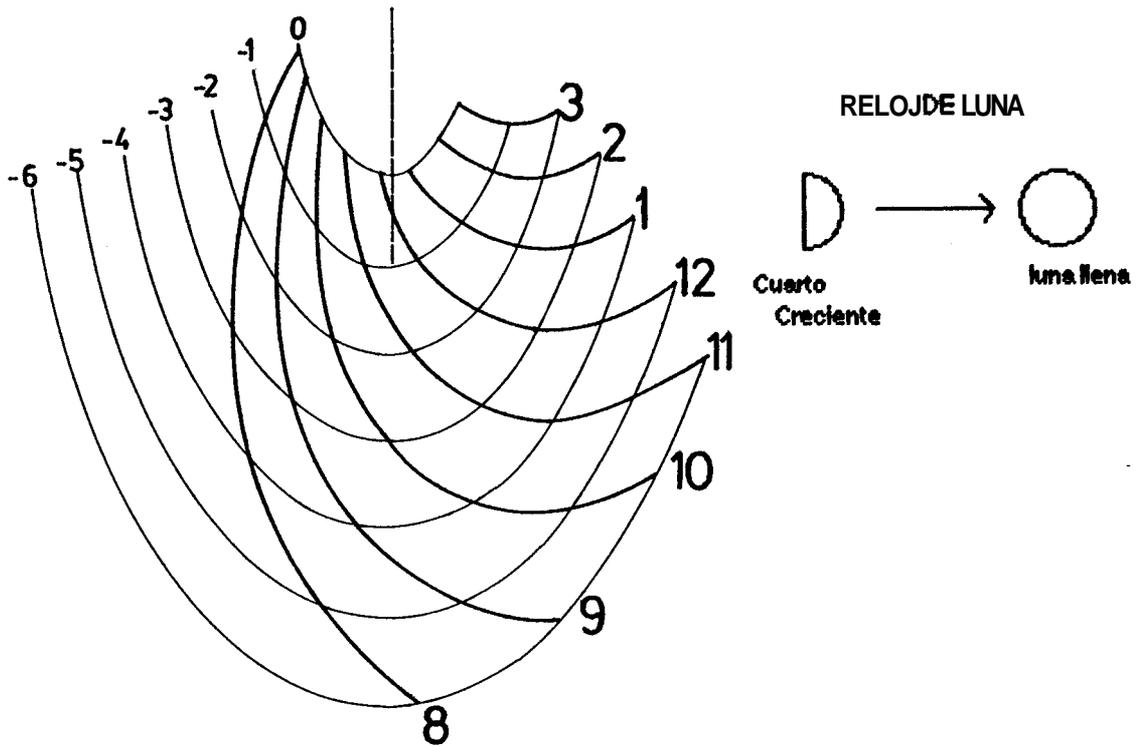


FIGURA Nº 3.5.20 : Reloj lunar vertical para el periodo de cuarto creciente a luna llena

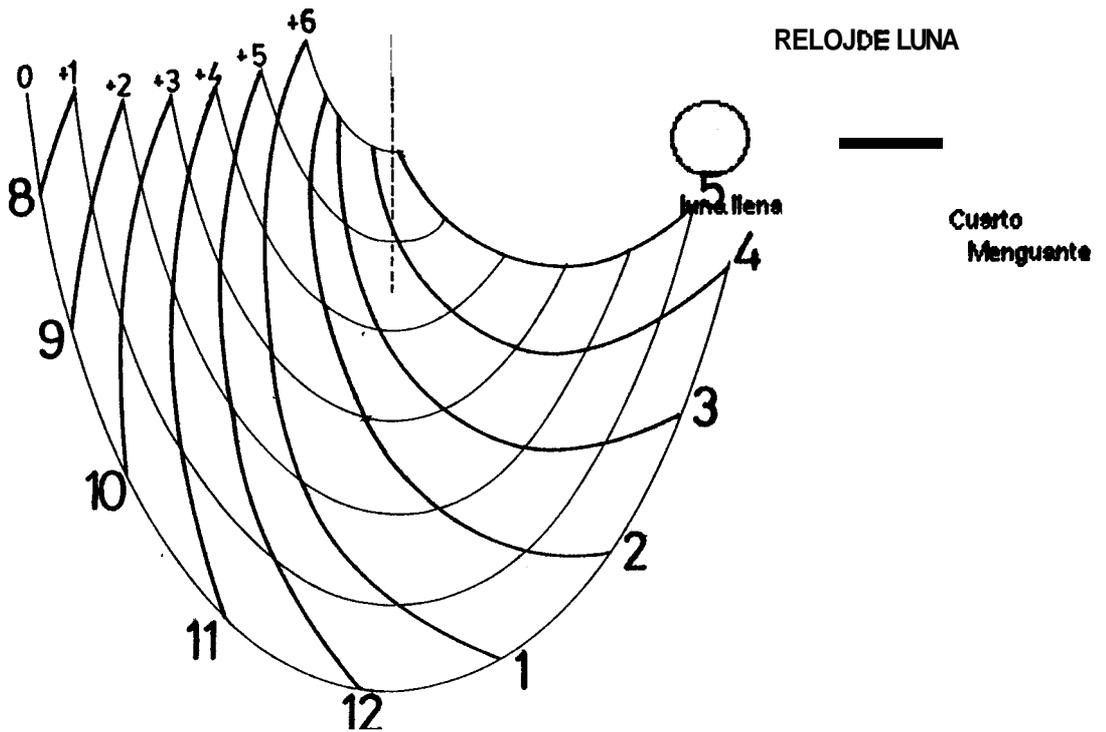


FIGURA Nº 3.5.2E : Reloj lunar vertical, periodo de luna llena a cuarto decreciente

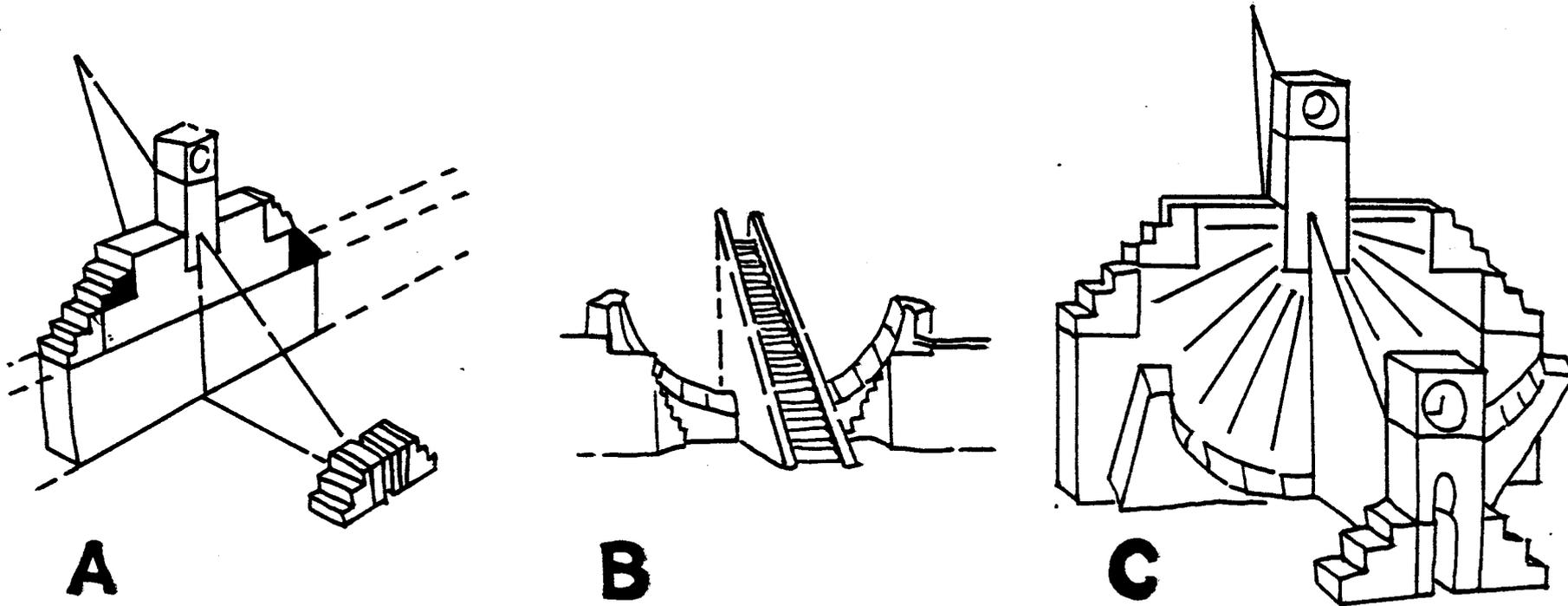
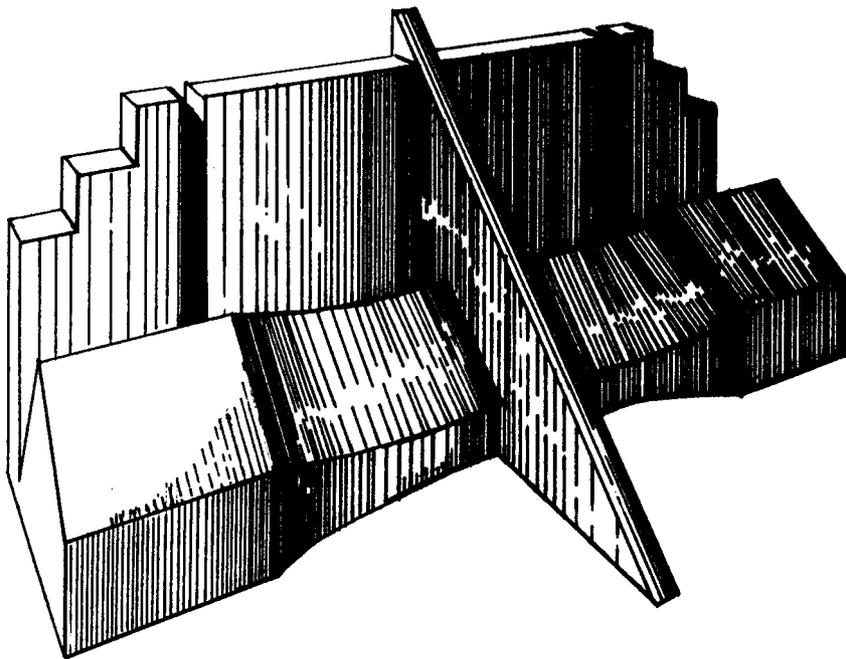


FIGURA 4.1 : Posibles alternativas del proyecto gnomónico.



**Figura N° 4.1 D : Complejo gnomonico
" Facultad de Ingenieria
en Mecanica ".**

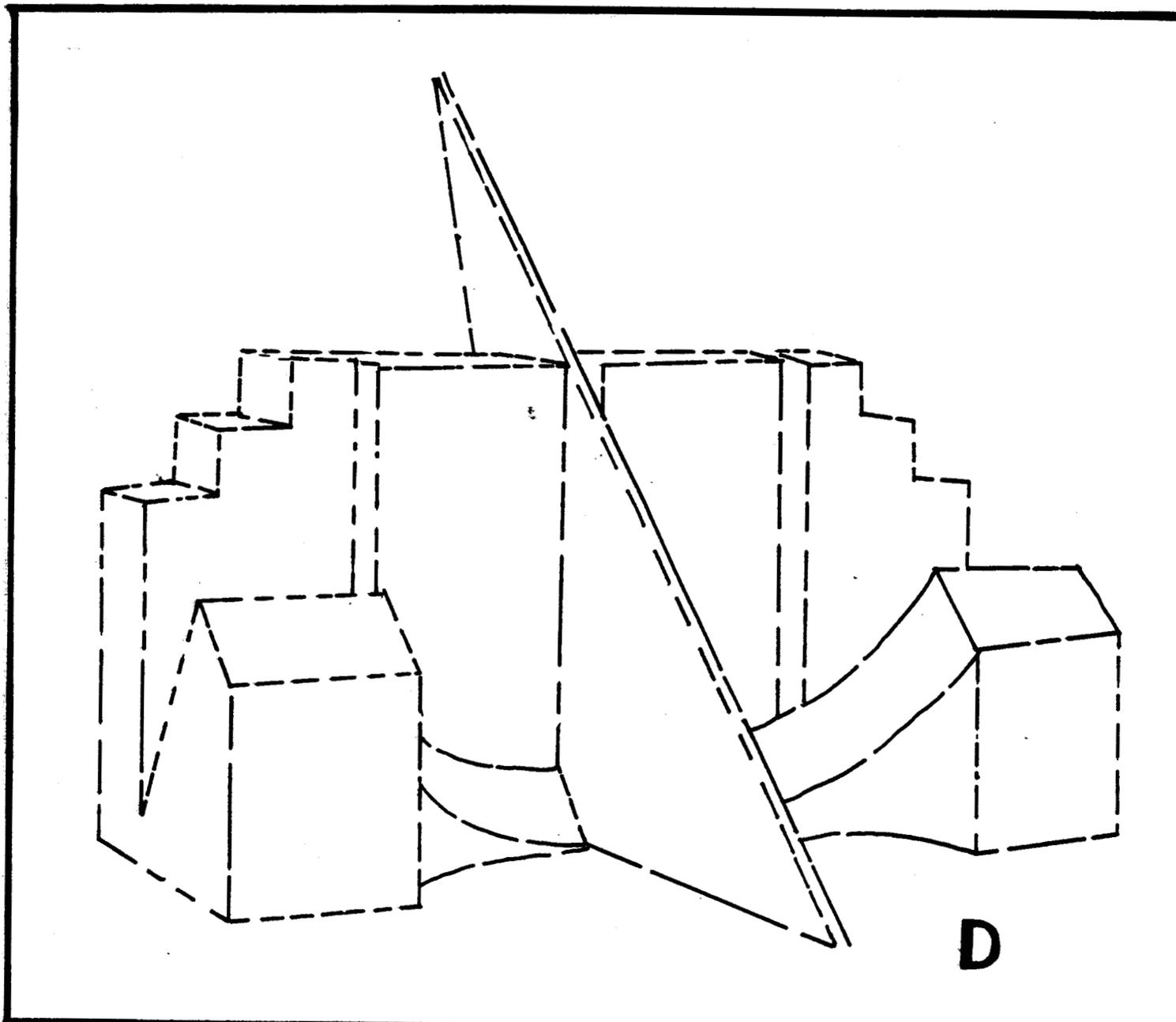


FIGURA Nº 4.1 : COMPLEJO GNOMONICO FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

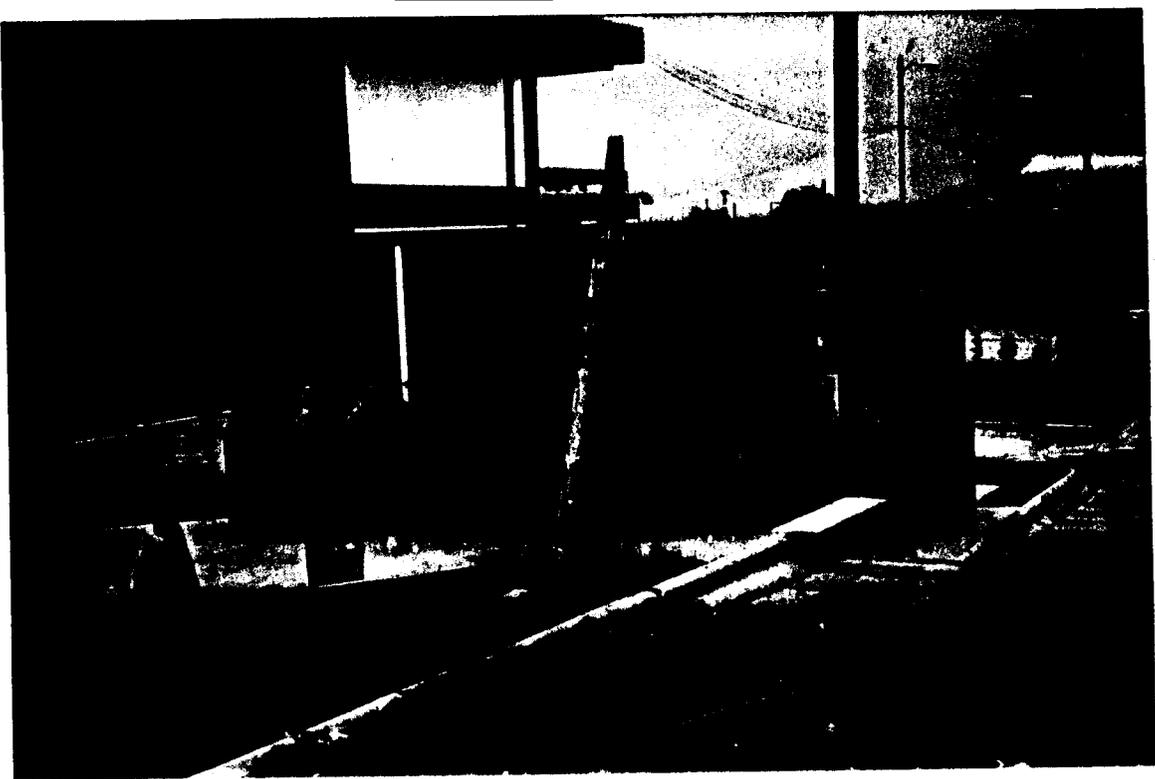


FOTO A: Vista frontal del complejo gnomónico.

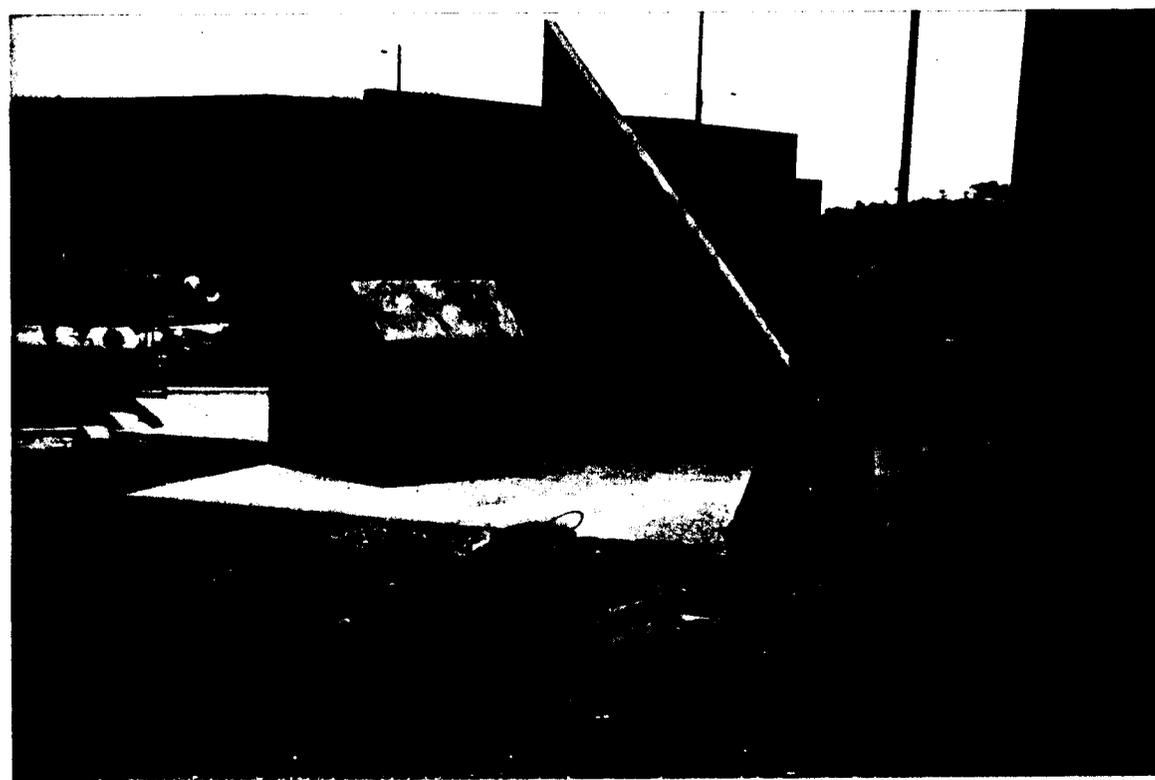


FOTO B: Vista lateral del complejo gnomónico.



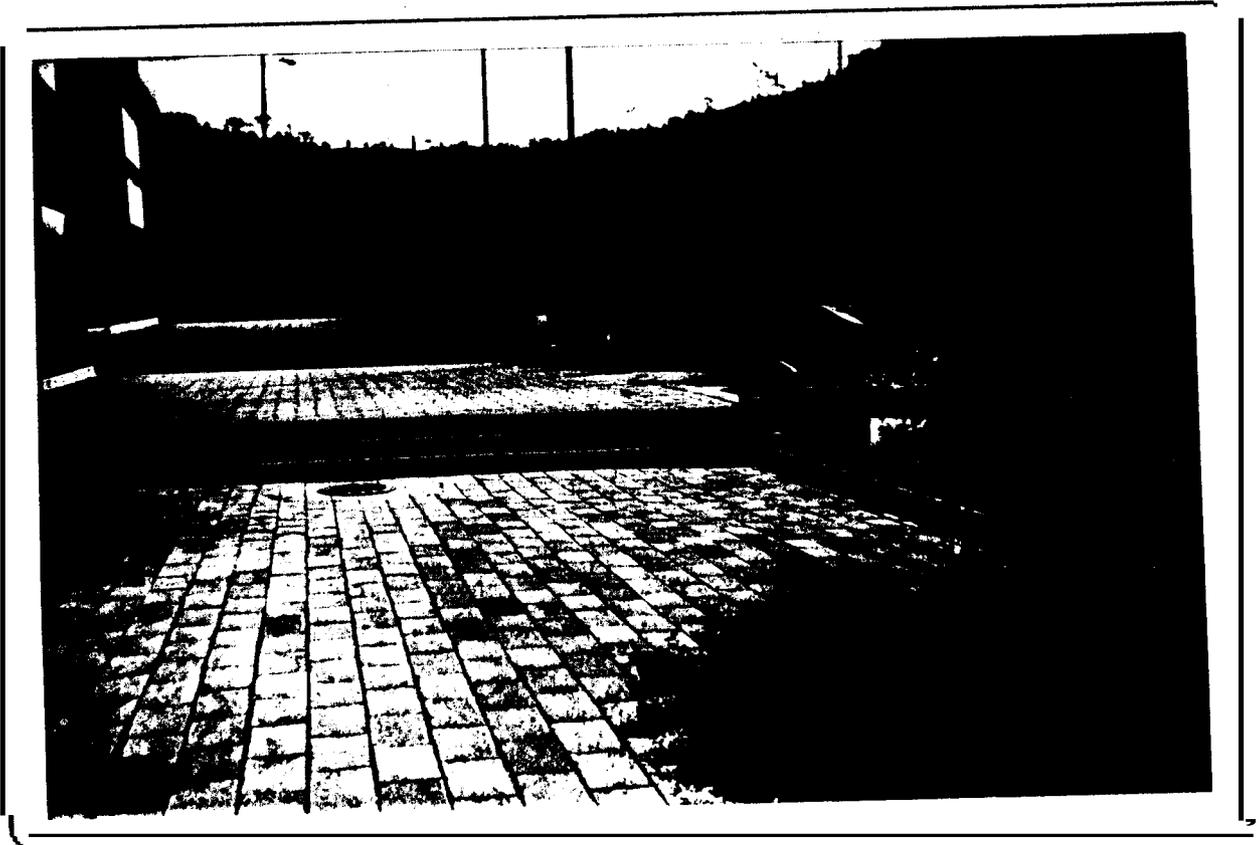


FOTO C : Vista posterior desde la secretaria de la FIM.



FOTO D : Vista posterior desde el area de metalurgia.

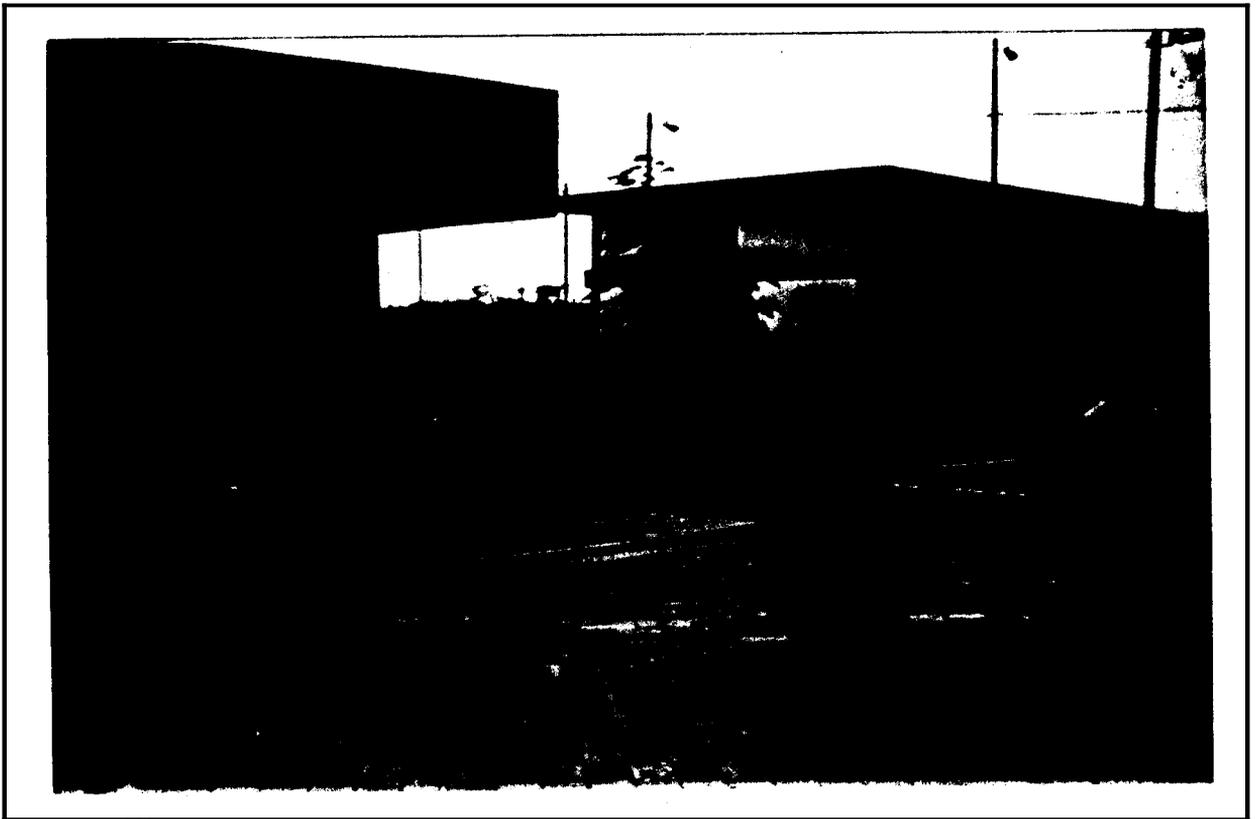


FOTO E : Vista desde la secretaria de la FIE.



FOTO F : Vista desde las aulas de la FIE.



FOTO G : Vista del gnomon con la FIM atrás.



FOTO H : Complejo gnomónico visto desde la plazoleta



FOTO I : Señalamiento de los datos obtenidos, para comprobación.



FOTO J : Algunos valores comprobados y otros por comprobar.

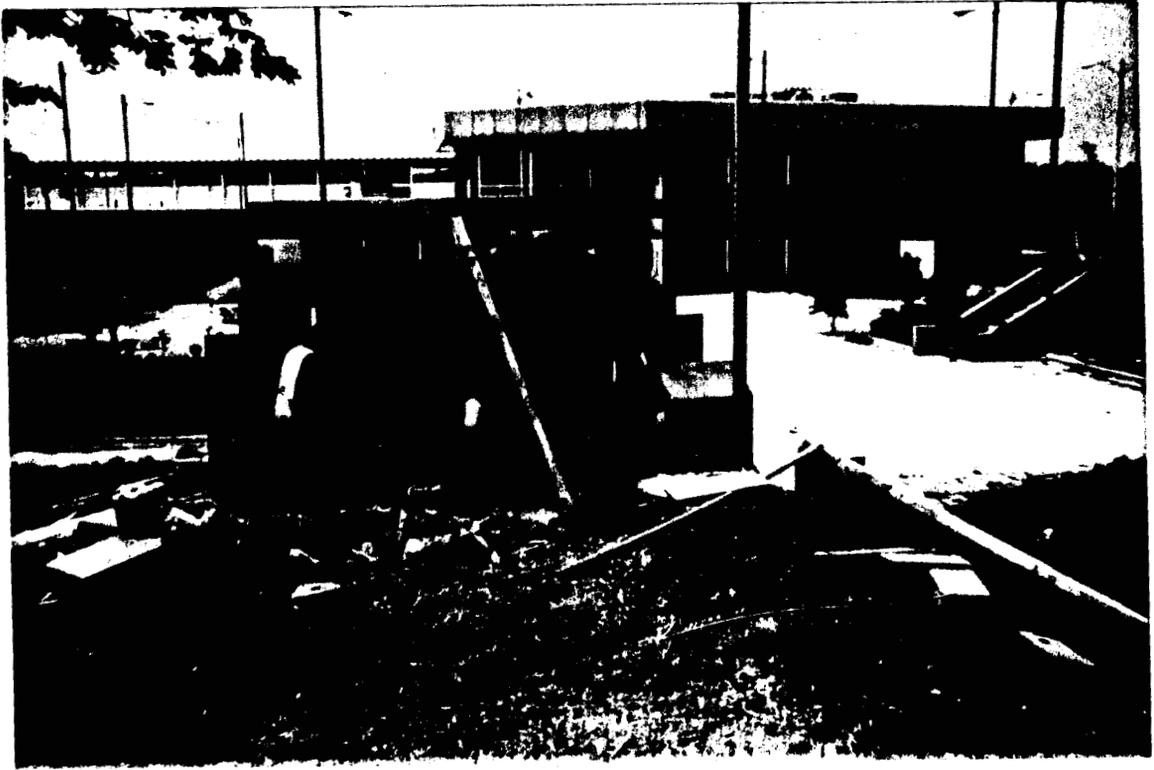
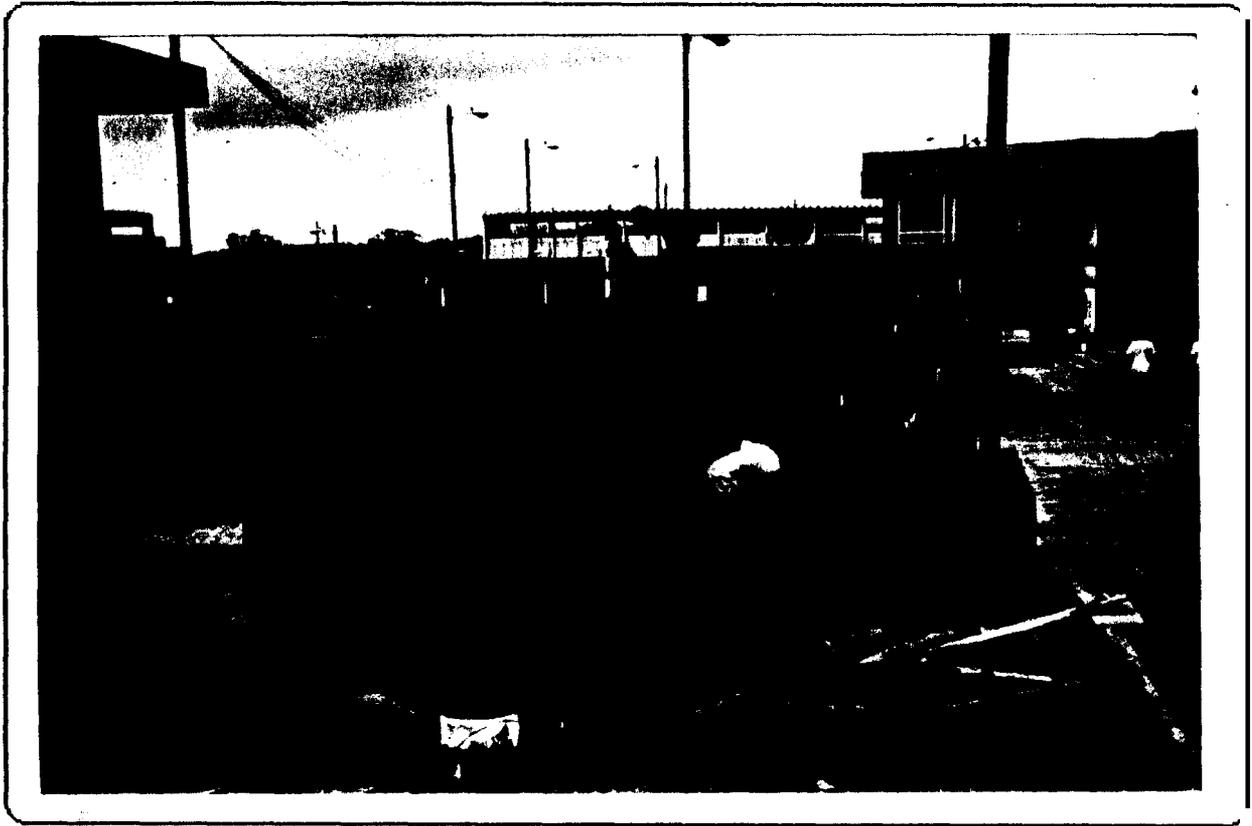


FOTO K : Albañiles trabajan en la construcción de los cuadrantes.



FOTO L : Etapa de construcción de parte del complejo.



**FOTO M : Ultimos toques a la parte civil del complejo gnomónico
" Facultad de Ingeniería Mecánica".**

BIBLIOGRAFIA

1. Assensio y Torres, Josef. Arte de Construir Relojes de Sol. Ediciones CARS S.A. Madrid, 1978.
2. De Arfe y Villafañe, Juan. Tratado de Gnomónica. Ediciones CARS S.A. Madrid, 1971.
3. Caurcel, Juan José. Simbolos del Mercado Fuerta de Toledo. Toledo, 1986.
4. Corazón, Alberto. El Reloj de Sol de la Plaza del Rey. Madrid, 1988.
5. Del Buey Perez, Jacinto. Reloj de Sol Azimutal. Madrid, 1986.
6. Del Buey Perez, Jacinto. Reloj de Sol Bifilar. Madrid, 1987.
7. Enguera, Pedro. Adición al Tratado de Relojes de Sol. Ediciones CARS S.A. Madrid, 1974.
8. Guerrero, Rubén. Tesis de grado. Metodología para el diseño y construcción de molinos de viento, instalación y pruebas en prototipoa. ESPOL, Guayaquil, 1991.
9. Marks. Manual del Ingeniero Mecánico. Mc Graw-Hill, México, Octava edición en inglés, 1984.
10. Pazmiño, Marco. Energía Solar: Teoría y Experimentos. ESPOL, Guayaquil, 1985.
11. Tapia de Leon, Alejandro. Proyecto Gnomónico: Centro del Mundo. Universidad Católica de Guayaquil,

Guayaquil, 1989.

12. SALVAT. Enciclopedia del Estudiante. Salvat S.A. de E. Pamplona, España, 1976.