



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN

“INSTRUMENTACION Y MEDICION  
PARA ANALISIS HIDROLOGICOS”.

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A :  
**DAVID HERNANDEZ IBARRA**

ASESOR: ING. LUIS P. VIGUERAS MUÑOZ

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEX.

ENERO/2000

277553



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**REGISTRO  
PROVISIONAL**

DAVID HERNANDEZ IBARRA  
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 25 de noviembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el profesor, ING. LUIS POMOSO VIGUERAS MUÑOZ, pueda dirigirle su trabajo de Tesis denominado, "INSTRUMENTACION Y MEDICION PARA ANALISIS HIDROLOGICOS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Méx., Noviembre 26 de 1980  
EL DIRECTOR

LIC. CARLOS EDUARDO LEVY VAZQUEZ



c.c.p. Secretaría Académica.  
c.c.p. Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.  
c.c.p. Asesor de Tesis.

CELV\*AIR\*MCA\*\*

---

---

## DEDICATORIAS

A DIOS:

QUIEN ME PERMITIO ANDAR  
TODO EL CAMINO Y  
POR EL NUNCA PERDI LA FE.

A MI MADRE ROSA IRENE:

QUE A PESAR DE LA DISTANCIA  
SU AMOR Y CONFIANZA NUNCA  
ME FALTARON

A MI PADRE MARGARITO:

POR LA PACIENCIA Y CARACTER  
QUE MOSTRASTE EN MIS  
DESATINOS Y FLAQUEZAS.

---

---

---

A MI HERMANA IRENE:

POR ESFORZARTE EN TODO MOMENTO  
A CUBRIR SU AUSENCIA Y  
CREER EN MI.

A MI SOBRINA IXCHEL:

QUE HA DADO A MI VIDA  
NUEVAS ILUSIONES Y ALEGRÍAS.

A TI:

QUE ERES MI ETERNO PENSAMIENTO,  
ORIGEN DE ESTE AMOR Y ANHELO.

---

---

---

A MIS ABUELITOS ANDREA Y JULIAN:  
QUIENES NOS DIERON SU CARIÑO Y DEDICACION.

A MI HERMANO NOE Y CUÑADA LETICIA:

QUE EN TODO MOMENTO  
ME HICIERON SENTIR SU APOYO.

A MIS SOBRINOS IRWIN Y ALEXIS:

POR SER FUENTE INAGOTABLE DE  
INGENUIDAD Y CARIÑO.

---

---

---

---

AL ING. LUIS VIGUERAS:

QUIEN HA SIDO UN EJEMPLAR AMIGO,  
PRIMERO, COMO MAESTRO Y COMPAÑERO,  
Y AHORA, COMO GUIA Y APOYO.

A TODOS LOS MAESTROS:

QUIENES COMPARTIERON CONMIGO  
SUS CONOCIMIENTOS, TIEMPO  
Y AMISTAD.

A ELLA:

QUE ME ENCONTRO SIN NADA  
Y SE FUE DEJANDOME TODO.

---

---

---

---

## INDICE

	PAG.
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I. ANTECEDENTES.....	4
1. 1 ASPECTOS GENERALES.....	5
1. 2 MEDICIONES HIDROLOGICAS.....	7
SECUENCIA DE LA MEDICION HIDROLOGICA.....	8
ESTACION METEOROLOGICA.....	9
OBSERVACION METEOROLOGICA.....	15
INSTRUMENTAL METEOROLOGICO.....	15
CASETA O ABRIGO METEOROLOGICO.....	17
CAPITULO II. PRECIPITACION.....	24
2. 1 INTRODUCCION.....	25
FORMACION DE LA PRECIPITACION.....	25
NUCLEOS DE CONDENSACION O DE CONGELAMIENTO.....	25
CRECIMIENTO DE LAS GOTAS DE AGUA Y LOS CRISTALES DE HIELO.....	26
CONTENIDO MAXIMO DE AGUA LIQUIDA EN LAS NUBES.....	27
FORMAS DE PRECIPITACION.....	28
TIPOS DE PRECIPITACION.....	29
2. 2 INSTRUMENTACION Y MEDICION.....	30
PLUVIOMETRO.....	31
PLUVIOGRAFO DE HELLMANN.....	40
PLUVIOMETRO DE BALANCIN.....	45
CAPITULO III. EVAPORACION, TRANSPIRACION Y EVAPOTRANSPIRACION.....	66
3. 1 EVAPORACION.....	67
3. 1. 1 INTRODUCCION.....	67
ELEMENTOS METEOROLOGICOS QUE INFLUYEN EN LA INTENSI-	
DAD DE LA EVAPORACION.....	67
SUPERFICIE DE EVAPORACION.....	68
EFECTOS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	69
3. 1. 2 INSTRUMENTACION Y MEDICION.....	69
UNIDADES DE MEDIDA.....	70
METODOS DE MEDIDA.....	70
EVAPORIMETRO TIPO PICHE.....	71
TANQUE SUMMERLAND.....	71
EVAPORIGRAFO.....	71
TANQUE ESTANDAR TIPO "A".....	74
3. 2 TRANSPIRACION.....	81
3. 2. 1 INTRODUCCION.....	81
FACTORES QUE AFECTAN LA TRANSPIRACION.....	81
3. 2. 2 INSTRUMENTACION Y MEDICION.....	83
3. 3 EVAPOTRANSPIRACION.....	85
3. 3. 1 INTRODUCCION.....	85
CONTROL DE LA EVAPOTRANSPIRACION.....	85
3. 3. 2 INSTRUMENTACION Y MEDICION.....	86
EVAPOTRANSPIROMETRO DEL DR. W. C. THORNHWAITE.....	87
EVAPOTRANSPIROMETRO MODIFICADO DE LA COMISION HIDRO-	
LOGICA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO (CHCVM).....	88

---

---

---

---

## INDICE

	PAG
CAPITULO IV. VIENTO, TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	96
4. 1 VIENTO.....	97
4. 1. 1 INTRODUCCION .....	97
VARIACIONES DEL VIENTO .....	97
FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE EL AIRE EN MOVIMIENTO .....	98
4. 1. 2 INSTRUMENTACION Y MEDICION.....	99
PRINCIPIOS GENERALES DE LA MEDICION DEL VIENTO .....	99
APARATOS QUE MIDEN LAS COMPONENTES DEL VIENTO .....	105
VELETA .....	105
ANEMOMETRO TOTALIZADOR DE CAZOLETAS .....	105
ANEMOGRAFO MECANICO .....	110
ANEMOCINEMOGRAFO .....	112
ANEMOCINEMOGRAFO DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL .....	114
4. 2 TEMPERATURA .....	120
4. 2. 1 INTRODUCCION .....	120
ESCALAS TERMOMETRICAS .....	120
RELACION QUE EXISTE ENTRE LAS DIFERENTES ESCALAS TERMOMETRICAS .....	121
4. 2. 2 INSTRUMENTACION Y MEDICION .....	124
INSTALACION DE TERMOMETROS .....	124
REQUISITOS DE UN BUEN TERMOMETRO .....	125
MEDIDAS PARA EFECTUAR LECTURAS CLARAS .....	125
TERMOMETRO DE LIQUIDO EN TUBO DE VIDRIO .....	125
TERMOMETRO DE EXTREMAS .....	126
TERMOMETRO TIPO SIX DE MAXIMA Y MINIMA .....	126
TERMOMETRO DE HONDA .....	131
TERMOMETRO DE ASPIRACION TIPO ASSMANN .....	131
TERMOMETRO DE LIQUIDO EN ENVOLTURA METALICA .....	131
TERMOMETRO DE PAR TERMOCLECTRICO .....	131
TERMOMETRO BIMETALICO .....	131
TERMOMETRO DE RESISTENCIA DE PLATINO.....	131
TERMOMETRO DE TERMISTANCIAS .....	131
GEOTERMOMETROS .....	132
TERMOGRAFO .....	134
TEMPERATURAS MAS COMUNES QUE SE REGISTRAN .....	138
AMPLITUDES Y OSCILACIONES TERMICAS .....	140
4. 3 HUMEDAD.....	141
4. 3. 1 INTRODUCCION .....	141
HUMEDAD ATMOSFERICA .....	141
VAPOR .....	141
IMPORTANCIA DEL VAPOR DE AGUA .....	141
VARIACION DEL VAPOR DE AGUA EN EL AIRE .....	142
ALGUNOS ASPECTOS FISICOS EN RELACION CON LA ATMOSFERA .....	142
LEY DE DALTON PARA LAS PRESIONES PARCIALES .....	143
TENSION DE VAPOR .....	143
TENSION DE VAPOR A SATURACION .....	143
TENSION DE VAPOR ACTUAL .....	144

---

---

---

---

INDICE

PAG.

FORMAS COMO SE EXPRESA EL CONTENIDO DE VAPOR DE AGUA EN LA ATMOSFERA .....	144
HUMEDAD ABSOLUTA .....	144
HUMEDAD ESPECIFICA .....	144
MEZCLA DE HUMEDAD .....	144
HUMEDAD RELATIVA O PORCENTAJE DE HUMEDAD .....	144
DEFICIT DE SATURACION .....	144
PUNTO DE ROCIO .....	144
4. 3. 2 INSTRUMENTACION Y MEDICION .....	145
HIGROMETRO .....	145
PSICROMETRO .....	145
PSICROMETRO SIMPLE .....	147
PSICROMETRO DE ASSMANN O DE ASPIRACION .....	147
PSICROMETRO DE HONDA O DE MANIVELA .....	147
USO DE LAS TABLAS PSICROMETRICAS .....	147
HIGROGRAFO .....	149
CAPITULO V. RADIACION SOLAR .....	160
5. 1 INTRODUCCION .....	161
TIPOS DE RADIACION .....	162
COMPOSICION DE LA RADIACION SOLAR .....	162
TIPOS DE LA RADIACION SOLAR .....	163
FACTORES QUE AFECTAN LA RADIACION SOLAR .....	163
ATMOSFERA TERRESTRE .....	165
COMPOSICION DE LAS CAPAS DE LA ATMOSFERA .....	166
DIVISIONES O CAPAS DE LA ATMOSFERA .....	166
EFECTOS DE LA ATMOSFERA TERRESTRE SOBRE LA RADIACION .....	169
LEYES DE LA RADIACION SOLAR .....	170
5. 2 INSTRUMENTACION Y MEDICION .....	171
METODOS DE MEDICION DE RADIACION SOLAR .....	171
PIRHELIOMETROS .....	173
PIRHELIOGRAFO DE GORCZYNSKI .....	173
PIRHELIOMETRO DE POUILLET .....	173
PIRHELIOMETRO DE ABBOT .....	174
PIRANOMETROS .....	174
PIRANOMETRO DE EPPLEY .....	176
PIRANOGRAFO DEL TIPO ROBITZSCH .....	176
SOLARIMETRO Y ALBEDOMETRO .....	181
HELIOGRAFOS .....	181
HELIOGRAFO DE CAMPBELL STOKES .....	181
HELIOGRAFO DE JORDAN .....	187
CAPITULO VI. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES .....	189
ANEXO I. APARATOS COMPUESTOS .....	191
TERMOHIGROGRAFO .....	192
TERMOHIGROMETRO .....	196
ANEXO II. VOCABULARIO .....	196
BIBLIOGRAFIA .....	203

---

---

# **INTRODUCCION.**

---

---

## INTRODUCCION.

El presente trabajo de investigación es regido por un afán de complementar el material académico de la asignatura de Hidrología. Dicha asignatura, por sí sola, representa un verdadero reto para el académico que desee aventurarse a la impartición de la misma; primero, por ser un área de la ingeniería civil a la que poca atención y desarrollo se le da en nuestro país; y, segundo, por el escaso o inexistente material, sobre la materia, en bibliotecas y laboratorios. Estos dos puntos minan en mucho la preparación e impartición de clases.

A manera de crear un laboratorio visual para la asignatura es como se presenta este trabajo ofreciendo un acercamiento tanto al profesor como al alumno (y a quien se interese), a instrumentos y su aplicación en la medición de los fenómenos climáticos que la Hidrología estudia y con cuyos resultados se apoya grandemente la ingeniería civil.

Los fenómenos climáticos son presentados y analizados en sus conceptos, causas y posibles factores que los afectan; además, se presentan los instrumentos que los miden, descritos en sus características físicas, de operación y mantenimiento, así, como la forma de presentar la información que han tomado de las características del fenómeno, ya sea en medición directa o registrada la misma sobre una gráfica.

La presentación de esta información se encuentra distribuida en seis capítulos en los cuales se trata de tocar todos y cada uno de los factores que intervienen en el proceso que origina al ciclo hidrológico, desde el elemento motor de dicho ciclo, que es el agua, hasta los procesos físicos que ésta sufre y con los que ve modificado su estado físico, según la etapa del ciclo hidrológico en la que se encuentre. Esta información tiene la siguiente estructuración:

**CAPITULO I: ANTECEDENTES.** Presenta: La función del agua en la vida terrestre y, concretamente, en la actividad humana. La aplicación de la Hidrología para crear obras de aprovechamiento de los recursos hidráulicos; o bien, para crear obras de protección con el fin de controlar las reacciones del planeta ante el deterioro ecológico. Las disciplinas con las que se complementa la Hidrología; y las dependencias que se encargan de la medición, recolección, almacenamiento, procesamiento y distribución de la información meteorológica a nivel nacional. El carácter aleatorio en el estudio de los procesos hidrológicos y su apoyo en la medición hidrológica. La secuencia de la medición hidrológica apoyada en una estación meteorológica; la clasificación de las estaciones, la forma de realizar mediciones y las características generales del instrumental con que se realizan. La descripción de la caseta o resguardo del instrumental meteorológico citado en capítulos posteriores. Utilidad de los datos meteorológicos, sitios de la ciudad de México y su zona conurbada, en los que éstos son tomados, procesados y distribuidos.

**CAPITULO II: PRECIPITACION.** Inicia con algunos comentarios sobre suposiciones y realidades de la precipitación: formación, características, formas y tipos de ésta. En la instrumentación menciona al pluviómetro, pluviógrafo de Hellmann, al pluviómetro de balancín y su registrador de eventos. De estos instrumentos se presentan los componentes y funciones de cada uno, instalación, exposición y medición. Sobre esta última se muestra la forma de realizarla, directa o indirectamente (información plasmada en una gráfica), según corresponda a cada aparato.

**CAPITULO III: EVAPORACION, TRANSPIRACION Y EVAPOTRANSPIRACION.** En la parte de **EVAPORACION**, se da la explicación de este fenómeno y los elementos meteorológicos que influyen en la intensidad de ésta. En qué superficie se logra y los efectos que genera la calidad del agua en el citado fenómeno. En instrumentación y medición se cita al evaporímetro tipo Piche, al tanque Summerland y al evaporígrafo, describiendo las características físicas y operacionales de cada uno de ellos. Por último, es descrito el tanque estándar tipo "A", tanque usado actualmente en las estaciones meteorológicas del país; además son descritas las

---

características de éste, se mencionan los instrumentos que se le anexan y con los cuales amplía su información.

En lo que toca a la **TRANSPIRACION**, describe al fenómeno y los factores que lo afectan. Los conceptos de instrumentación y medición son abordados de una manera distinta dando sus razones y forma de realizarlos.

En **EVAPOTRANSPIRACION** se habla del fenómeno y sus componentes, además de la repercusión que tuvo el Dr. Thornthwaite en su estudio, la forma de controlarla, efectos y recomendaciones al hacerlo. Son citados los tipos de aparatos usados en su medición (evaporímetros, lisímetros y tanques evapotranspirómetros) describiendo someramente el evapotranspirómetro del Dr. W. C. Thornthwaite y siendo más explícito en las modificaciones que se le hicieron a éste, generando así el evapotranspirómetro modificado de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México (CHCVM), así como las razones y ventajas para hacerlo.

**CAPITULO IV: VIENTO, HUMEDAD Y TEMPERATURA.** La primera parte, **VIENTO**, da la definición del fenómeno, componentes, variaciones y fuerzas que actúan sobre él. Se mencionan los principios generales de la medición del viento, la escala de Beaufort con aplicación en la componente de velocidad. Los aparatos usados en la medición de las componentes son la veleta (para la dirección) y anemómetro totalizador de cazoletas (para la velocidad); los instrumentos mostrados se complementan con el anemógrafo mecánico, el anemocinemógrafo y el anemocinemógrafo de uso en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

En la parte de **TEMPERATURA**, se conoce el concepto fundamental de ésta y sus formas de transmisión, además de las escalas en que se representa y la relación entre éstas. Se dan también la instalación y los requisitos de los instrumentos que la miden (termómetros), así como recomendaciones en su medición y los diferentes tipos de termómetros. Se muestran los termómetros de líquido en tubo de vidrio, de extremas ( de máxima y de mínima), tipo Six de máxima y mínima, de honda, de aspiración tipo Assmann, de líquido en envoltura metálica, de par termoeléctrico, bimetalico, de resistencia de platino, de termistancias, geotermómetros y termógrafos. También se dan las temperaturas más comunes que deben registrarse, las amplitudes y oscilaciones térmicas.

En **HUMEDAD**, se explica qué se entiende por ésta, sus orígenes y tipos, la importancia, sus características y su variación en el aire. Se muestran algunos aspectos físicos en relación con la atmósfera, así como la Ley de Dalton y su aplicación en este fenómeno. Son explicados los instrumentos que la miden como son el higrómetro, psicrómetro (simple, de aspiración y de honda o de manivela). También se da el uso de las tablas psicrométricas en un ejercicio de aplicación.

**CAPITULO V: RADIACION SOLAR.** Son citadas, nuevamente, las formas de transmisión del calor. Se muestran los tipos de radiación, componentes de la radiación solar, tipos y factores que la afectan. Se presenta el concepto de atmósfera terrestre, por ser el primer componente de la Tierra que toca la radiación solar, las capas que la componen y los efectos que tiene en la radiación solar. Son presentadas las leyes que la rigen, métodos de medición y sus unidades. Alude a los instrumentos usados para realizar la medición, los que se encuentran agrupados en pirheliómetros, piranómetros, heliógrafos, pirgeómetros y radiómetros netos. La presentación hecha sobre estos instrumentos obedece a la practicidad y utilidad actual de cada uno de ellos.

**ANEXO I.** Muestra los aparatos compuestos (termohigrógrafo y termohigrómetro), que tienen funcionamientos en base a la conjunción de los sistemas de otros instrumentos.

**ANEXO II.** Contiene un vocabulario que abarca los tecnicismos más empleados en este trabajo de investigación. Por último, se cita la bibliografía sobre la cual está apoyada esta tesis.

---

---

**CAPITULO I**

**ANTECEDENTES**

---

---

## I. ANTECEDENTES.

### 1.1. Aspectos generales.

El agua es la substancia más abundante en la Tierra; es el principal constituyente de todos los seres vivos y es una fuerza importante que constantemente está cambiando la superficie terrestre. También es un factor clave en la climatización de nuestro planeta para la existencia humana y con gran influencia en el progreso de toda civilización. La hidrología, que cubre y estudia todas las fases del agua en la Tierra, es una materia de gran ayuda y aplicación para el ser humano en su necesidad y afán de obtener la mayor comodidad y provecho del medio ambiente. Aplicaciones prácticas de la hidrología se encuentran en labores tales como el diseño y operación de: estructuras hidráulicas, abastecimiento de agua, tratamiento y disposición de aguas residuales, irrigación, drenaje, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, navegación, erosión y control de sedimentos, control de salinidad, disminución de la contaminación, uso recreacional del agua y protección de la vida terrestre y acuática. El papel de la hidrología aplicada es ayudar a analizar los problemas relacionados con estas labores y proveer una guía para el planeamiento y el manejo de los recursos hidráulicos, así como de las obras de protección.

Los cambios en la distribución, la circulación o la temperatura de las aguas en la Tierra pueden tener efectos de largo alcance; las glaciaciones, por ejemplo, fueron una manifestación de tales efectos. Las actividades humanas pueden causar algunos cambios. Los seres humanos aran el suelo, irrigan cultivos, fertilizan tierras, deforestan bosques, bombean aguas subterráneas, construyen presas, arrojan desechos en ríos y lagos, y hacen muchas otras cosas constructivas o destructivas que afectan la circulación y la calidad del agua en la naturaleza.

Es aquí donde la hidrología busca en beneficio del hombre mismo afrontar y controlar estos cambios sirviendo de base a diseños que requieren de análisis hidrológicos cuantitativos para la selección de elementos de diseño necesario; así podemos entender que está enfocada a la determinación de esos eventos, que son análogos a las cargas de diseño en el análisis estructural, por poner un ejemplo de ingeniería.

Los resultados son normalmente sólo estimaciones, con aproximación limitada en muchos casos. Sin embargo, estas estimaciones rara vez son menos aproximadas que las cargas usadas en el análisis estructural o en el volumen de tráfico en carreteras.

El análisis hidrológico exhaustivo es el primer paso fundamental en la planeación, diseño y operación de proyectos hidrológicos. En la fase de planeación y diseño, el análisis se dirige básicamente a fijar la capacidad y seguridad de estructuras hidráulicas. Las dimensiones físicas o la capacidad de conducción de una estructura hidráulica se determinan de acuerdo con los volúmenes y gastos que se deseen almacenar, controlar y transmitir. En este sentido, se requiere de estudios hidrológicos para determinar la disponibilidad de fuentes naturales para saber si el abastecimiento de la fuente es adecuado en todo tiempo, o si por el contrario, requerirá de estructuras de apoyo para corregir las deficiencias o para disponer de los volúmenes excedentes de agua.

La seguridad de las presas en lo que concierne a la capacidad del vertedor y a la elevación máxima de embalse, depende en gran medida, de la determinación de una tormenta de diseño y de su conversión a una avenida generada en cuenca, o directamente de la última, y en menor grado de las olas y las mareas generadas por el viento. Así mismo, la estabilidad de muros y terraplenes depende de los estudios hidrológicos e hidráulicos que definen los niveles probables del agua, así como su duración y cambios con el tiempo, de dichos niveles. La hidrología juega un papel importante en la operación efectiva de estructuras hidráulicas, especialmente aquellas que

---

---

---

se destinan a la generación de energía y control de avenidas, donde se requiere con frecuencia de pronósticos de avenidas y sequías.

Se tiene, pues, a la hidrología en tanto que trata con un elemento importante y vital del medio ambiente, que es el agua, como una materia básica para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos y el diseño de obras de protección:

a) Aprovechamiento de recursos hidráulicos

- Presas de almacenamiento (riego, agua potable, generación eléctrica, etc.)
- Presas derivadoras
- Lagunas de regulación
- Estanques

b) Obras de protección

- Drenajes urbanos
- Drenaje lateral en carreteras (cunetas y contracunetas)
- Drenaje en aeropuertos
- Bordos de protección
- Represas

Por lo tanto, es indispensable el conocer para cada aspecto lo siguiente:

a) Aprovechamiento de recursos hidráulicos

- Características geométricas
- Precipitación
- Escurrimiento
- Infiltración
- Evapotranspiración
- Estadística
- Avenida máxima
- Funcionamiento de vasos
- Viento
- Temperatura
- Radiación solar

b) Obras de protección

- Características fisiográficas de la cuenca
- Precipitación
- Estadística de un modelo de precipitación, tormenta de diseño o lluvia de diseño
- Avenida máxima
- Escurrimiento

Los procesos que estudia la hidrología involucran tantas variedades que es difícil prever si alguna vez tomará el grado de ciencia exacta e incluso, si se considerará como ciencia independiente dado que su desarrollo y campo son apoyados por la geografía física, meteorología, geología, también es fácil encontrarle relaciones con disciplinas como las matemáticas, física, química, biología y otras.

La hidrología es una parte interesante de la ingeniería, pero en algunos aspectos resulta notablemente diferente de la mayoría de las disciplinas integrantes de ésta. Los fenómenos naturales a los cuales estudia y analiza no se prestan a la rigurosidad de la mecánica; por esta razón existe una mayor variedad de métodos, mayor latitud para el criterio y una aparente falta de

---

---

precisión en la resolución de los problemas. A pesar de esto último, la precisión de las soluciones hidrológicas se compara favorablemente con otro tipos de cálculo en ingeniería, donde las incertidumbres se ocultan a menudo con el uso de factores de seguridad.

Una parte importante del trabajo del hidrólogo es la relación y análisis de datos. La disposición de datos básicos adecuados es esencial en todas las ciencias, y la hidrología no es la excepción. De hecho, las características de los fenómenos naturales con los que tiene que ver la hidrología hacen que este punto pueda ser especialmente delicado.

Ya se dijo la dificultad de tratar con muchos de los problemas hidrológicos mediante un razonamiento deductivo y riguroso, y no siempre es posible comenzar por una regla básica y determinar a partir de ésta el resultado hidrológico deseado. Con frecuencia es necesario partir de un conjunto de hechos observados y, mediante un análisis empírico, establecer las normas sistemáticas que gobiernan tales hechos. Así, el hidrólogo se encuentra en una situación difícil cuando no cuenta con los datos históricos adecuados para la zona particular del problema. Por ello, la mayoría de los países disponen de una o más dependencias gubernamentales que tienen la responsabilidad de recolectar y difundir datos hidrológicos.

Estos datos, en México, son recabados en las dependencias estatales asignadas para ello, para su posterior envío al Servicio Meteorológico Nacional en la Ciudad de México, dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CNA), que es el encargado de la recolección, almacenaje, procesamiento y difusión de dicha información. Esta dependencia, a su vez, manda la información nacional al Centro Meteorológico Internacional, localizado en Washington, E. U. A., el cual fue designado por la Organización Meteorológica Mundial para recibir y difundir dicha información de y a todo el planeta.

## 1.2. Mediciones hidrológicas.

Las mediciones hidrológicas se hacen con el fin de obtener información de los procesos hidrológicos. Esta información se utiliza para entender mejor estos procesos y como información de entrada en modelos de simulación hidrológica para diseño, análisis y toma de decisiones. La Década Hidrológica Internacional (1965-1974) fomentó una rápida expansión de la recolección de información hidrológica en todo el mundo, y ahora es una práctica rutinaria el almacenar información hidrológica en computadores y tenerla disponible en formas leíbles en máquinas, como en cintas o en discos magnéticos. Estos dos desarrollos, la expansión y la computarización de la información hidrológica, ha puesto a disposición de los hidrólogos una gran cantidad de información, la cual permite estudios con mayores detalles y precisión con respecto a años anteriores. Los recientes avances en la electrónica permiten que la información se mida y se analice al mismo tiempo que ocurre el evento, con propósitos como la predicción de crecientes y las alertas tempranas de inundaciones.

Los procesos hidrológicos varían en el espacio y en el tiempo, y tienen un carácter aleatorio o probabilístico. La precipitación es la fuerza motriz de la fase terrestre del ciclo hidrológico, y la naturaleza aleatoria de la precipitación hace que la predicción de los procesos hidrológicos resultantes (por ejemplo, flujo superficial, evaporación y caudal) para un tiempo futuro siempre esté sujeta a un grado de incertidumbre que es mayor en comparación con la predicción de comportamiento futuro de suelos o estructuras de edificios, por ejemplo. Estas incertidumbres generan el requerimiento de que las mediciones hidrológicas sean observaciones hechas en el lugar de interés o cerca de éste, de tal manera que las conclusiones puedan sacarse directamente de observaciones in situ.

---

---

## Secuencia de la medición hidrológica.

A pesar de que los procesos hidrológicos varían continuamente en el tiempo y en el espacio, éstos son usualmente medidos como muestras puntuales, es decir, mediciones hechas a través del tiempo en lugares fijos del espacio. Por ejemplo, la lluvia varía continuamente en el espacio de una cuenca, pero un pluviómetro la mide en un punto específico de la cuenca. La información resultante forma una serie de tiempo, la cual puede utilizarse para análisis estadísticos.

En años recientes se ha progresado en la medición de muestras distribuidas a lo largo de una línea o área en el espacio en un momento específico del tiempo; por ejemplo, algunos estimativos de la cubierta de nieve en invierno se hacen midiendo desde un aeroplano que vuela sobre el campo de nieve la radiación reflejada por ésta. La información resultante forma una serie espacial. Las muestras distribuidas usualmente se miden a cierta distancia del fenómeno que está siendo observado, lo que se denomina percepción remota. Sin importar si la información se mide como una serie de tiempo o como una serie espacial, siempre se sigue una secuencia similar. La secuencia de pasos que se siguen comúnmente para la medición hidrológica, comienza por el aparato físico que percibe o reacciona al fenómeno físico y termina con el envío de información al usuario. Estos pasos son descritos a continuación:

**1. Percepción.** Un sensor es un instrumento que convierte el nivel o intensidad del fenómeno en una señal observable. Un caso sería el termómetro de mercurio que percibe la temperatura a través de la expansión o contracción del volumen del mercurio dentro de un tubo delgado; otro, un pluviómetro de almacenamiento que recolecta la lluvia en un tanque o tubo. Los sensores pueden ser directos o indirectos.

Un sensor directo mide el fenómeno mismo, tal como ocurre en el pluviómetro de almacenamiento; un sensor indirecto mide una variable relacionada con el fenómeno, tal como ocurre en el termómetro de mercurio. Muchas variables hidrológicas se miden indirectamente, incluyendo los caudales, la temperatura y la radiación.

**2. Registro.** Un registrador es un aparato o procedimiento que se utiliza para preservar la señal producida por un sensor. El registro manual involucra simplemente a un observador que toma notas del sensor para referencias futuras. La mayor parte de la información de lluvia disponible es tomada por observadores que leen el nivel en pluviómetros de almacenamiento cada día a una hora fija. El registro automático requiere un aparato que acepte la señal del sensor y la almacene en una gráfica de papel o en memorias electrónicas, como discos o cintas magnéticas. Los registros en papel requieren de un sistema mecánico de poleas o palancas para convertir el movimiento del sensor en el movimiento de una pluma sobre la gráfica.

**3. Transmisión.** Es la transferencia de un registro desde un sitio remoto hacia un lugar central. Puede efectuarse rutinariamente, como en el cambio de una gráfica de un registrador a intervalos regulares (desde una semana a varios meses de duración) el transporte de los registros hacia el lugar central. Un área de rápido desarrollo en hidrología es la transmisión en tiempo real de la información a través de redes de microondas, satélites o líneas telefónicas. Cuando la información se necesita, el sitio de registro es consultado por el lugar central; el aparato de registro tiene la información almacenada electrónicamente y la envía hacia el sitio central en forma inmediata. Aunque este es el procedimiento establecido, por comodidad, confiabilidad y seguridad al suscitarse un fenómeno la información de éste se manda inmediatamente al lugar central. La transmisión de información a través de microondas y satélites es valiosa para la producción de pronósticos de inundaciones y para permitir acceso continuo a sitios de registro remotos, que son difíciles de alcanzar por vía terrestre.

**4. Traducción.** Es la conversión de un registro desde su forma original dada por el instrumento de campo a un registro computarizado para almacenamiento electrónico permanente.

---

---

5. **Edición.** Es el proceso de verificar los registros traducidos al computador con el fin de corregir cualquier error obvio que pueda haber ocurrido durante cualquiera de los pasos previos. Algunos errores comunes incluyen desajustes en la sincronización automática de las medidas registradas e información perdida en la transmisión y en la traducción, la cual puede ser recuperada analizando directamente el registro hecho en campo.

6. **Almacenamiento.** La información editada se almacena en un archivo de información computarizada, estos archivos contienen muchos millones de datos hidrológicos sistemáticamente compilados en archivos indexados por la localización y secuenciados por el tiempo de la medición.

7. **Recuperación.** La información puede ser recuperada por parte de los usuarios, ya sea en una cinta magnética, en un disco flexible, o en una lista en papel.

### **Estación meteorológica.**

La recolección de información sobre fenómenos meteorológicos (radiación, precipitación, temperatura, evaporación, viento, etc.), se realiza en un lugar que ha sido destinado para tal efecto, llamado estación meteorológica -en el **cuadro 1**, se da la clasificación de las estaciones meteorológicas de acuerdo al reglamento técnico de la O.M.M., ya que en este lugar se han conjuntado los instrumentos que miden y/o registran dichos fenómenos. Tal información, apoyada por el desarrollo tecnológico, puede cubrir en segundos la secuencia ya descrita.

Una estación meteorológica puede tener diferentes fines, dependiendo de los propósitos para los cuales fue instalada, ya sea porque la información se utiliza en varias aplicaciones o porque observaciones adicionales le dan otras características. Por consiguiente, en una estación meteorológica pueden conjugarse dos o más categorías simultáneamente. De acuerdo a lo establecido por la O.M.M., las estaciones meteorológicas se clasifican de la siguiente manera:

#### **Según su finalidad general:**

##### **Sinópticas.**

Son aquellas en las cuales se obtienen datos meteorológicos que permiten conocer, en una amplia región, el estado de la atmósfera en un momento determinado y hacer pronosticable su evolución y comportamiento.

##### **Climatológicas.**

En éstas se obtienen datos meteorológicos con una consistencia, homogeneidad y duración que permiten describir el clima de una región o explicarlo fácilmente.

##### **Agrícolas o agrometeorológicas.**

Son estaciones que proporcionan datos meteorológicos, biológicos y fenológicos, útiles en la determinación de los efectos del tiempo y del clima en el proceso evolutivo de las plantas y de los animales, con el objeto de estudiar las mejores condiciones para su adaptación y óptima producción.

##### **Especiales.**

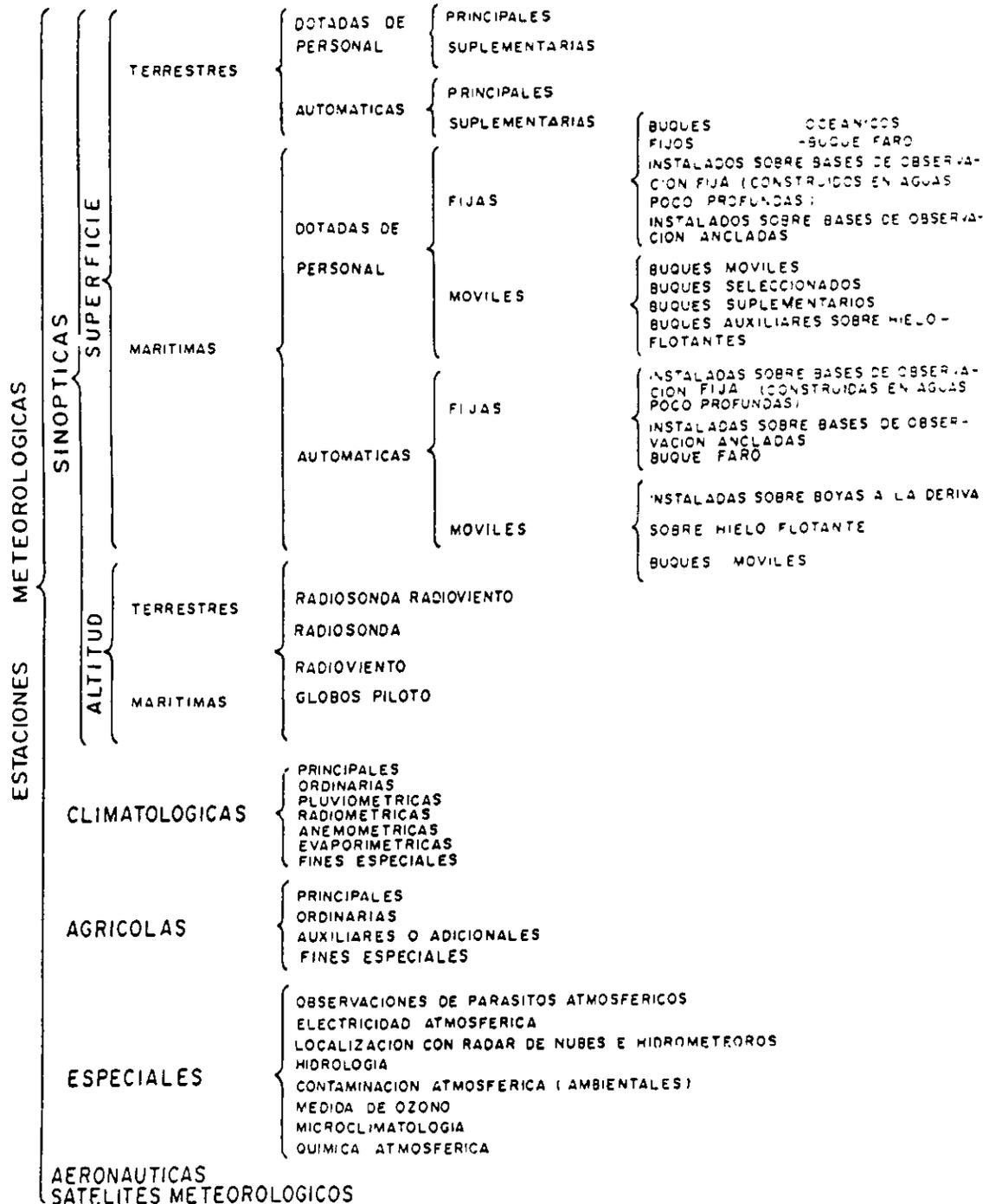
Son estaciones establecidas con carácter temporal o permanente para la observación de uno o varios elementos o determinados fenómenos.

**Aeronáuticas.**

Están destinadas a efectuar observaciones y dar información sobre el estado del tiempo, su comportamiento y evolución para servicio de la navegación aérea.

**Satélites meteorológicos.**

Son plataformas colocadas en la órbita terrestre, desde las cuales se toman fotografías a gran escala de la atmósfera y la superficie terrestre. Están equipadas para efectuar observaciones meteorológicas y transmitir las, al igual que las fotografías, a las estaciones rastreadoras colocadas en la Tierra (fig. 1) .



CUADRO 1. CLASIFICACION DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS.



fig. 1 SATELITES METEOROLOGICOS.

---

---

**Según la información que suministran:****Principales.**

Son estaciones básicas cuyo objetivo es proporcionar datos de todos los regímenes climáticos y cuya distribución, equipo utilizado, observador, frecuencia y tipo de observación tienen por finalidad determinar las condiciones generales del clima de la región donde se encuentran emplazadas.

**Ordinarias.**

Son aquellas cuya información define las condiciones climáticas locales o características especiales de uno o varios elementos meteorológicos, cuya tendencia general fue definida por las estaciones principales, con las cuales se establecen correlaciones para conocer las variaciones interzonales.

**Adicionales.**

Estas surgen de la necesidad de información específica en lugares no cubiertos por las estaciones principales u ordinarias. Según sus características, pueden distinguirse dos clases:

- **Transitorias.**

Se establecen para obtener la información requerida de uso inmediato y temporal con miras a fundamentar proyectos y trabajos específicos, tales como estudios de cualquier fenómeno que afecta a los cultivos (heladas, vientos fuertes, granizadas, etc.) o crean las condiciones propicias para evitar el desarrollo de una plaga, fomentar la investigación de acuíferos, así como estudios experimentales en cuencas tipo, aspectos básicos sobre el balance hídrico, etc.

- **Operacionales.**

Se instalan con carácter permanente o hasta cuando desaparezca la necesidad, en virtud de un cambio en el sistema de operación. Proveen datos específicos para abastecimiento y contaminación de agua, control de irrigación y embalses, previsión de crecientes, etc.

**De referencia.**

Se instalan en un sitio adecuado donde se pueda asegurar que las condiciones de sus alrededores permanecerán invariables, a fin de obtener series de datos homogéneos y representativos que constituyen normales climatológicas ( promedios de 30 años). Estas proporcionan un buen margen de confianza en el tratamiento y aplicación de la información obtenida. Más que de una categoría, al hablar de estaciones de referencia lo hacemos, en realidad, a un atributo adicional de las estaciones principales y ordinarias.

**Según el nivel al que se refiere la observación:****De superficie.**

Son aquellas en las cuales se hacen observaciones visuales o instrumentales en la superficie del suelo en el lugar donde se encuentran emplazadas.

**De altitud o aerológicas.**

En estas se lanzan globos y/o sondas que detectan el comportamiento del viento y/o la presión, la temperatura y la humedad en las capas de la atmósfera.

**Según el lugar de observación:****Terrestres.**

---

---

---

---

**Aéreas.****Marítimas.**

Al hacer el montaje de una estación meteorológica, debe tenerse en cuenta la aplicación que se le dará a los datos, y así mismo dotarla del instrumental indispensable y buscar el sitio que permita su correcta instalación, para lo cual deben tomarse en cuenta los siguientes criterios:

**En forma general:****Relieve.**

En el estudio del clima se ha determinado que en un área existen variaciones de temperatura, precipitación, dirección y velocidad del viento, etc., debido a la configuración, aislamiento, orientación y discontinuidad que se presentan en dicha área.

**Factores geográficos.**

Es necesario considerar la cercanía al mar, y en áreas continentales la proximidad a almacenamientos de agua naturales o artificiales.

**Cuencas hidrológicas.**

Debido a las variaciones que se presentan en una cuenca hidrológica, se requiere de la correcta delimitación de ésta para poder ubicar la estación en los sitios representativos.

**Naturaleza del suelo.**

La naturaleza del suelo relacionada con el conocimiento de parámetros meteorológicos es determinante en el entendimiento de cómo se presentan los procesos de erosión, escurrimiento, recarga de acuíferos, etc., por lo que es necesario considerar los sitios representativos de los principales tipos de suelo.

**Vegetación natural.**

Los elementos meteorológicos como la radiación, temperatura, precipitación, evapotranspiración, etc., establecen las condiciones climáticas en que se desarrollan los diferentes tipos de vegetación natural, por lo que para el estudio de ésta, se requiere tomar en cuenta las áreas representativas de las diferentes formaciones vegetales.

**Cultivos.**

Debido a la interacción que existe entre el crecimiento y desarrollo de los cultivos y los elementos meteorológicos, se deben tomar en cuenta el área donde predomina cierto cultivo, por ejemplo en una zona cañera, cafetalera, maicera, etc.

**Zonas urbanas e industriales.**

En estas zonas, la necesidad de contar con datos meteorológicos como, por ejemplo, respecto a la precipitación, es de primordial importancia, ya que el recurso agua tiene un uso intensivo, y este dato se requiere para la dotación de ciertos servicios indispensables a la población como sanidad, agua potable, desagües, contaminación, etc

**En forma particular:****Representatividad.**

El lugar donde se ubicará la estación debe tener características muy similares al paisaje natural de la región.

---

---

**Emplazamiento despejado.**

El terreno donde se instalará la estación deberá estar libre de obstáculos naturales o artificiales (árboles, edificios, etc.), ya que éstos obstruyen el libre trayecto de los parámetros que se han de observar o registrar.

**Terreno nivelado.**

El terreno seleccionado para la estación no deberá presentar depresiones, ya que esto ocasionaría problemas en la época lluviosa, como inundación, y en el acceso a la toma de las observaciones, por lo cual el terreno deberá estar nivelado.

**Cercanía al observador.**

Tiene mucha importancia el hecho de que el observador viva cerca de la estación, por la constante vigilancia que se debe tener sobre el instrumental, así como para evitar la dificultad de trasladarse a la estación y, además, que aquél, por dificultad o pereza no efectúe las observaciones.

**Fácil acceso.**

Es de primordial importancia ubicar las estaciones en los sitios más apropiados con un fácil acceso, tanto como para la instalación en sí de la estación como para el traslado del observador. La selección del lugar está condicionada a la consideración de los factores anteriores.

**Observación meteorológica.**

Consiste en la medición y determinación de todos los elementos que en su conjunto caracterizan el estado atmosférico en un momento dado y en un lugar determinado, utilizando instrumental adecuado y complementado con la observación de los sentidos, principalmente la vista. Estas observaciones se realizan con métodos en forma sistemática, uniforme, ininterrumpida y a horas establecidas. Las observaciones deben hacerse invariablemente en las horas indicadas y su ejecución en el menor tiempo posible. Estas dos condiciones son muy importantes y es preciso que las cumpla el observador, pues de ello depende la exactitud y la veracidad de los datos y permite que éstos puedan ser comparables en otros lugares.

**Instrumental meteorológico.**

El instrumental que se utilice para la medición de los fenómenos atmosféricos debe cumplir principalmente (**cuadro 2**), las condiciones siguientes:

- a) Precisión: La precisión debe estar comprendida dentro de las tolerancias especificadas en la OMM, la que debe mantener por un periodo largo.
  - b) Sensibilidad: La sensibilidad debe ser capaz de captar las variaciones mínimas del fenómeno meteorológico en el espacio y tiempo acordes con la precisión que se requiere.
  - c) Solidez: La solidez de construcción debe ser tal que permita resistir los embates de la manipulación, transporte e intemperie.
  - d) Simplicidad: La simplicidad en el diseño debe manifestarse tanto en la operatividad como en el mantenimiento del instrumento.
- 
-

Parámetro medido	Instrumento utilizado	Tipo	Elemento sensible	Elemento transmisor amplificador	Elemento registrador	Unidades de medida	Precisión	Especificación de instalación
Temperatura	Termómetro Máxima Mínima Normal Termógrafo Geotermómetro Geotermógrafo	LD	Mercurio	Tubo capilar	Escala	°C	0.1	En la caseta meteorológica a 1.50 m de alt. 5 y 10 cm S/S, 5, 10, 20, 30 y 100 cm de prof.
		LD	Alcohol	Tubo capilar	Escala	°C	0.1	
		LD	Mercurio	Tubo capilar	Escala	°C	0.1	
		G	Bimetal	Juego de palancas	Gráfica	°C	0.5	
		LD	Mercurio	Tubo capilar	Escala	°C	0.1	
LD	Mercurio	Juego de palancas	Gráfica	°C	0.5			
Precipitación	Pluviómetro Pluviógrafo	LD	Contenido	Probeta	Probeta	mm	0.05	1.0 m de alt.
		G	Flozador	Juego de palancas	Gráfica	mm	0.05	1.0 m de alt.
Evaporación	Tanque tipo A Evaporigráfico	LD	Agua	Juego de palancas	Gráfica	mm	0.01	40 cm al borde
		G	Balanza	Juego de palancas	Gráfica	mm	0.05	40 cm al borde
Humedad atmosférica	Psicrómetro Higrógrafo	LD	Mercurio	Tubo capilar	Escala	°C		En la ca. mer
		G	Haz de cabellos	Juego de palancas	Gráfica	%	2.5%	1.50 m de alt.
V	Velocidad	LD	Flecha		Escala	m/s		4 m de alt.
I	Dirección	LD	Escala		Rosa de vientos	Rosa de vientos		
E	Anemómetro Tactulizador	LD	Caroletas	Sistema de engranajes	Contador	km/día		2 y 4 m de alt.
		G	Caroletas	Sistema de engranajes	Gráfica	m/s		2 y 4 m de alt.
N	Anemógrafo Mecánico	G	Caroletas	Sistema de engranajes	Gráfica	m/s		
		G	Flecha	Sistema de engranajes	Gráfica	m/s		
T	Anemocienógrafo	G	Caroletas	Sistema de engranajes	Gráfica	m/s		
		G	Flecha	Sistema de engranajes	Gráfica	m/s		
O	Dirección Intensidades Máximas	G	Caroletas	Sistema de engranajes	Gráfica	m/s		
		G	Flecha	Sistema de engranajes	Gráfica	m/s		
Presión atmosférica	Barómetro Barógrafo	LD	Mercurio	Tubo capilar	Escala	mm Hg	0.1 mm Hg	Alt. del observador
		G	Capsula anerode	Juego de palancas	Gráfica	mm Hg	0.5 mm Hg	En la caseta
Insolación (Horas brillo solar)	Microbarógrafo Heliógrafo	G	Capsula anerode	Juego de palancas	Gráfica	mm Hg	0.1 mm Hg	En la caseta
		G	Papel sensible	Bola de cristal	Gráfica	Horas	15 min	En la caseta
Radiación solar (Radiación global)	Actinómetro Actinógrafo	LD	Pilas	Juego de palancas	Gráfica	cal/cm <sup>2</sup> h	1 cal/cm <sup>2</sup> h	1.20 m de alt.
		G	Pilas	Juego de palancas	Gráfica	cal/cm <sup>2</sup> h	1 cal/cm <sup>2</sup> h	1.20 m de alt.
Temp. y hum. atm.	Polimétrico Termohigrómetro	C	Mercurio	Tubo capilar	Escala	°C		
		C	Haz de cabellos	Juego de palancas	Escala	%		
Temp. y hum. atm.	Termohigrómetro	C	Mercurio	Tubo capilar	Escala	°C		
		C	Haz de cabellos	Juego de palancas	Escala	%		
Temp. y hum. atm. y prec. atm.	Termohigrógrafo Meteorógrafo	C	Bimetal	Juego de palancas	Gráfica	°C		En la caseta
		C	Haz de cabellos	Juego de palancas	Gráfica	%		meteorológica
		C	Bimetal	Juego de palancas	Gráfica	°C		a 1.50 m de alt.
		C	Haz de cabellos	Juego de palancas	Gráfica	mm Hg		

CUADRO 2. NORMAS SOBRE EL INSTRUMENTAL METEOROLOGICO.

---

---

### **Clasificación del instrumental meteorológico.**

El instrumental meteorológico que se puede encontrar en una estación se clasifica de la siguiente forma:

#### **De lectura directa**

Los instrumentos de lectura directa están basados en la alteración que sufre un elemento sensible cuando interviene un elemento meteorológico. Así, por ejemplo:

El pluviómetro, ante la lluvia altera su contenido; la veleta por influencia del viento mueve la paleta; el heliógrafo, por intervenciones de la luz solar quema el papel; los termómetros, por diferencias de temperatura contraen o dilatan el líquido que contienen, etc.

#### **Graficadores.**

En los aparatos graficadores se pueden distinguir tres partes esenciales, las cuales son:

- Elemento sensible. El cual va a estar presentando un cambio en sus características físicas o en su forma, de acuerdo a las manifestaciones del elemento meteorológico.
- Elemento transmisor-amplificador-inscriptor. El cambio o variación en el elemento sensible es transmitido y amplificado por medio de un artificio mecánico, eléctrico o de cualquier otra naturaleza en cuyo extremo se encuentra una plumilla inscriptora, la cual reduce la manifestación en el elemento sensible a una sucesión de puntos.
- Elemento registrador. Los aparatos vienen provistos de un tambor que tiene un sistema de relojería que hace que dé una vuelta por día o por semana; en éste se coloca una gráfica o banda de papel que permite imprimir a la plumilla inscriptora una sucesión de puntos representativos de las mediciones efectuadas; como éstas se hacen en forma continua, la sucesión de puntos constituye una línea que representa las variaciones experimentadas por el elemento meteorológico en un lapso determinado.

#### **Aparatos compuestos.**

Son aquellos aparatos que miden o registran más de dos elementos meteorológicos; pueden ser de lectura directa o graficadores (**ANEXO 1**).

#### **Caseta o abrigo meteorológico.**

El objeto de las observaciones meteorológicas, es contar con datos cuantitativos que representen las condiciones del aire libre. Cuando se coloca un termómetro a la intemperie y recibe directamente los rayos solares, éste al percibir la energía solar, aumentará su temperatura, por lo que el termómetro marcará su propia temperatura y no la del aire.

Por lo antes explicado, es necesario contar con una caseta o abrigo meteorológico en cuyo interior se colocan los termómetros, además de otros instrumentos. La caseta debe tener las siguientes características:

#### **Acondicionamiento.**

Las paredes están provistas de celosías, a manera de persianas, que permiten la libre circulación del aire a través de ellas. Para evitar lo más posible la transmisión del calor desde afuera hacia el interior, el abrigo meteorológico posee doble techo formado por dos superficies que dejan entre sí un espacio por donde pueda circular el aire. De esta manera, la tapa superior puede enfriarse con el aire circulante sin transmitir su calor a la tapa inferior.

---

---

Con el mismo fin, el fondo de la caseta está formado por tablillas traslapadas o un doble piso con agujeros desalineados, impidiendo la transmisión del calor y la luz reflejada del suelo hacia su interior (figs. 2, 3, 4 y 5).

**Material.**

Este generalmente consiste en madera o cualquier material aislante y ligero y se pinta de blanco a fin de que absorba lo menos posible las radiaciones solares.

**Orientación.**

Las puertas de la caseta deben de abrirse hacia el norte, para evitar que los rayos solares penetren al interior de ésta.

**Instrumentos y aparatos.**

Los instrumentos y aparatos que van dentro de la caseta o abrigo meteorológico son:

- Termómetro de máxima
- Termómetro de mínima
- Higrómetro
- Psicrómetro
- Evaporímetro tipo Piche
- Termógrafo
- Higrógrafo
- Termohigrógrafo
- Termohigrómetro

**Utilidad de los datos meteorológicos.**

Los datos obtenidos en las estaciones meteorológicas son de gran importancia, debido a la extensa aplicación de la información que de ellos se obtiene. En el cuadro 3 se presenta en forma resumida la utilidad de una red meteorológica en los diversos campos de la actividad humana y posterior a éste se dá inicio a la investigación propiamente dicha, con el capítulo II "Precipitación", en el cual, así como en los subsecuentes, se presenta una descripción de los fenómenos meteorológicos así como las formas de observarlos y medirlos apoyándose en instrumentos que bien pueden ser muy sencillos, como el pluviómetro; o bien los compuestos, como el termohigrógrafo.

Podrá notarse, a lo largo de la presente investigación que algunos aparatos son descritos extensamente, mas otros no, ésto se debe a que son los aparatos de más uso en el Distrito Federal y su zona conurbada en dependencias gubernamentales como el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica de la Secretaría General de Obras del Gobierno del Distrito Federal y/o el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, que tienen la responsabilidad de recolectar y difundir datos hidrológicos.

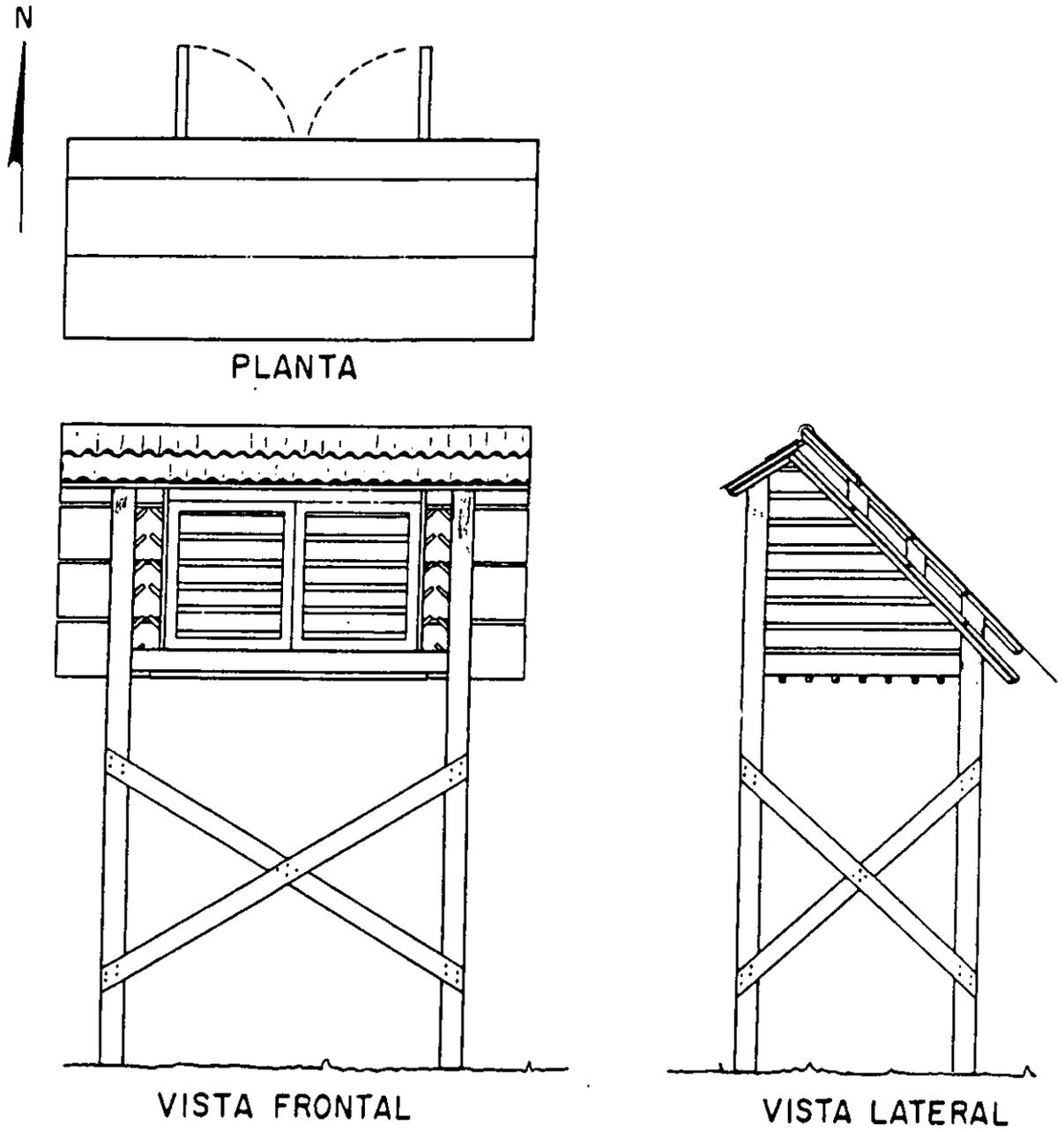


fig. 2 ESQUEMA DE CASETA O ABRIGO METEOROLOGICO.



**Fig. 3 CASETA O ABRIGO METEOROLOGICO**



fig. 4 CASETA O ABRIGO METEOROLOGICO

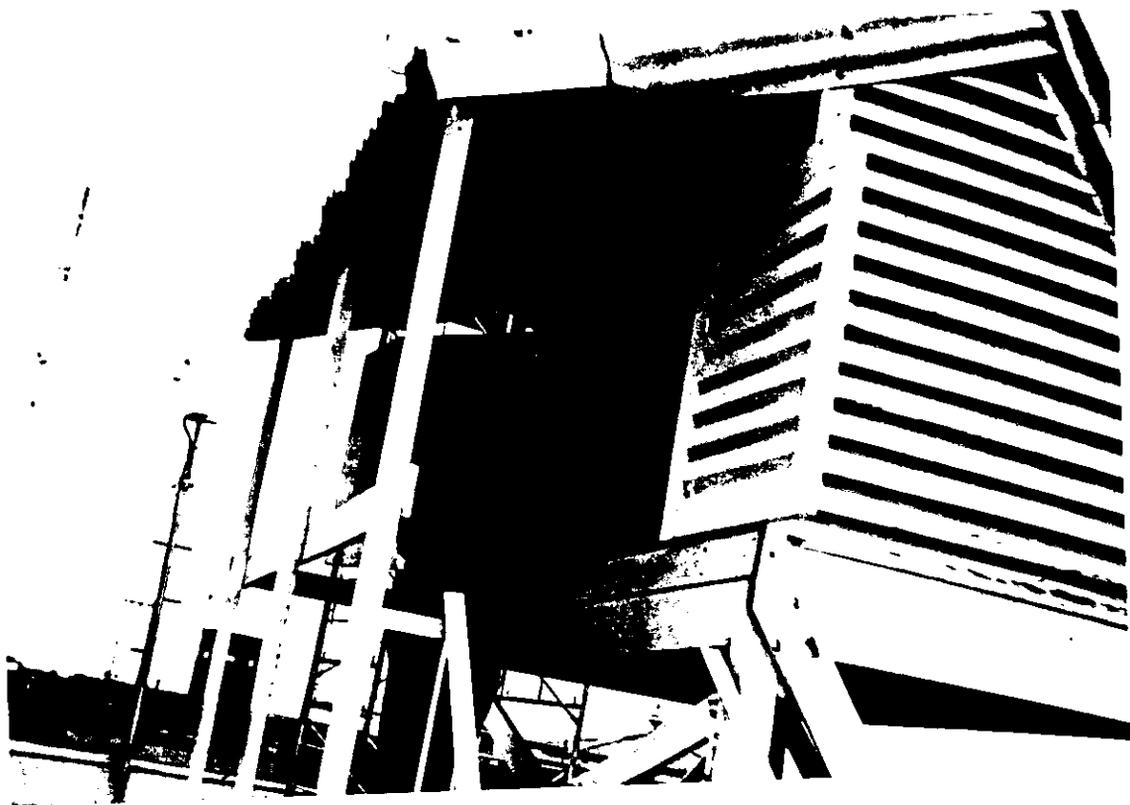
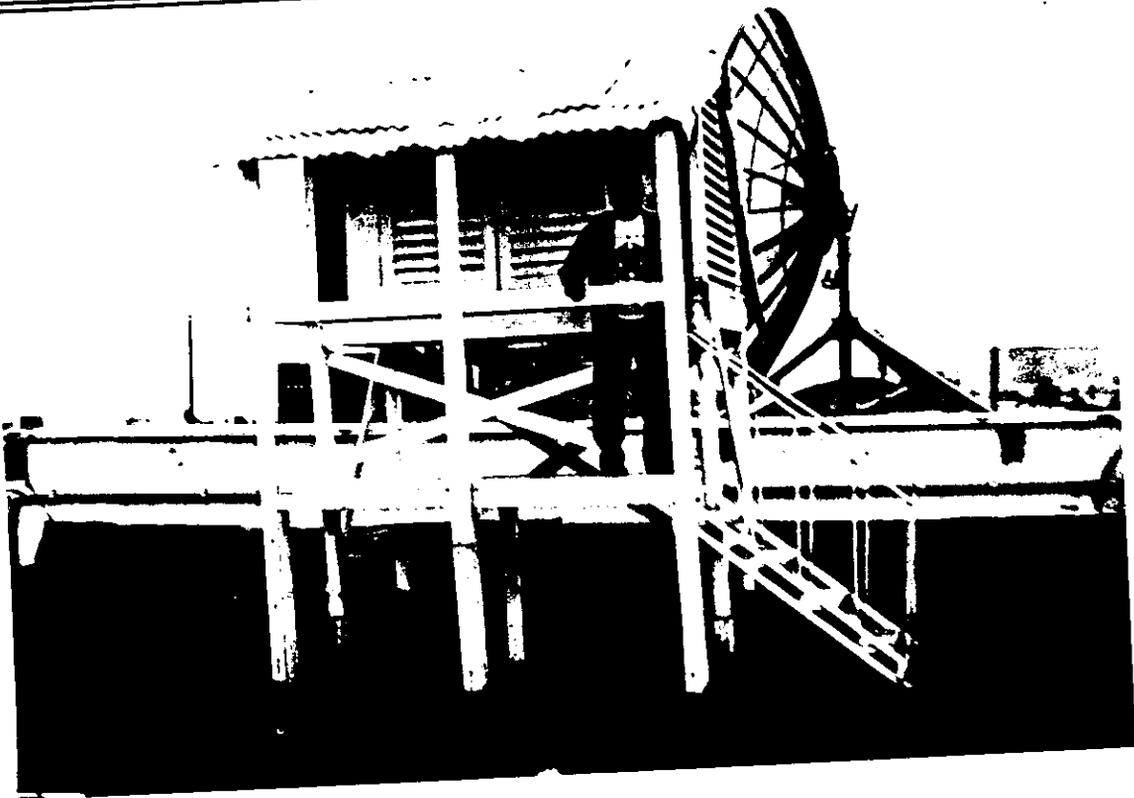


fig. 5 CASETA O ABRIGO METEOROLOGICO

Los datos suministrados por las estaciones de una red meteorológica son de capital importancia en las actividades que aparecen en este gráfico; analizados estos y conocidas las leyes que rigen el fenómeno, pueden aplicarse con dos grandes objetivos: defensa y aprovechamiento. Por otra parte, debe quedar claro que el empleo de los datos va más allá de lo que aquí se presenta en forma resumida, puesto que una variable meteorológica puede tener, además, un sinnúmero de variables de aplicación.	UTILIDAD DE UNA RED METEOROLOGICA																	
	INGENIERIA	AGRICULTURA Y GANADERIA	INDUSTRIAS	TRANSPORTES	ACTIVIDADES MARITIMAS	PROGNOSTICOS DEL TIEMPO (GENERALES Y ESPECIALES)	URBANISMO Y ARQUITECTURA	TELECOMUNICACIONES	COMERCIO	DEPORTES ACUATICOS - RECREACION - TURISMO	PISCICULTURA	SAUD PUBLICA	CONTAMINACION (AGUA, AIRE, SUELO)	COMPORTAMIENTO DE ECOSISTEMAS	EXPL. Y EXPLOTACION DE RECURSOS NATURALES	SERVICIOS DE ALERTA Y PREVENCION DE DESASTRES	USO DE ENERGIA SOLAR Y EOLICA	PROBLEMAS MULTIPLOS Y DE SEGURIDAD
PROTECCION CONTRA CRECIDAS	X																	
ALMACENAMIENTO DE AGUA	X																	
ALCANTARILLADO	X																	
DRENAJE CANALIZACION	X																	
REGADIO	X																	
USO Y RECUPERACION DE TIERRAS	X																	
CONTROL DE EROSION	X																	
HIDROELECTRICIDAD	X																	
ABASTECIMIENTO DE AGUA	X																	
OBRAS DE INGENIERIA CIVIL	X																	
EPOCAS DE SIEMBRA Y COSECHA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LAS PLANTAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALIDAD DE LOS PRODUCTOS AGRICOLAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PROMOTIVO DE COSECHAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SELECCION DE AREAS PARA CULTIVOS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PRODUCCION ANIMAL Y VEGETAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LOS ANIMALES	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ELECCION DE ESPECIMENES ANIMALES Y AGRICOLAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LOCALIZACION DE INDUSTRIAS	X																	
ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS	X																	
AIRE ACONDICIONADO Y AMBIENTACION	X																	
MARITIMOS	X																	
TERRESTRES	X																	
AEREOS	X																	
ANCLAJE Y ACTIVIDADES EN PUERTOS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PESCA COMERCIAL (PLANIFICACION, LUGARES, EFICACIA)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CONTAMINACION (MOVIMIENTO Y DISPERSION DE CONT.)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
RECREACION MARITIMA (PESCA Y NAVEGACION)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: ANALISIS Y DISEÑO DE UNA RED AGROMETEOROLOGICA  
VALLE DEL CAUCA  
II. CURSO INTERNACIONAL DE AGROMETEOROLOGIA, Bogotá, Colombia 1979  
DEPARTAMENTO DE IRRIGACION  
SECCION DE METEOROLOGIA AGRICOLA

UTILIDAD DE UNA RED METEOROLOGICA

INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ADECUACION DE TIERRAS  
HIMAT  
MINISTERIO DE AGRICULTURA

CUADRO 3. UTILIDAD DE UNA RED METEOROLOGICA.

---

---

**CAPITULO II**

**PRECIPITACION**

---

---

## II. PRECIPITACIÓN.

### 2.1. Introducción.

Desde hace mucho tiempo, los hidrólogos saben que únicamente el 25% de la precipitación total que cae en áreas continentales regresa al mar como escorrentía directa o flujo de agua subterránea. De aquí que siempre se creyó que la evaporación continental constituía la fuente principal de humedad en los continentes. Muchas ideas para presentar la precipitación se basaron en esta premisa (se sabe ahora que es errónea), es decir, que se aumentaría la precipitación como resultado de un incremento en la humedad atmosférica debido a la evaporación local. Se sugirieron algunos métodos, tales como el embalse de corrientes en lagos y ciénegas y la selección de especies vegetales con altas tasas de transpiración. Sin embargo, tales métodos son completamente inefectivos, lo cual se puede demostrar en el mar Caspio. Aunque este mar tiene un área de aproximadamente  $438,000 \text{ km}^2$ , o sea más grande que California, y su evaporación anual se puede estimar como del orden de 500 a 600 millones de metros cúbicos, la precipitación anual a lo largo de sus costas es generalmente menor que 250 mm.

Se sabe hoy en día que la evaporación desde la superficie de los océanos es la principal fuente de humedad para la precipitación, y que probablemente no más del 10% de la precipitación continental se puede atribuir a la evaporación en los continentes. Sin embargo, la cercanía a los océanos no necesariamente conlleva una precipitación adecuada, como lo ponen en evidencia muchas islas desérticas. La localización de una región con respecto al sistema general de circulación, la latitud y la distancia a la fuente de humedad son las variables con real influencia en el clima. Las barreras orográficas a menudo ejercen una influencia mucho mayor en el clima de una región que la cercanía a la fuente de humedad. Estos factores climáticos y geográficos determinan la cantidad de humedad atmosférica sobre una región.

### Formación de la precipitación.

La humedad siempre está presente en la atmósfera aún en los días sin nubes. Para que ocurra la precipitación, se requiere algún mecanismo que enfríe el aire lo suficiente para que llegue de esta manera a, o cerca del punto de saturación. Los enfriamientos de grandes masas, necesarios para que se produzcan cantidades significativas de precipitación, se logran cuando ascienden las masas de aire. Este fenómeno se lleva a cabo por medio de sistemas convectivos o convergentes que resultan de radiaciones desiguales, las cuales producen calentamiento o enfriamiento de la superficie de la tierra y la atmósfera, o por barreras orográficas. Sin embargo, la saturación necesariamente no conlleva la precipitación.

### Núcleos de condensación o de congelamiento.

Suponiendo que el aire está saturado o muy cerca de este punto, la formación de neblina o de gotas de agua o cristales de hielo por lo general requiere de la presencia de núcleos de condensación o congelamiento, sobre los cuales se forman las gotas de agua o los cristales de hielo. Estos núcleos son pequeñas partículas de varias sustancias, no necesariamente higroscópicas, cuyo tamaño por lo general está entre  $0.1$  y  $10\mu$  de diámetro. Aquellos cuyo diámetro es menor que  $3\mu$  están comprendidos dentro del rango de aerosoles y pueden permanecer suspendidos en el aire indefinidamente, excepto cuando se forma la precipitación. Los núcleos de condensación por lo general consisten de productos de combustión, óxidos del nitrógeno y partículas de sal. Estos últimos son los más efectivos y aún con humedades tan bajas como del 75% pueden producir condensación.

---

---

---

---

Los núcleos de congelamiento por lo general consisten de minerales arcillosos siendo el caolín el más frecuente. Los núcleos artificiales de congelamiento que se utilizan con más frecuencia en la modificación de los climas (bombardeo de nubes) son el dióxido de carbono (hielo seco) y el yoduro de plata. Los núcleos de congelamiento sirven únicamente como centros de nucleación de la fase líquida y por lo tanto para iniciar el comienzo del crecimiento de los cristales de hielo. Las partículas de agua pura pueden permanecer en estado líquido a temperaturas tan bajas como  $-40^{\circ}\text{C}$ ; únicamente en presencia de tales gotas superenfriadas los núcleos de congelamiento son efectivos. El dióxido de carbono puede producir cristales de hielo en una nube superenfriada a cualquier temperatura, hasta aproximadamente  $0^{\circ}\text{C}$ ; el yoduro de plata tiene un valor límite de nucleación de alrededor de  $4^{\circ}\text{C}$ .

### **Crecimiento de las gotas de agua y los cristales de hielo.**

Después de la nucleación, la gota de agua o el cristal de hielo crecen hasta que su tamaño se vuelve visible en una fracción de segundo a través de un proceso de difusión de vapor de agua hacia éste, pero el crecimiento de este punto en adelante es muy lento. La difusión por sí misma lleva únicamente a la formación de neblina o elementos de la nube que por lo general son menores de  $10\mu$  en diámetro, alcanzando algunos de ellos  $50\mu$ . Puesto que la condensación tiende a agrandar las gotas de agua o los cristales de hielo aproximadamente a la misma tasa, las diferencias en tamaño resultan principalmente de las diferencias en tamaños de los núcleos de los cuales se forman. Mientras los elementos en una nube tienden a asentarse, el peso de un elemento promedio es tan pequeño que se requiere únicamente de un ligero movimiento de aire hacia arriba para mantenerlo en suspensión.

La mayoría de las gotas de agua en estado no precipitable tienen diámetros menores de  $10\mu$ , y una corriente hacia arriba, menor de  $14\text{ km/h}$ , es suficiente para evitar que éstas caigan. Debido a que los cristales de hielo de peso equivalente tienen un tamaño mucho más grande, se pueden sostener por velocidades aún más bajas.

Las velocidades hacia arriba, por debajo de las nubes y en las nubes, a menudo sobrepasan los valores necesarios para sostener los elementos de la nube. Por esta razón, para que ocurra la precipitación, los elementos de la nube deben aumentar en tamaño hasta que su velocidad de caída exceda la tasa ascensional del aire. Los elementos de las nubes también deben ser lo suficientemente grandes para penetrar en el aire no saturado que está localizado por debajo de la base de la nube, sin evaporarse completamente antes de llegar a la tierra. Una gota de agua que cae desde la base de una nube a un kilómetro, en aire que tiene un 90% de humedad relativa y que se está elevando a  $278\text{ km/h}$ , requeriría de un diámetro aproximadamente de  $440\mu$  para llegar a la tierra con un diámetro de  $200\mu$ , límite que se considera a menudo como el que hay entre el tamaño de las gotas de una nube y el tamaño precipitable.

Debido a las diferencias en presión de vapor que resultan de las diferencias de tamaño y temperatura, se espera un crecimiento de los elementos de la nube a través de la difusión. Parece que las cargas eléctricas tienen algún efecto en el crecimiento de los elementos de la nube. La difusión es mucho más efectiva cuando en la nube hay cristales de hielo y gotas de agua líquida. La presión de vapor de saturación sobre el hielo es menor que sobre el agua a la misma temperatura, lo cual da como resultado un transporte neto de humedad desde las gotas líquidas a los cristales de hielo. El crecimiento es en particular muy rápido cuando las gotas sobrepasan en número a los cristales de hielo, siendo éste por lo general el caso. Este proceso se considera importante como causa de precipitaciones muy fuertes, pero puesto que las lluvias fuertes pueden presentarse únicamente debido a nubes calientes, con temperaturas por encima del congelamiento en todos los lugares, a menudo se deben de considerar los otros factores.

---

---

Los choques y absorciones de una nube y los elementos de la precipitación (acrecencia) son considerados como los factores más importantes que llevan a una precipitación significativa. Los choques entre las nubes y las partículas de precipitación se suceden en su mayor parte debido a la diferencia en velocidad de caída y como resultado de las diferencias en tamaño. Las partículas más pesadas caen más rápido (o ascienden más lentamente) que las partículas más pequeñas. Las partículas que chocan usualmente son absorbidas por las partículas más grandes, y el proceso se puede repetir un gran número de veces. Se ha estimado que en una lluvia típica relativamente fuerte ocurren 7 choques por cada kilómetro de caída.

Las gotas de lluvia pueden crecer hasta tener un diámetro de 6 mm. La velocidad máxima de caída, o velocidad terminal (**tabla 1**), tiende a nivelarse cuando las gotas de agua se acercan a su tamaño máximo debido al aumento en resistencia del aire a medida que se deforman. Para diámetros grandes, la deformación puede ser lo suficientemente grande para que las gotas se rompan antes de obtener su velocidad terminal.

Diámetro de las gotas		Velocidad terminal	
mm	in.	cm/s	ft/s
0.5	0.02	206	6.8
1.0	0.04	403	13.2
1.5	0.06	541	17.7
2.0	0.08	649	21.3
3.0	0.12	806	26.4
4.0	0.16	883	29.0
5.0	0.20	909	29.8
5.5	0.22	915	30.0
5.8	0.23	917	30.1

**Tabla 1. Velocidad terminal de las gotas de agua en aire en reposo.**  
( presión de 1013.3 milibares, temperatura de 20°C,  
humedad relativa del 50% ).

Los cristales de hielo pueden llegar al suelo, pero por lo general un número de ellos chocan y se absorben para formar un conjunto y caer como copos de nieve. Las absorciones son más efectivas cuando las temperaturas están cerca a las de congelamiento. La velocidad de caída de la nieve y de los cristales de hielo por lo general nunca es mayor de 1 m/s, dando de esta manera un tiempo considerable para crecimiento por difusión. A temperaturas cercanas a las de congelamiento, se forma escarcha. Puesto que la escarcha favorece tanto la absorción como la desigualdad en velocidades de caída, ésta aumenta la probabilidad de colisión; es entonces cuando se pueden observar los mayores copos de nieve.

#### **Contenido máximo de agua líquida en las nubes.**

Las velocidades de ascenso en el aire en sistemas vigorosamente convectivos por lo general exceden las velocidades terminales. Las observaciones realizadas con radar han indicado tasas ascensionales que llegan a 40 y 50 km/hr en cúmulus nimbus. Las observaciones realizadas desde aeroplanos indican un diámetro horizontal de aproximadamente 1.5 km para corrientes ascendentes en la célula de una tormenta, las cuales por lo general tienen de 6 a 10 km de diámetro. Las corrientes descendentes tienen aproximadamente el mismo tamaño que las corrientes ascendentes. Sin embargo, las tasas ascensionales en las corrientes no son uniformes,

---

y se pueden encontrar chorros de gran velocidad vertical en las corrientes ascendentes con diámetros no mayores que unos pocos cientos de metros.

Las corrientes ascendentes más fuertes impiden que aún las gotas más grandes, caigan y lleven todos los elementos de la precipitación a la parte superior de las nubes, produciendo una acumulación de agua líquida que excede la encontrada por lo general en los elementos de la nube. La teoría y las observaciones por radar sugieren que la altura de la acumulación dependen de la velocidad de la corriente ascendente.

Eventualmente el agua acumulada se precipita como resultado de un debilitamiento de la corriente ascendente o por un desplazamiento horizontal que la aleja de la corriente que la soporta hasta una más débil, como sucede a menudo; o a una corriente descendente, que puede ser iniciada debido a la masa de agua acumulada. Cuando llega a una corriente descendente, el aguacero resultante dura unos pocos minutos, y la lluvia puntual es por lo general menor de 100 mm. En una tormenta pueden presentarse varios de estos aguaceros y una lluvia puntual de una hora puede llegar a superar los 200mm.

La máxima concentración de agua en cúmulo congestus no precipitable puede ser cercana a  $4 \text{ g/m}^3$ , pero la media para las nubes puede ser únicamente la mitad de este valor. Los valores medios para las nubes como tales, aparentemente tienen poca significación en relación con la precipitación natural. El máximo contenido de agua líquida en una nube no precipitable por lo general varía desde  $0.5 \text{ g/m}^3$  en estratos delgados a  $4 \text{ g/m}^3$  en cúmulos que tienen concentraciones de  $4 \text{ g/m}^3$  o más, por lo general producen precipitación que llega al suelo. Las tasas de lluvia tienden a estar correlacionadas con el máximo contenido de agua líquida. Para lluvias fuertes parece que la tasa de lluvia aumenta alrededor de  $25 \text{ mm/hr}$  por cada gramo de metro cúbico.

### Formas de precipitación.

Cualquier producto formado por la condensación del vapor de agua atmosférico en el aire libre o la superficie de la tierra es un hidrometeoro. A continuación se definen los hidrometeoros que caen:

**Llovizna:** consiste en pequeñas gotas de agua, cuyo diámetro varía entre 0.1 y 0.5mm, las cuales tienen velocidades de caída tan bajas que ocasionalmente parece que estuviesen flotando. Por lo general, la llovizna cae de estratos bajos y muy rara vez sobrepasa un valor de  $1 \text{ mm/h}$ .

**Lluvia:** consiste de gotas de agua líquida en su mayoría con un diámetro mayor de 0.5 mm. La lluvia puede clasificarse en tres intensidades:

- Ligera: Para tasas de caída hasta de  $2.5 \text{ mm/h}$ .
- Moderada: desde  $2.5$  hasta  $7.6 \text{ mm/h}$ .
- Fuerte: Por encima de  $7.6 \text{ mm/h}$ .

**Escarcha:** es una capa de hielo, por lo general transparente y suave, pero que usualmente contiene bolsas de aire, que se forma en superficies expuestas por el congelamiento de agua superenfriada que se ha depositado en forma de lluvia o llovizna. Su gravedad específica puede ser de 0.8 a 0.9. Existe otro tipo de escarcha, que es opaca, y que consiste en depósitos de hielo separados por aire atrapado y formado por el rápido congelamiento de las gotas de agua que, superenfriadas, caen en los objetos expuestos. Su gravedad específica puede llegar a tomar valores de 0.2 a 0.3.

**Nieve:** está compuesta de cristales de hielo blanco o translúcidos, principalmente de forma compleja, combinados hexagonalmente y a menudo mezclados con cristales simples; algunas veces los conglomerados forman los copos de nieve, que pueden llegar a tener varios centímetros de diámetro. La densidad de la nieve fresca varía grandemente; por lo general se requieren de 125 a 500 mm de nieve para formar 25 mm de agua líquida. A menudo se supone que la densidad promedio (gravedad específica) es igual a 0.1.

**Bolitas de nieve:** también llamadas granizo suave, consisten de partículas de hielo redondeadas, blancas u opacas, con una estructura similar a la de los copos de nieve y de 2 a 5 mm de diámetro. Las bolitas de nieve son suaves y se desbaratan fácilmente. Al golpear con superficies fuertes a menudo rebotan y se rompen en varios pedazos.

**Granizo:** es precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, que se produce por nubes convectivas, la mayoría de ellas de tipo cúmulo nimbus. Los granizos pueden ser esféricos, cónicos o de forma irregular y su diámetro varía entre 5 a más de 125 mm. Por lo general están formados de capas alternadas de escarcha y su gravedad específica es aproximadamente 0.8. El mayor granizo que se ha encontrado cayó en Kansas City, Estados Unidos; medía 44 cm de circunferencia y pesaba 766 gr.

**Bolas de hielo:** están compuestas de hielo transparente o translúcido. Pueden ser esféricas o irregulares, o algunas veces cónicas y por lo general tienen menos de 5 mm de diámetro; rebotan cuando chocan con superficies duras y producen gran ruido en el momento del impacto. Existen dos tipos diferentes de precipitación que se conocen como cellisca y granizo pequeño y que están incluidas en las bolitas de hielo:

- **Cellisca, o granos de hielo:** es por lo general transparente, en forma de globos; son granos sólidos de hielo formados por el congelamiento de gotas de agua, o el recongelamiento de cristales de hielo que se han fundido, en gran parte, cuando pasan a través de una capa de aire cuya temperatura está por debajo de la de congelamiento cercana a la superficie de la tierra.

- **Granizo pequeño:** está compuesto por pequeñas bolitas de nieve translúcidas envueltas en una capa muy delgada de hielo. La cubierta de hielo se puede formar por absorción de las gotas de agua líquida sobre la bola de nieve, o por fusión y recongelamiento de la superficie de la bolita de nieve.

### Tipos de precipitación.

La precipitación lleva a menudo el nombre del factor responsable del levantamiento del aire que produce el enfriamiento en gran escala y necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación. Por lo tanto, tenemos la siguiente clasificación que se genera en base al factor afectante:

**Precipitación ciclónica:** resulta del levantamiento del aire, que converge en un área de baja presión o ciclón. La precipitación ciclónica puede subdividirse como frontal y no frontal:

- **Precipitación frontal:** resulta del levantamiento de aire cálido a un lado de una superficie frontal sobre aire más denso y frío. Esta a su vez se subdivide en:

- **Precipitación de frentes cálidos:** se forma cuando el aire avanza hacia arriba sobre una masa de aire más frío. La tasa de ascenso es relativamente baja puesto que la pendiente promedio de la superficie frontal es por lo menos de 1/100 a 1/300. La precipitación puede extenderse de 300 a 500 km por delante del frente y es por lo general lluvia que varía entre ligera y moderada y continúa hasta que termina el paso del frente.

---

•**Precipitación de frentes fríos:** es de naturaleza corta y se forma cuando el aire cálido es obligado a subir por una masa de aire frío que está avanzando y cuya cara delantera es un frente frío. Los frentes fríos se mueven más rápidamente que los frentes cálidos, y sus superficies frontales tienen pendientes que varían entre 1/50 y 1/150. En consecuencia, el aire cálido se eleva mucho más rápidamente que por un frente cálido y las tasas de precipitación son por lo general mucho mayores. Las cantidades más grandes y las intensidades mayores ocurren cerca de los frentes de la superficie.

- **Precipitación no frontal:** es la precipitación que no tiene relación con los frentes.

- **Precipitación convectiva:** es causada por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias en temperaturas pueden ser el resultado de calentamientos diferenciales en la parte superior de la capa de aire o de ascensos mecánicos cuando el aire es forzado a pasar sobre una masa de aire más fría y más densa, o sobre una barrera montañosa. La precipitación convectiva es puntual, y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a ligeras lloviznas y aguaceros.

- **Precipitación orográfica:** resulta del ascenso mecánico sobre una cadena de montañas. La influencia orográfica es tan marcada en terreno quebrado que los patrones de las tormentas tienden a parecerse a aquellos de la precipitación media anual. En la naturaleza, los efectos de estos varios tipos de enfriamiento a menudo están interrelacionados, y la precipitación resultante no puede identificarse como de un solo tipo.

- **Precipitación inducida artificialmente.** La modificación del clima, a menudo llamada también control del tiempo, es el término general que se utiliza para indicar los esfuerzos por alterar artificialmente los fenómenos meteorológicos naturales de la atmósfera. Todos los intentos para aumentar o disminuir la precipitación, eliminar el granizo y los rayos, mitigar los huracanes, disipar la niebla, prevenir las heladas y alterar el balance de la radiación, etc., están incluidos bajo el término modificación del clima. La modificación de las nubes o bombardeo de las nubes, es un tipo de modificación del tiempo, y por lo general tiene como meta ya sea la disipación de las nubes o la estimulación de la precipitación.

En 1946 se demostró que el dióxido de carbono sólido (hielo seco) puede causar la precipitación en una nube que contenga gotas de agua superenfriadas; poco tiempo después se descubrió que otras sales, en particular el yoduro de plata, también pueden inducir la precipitación. Tanto el hielo seco como el yoduro de plata, los agentes más comunes en el bombardeo de nubes, actúan como núcleos de congelamiento en nubes superenfriadas. Para el bombardeo de nubes con hielo seco, se requiere enviar éste por medio de avionetas, globos o cohetes. El yoduro de plata, que es mucho más efectivo cuando se calienta hasta el punto de vaporización, puede ser enviado a la nube, bien sea por generadores localizados en la tierra o en el aire, pero tiene la desventaja de que su efectividad se ve muy reducida si se expone a la luz del sol, esta reducción se produce en el número de partículas efectivas, aproximadamente 10 por cada hora de exposición. Sin embargo, los bajos costos de operación de los generadores localizados en la tierra han hecho de este método el más común para aumentar la precipitación.

## 2.2. Instrumentación y medición.

Se han desarrollado una gran variedad de instrumentos y técnicas para obtener información de las diferentes fases de la precipitación. Los instrumentos para medir la cantidad y la intensidad de la precipitación son los más importantes. Los otros instrumentos incluyen aparatos para medir el tamaño y la distribución de las gotas de agua y para establecer el tiempo de comienzo y fin de la precipitación. Todas las formas de la precipitación se miden sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía sobre una superficie a nivel si la precipitación permaneciese en el lugar donde cae y se expresa por la altura de dicha columna en milímetros y décimos de milímetros. Si se presentara nieve o granizo, se expresaría en la misma forma; solo se

---

---

tendría que esperar a que la capa que se formara pasara al estado líquido. Una lluvia de 1mm en 1m<sup>2</sup> es igual a :

$$0.001 \text{ m} \times 1 \text{ m}^2 = 0.001 \text{ m}^3 = 1 \text{ L}$$

### **Pluviómetro.**

Es el aparato utilizado para medir la cantidad de precipitación. Se compone de un cilindro metálico con una longitud de 45.5 centímetros y un diámetro de 17.6 centímetros. La parte superior termina en una boca receptora con diámetro de 15.95 cm, lo cual da como resultado una superficie receptora de 200 cm<sup>2</sup>. La boca del pluviómetro está formada por un bisel de bronce o anillo reforzado de metal con la parte superior terminada en arista viva; a él se une un embudo de zinc que termina en la parte inferior para que deje pasar el agua dentro del cilindro (figs. 6 y 7).

Dicho cilindro es de zinc reforzado en su parte inferior por un anillo y dentro lleva un vaso medidor del mismo metal que recibe directamente el agua del embudo. El vaso es cilíndrico con una asa en su parte superior; tiene un diámetro de 71 milímetros y una altura de 20 centímetros; en él se mide la lluvia, por medio de una regla de madera dividida en centímetros (fig. 8).

En algunos casos se prescinde de la regla graduada y se emplea una probeta graduada (fig. 8). La graduación está en milímetros y décimos de milímetros. Su diámetro guarda una relación con el diámetro de la boca receptora, que por lo regular es 10 veces menor; esto es para un milímetro de agua en el cilindro colector tome una altura 10 veces mayor en la probeta a fin de facilitar la apreciación de los décimos de milímetro.

### **Instalación y exposición.**

La cantidad de agua recogida por un pluviómetro depende de su situación, y es indispensable tener mucho cuidado al elegir el lugar adecuado. En muchos casos el pluviómetro puede instalarse en el mismo terreno en que esté el abrigo meteorológico, a una distancia de 3 a 5 m de él, y del lado contrario a la dominancia de los vientos.

La instalación del aparato debe hacerse en un terreno a nivel y teniendo cuidado de que quede firme para impedir que el viento lo mueva, o que se levante el cilindro al sacar el embudo para medir la lluvia.

Los pluviómetros deben colocarse de manera que cuando llueva caiga en ellos el agua libremente, aunque haya viento fuerte. Debe procurarse que los aparatos no queden cerca de edificios, paredes, árboles, etc., que impidan que el agua de lluvia llegue al pluviómetro. El aparato debe colocarse por lo menos a una distancia igual a la altura del obstáculo.

Cuando no haya lugar apropiado para hacer la instalación y sea preciso colocar el pluviómetro sobre una azotea, se escogerá el centro de ella, a fin de que quede lo más alejado de los pretilos.

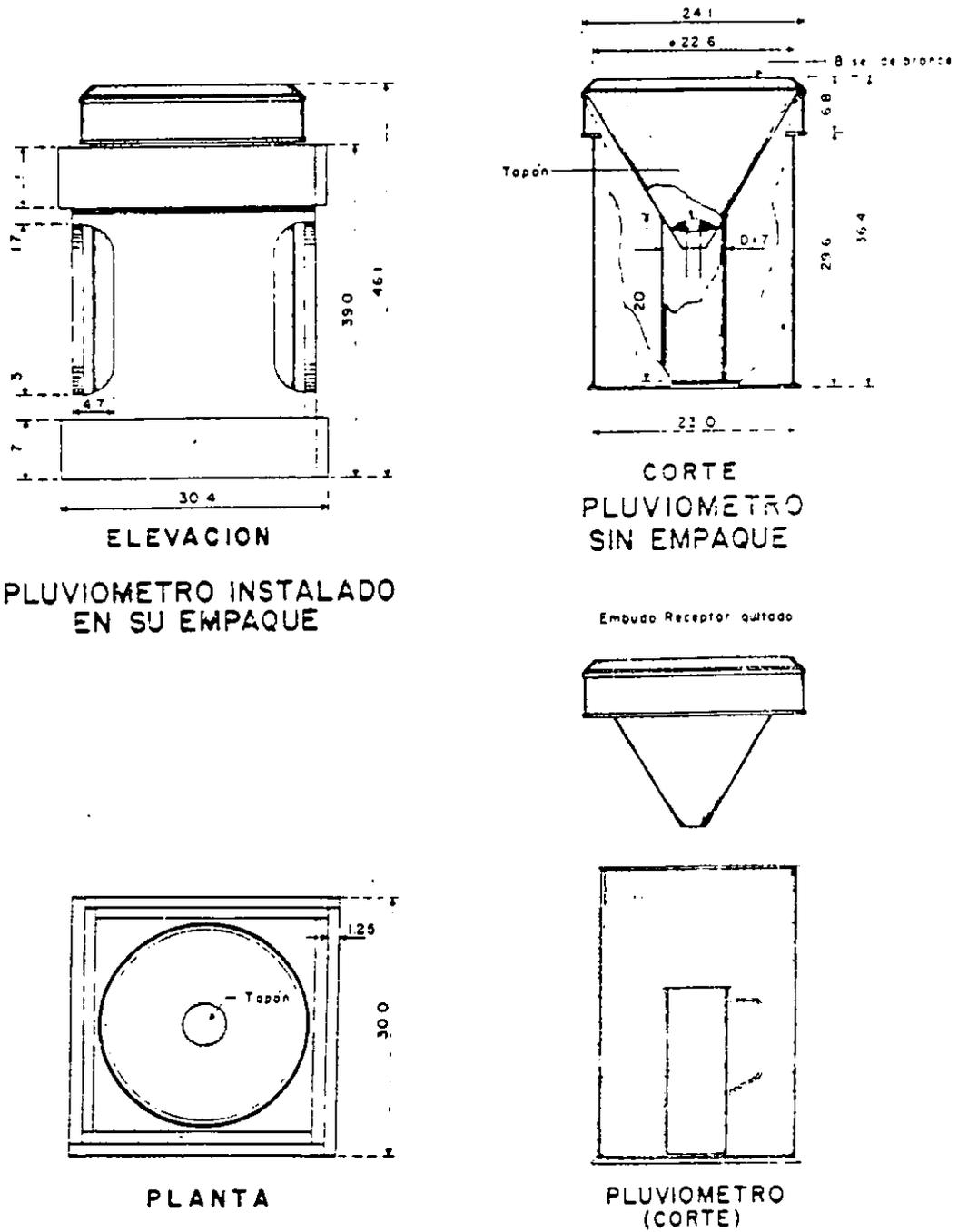


fig. 6 PLUVIOMETRO  
(detalles)

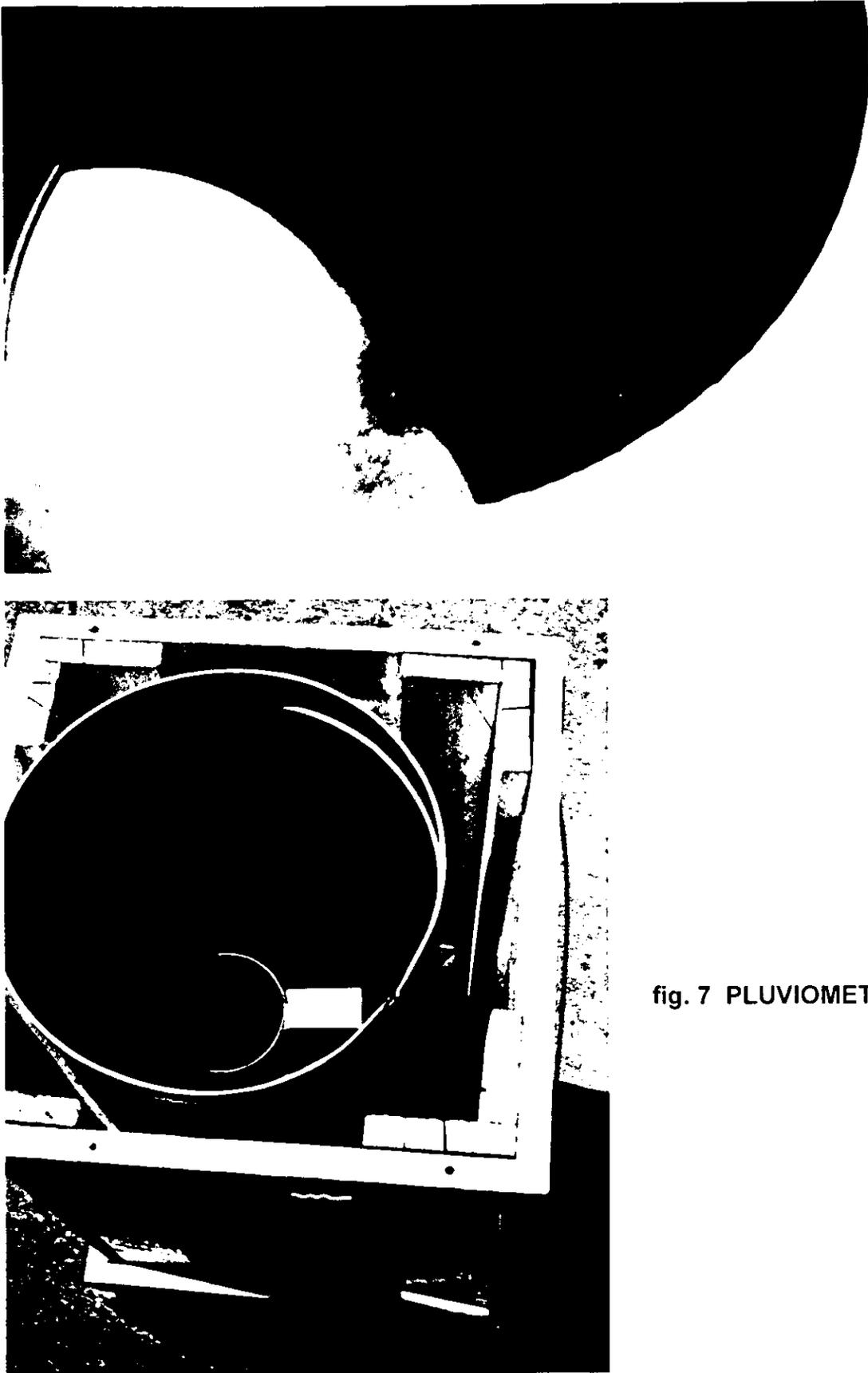


fig. 7 PLUVIOMETRO.

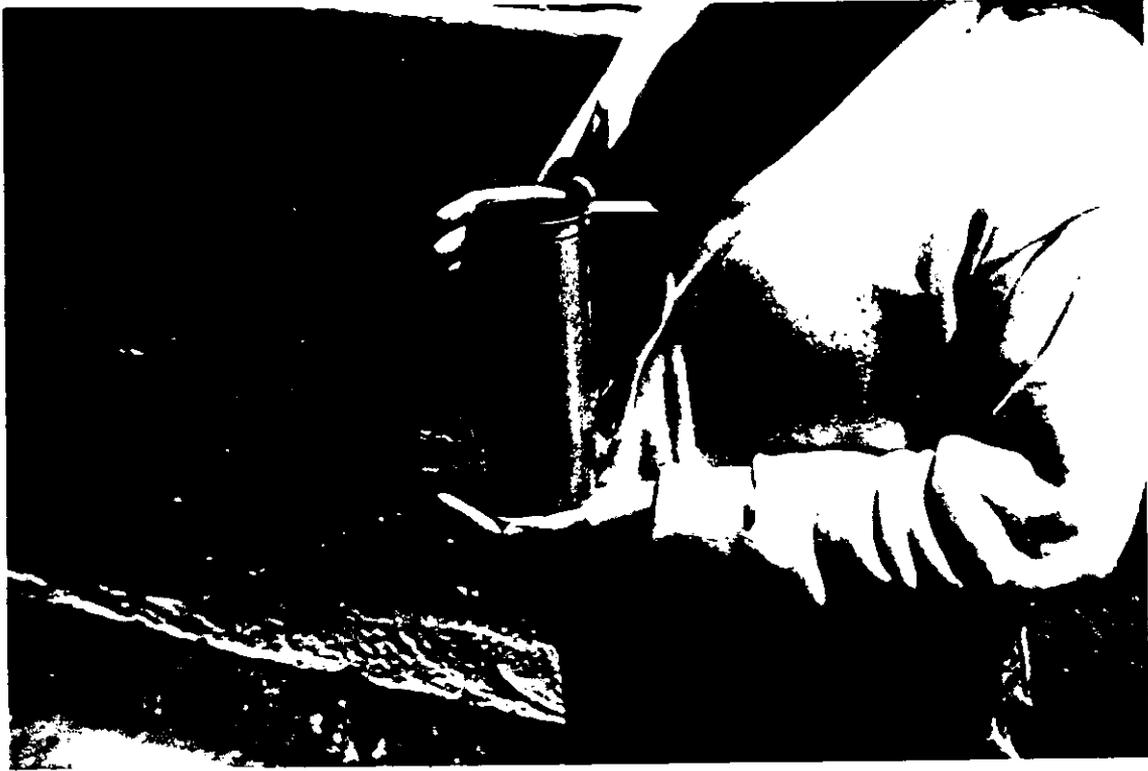


fig. 8 DEPOSITOS MEDIDORES EN EL PLUVIOMETRO.

---

Debe tenerse especial cuidado en la colocación de los pluviómetros. Una instalación que al principio haya estado buena, puede volverse defectuosa y mala gradualmente, ya sea por el crecimiento de los árboles vecinos, o por la construcción o modificación de chimeneas, muros o edificios. El observador debe cerciorarse constantemente de que su instalación sigue en buenas condiciones, y debe dar aviso a la oficina central, de todos los cambios que haya cerca del pluviómetro, y que puedan afectar las indicaciones, como nuevos edificios, árboles, etc.

La altura de la boca del pluviómetro sobre el suelo, debe ser generalmente de un metro, para la cual la caja se colocará sobre un poste o un banco de madera, o bien sobre un macizo de mampostería. Es necesario que la altura de la boca del pluviómetro sea la indicada, a fin de evitar que el agua de lluvia al caer al suelo salpique sobre él, pero si esta altura aumenta, el agua recogida por el pluviómetro disminuye, debido a que el viento la arroja fuera de la boca. La lluvia perdida depende de la fuerza del viento y de la altura sobre el suelo del aparato, y no es posible dar reglas en general para obtener medidas fijas a distintas alturas, y que sean comparables. Los remolinos formados por una exposición defectuosa impiden también la medida exacta de la lluvia.

Cualquier cosa que afecte el área de la boca del pluviómetro cambia la cantidad de agua recogida; por lo tanto, es necesario, primero, que la parte superior del pluviómetro esté nivelada, y segundo, que la referida boca no sufra deformaciones apreciables, cambiando su área receptora.

Como sugerencia, el pluviómetro de ninguna manera se colocará estando el terreno inclinado al lado del viento dominante. La distancia que debe tener de cualquier otro objeto no será menor que el doble de la altura del objeto sobre la boca del pluviómetro, esto se tendrá presente si el pluviómetro se coloca en un jardín donde haya árboles grandes, o en una azotea, respecto a los pretilos.

Una vez que haya estas condiciones, se preferirá un lugar abrigado a un aislado; especialmente en las montañas y en estaciones de la costa, se tendrá cuidado de que el pluviómetro no quede expuesto a la fuerza del viento. Un conjunto de árboles o una pared al lado del viento dominante, y colocada a la distancia indicada en el párrafo anterior, será una protección adecuada. En algunas ocasiones, se hace necesario la construcción de una pared de follaje de 1.50 m de altura, rodeando al pluviómetro a una distancia de 3 metros. Además debe cuidarse que el interior del aparato esté limpio de hojas, tierra y otros objetos que pueden alterar la medición exacta de la precipitación.

Para evitar el calentamiento del pluviómetro por los rayos solares, se meterá dentro de un abrigo de madera pintado de blanco, que a la vez le sirve de empaque en los transportes; las tapas a y b se desatomillan, y con las dos piezas en cruz se forma la base en que descansa el aparato en el interior del abrigo (fig. 9).

El día 1º de cada mes, después de anotar la observación de las 8 a.m., se enviará el registro del mes anterior a la Oficina Central del Servicio.

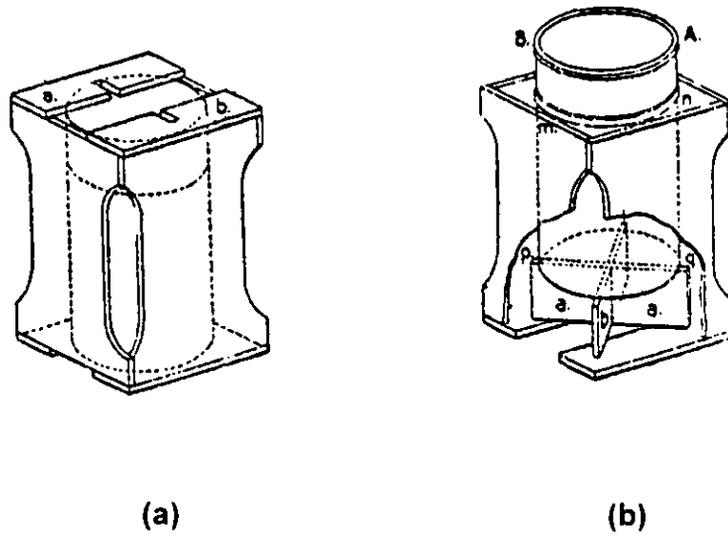


fig. 9 PLUVIOMETRO (a) EMPACADO, (b) y (c) INSTALADO.

---

---

### Medida de la cantidad de lluvia.

La cantidad de precipitación se mide por la altura en milímetros y décimos de milímetro que tendría la capa de agua depositada sobre el suelo si no se filtrase ni corriera para formar arroyos y ríos, ni tampoco se evaporase por el calor.

La lluvia debe recogerse en la jarra de lámina colocada en el interior de cada pluviómetro; para hacer la lectura se toma la jarra en posición vertical, entre los dedos pulgar e índice, después de haber quitado el embudo del pluviómetro, y se coloca en una mesa u otra superficie horizontal, para introducir con la otra mano una regla de madera, dividida en partes iguales (fig. 10). Como se ve, la regla tiene varias líneas numeradas del 1 hasta el 20, separadas entre sí por un centímetro de distancia, pero que equivale cada una a 1 milímetro de altura de lluvia, en vista de que la sección de la jarra es 10 veces menor que la superficie de la boca del pluviómetro.

Para medir la lluvia caída, se introduce verticalmente la regla en la jarra, hasta que llegue al fondo, después se saca con cuidado y se toma la lectura que tiene la parte mojada. Por ejemplo, supongamos que al hacer la medida con la regla el agua llegue hasta la mitad del espacio comprendido entre las graduaciones 3 y 3.5 mm (fig. 11, a), la cantidad de precipitación caída en este caso es de 3.3 mm (tres milímetros y tres décimos de milímetro), por ser la sección del vaso como se ha dicho diez veces menor que la de la boca del pluviómetro. Cuando el vaso esté lleno, se revisará el cilindro del pluviómetro por si hubiere algún excedente de agua, con objeto de medir ésta por medio del vaso, de la manera indicada anteriormente, a fin de agregarla a la primera medida efectuada para obtener la altura total de lluvia. Si la altura del agua está comprendida entre las divisiones 3 y 4 mm (fig. 11, b), la lluvia será de 3 milímetros 8 décimos (3.8), y por último si la regla queda mojada entre el 2 y el 3 (fig. 11, c), la cantidad de lluvia será de 2.5 mm, separando siempre los milímetros de los décimos por un punto.

Es necesario examinar la jarra del pluviómetro, cuando se encuentre parte de agua en el cilindro, sin estar llena dicha jarra, pues pudiera suceder que estuviera picada, y por tanto, se procederá a arreglarla inmediatamente.

El pluviómetro se revisará diariamente, aún cuando el tiempo esté seco, pues a veces el rocío indica alguna precipitación. Dicho examen diario es necesario, a fin de evitar los errores que pudiera haber, debido al agua que accidentalmente caiga en el aparato. Cuando la jarra para medir la lluvia, se encuentre enteramente llena, la cantidad de precipitación será de 20 milímetros, revisándose luego el recipiente del pluviómetro, para medir el agua que se hubiere derramado de la jarra.

La palabra inapreciable o "inap." deberá anotarse en los siguientes casos:

Primero: cuando la altura del agua, indicada en la regla, sea menor a 1 décimo de milímetro.

Segundo: cuando el observador tenga conocimiento, por observación directa, que ha caído alguna lluvia, nieve, granizo o llovizna desde la última observación, y sin embargo, no haya agua en el pluviómetro. Este fenómeno se presenta a veces cuando la temperatura es caliente y al caer el agua en el pluviómetro se evapora antes de entrar a la jarra receptora. Es conveniente que el observador anote en este caso, en el registro, "Lluvia ligera", "Ligera llovizna", etc.

Como en la jarra solamente caben 20 milímetros de lluvia, cuando la precipitación sea mayor, se medirá por partes, a fin de evitar errores; al contar el número de jarras, es conveniente vaciar el agua en un recipiente, y volver a medir en número de jarras con especial cuidado. Cuando el elemento medidor sea la probeta graduada se vacía el agua acumulada en el colector en la probeta graduada y se hace la lectura.

---

---

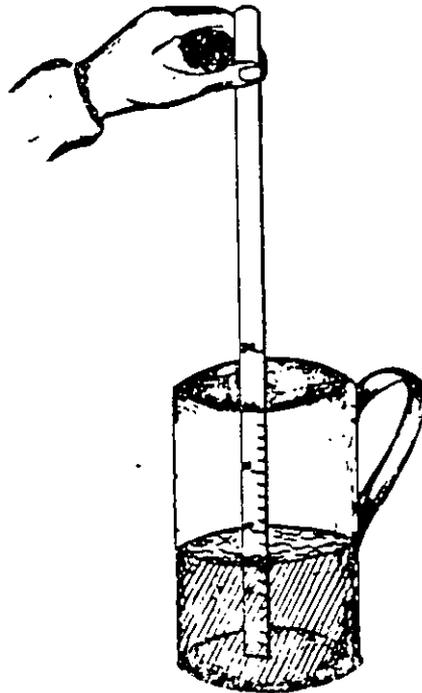


fig. 10 MEDIDA DE LA CANTIDAD DE LLUVIA.

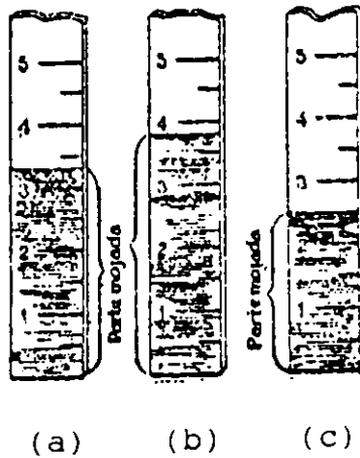


fig. 11 EJEMPLOS DE MEDIDAS.

---



---

**Cálculo del factor de corrección para la medición de la precipitación con áreas de captación diferentes a la del pluviómetro ( 200 cm<sup>2</sup> ).**

Hay ocasiones en que por alguna razón no se cuenta con pluviómetros para medir la precipitación, lo que se puede solucionar utilizando algún bote con área similar a la de uno de estos aparatos; como por ejemplo, los botes de aceite de 4 L cuya área es de 213.8 cm<sup>2</sup>. Y para poder obtener con él una correcta medición de la precipitación, bastará obtener un factor de corrección, lo cual se calcula de la siguiente forma:

Se tiene :

$P$  = Altura de la precipitación en el pluviógrafo

$A_p$  = Área del pluviógrafo = 200 cm<sup>2</sup>

$V_p$  = Volumen de la precipitación en el pluviómetro

$P'$  = Altura de la precipitación en el bote en cuestión

$A_x$  = Área en cuestión, en este caso = 213.8 cm<sup>2</sup> .

Como el volumen (  $V$  ) de un recipiente es igual a su área (  $A$  ) por su altura (  $h$  ), entonces la altura es igual al volumen sobre el área.

$$V = Ah \therefore h = A / V$$

Suponiendo que llovieron 5.5 cm; se tiene:

$$V_p = A_p P = 200 \times 5.5 = 1100 \text{ cm}^3$$

La altura de la lámina de la lluvia lógicamente tiene que ser menor en el bote por tener mayor área que la del pluviómetro. Por tanto, si el volumen del agua recolectada por el pluviómetro se vierte en el bote, la altura que se tendrá será:

$$P' = V_p / A_x = 1100 / 213.8 = 5.145 \text{ cm}$$

Por tanto, dividiendo  $P$  entre  $P'$  se obtiene el factor de corrección :

$$F_c = P / P' = 5.5 / 5.145 = 1.069$$

Así, para que la altura que alcance la lluvia en el bote sea igual a la del pluviómetro, se multiplica por el factor de corrección:

$$P = P' \times F_c = 5.145 \times 1.069 = 5.5 \text{ cm}$$

Si el área del bote en cuestión fuera menor a la del pluviómetro, el factor de corrección sería menor que 1, pues la altura de la lluvia sería mayor.

Por todo lo anterior, también se puede obtener el factor de corrección, dividiendo simplemente el área del recipiente en cuestión entre la del pluviómetro:

$$F_c = A_x / A_p = 213.8 / 200 = 1.069$$

Es importante aclarar que, si el área del bote que se quiera utilizar como sustituto dista mucho de la del pluviómetro, es incorrecto obtener el factor de corrección como se ha indicado, ya que intervienen otros factores; por ejemplo, si el área de captación del bote fuera de sólo 30 cm<sup>2</sup>, por efecto del viento captaría menor cantidad de lluvia, en relación al pluviómetro.

---



---

---

---

### Pluviógrafo de Hellmann.

El aparato se compone de una caja cilíndrica de lámina de hierro reforzada, pintada por dentro y por fuera de un color aplomado; parte de esta caja cilíndrica forma la puerta que gira alrededor de una charnela y se cierra por medio de dos abrazaderas de la misma lámina (figs. 12 y 13).

La parte receptora de la lluvia está formada por un anillo de bronce terminado en arista viva, perfectamente circular y de una superficie de 200 cm<sup>2</sup>, a este anillo se une la caja cilíndrica y un cono del mismo metal que va a dar a un tubo por donde pasa el agua al cilindro de latón G; dentro de este cilindro hay un flotador que tiene un eje S, al cual en ángulo recto está unido un estilete muy ligero que tiene en su extremidad la pluma para indicar las curvas del diagrama.

Al pasar el agua al cilindro G hace ascender el flotador y este movimiento se trasmite a la pluma que describe sobre el diagrama sus diferentes movimientos.

El papel para el diagrama se enrolla en un tambor T de bronce, que en su parte interior tiene un mecanismo de relojería que lo hace dar una vuelta completa en 24 horas (fig. 14).

Cada vez que en el registrador se marcan 10 mm de lluvia, el agua contenida en el cilindro G se descarga por el tubo de cristal H en forma de sifón, y va a dar al vaso o recipiente colector K colocado en la parte inferior del pluviógrafo.

Antes de poner en servicio el aparato, se colocará una pequeña cantidad de agua dentro del cilindro G, con objeto de hacer indicar a la pluma el 0 del diagrama, que debe estar colocado en su parte inferior. Después que el flotador ha ascendido hasta su límite, el agua contenida en el cilindro G se descarga y desciende dicho flotador hasta su parte más baja, arrastrando consigo el estilete y pluma indicadora. En esta posición debe indicar la pluma el 0 del diagrama; si hay alguna diferencia se vuelve a empezar la operación, vaciando con la jarra agua hasta que se descargue nuevamente el cilindro G y se vea que la pluma queda a la misma altura; si no marca el 0, se aflojarán los tornillos del estilete para mover la pluma y ponerla en el 0 del diagrama; después se vuelven a atornillar para que quede fijo el estilete.

Una vez efectuada la operación, se miden con la probeta de vidrio graduada que acompaña a dicho instrumento, los 10 mm de agua y se vierte esta cantidad en la boca del pluviógrafo para ir comparando de milímetro en milímetro las indicaciones que va dando la pluma sobre el diagrama.

Si el sifón se descarga un poco antes, o un poco después de haber vaciado la cantidad total de agua de la citada probeta, será debido a la altura en que se encuentra la curva del sifón, la cual se puede arreglar por medio de la abrazadera móvil que hay en la base de dicha pieza, cerca de su unión con el cilindro G. Para mover la abrazadera, se tendrá presente que al descender ésta, se eleva la altura de la curva del sifón, y por consiguiente, para que se efectúe la descarga del agua del cilindro G, se necesita aumentar la cantidad de ella; lo contrario sucederá si se sube la abrazadera. Una vez obtenido el ajuste del estilete, se apretará el tornillo de la abrazadera.

Si a pesar de haber puesto en práctica las instrucciones anteriores, la pluma no indica exactamente el 0 y los 10 mm, antes y después de las descargas del cilindro G, no resultará ningún defecto en el funcionamiento del aparato, pues al hacer la anotación de los registros, deberán tomarse en cuenta solamente las cantidades de lluvia indicadas por la pluma. La diferencia entre los valores de dos observaciones consecutivas da la cantidad de lluvia precipitada durante el intervalo del tiempo correspondiente, pues no hay que olvidar que a medida que la lluvia pasa por el embudo del recipiente G, va subiendo el flotador, y cuando se descarga el agua, la pluma indica el camino recorrido por dicho flotador, que será igual a la cantidad de agua registrada.

---

---

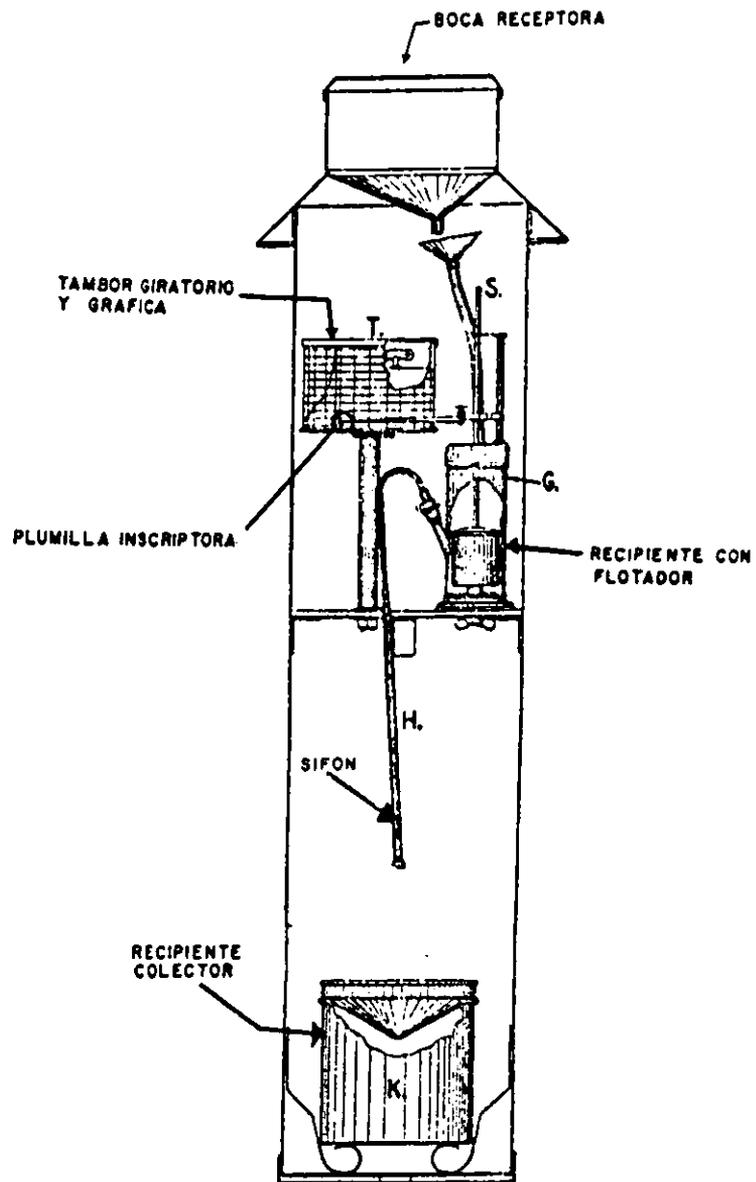


fig. 12 ESQUEMA DEL PLUVIOGRAFO DE HELLMANN.



fig. 13 PLUVIOGRAFO DE HELLMANN.

La cantidad de agua de lluvia debe comprobarse midiendo con la probeta de cristal que lleva consigo el aparato, el agua contenida en el colector K.

El tambor T, está construido de las dimensiones necesarias, a fin de que en una hora corresponda a un desalojamiento de 15.9 mm, del diagrama; así es que un intervalo de dos minutos se puede apreciar perfectamente en el diagrama, que corresponde aproximadamente a medio milímetro; dicho diagrama está graduado de 10 en 10 minutos.

La medida de la altura de lluvia depende del tamaño del cilindro G; a medida que la sección de éste es más pequeña que la boca del pluviógrafo, mayor debe ser la altura indicada en el diagrama por milímetros de precipitación. En el pluviógrafo Hellmann, esta relación es de 8.2 a 1, es decir, un milímetro de precipitación corresponde en el papel a una longitud de 8.2 mm.

### **Instalación.**

El instrumento se instala fijando con tornillos las tres orejas que tiene en su parte inferior la caja cilíndrica (**fig. 15**), a un monolito de concreto, o bien a un basamento de madera colocado sobre pequeños pies derechos que se entierran en el suelo de 50 a 60 centímetros, y además, con objeto de evitar algún accidente debido a los vientos fuertes que soplan en determinadas épocas del año, se sujeta por medio de tres alambres, anclados en tierra, y que parten de anillos hechos en la parte superior del aparato.

Cuando la instalación se haga en montañas altas o en las costas, en que el viento hace penetrar la lluvia por las uniones más pequeñas, se recomienda construir una caja protectora, especial, de madera, dentro de la cual se pondrá el aparato.

Los diagramas del aparato deben cambiarse todos los días en la mañana a la misma hora, dando cuerda al reloj a esta hora. Para cambiarlos bastará retirar hacia arriba, por medio del botón, la lámina de latón sujeta al cilindro, teniendo especial cuidado de retirar previamente el estilete y pluma, a fin de no maltratarlos o hacer rayaduras sobre la gráfica; después se pondrá una nueva hoja.

El papel diagrama debe quedar apoyado en toda su extremidad inferior sobre la base del cilindro y la unión de las dos extremidades, abajo del resorte que sirve para sujetarlas. Después que se ha colocado el diagrama, se fijará la pluma en la hora que debe indicar, para lo cual se hará girar primero el tambor en el sentido de las manecillas de un reloj, aflojando previamente la tuerca que está sobre la tapa del cilindro y en el centro de ella; después se da vuelta en sentido contrario, poco a poco, hasta que la pluma indique exactamente la hora correspondiente.

### **Detalles relativos al uso del aparato.**

Durante la estación de lluvias, en que el agua hace funcionar con frecuencia el cilindro G, por medio del sifón, las indicaciones de la pluma son bastante exactas después de cada 10 mm de precipitación. En la temporada de secas, y al presentarse las primeras lluvias, el aparato no da luego indicaciones precisas, pues a causa del polvo y la sequedad, el funcionamiento del sifón no se hace con regularidad; para iniciar su descarga, se necesitan más de 10 mm de agua; lo contrario sucede cuando se vacía con mucha frecuencia el cilindro G, y el aparato está expuesto a vibraciones.

---

---

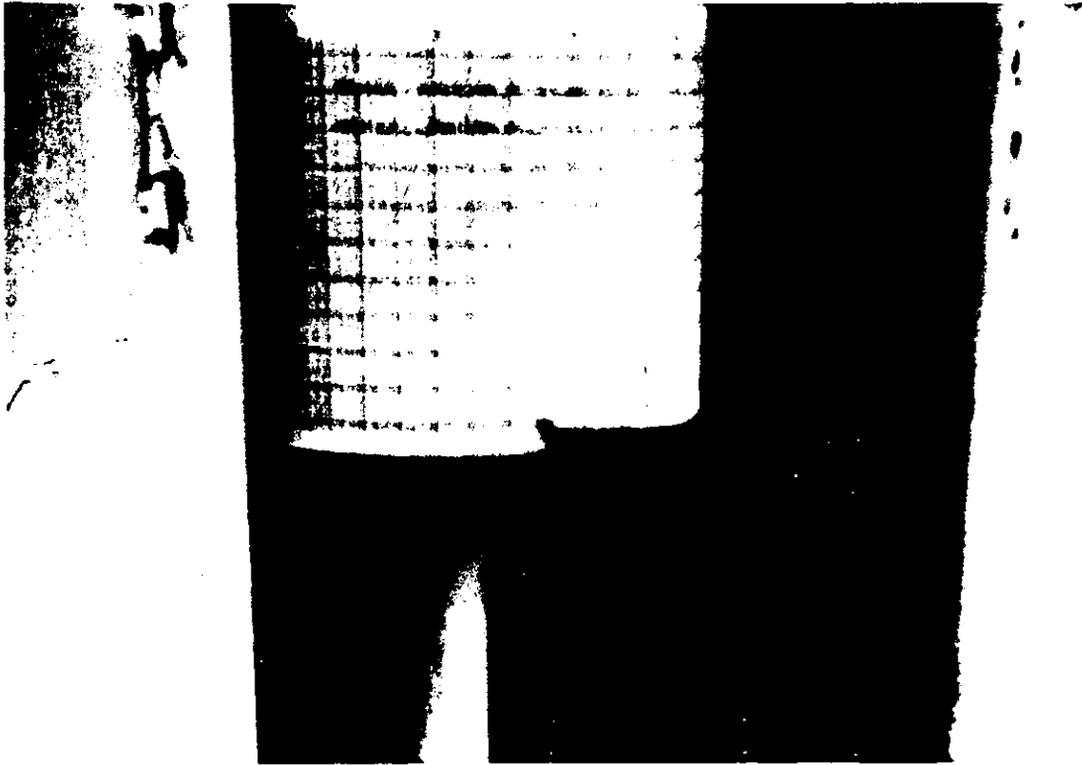


fig. 14 GRAFICA SOBRE TAMBOR GIRATORIO Y PLUMILLA INSCRIPTORA.

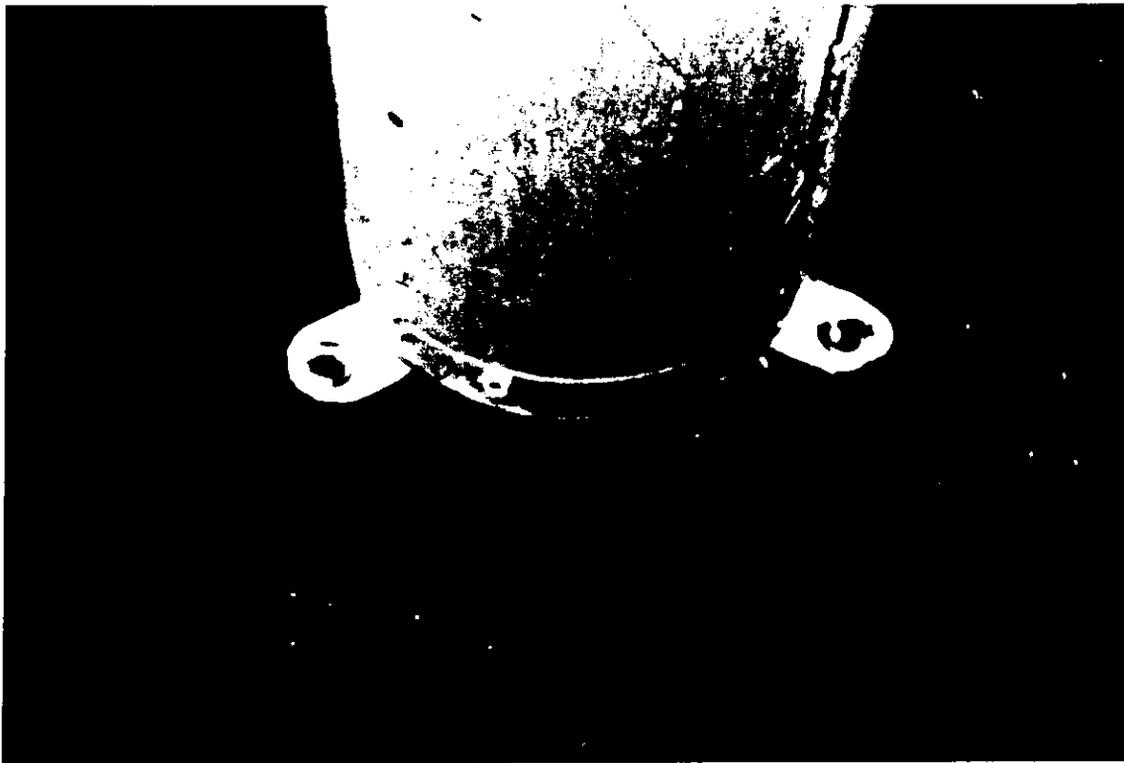


fig.15 INSTALACION DEL PLUVIOGRAFO DE HELLMANN.

---

---

En el primer caso, se tendrá cuidado de probar el pluviógrafo cuando se note que hay probabilidades de lluvia, para lo cual, por medio de la jarra, se pondrá agua en la boca del aparato, y se hará que descargue el sifón durante dos o tres veces. En el segundo caso, se anotarán, como se ha dicho, solamente las indicaciones de la pluma del diagrama. Durante el tiempo de secas, se recomienda quitar el cilindro G y el tambor con mecanismo de relojería T y guardarlos convenientemente en la oficina, hasta que haya probabilidades de que dé principio el periodo de lluvias.

### **Conservación del instrumento.**

Para que el pluviógrafo se pueda utilizar debidamente, se recomienda tener mucho cuidado con las diversas piezas que lo forman, especialmente con el tubo de vidrio que une el cilindro G con el vaso K, pues la rotura de este tubo inutilizaría el aparato; por tanto, siempre que se vacíe el agua de la jarra en la probeta, deberá ponerse en su lugar, con el mayor cuidado posible. Igual recomendación se hace al cambiar diariamente los diagramas y poner tinta en la pluma inscriptora. Una vez al mes, es conveniente asear las diversas partes del aparato, para asegurar su buen funcionamiento. Se empezará por desprender el sifón y colocarlo en su lugar, en donde no esté en peligro de romperse; después se quitará el tomillo de la tapa del tambor T, y a continuación se levantará dicho tambor moviéndolo verticalmente con precaución, para evitar el desgaste del eje y engranes, situados en la parte inferior.

El cilindro G tiene en su parte inferior un anillo que lo fija a la base en que está colocado; por tanto, para desprenderlo, se desatomillará, y después, con todo cuidado, se sacará de su lugar con el estilete y tubo de conducción de agua. La tapa de este cilindro está colocada únicamente por ajuste, y se desprenderá con cuidado, a fin de poder limpiar el flotador que hay dentro de él. El cilindro G, el flotador, el vástago y la corredera S, así como las chumaceras, deberán lavarse con gasolina para quitarle los residuos y adherencias que tenga, poniendo especial cuidado en que no queden partículas de algodón o del género que se use para dicha limpieza. La pluma se limpiará igualmente con agua, a fin de que no quede ningún residuo ni capas de tinta que generalmente se depositan en su interior. El eje del tambor T, así como la tuerca de unión y engranes, se limpiarán de la misma manera que se ha dicho anteriormente, y después de haberlo secado, se les pondrán pequeñas cantidades de aceite. Para armar el mecanismo con las piezas anteriores, se recomienda el mismo cuidado, procurando que el eje del tambor T entre vertical, a fin de que no se desgasten los engranes.

Al colocar el tubo niquelado del sifón, puede suceder que no ajuste bien en el tubo del cilindro G, y por consiguiente, parte del agua, al hacerse la descarga, sale por la unión de los dos tubos; para evitarlo es necesario poner en la unión cera de Campeche. Cuando por algún motivo se rompiere el tubo de cristal de descarga del cilindro G, y no se contase con otro de refacción, se quitará este cilindro, así como el tambor de relojería T, y en su lugar se pondrá el vaso K, para que reciba directamente el agua de lluvia que escurra por el embudo, midiendo ésta con la probeta de cristal, y hacer las anotaciones manualmente.

### **Pluviómetro de balancín.**

El Pluviómetro de balancín es un sensor de precisión usado para medir el volumen y/o velocidad de la precipitación. La lluvia entra al pluviómetro a través de un orificio maquinado, protegido con un juego de mallas para evitar el paso a cualquier objeto que pudiese alterar los datos de lluvia, y llena a uno de dos cubitos conectados al sensor que está dentro del bote del pluviómetro en la parte baja de éste. Cada vaciado del cubito representa un 0.1 mm de precipitación, dependiendo el modelo y la marca del aparato. Conforme el cubito se vacía, un switch provoca un cierre momentáneo que es usado para disparar un acumulador de eventos (figs.16, 17 y 18).

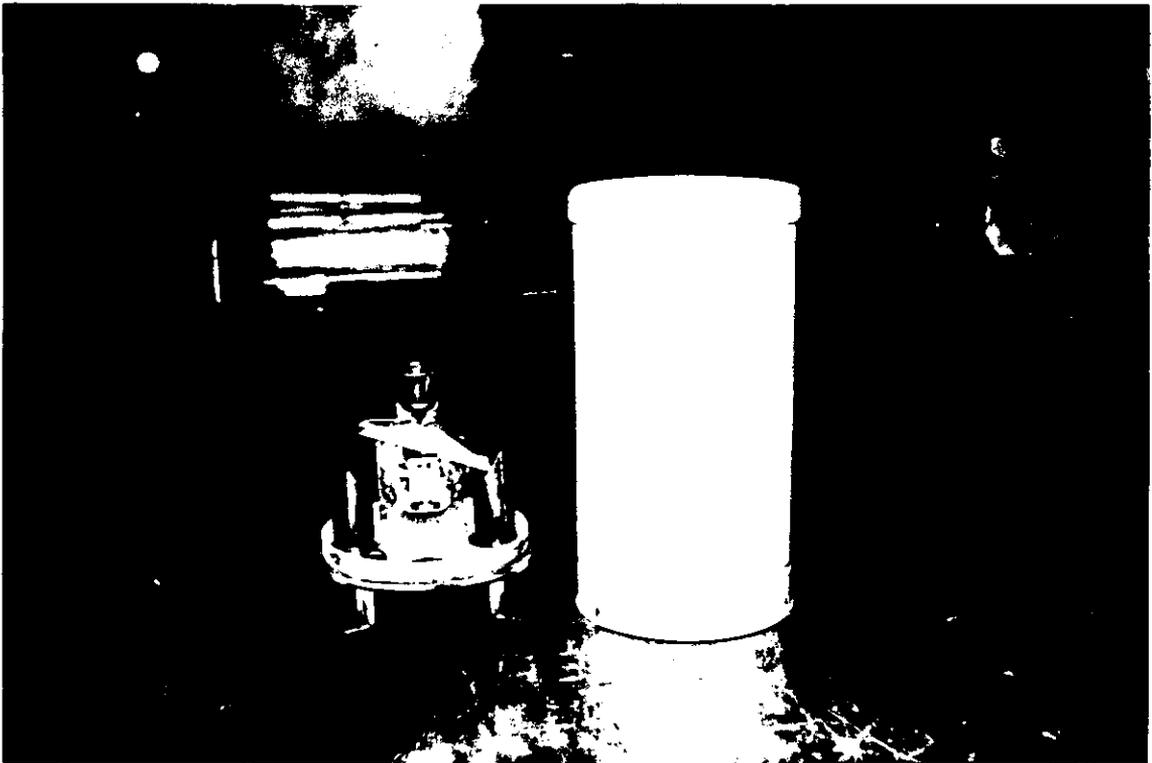


fig. 16 PLUVIOMETRO DE BALANCIN.

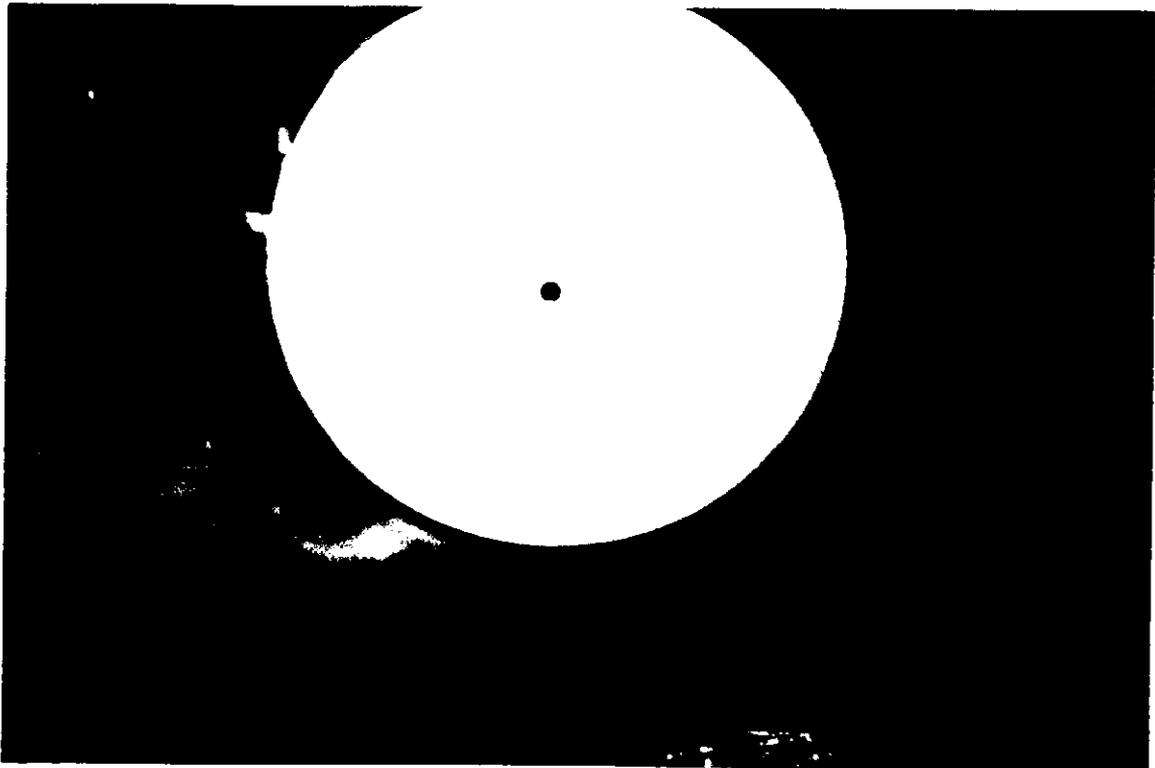
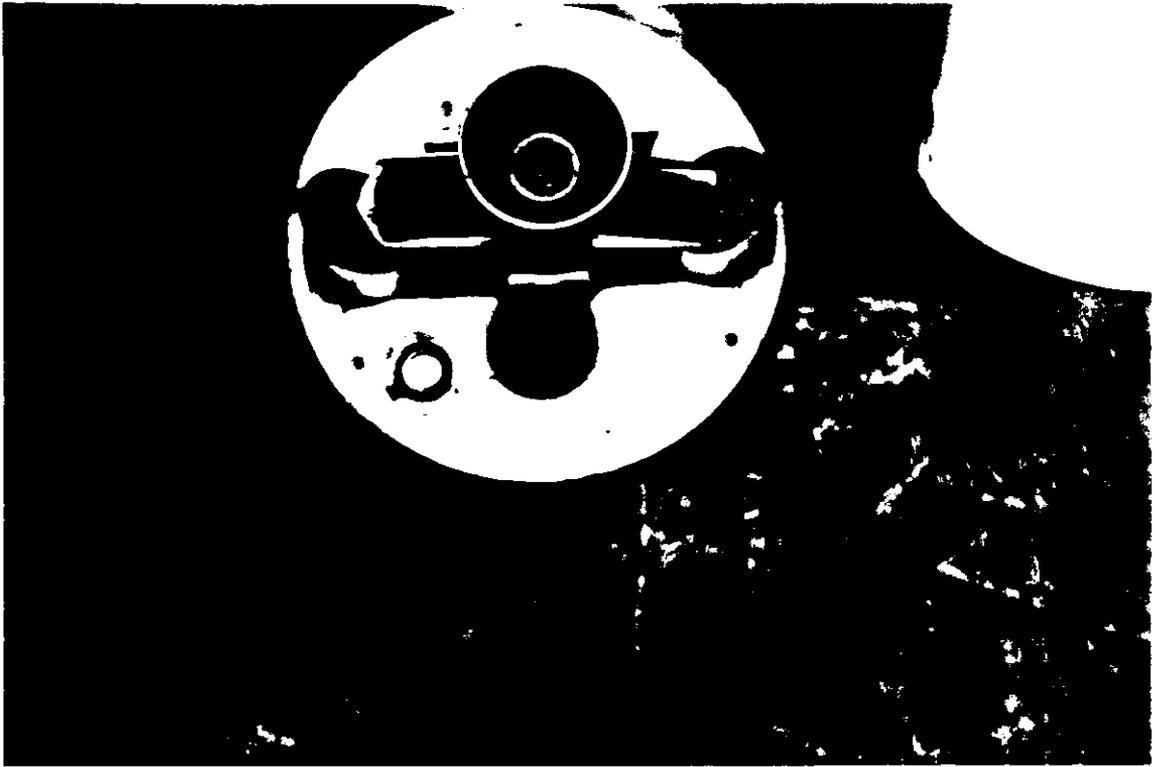


fig. 17 PLUVIOMETRO DE BALANCIN  
(detalles)



**fig. 18 PLUVIOMETRO DE BALANCIN  
(instalado)**

---

---

### Ubicación.

Dos consideraciones primarias deben ser evaluadas cuando se esté buscando un lugar de instalación para este pluviómetro: debe estar montado completamente nivelado, y debe estar adecuadamente protegido contra vientos fuertes. Si el pluviómetro no está protegido contra el viento, pueden llegar a ocurrir errores de hasta más del 5%, debidos al movimiento de la lluvia por el soplo del viento sobre el borde del orificio.

Considerar la altura de objetos ubicados en los alrededores. Instalar el pluviómetro a una distancia separada de los obstáculos de dos a cuatro veces la altura del obstáculo. Aunque el obstáculo sea una pantalla de viento ideal, puede bloquear la ruta normal de precipitación hacia el pluviómetro o la lluvia puede rebotar en el obstáculo y entrar en el pluviómetro.

### Instalación.

Un método recomendado para montar el pluviómetro, es el de preparar una base pequeña de concreto en el lugar de instalación, con un juego de tres tornillos de anclaje colocados en un arreglo correspondiente al patrón de los agujeros de las patas de montaje del pluviómetro (fig. 19). Si es muy común que haya fuertes vientos en el lugar de instalación, se recomienda utilizar una pantalla de protección contra el viento.

El pluviómetro se debe montar de la siguiente manera:

1. Quitar los dos tornillos que sujetan la cubierta exterior del pluviómetro, al mecanismo del balancín.
2. Montar el pluviómetro sobre la base de concreto en los tornillos de anclaje, y utilizando el nivel "ojo de buey" colocado sobre el mecanismo del balancín, nivelar perfectamente el pluviómetro y asegurarlo firmemente.
3. Una vez montado, colocar nuevamente la cubierta exterior con sus tornillos correspondientes.

### Conexión.

Se debe conectar un cable de dos conductores entre los dos postes terminales del pluviómetro, y el dispositivo de acumulación de eventos (registrador). Hay que asegurarse de quitar del instrumento cualquier material de empaque y los clips que sostienen los cubitos. Se debe verificar la correcta calibración antes de reinstalar la cubierta exterior.

### Operación.

El orificio de 20 cm de diámetro tiene la función de brindar la mayor precisión de una área de muestreo grande, y los beneficios prácticos de un mecanismo de balancín pequeño. La precipitación es colectada por el orificio de entrada de 20 cm del embudo receptor del pluviómetro, lo cual ayuda a evitar la evaporación dentro del instrumento. La precipitación colectada por el orificio de entrada del pluviómetro, fluye a través del embudo receptor hacia otro pequeño embudo ubicado dentro del instrumento, y es dirigida a uno de dos cubitos de vaciado. Cuando el cubito se llena, su peso hace que se vuelque y lleve al siguiente cubito a posición para su llenado, y el primero se vacía. Al mismo tiempo, un cierre momentáneo de contacto de 100 milisegundos, incrementa en uno, un dispositivo de acumulación de eventos. El agua medida drena hacia afuera por la parte de abajo del instrumento. Si es necesario, se puede utilizar un tanque para almacenar el agua que sale del instrumento para una mayor evaluación.

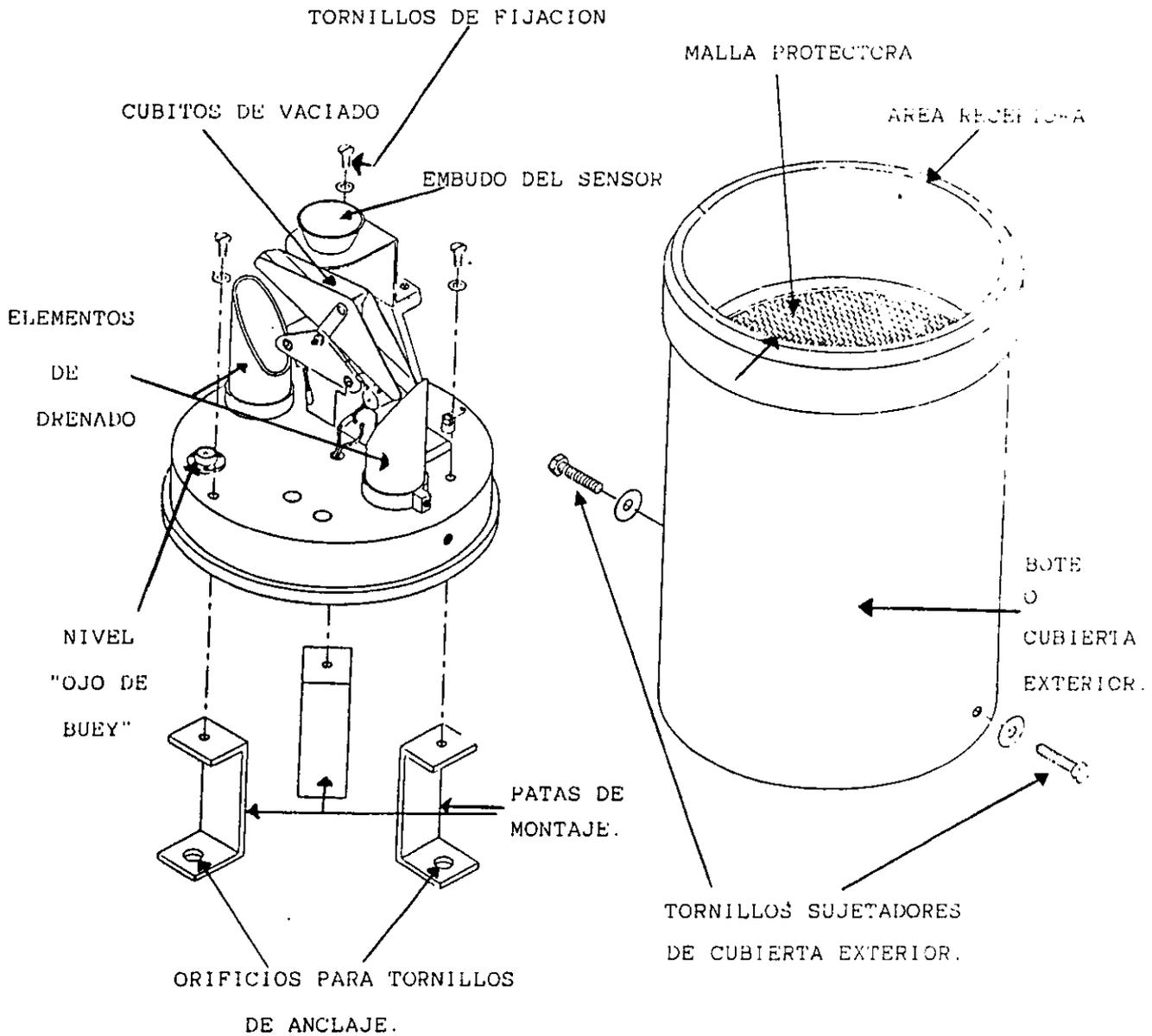


fig. 19 ESQUEMA DEL PLUVIOMETRO Y SENSOR.

---

---

### Calibración.

Este instrumento sólo requerirá ser calibrado cuando se le haya realizado algún tipo de mantenimiento. Para calibrar el pluviómetro de balancín, se deben seguir los pasos mencionados a continuación:

1. Quitar los dos tornillos de la base del pluviómetro, y quitar la cubierta exterior. Debe asegurarse que el pluviómetro permanezca nivelado. Utilizar el nivel "ojo de buey" como un indicador.
2. Conseguir una fuente de agua con una velocidad de flujo uniforme de aproximadamente 400 mililitros por hora. Dirigir este flujo hacia la pared de la parte baja del embudo.
3. Conectar un dispositivo de conteo, tal como un registrador de eventos o un contador selenoide, para contar el número de golpes del montaje de cubitos (balancín).
4. Después de que el mecanismo de balancín ha golpeado varias veces, y los cubitos están húmedos, coleccionar el agua en dos contenedores (uno debajo de cada tubo de drenaje). Insertar cuidadosamente los contenedores de colección entre volcaduras de cubitos, y permitir al menos diez volcaduras de cada cubito (20 conteos en el registrador).
5. Quitar los contenedores entre volcaduras de los cubitos después de un número impar de volcaduras.
6. Medir la cantidad de agua de cada contenedor por peso o volúmen.
7. Dividir cada cantidad por el número de volcaduras de cada cubito. El valor deberá estar dentro del 0.5% del valor listado en el ejemplo siguiente de calibración, según sea la capacidad del modelo.

### Ajuste.

Se pueden realizar algunos ajustes en el pluviómetro por medio de un par de tornillos de ajuste ubicados debajo de los cubitos. Subiendo el tornillo de ajuste del cubito reducirá la captación de agua de ese cubito; contrariamente, bajando el tornillo de ajuste incrementará la captación. El tornillo de ajuste para un cubito está ubicado bajo el cubito opuesto. Deben hacerse los ajustes poco a poco (1/4 de giro por prueba). Se debe repetir el procedimiento de calibración hasta que el pluviómetro esté dentro de las especificaciones.

El procedimiento anterior es para una velocidad de 1.27 cm/hr. El pluviómetro puede ser calibrado a cualquier velocidad seleccionada. Después de la calibración, deberá anotarse fecha y lugar de la misma, y reinstalar la cubierta exterior con sus dos tornillos. Si el pluviómetro fue quitado de su lugar de instalación para su calibración, al reinstalarlo debe nivelarse adecuadamente siguiendo el procedimiento de instalación.

### Pruebas de campo.

Si el cubito se vacía demasiado rápido (antes de que se deposite en él la cantidad de agua especificada), o por el contrario, no lo hace, el instrumento requiere una calibración de laboratorio como la descrita anteriormente. Una pipeta estándar de 10 ml puede ser utilizada como un dispositivo de prueba de campo. Para una máxima sensibilidad, debe quitarse la cubierta exterior así como el embudo pequeño. El agua debe ser guiada hacia el centro de la partición de los cubitos, cuando éstos estén en el punto medio. Los errores introducidos por una superficie mojada y la formación de gotitas por el vaciado del embudo, son eliminados utilizando este método de calibración.

---

---

Para revisar la calibración en campo, se deberá tener en cuenta el agregar la cantidad de agua especificada en el siguiente ejemplo:

Para los modelos de mayor capacidad:

$$0.01 \text{ pulg de lluvia} = 8.683 \text{ cm}^3 \text{ por vaciado}$$

$$0.25 \text{ mm de lluvia} = 8.493 \text{ cm}^3 \text{ por vaciado}$$

Para los modelos de menor capacidad:

$$0.1 \text{ mm de lluvia} = 3.518 \text{ cm}^3 \text{ por vaciado}$$

Para calcular los  $\text{cm}^3$  por vaciado se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{cm}^3 \text{ por vaciado} = \pi r^2 \times \text{profundidad de lluvia por vaciado}$$

Ejemplo:

Para 0.1 pulg de lluvia por vaciado

$$\text{cm}^3 \text{ por vaciado} = \pi r^2 \times 0.01 \text{ pulg}$$

$$\text{donde } r = 4.107 \text{ pulg}$$

$$\text{cm}^3 \text{ por vaciado} = 52.98 \text{ pulg}^2 \times 0.01 \text{ pulg}$$

$$\text{cm}^3 \text{ por vaciado} = 0.5298 \text{ pulg}^3$$

$$0.5298 \text{ pulg}^3 = 8.682 \text{ cm}^3$$

$$(1 \text{ pulg} = 2.54 \text{ cm})$$

Un calibrador como el mostrado en la **figura 20** para los sensores de precipitación, simplifica las pruebas de campo de pluviómetros de balancín, regulando el flujo de agua hacia el sensor durante la calibración. El calibrador consiste de una botella de plástico para el agua, una base para sostener la botella y dirigir el flujo de agua hacia adentro del embudo, y un montaje con un orificio de salida constante.

Durante la calibración, una cantidad medida de agua, igual a 100 vaciados del montaje de cubitos, es dirigida hacia adentro del pluviómetro a una velocidad constante de 50 mm por hora. Una línea de llenado en la botella proporciona una guía para determinar la cantidad de agua necesaria; sin embargo, para una precisión máxima, se debe utilizar una balanza de laboratorio para medir el agua. Si el contador conectado al pluviómetro registra más o menos de 100 vaciados, se deberá considerar la recalibración del aparato. Este método de calibración proporciona la mayor precisión y repetibilidad, ya que la medición está basada sobre un promedio de 100 vaciados. La construcción fuerte del calibrador también lo hace más práctico que pipetas frágiles o cilindros graduados considerando su uso en campo.

### Mantenimiento.

El mantenimiento está limitado a limpiar únicamente escombros en el orificio del pluviómetro, y aceitar periódicamente los puntos de pivoteo con aceite ligero de silicio. El pluviómetro se debe limpiar después de una tormenta o vientos fuertes, lo cual se recomienda hacer con todas las superficies que se encuentran expuestas al contacto con el agua.

El embudo colector debe mantenerse lo más liso y limpio posible sin que tenga ninguna partícula de tierra, sal y/o arena.

Debe prevenirse cualquier corrosión limpiando el sensor en periodos cortos y constantes, especialmente después de una tormenta; ésto se efectúa con una tela suave y húmeda, y la observación continua del sensor. Si es posible, hay que enjuagar el sensor con agua fresca y limpia, y secar con paño limpio.

### Registrador de eventos.

Los registradores de eventos son utilizados típicamente para el registro de la precipitación de un pluviómetro de balancín, pero también pueden ser utilizados con anemómetros de contacto, detectores de nubes y otros instrumentos sensibles con una salida de cierre de contacto. Se requiere de una batería externa para operar el selenoide del registrador. El rango a escala completa de este instrumento es de 100 conteos. Después de alcanzar el punto más alto, la pluma regresa a 0 para continuar contando en forma ascendente. El regreso de la pluma es retardado por medio de un depósito de aceite de silicio. Cada impulso eléctrico en las terminales del registrador de eventos llevará a la pluma una posición más arriba en la gráfica (figs. 21, 22 y 23)

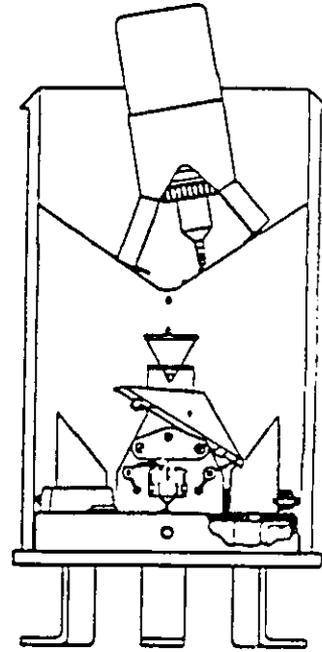
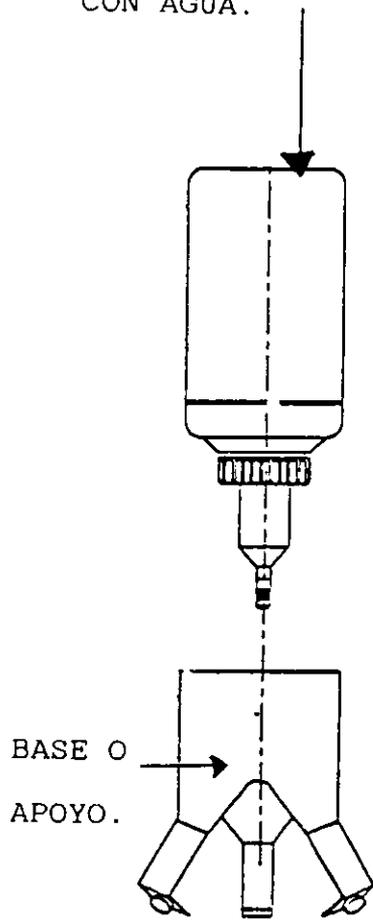
El registrador de eventos más sencillo está provisto con un reloj de cuerda, una batería de 1.5 VDC está instalada en un reloj incluido en modelos más complejos. El primer modelo está diseñado para registros de 1 y 7 días, los modelos más complejos toman sus registros hasta para 31 días de rotación.

### Especificaciones.

Control de pluma	Engrane y leva activados por electromagneto.
Rango	0-100 conteos de reciclaje continuo.
Regreso de la pluma	Automático.
Tipo de reloj	Reloj de cuerda. Reloj con batería de 1.5 VDC.
Rotación del reloj	26 hr o 176 hr. 26 hr, 176 hr o mensual.
Voltaje de operación	3.0 VDC a 6.0 VDC.
Resistencia de la bobina	Aproximadamente 30 Ohms.
Tipo de pluma	De cartucho.
Tamaño	33 cm de ancho x 23.5 cm de altura x 14.6 cm de fondo.
Peso	4.0 kg.

BOTELLA DE PLASTICO

CON AGUA.



CORTE DEL PLUVIOMETRO CON CALIBRADOR.

fig. 20 CALIBRADOR.

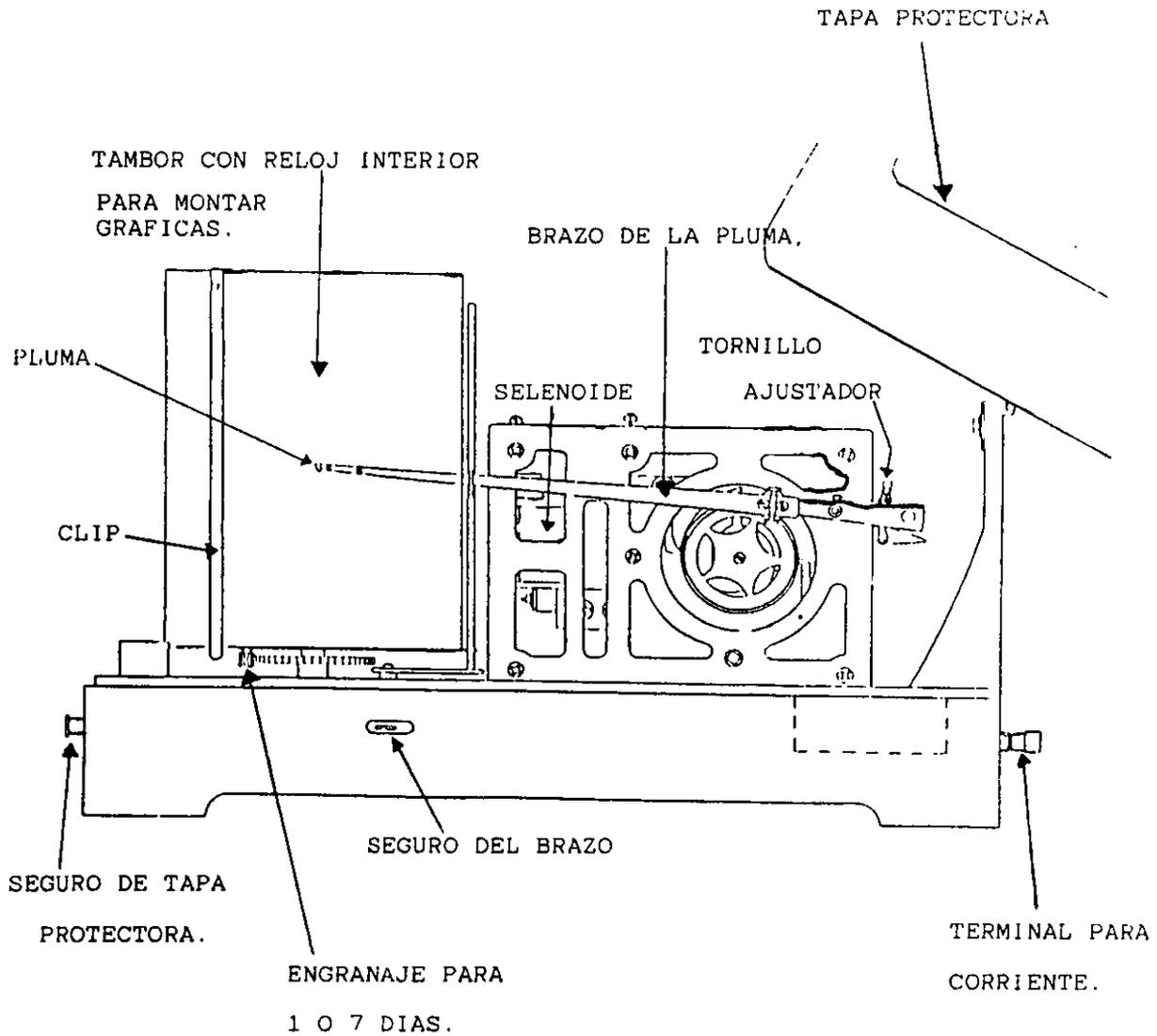


fig. 21 ESQUEMA DEL GRAFICADOR DE EVENTOS.

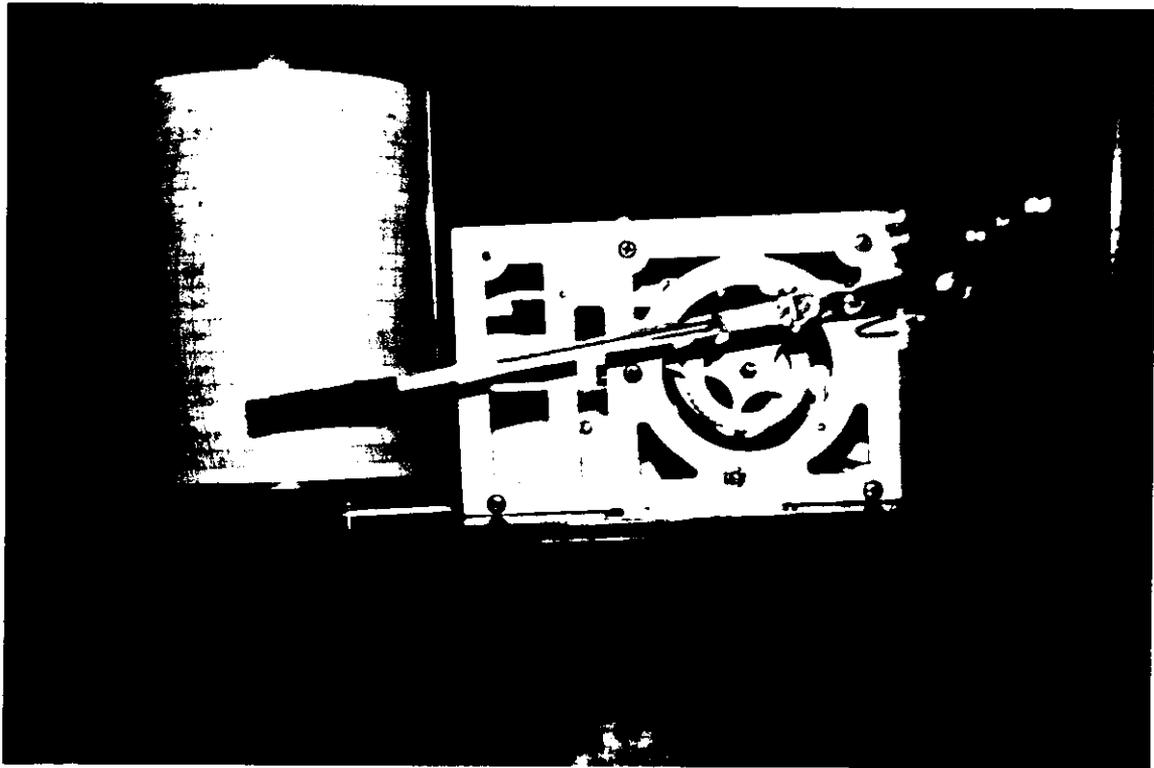


fig. 22 GRAFICADOR DE EVENTOS.

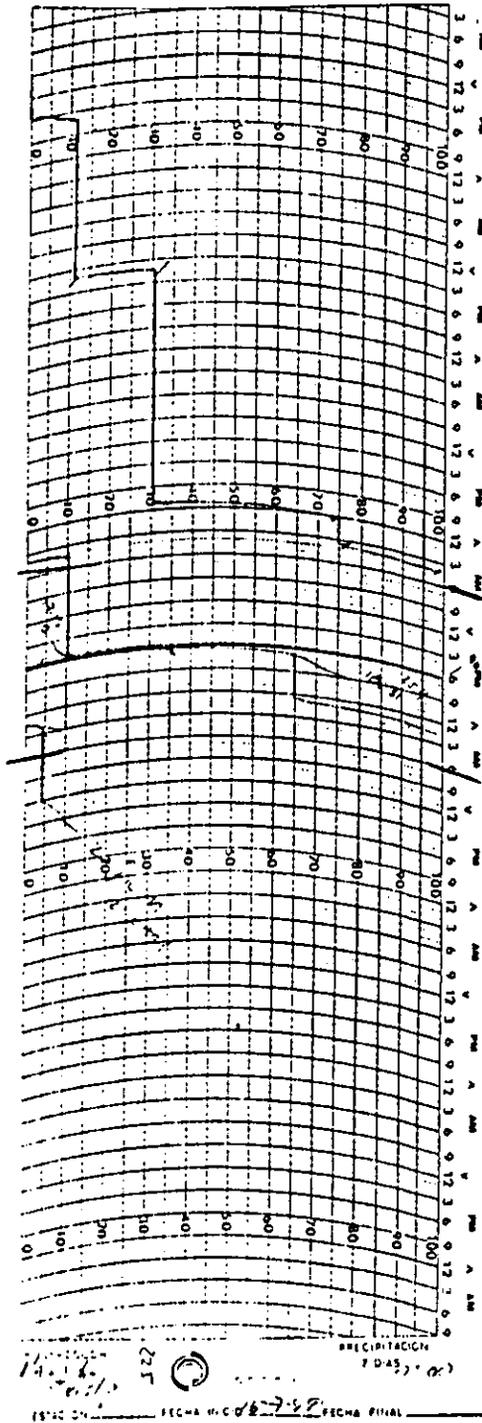


fig. 23 REGISTRO DEL GRAFICADOR DE EVENTOS  
(del mismo tipo que el del pluviógrafo de Hellmann).

---

---

### Instalación.

Las instrucciones siguientes, hasta donde se indique, son aplicables para el reloj de cuerda. Debe quitarse el reloj y la llave de la cuerda de la caja de empaque. El reloj, es embarcado en la planta con el engrane para siete días. El engrane para un día se debe de guardar en la cubierta superior del reloj para su intercambio de instalación, según los requerimientos de uso.

Seleccionar la gráfica para el periodo de tiempo deseado (uno o siete días). El engrane para un día tiene el diámetro más grande con 22 dientes, mientras que el engrane para siete días tiene el diámetro más pequeño con 18 dientes. Debe de asegurarse la instalación del engrane correcto sobre el eje correspondiente. Si ambos engranes son instalados al mismo tiempo, o si el engrane equivocado está sobre el eje equivocado, pueden ocurrir daños severos al mecanismo del reloj. Debe insertarse la llave de cuerda en la parte alta del reloj, a través de la cubierta deslizante. Hay que dar cuerda al reloj en dirección de la flecha (en contra de las manecillas del reloj) aproximadamente siete vueltas. Sin forzar la llave de cuerda, el reloj automáticamente empieza a registrar el tiempo, en este momento se retira la llave y se inicia el funcionamiento normal.

Después de seleccionar la gráfica apropiada se anota el número de la estación y la fecha en que se inicia la gráfica. Colocando el margen derecho de la gráfica paralelo con el lado derecho del corte de clip de la gráfica. Colocar la gráfica alrededor del tambor en dirección de las manecillas del reloj, haciéndose coincidir la orilla del lado izquierdo de la gráfica con la orilla del lado derecho, en este momento, el clip debe de ser colocado en la gráfica sobre ambas partes e introduciéndolo en el corte. El reloj debe ponerse sobre el poste del engrane, asegurándolo con el tornillo.

Las siguientes instrucciones son aplicables para el reloj operado por batería de 1.5 VDC. Extraer el reloj de la caja de empaque y quitar con cuidado el tambor del mecanismo de éste, girando el tambor en contra del sentido de las manecillas del reloj, jalándolo hacia arriba. Igualmente se debe de seleccionar el intervalo de tiempo para la gráfica, utilizando el mecanismo correcto. El instrumento tiene el engrane para siete días instalado.

El engrane para un día está localizado dentro del mismo mecanismo del reloj; nunca deben utilizarse juntos ambos engranes, pues es un daño directo al mecanismo del reloj. Debe colocarse el tambor del reloj sobre el mecanismo del mismo y girarlo en el sentido de las manecillas del reloj.

La gráfica de papel se coloca sobre el tambor del reloj. Quitando las dos tuercas de la flecha del reloj, se coloca el ensamblaje reloj/flecha del reloj a través de la base del instrumento y apretar ambas tuercas, asegurándose que la rondana espaciadora esté entre la base y el ensamblaje del reloj. El reloj ya ensamblado se gira a manera de que la pluma quede ajustada a la marca del tiempo correcto.

Para preparar el registro se debe quitar la cubierta que tiene la pluma y el clip del brazo de esta última. La pluma debe ser colocada sobre la gráfica utilizando el ajustador montado en la base del instrumento. Posteriormente se cierra y asegura la cubierta del instrumento. Si el instrumento es colocado a la intemperie, deberá ser colocado dentro de una caseta meteorológica para protegerlo de lluvia y polvo.

Debe conectarse el pluviómetro al registrador de eventos por medio de una batería externa de 6 volts en serie con un cable del pluviómetro (fig. 24).

### Operación.

Un cierre de contacto momentáneo del dispositivo sensor, completa un circuito a través de una batería y energiza un selenoide. El selenoide maneja un dispositivo que mueve un engrane de cien dientes. El engrane está conectado directamente a una leva con la forma de una espiral. La

---

---

leva eleva el brazo de la pluma conforme el espiral se incrementa a un radio más grande. Después de cien conteos, el brazo de la pluma que está en el radio más grande de la espiral, regresa al más pequeño.

El reloj es autocontenido y gira alrededor de una flecha central. Tanto el reloj de cuerda como el de batería tienen opción de cambio en sus periodos de rotación. La longitud de la gráfica actual para un día es de 26 horas, mientras que la de la gráfica para siete días es de 176 horas, lo que permite un periodo de tiempo razonable para iniciar y finalizar un registro, teniendo tiempo suficiente para poder hacer el cambio de gráficas y revisar el instrumento (**fig. 25**).

### **Calibración.**

Debido a que este instrumento utiliza un sistema de enlace mecánico de rotación fija, sólo requiere de un ajuste. La línea de base, o la línea de evento cero sobre el registrador de eventos, deberá ser ajustada como sigue: colocando una gráfica nueva, como ya se explicó, llevar el brazo con la pluma hacia arriba, utilizando el selenoide hasta que dicho brazo caiga hasta el nivel más bajo y aflojar la tuerca astriada, ubicada en la unión del brazo con el resto del mecanismo y ajustar el tornillo hasta que la pluma indique la línea cero de la gráfica, enseguida de esto, debe apretarse de nuevo la tuerca astriada.

Los relojes de cuerda tienen un ajuste interno para la velocidad en el mecanismo de escape, moviendo el brazo de ajuste hacia adelante hará más rápido al reloj, mientras que moviéndolo en sentido opuesto, se hará más lento. Para los relojes de cuarzo, no hay ningún ajuste que hacer.

### **Mantenimiento.**

El instrumento debe limpiarse cuidadosamente al menos una vez al año; en lugares muy sucios, la frecuencia aumentará. La limpieza deberá hacerse con brocha suave y alcohol como solvente. Después de secar, lubricar con aceite ligero todas las uniones que tienen movimiento. El mecanismo de reloj deberá ser limpiado y ajustado por un especialista. El mantenimiento deberá ser realizado periódicamente bajo bases regulares, para asegurar una continua operación y datos confiables. El mejor momento para un mantenimiento regular es durante el cambio de la gráfica del reloj. Inspeccionar visualmente el instrumento y limpiar cualquier polvo o basura de los mecanismos.



fig. 24 GRAFICADOR DE EVENTOS INSTALADO.



**fig. 25 PLUVIOMETRO DE BALANCIN Y GRAFICADOR DE EVENTOS  
(detalles)**

## Aplicación

Para satisfacer la demanda de servicios de agua potable y drenaje que se presentan en la Ciudad de México, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.), cuenta con un sistema de monitoreo relacionado con la medición de las precipitaciones pluviales en el Distrito Federal y periferia. La importancia de éste estriba en que la información que proporciona es utilizada como elemento de seguridad para la operación y control del sistema de drenaje de la ciudad, así se considera como elemento fundamental en la prevención de desastres y con fines de planeación y tendencias para la determinación de requerimientos del drenaje de la ciudad.

Este sistema lo forman estaciones pluviográficas con capacidad de transmisión de datos vía radio distribuidas en el Distrito Federal y zona conurbada (**fig.26**), además, se cuenta con una estación de monitoreo computarizada en donde se recibe, procesa y difunde vía red electrónica, toda información generada en las estaciones pluviométricas; dicha estación se ubica en Viaducto Piedad número 507, 1er. piso, Col. Granjas México, México, D.F., lugar donde también se encuentran las oficinas generales de la D.G.C.O.H. (**fig. 27**).

Así opera el sistema: el equipo remoto recibe una señal de pulsos generada por un pluviógrafo, siendo ésta proporcional a la precipitación en mm de agua. El dato obtenido lo trasmite en forma instantánea vía radio a la estación central de monitoreo.

En la estación de monitoreo se genera la siguiente información:

- Lluvia acumulada del día en tiempo real.
- Lluvia diaria.
- Lluvia mensual.
- Lluvia anual.
- Intensidades máximas de lluvia por tormenta, desde 5 minutos hasta 24 horas.
- Isoyetas acumuladas en tiempo real, diarias, mensuales y anuales (**fig. 28**).
- Estadística de lluvia mensual mínima, media y máxima.

La información de lluvias se tiene por estación, delegación y Distrito Federal.

La densidad de estaciones pluviográficas comprende tres zonas: la zona orográfica, urbana y rural, siendo más densa la primera y menos la última.

Este sistema entró en operación en el año de 1982. A la fecha cuenta con 67 sitios de medición y con 15 estaciones de monitoreo localizadas en: Gobierno del Distrito Federal, la Secretaría de Obras y Servicios, Oficinas Centrales y del drenaje profundo de la D.G.C.O.H. y Protección Civil, Gobierno del Estado de México, Gobierno Federal, Servicio Meteorológico Nacional, Gerencia Regional y Gerencia Técnica de Aguas del Valle de México.

Desde su puesta en operación se ha generado una base de datos histórica, misma que se utiliza para planificar la ampliación de la red de drenaje, así como para implementar las estrategias de control, manejo de transferencias de agua entre las diferentes líneas de drenaje (drenaje profundo, Río Churubusco, Gran Canal, colectores, interceptores, etc.).

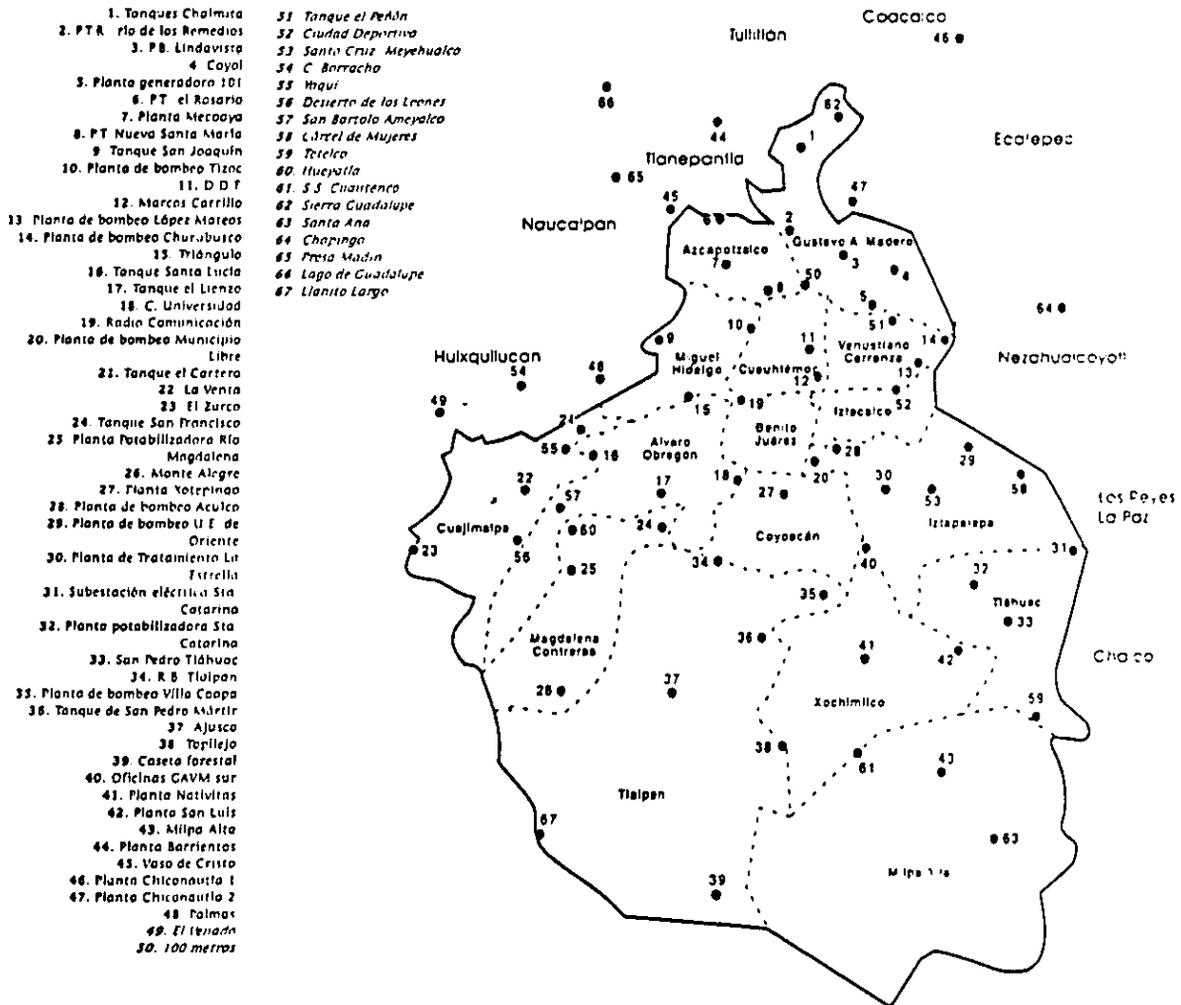


fig. 26 UBICACION DE ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS, OPERADAS POR LA D.G.C.O.H.

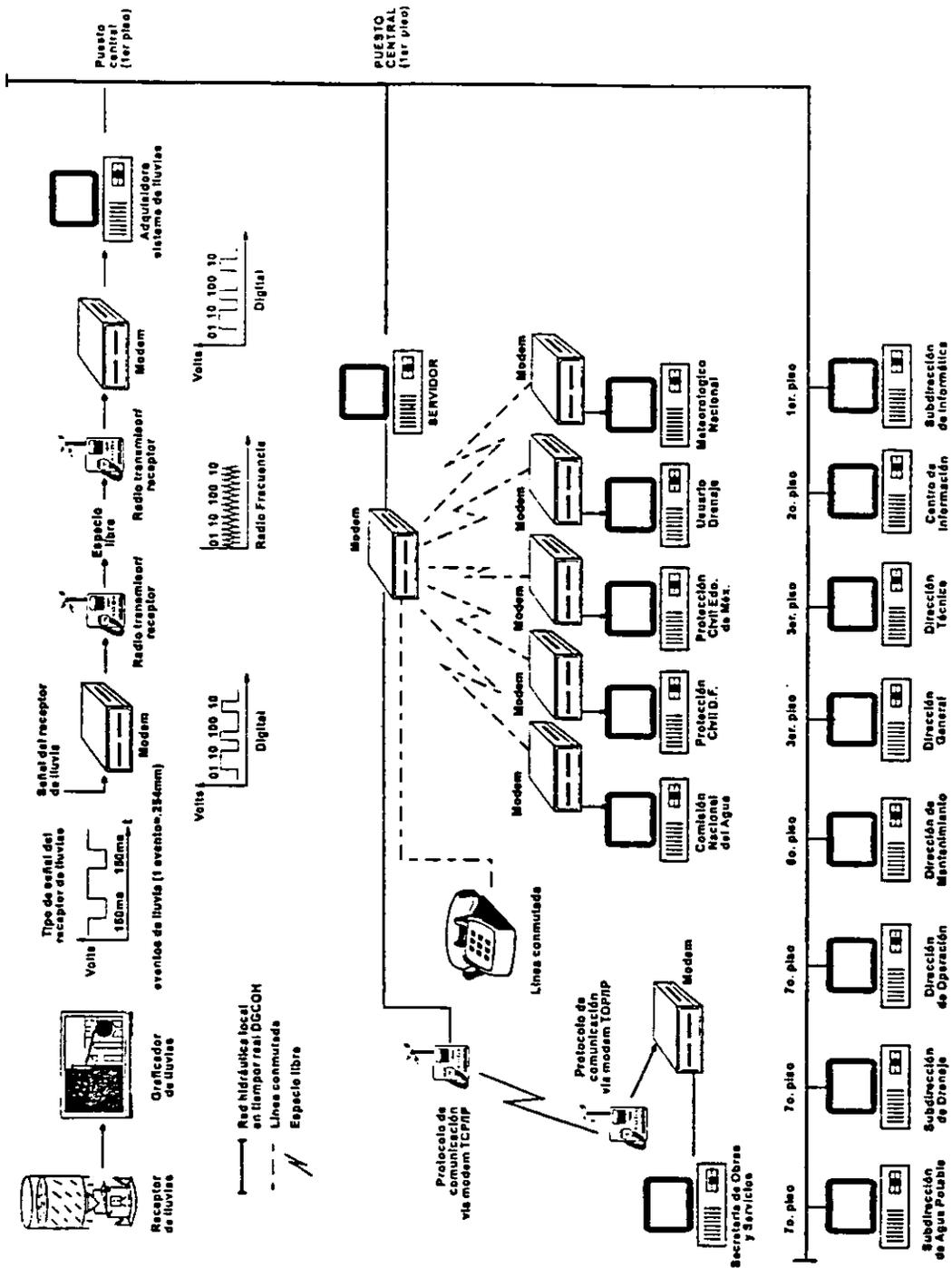


fig. 27 SISTEMA DE TRANSMISION DE LA ESTACION COMPUTARIZADA DE MONITOREO.

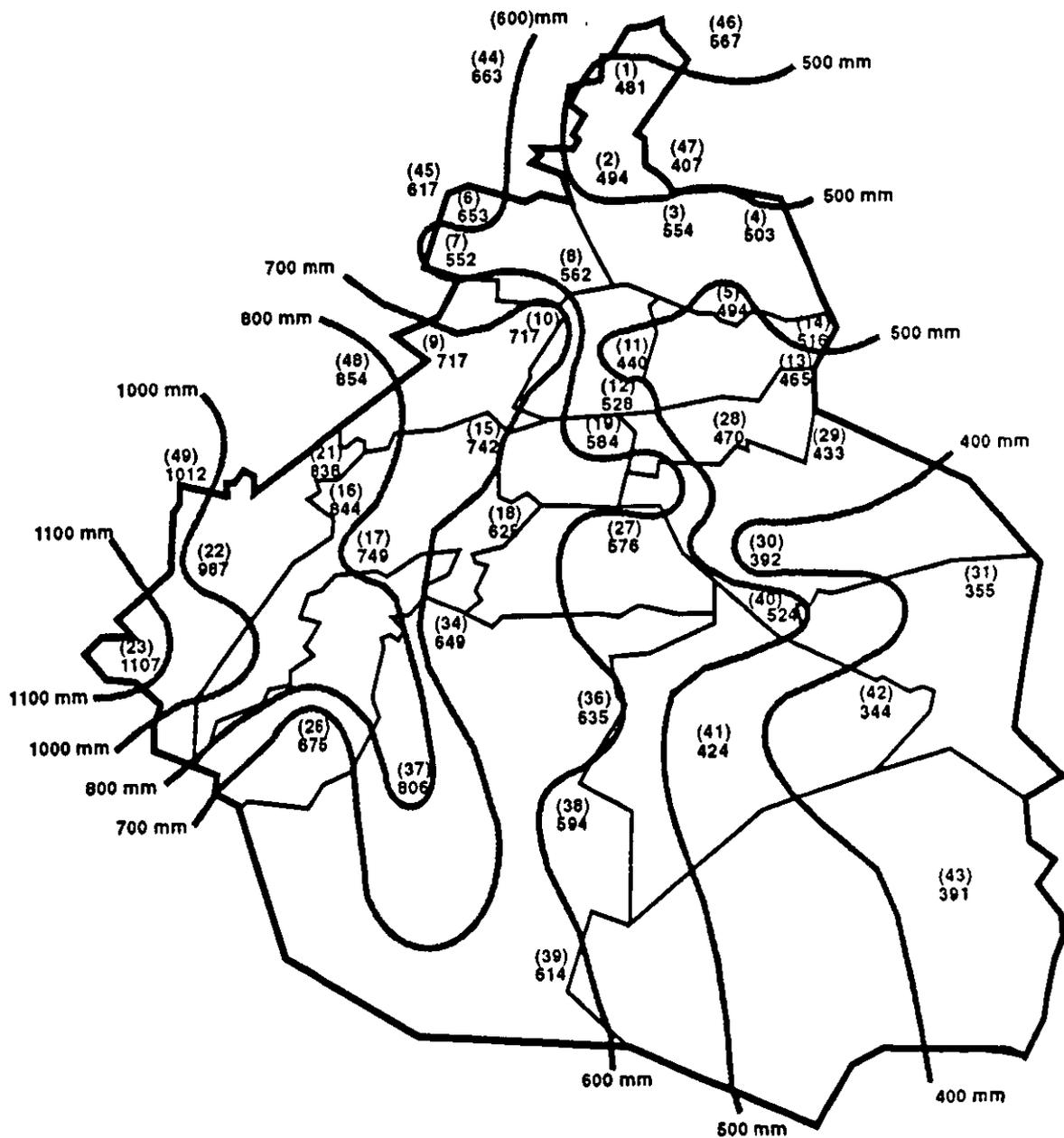


fig. 28 PLANO DE ISOYETAS  
(anual; el número entre paréntesis corresponde al de la estación).

---

---

## **CAPITULO III**

# **EVAPORACION, TRANSPIRACION Y EVAPOTRANSPIRACION.**

---

## III.1 EVAPORACION.

### 3.1.1 Introducción

La evaporación se define como el paso lento del agua del estado líquido al estado de vapor, sin haber alcanzado el estado de ebullición. Sólo se produce si la tensión de vapor del medio ambiente es inferior a la tensión de saturación. Se realiza solamente en la superficie del líquido.

Bajo una determinada presión atmosférica, por ejemplo, 760 mm Hg, la evaporación se puede producir a cualquier temperatura: 8, 23, 69, 95 °C, etc., y la ebullición (vaporización) se produce únicamente a cierta temperatura (punto de ebullición), en este caso a los 100 °C. La evaporación provoca siempre un descenso de la temperatura del líquido que se evapora.

A pesar de que continuamente existe un intercambio de moléculas de agua hacia y desde la atmósfera, la definición hidrológica de **evaporación** está restringida a la tasa neta de transporte de vapor hacia la atmósfera. Este cambio de estado necesita un intercambio de calor de aproximadamente 600 calorías por cada gramo de agua evaporada. Para que se mantenga la temperatura de la superficie estas grandes cantidades de calor deben ser suministradas por radiación y conducción de la capa de aire en contacto, o a costa de la energía almacenada por debajo de la superficie.

De la precipitación que cae en dirección a la superficie de la tierra, una parte se evapora antes de llegar al suelo. Sin embargo, debido a que el hidrólogo mide la precipitación a unos pocos metros de la superficie, la evaporación que tiene lugar a partir de las gotas de lluvia no tiene interés directo, de manera similar, sucede con la evaporación en los océanos y con la precipitación captada por la vegetación (intercepción) que eventualmente también se evapora; quedando por último, la cantidad de agua que realmente llega a la superficie, con respecto a la precipitación observada en una estación, y que permanecerá sobre ella; será esta cantidad de agua la que se considerará para estudios hidrológicos, ya sea que se encuentre formando charcos, lagos u océanos.

#### **Elementos meteorológicos que influyen en la intensidad de la evaporación.**

Si la evaporación natural se considera como un proceso de intercambio de energía, se puede demostrar que la radiación es sin lugar a dudas el factor más importante, y que es aplicable el término evaporación solar. Por otra parte, los análisis teóricos y los experimentos en túneles de viento han demostrado que la tasa de evaporación desde una superficie de agua a una temperatura dada es proporcional a la velocidad del viento y que depende en alto grado de la presión de vapor de capa de aire inmediatamente superior. Se puede decir, en base a lo anterior, que la temperatura del agua no es independiente de la velocidad del viento ni de la presión de vapor. Si el intercambio de radiación y todos los demás elementos meteorológicos permaneciesen constantes sobre un lago poco profundo durante un tiempo apreciable, la temperatura del agua se haría constante. Si súbitamente se duplicara la velocidad del viento, la tasa de evaporación también se duplicaría momentáneamente. Este aumento en la tasa de evaporación comenzaría inmediatamente a atraer el calor del agua a una tasa mayor de la que puede ser suministrada por radiación y conducción. La temperatura del agua entonces tendería a un nuevo y menor valor de equilibrio y la evaporación disminuiría proporcionalmente.

A largo plazo, un cambio del 10 por ciento en la velocidad del viento cambiaría la evaporación solamente del 1 al 3 por ciento, dependiendo de los demás factores meteorológicos. En lagos profundos, con gran capacidad para almacenar calor, los cambios repentinos en el viento o la humedad tienen efectos que se extienden por períodos más largos; la capacidad de

---

almacenar y perder calor sin cambios apreciables en la temperatura tienden a balancear las demandas de energía. Por lo tanto, si se utiliza la energía almacenada para producir una evaporación excesiva durante una semana seca y con vientos, se puede reducir la evaporación que pudiera ocurrir en semanas posteriores. La evaporación al aire libre es tanto más intensa cuanto:

- mayor es la superficie del líquido expuesta al medio ambiente,
- más elevada es la temperatura del líquido y del aire,
- más baja es la presión atmosférica,
- más seco se encuentre el aire,
- más activas son las corrientes que renuevan la capa del aire que está en contacto con el líquido.

Entonces, se puede decir que los factores meteorológicos que afectan a la tasa de evaporación son radiación solar, la temperatura del aire, la presión de vapor, el viento y posiblemente la presión atmosférica. Debido a que la radiación solar es un factor importante, la evaporación varía con la latitud, época del año, hora del día y condiciones de nubosidad.

Además de los valores en la superficie de estos elementos meteorológicos, también es importante la variación de estos elementos en las capas bajas. Por ello, la velocidad de evaporación puede variar grandemente en zonas relativamente pequeñas.

La evaporación que se produce en las superficies libres de agua depende también del medio ambiente y la forma de estas superficies. Las impurezas y los vegetales que se encuentran en el agua son también factores considerables.

Por otra parte, la evaporación del suelo no depende solamente de las condiciones meteorológicas, también lo hace de factores tales como las propiedades físicas y químicas del suelo y, asimismo, de la profundidad del nivel de aguas freáticas.

### **Superficie de evaporación.**

Todas las superficies expuestas a la precipitación, tales como vegetales, edificios, calles pavimentadas, son superficies potenciales de evaporación. Como la tasa de evaporación durante los períodos de lluvia es pequeña, la cantidad de agua precipitada que se evapora está limitada esencialmente a la cantidad necesaria para saturar la superficie. A pesar de que esta evaporación es apreciable con base en el año, rara vez se evalúa por separado y se considera una parte de la evaporación y transpiración total.

La tasa de evaporación desde una superficie de suelo saturado es aproximadamente igual a la evaporación desde una superficie cercana, a la misma temperatura. Al comenzar a secarse el suelo, la evaporación disminuye y su temperatura aumenta para mantener el balance de energía. Eventualmente, la evaporación cesará pues no existe un mecanismo efectivo para transportar el agua desde una profundidad apreciable. Por lo tanto, la tasa de evaporación desde superficies de suelo, está limitada por la disponibilidad de agua, o por la oportunidad de evaporación.

La evaporación de nieve o hielo constituyen un problema especial debido a que el punto de fusión cae en el rango de temperaturas que se experimentan normalmente. La evaporación tendrá lugar únicamente cuando la presión de vapor del aire es menor que la de la superficie de nieve, es decir, solamente cuando el punto de rocío es menor que la temperatura de la nieve. La presión de vapor en la película superficial de la nieve en proceso de fusión es de 6.11 milibares, y este valor representa la mayor diferencia de presión de vapor posible de aire a nieve bajo condiciones de evaporación. La máxima tasa de evaporación de la nieve es aproximadamente de un cuarto de aquella en una superficie de agua a 26.7 °C cuando su punto de rocío es de 7.2 °C en

---

---

---

las mismas condiciones de viento. Estas y otras consideraciones han llevado a concluir que con temperaturas muy por encima del punto de congelación, la tasa de fusión de la nieve debe exceder la evaporación a menos que una gran parte del área consista de suelo húmedo. La impresión de que un viento puede evaporar la superficie de nieve que cubre un campo es una mentira pues esto sólo sería cierto si el viento fuese tan fuerte que lograra levantar la nieve. La evaporación a partir de la nieve debe cesar cuando el punto de rocío aumenta hasta el punto de congelación.

### **Efectos de la calidad del agua.**

El efecto de la salinidad, o sólidos disueltos, se debe a la reducción de presión de vapor de la solución. La presión de vapor del agua de mar (35,000 ppm disueltas) es menor en cerca del dos por ciento que la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. La reducción de evaporación es menor que la indicada por el cambio de presión de vapor, porque con la reducción en evaporación hay un aumento en la temperatura del agua que compensa parcialmente la reducción en presión de vapor. Aún para agua de mar la reducción en evaporación nunca sobrepasa algún porcentaje bajo (para períodos extensos de tiempo), y por lo tanto los efectos de la salinidad pueden despreciarse en la estimación de la evaporación de un embalse. Cualquier material ajeno que tienda a sellar la superficie de agua, o a cambiar su presión de vapor o su albedo, afecta la evaporación.

### **3.1.2 Instrumentación y medición.**

Se llama evaporímetro o atmómetro todo dispositivo que permite medir la pérdida del agua de una superficie saturada o de una superficie libre de agua. Estos aparatos no miden directamente la evaporación.

Existen tres tipos de exposición que se emplean en la instalación de tanques evaporímetros: enterrados, flotantes y en la superficie; igualmente hay opiniones divergentes sobre la mejor exposición. Al enterrar un tanque se tiende a eliminar los efectos de frontera, tales como la radiación en los costados del tanque y el intercambio de calor entre la atmósfera y el tanque; sin embargo, se crean problemas de observación. Los tanques enterrados reciben más basura; son difíciles de instalar, de limpiar y de reparar; es difícil detectar escapes, y la altura de la vegetación adyacente al tanque es crítica. También hay un intercambio apreciable de calor entre el tanque y el suelo, dependiendo de factores tales como el tipo de suelo, el contenido de humedad y la cobertura vegetal. El intercambio de calor con el suelo puede cambiar la evaporación anual en un diez por ciento para un tanque de dos metros de diámetro y en un 7 por ciento para un tanque de cinco metros. Por lo tanto, parece obvio que estas transferencias de calor producen grandes variaciones climáticas en un tanque pequeño, enterrado y sin aislamiento térmico.

La evaporación de un tanque que flota en una superficie en estudio se aproxima mejor a la evaporación de dicho embalse que una instalación en la orilla, pero aún en este caso, los efectos de frontera son apreciables. Los tanques flotantes presentan también problemas de observación (las transferencias de agua por salpicadura entre el lago y el tanque disminuyen con frecuencia la confiabilidad de los datos) y sus costos de instalación y operación son excesivos.

Los tanques expuestos por encima de la superficie experimentan una evaporación mayor que los enterrados, debido principalmente a la energía radiante interceptada por los costados y al intercambio de calor a través del tanque cuyos efectos deben ser tomados en cuenta. Estas deficiencias pueden minimizarse aislando el tanque (pintarlo de color blanco); las principales ventajas de las instalaciones de superficie son su economía y su facilidad de instalación, operación y mantenimiento. En las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional la evaporación se mide en tanques de superficie establecidos en condiciones tales que la

---

---

---

---

evaporación se produzca en ellos de un modo semejante a la de los depósitos o cursos de agua, ya sean naturales o artificiales, como lagos, presas, ríos y canales, y por consiguiente, los datos obtenidos se puedan aplicar a dichas masas de agua.

#### **Unidades de medida.**

La evaporación, en el intervalo de tiempo entre dos observaciones, se expresará en milímetros y centésimos de milímetro, que miden la cantidad que, como consecuencia de este fenómeno, ha bajado el nivel de agua en el tanque. En general, se obtiene esta cantidad restando la medida del nivel correspondiente al de una observación anterior. La velocidad de evaporación de una superficie puede expresarse como el volumen de agua líquida que se evapora por unidad de superficie en la unidad de tiempo, o dicho de otro modo, es la altura de agua líquida que vuelve a la atmósfera en la unidad de tiempo, desde la superficie y generalmente es esta la manera de expresar la evaporación. La unidad de tiempo puede ser el día o la hora, y la unidad de altura el milímetro. Corrientemente la unidad empleada es el milímetro por día.

#### **Métodos de medidas.**

Existen principalmente tres métodos directos para medir la evaporación:

- Midiendo la variación de peso de una muestra del terreno,
- observando la pérdida de agua de una superficie porosa humedecida, y
- observando el descenso de nivel de una superficie de agua expuesta al aire libre en un depósito o tanque de grandes dimensiones.

Las medidas obtenidas al aplicar estos métodos no son comparables. Para poder comparar las medidas de evaporación efectuadas en lugares diferentes es indispensable utilizar instrumentos idénticos instalados en condiciones similares. Incluso en este caso, los resultados obtenidos no tienen más que un valor puramente relativo, excepto, quizás, cuando se aplica el primer método.

El primer método es el único que puede proporcionar información verdaderamente representativa del proceso natural de evaporación de la superficie del suelo. Sin embargo, es necesario tomar un cierto número de precauciones indispensables cuando se efectúan las medidas.

Este método se realiza tomando una muestra cilíndrica del terreno, de tamaño conveniente para que se pueda pesar con precisión y para que pueda separarse con facilidad del terreno circundante; se introduce con la menor alteración posible en un recipiente que deberá ser mal conductor del calor.

Este método no es muy práctico para las observaciones ordinarias, pues hace falta transportar la muestra al interior de la estación cada vez que debe pesarse y esto supone una manipulación que necesita mucho cuidado.

Se ha simplificado este método tomando una muestra superficial del terreno y colocándola en el platillo de una balanza de lectura directa dispuesta en una garita que impida la penetración en su interior de los rayos solares y de la lluvia, pero sin obstaculizar la ventilación natural. Este método no da resultados verdaderamente representativos de la evaporación que se tendría con la misma muestra expuesta a condiciones naturales.

---

---

---

---

**Evaporímetro tipo Piche.** Para realizar la medición de la evaporación de una superficie porosa humedecida, el atmómetro que se utiliza es del tipo de instrumento que da medidas relativas de la evaporación de una cubierta vegetal. El evaporímetro tipo Piche (fig. 29) pertenece a esta categoría de instrumentos. Este atmómetro está formado por un tubo de vidrio graduado, abierto por uno de sus extremos en el cual se coloca un disco de papel secante después de haberlo llenado de agua destilada. Luego se invierte.

El disco poroso permanece mojado siempre que haya agua en el tubo. La evaporación se mide leyendo la altura de agua desaparecida del tubo graduado.

El evaporímetro tipo Piche se coloca generalmente dentro de la garita. Por lo tanto, sólo reacciona a la humedad relativa y a las variaciones de la velocidad del viento que atraviesa la garita. Pero no responde a las variaciones de la radiación solar recibida por la superficie terrestre que la rodea.

En las regiones secas, el disco poroso puede secarse por los bordes y en este caso la evaporación no se produce siempre en una dimensión superficial constante. Con tiempo cálido y muy seco puede ocurrir que toda el agua contenida en el tubo se evapore en menos de un día.

Es difícil normalizar las dimensiones y el rendimiento de una superficie evaporante. Esto proviene de la forma del disco y de la forma en que está colocado sobre la abertura del tubo de vidrio.

Aunque el instrumento sea manejable y sencillo, no permite obtener indicaciones que guarden estrecha relación con la evaporación de las superficies naturales.

Esto se debe principalmente a la forma de exposición del evaporímetro tipo Piche, pero también los depósitos de polvo sobre la superficie evaporante pueden falsear seriamente las lecturas .

**Tanque Summerland.** Es un tanque evaporímetro pequeño colocado a 91.5 cm. por encima del terreno y de 30.28 cm. de diámetro; una cubierta en forma de plato circular, a 12.7 cm. por encima del borde del tanque evita que la lluvia caiga en él. Tiene una malla de alambre, que rodea el tanque para prevenir que cualquier tipo de animal llegue al agua.

El nivel del agua en el tanque se mantiene por una válvula flotante que regula el flujo desde un depósito. La evaporación diaria es determinada por el descenso del nivel del agua en este depósito. (fig. 30).

**Evaporígrafo.** Este instrumento registra continuamente la cantidad de agua evaporada por unidad de tiempo. Consta de un platillo metálico, el cual está lleno de agua (protegido contra aves por medio de una cubierta de malla). La pérdida de peso causada por la evaporación se transmite por medio de un sistema de palancas al brazo registrador conectado con el soporte del platillo; así, la evaporación se registra en el diagrama fijado en el tambor registrador, que gira con un avance constante alrededor de su eje por medio del mecanismo de relojería el cual da una vuelta cada 24 horas y tiene una marcha de siete días.

Se puede usar un solo diagrama para siete días, obteniéndose un registro en forma de una línea espiral; las curvas de los siete días están una por encima de la otra, lo que permite hacer una comparación entre ellas. O se puede llenar el platillo de agua todos los días hasta la graduación indicada y usar el diagrama para un solo día; en las figs. 31 y 32 se puede ver este aparato y una gráfica del mismo, que presenta en su escala horizontal las horas del día y en su escala vertical los milímetros (mm).

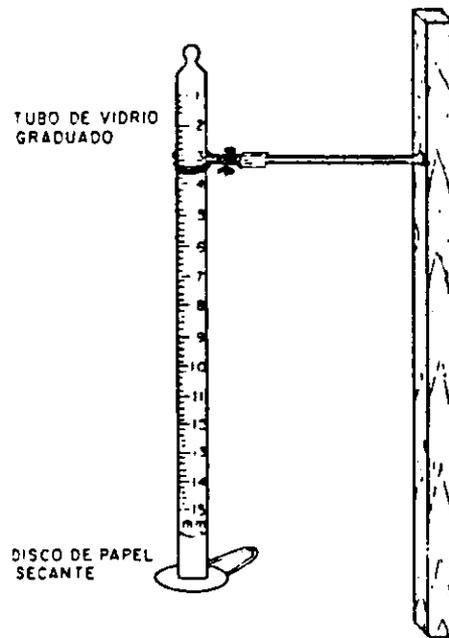


fig. 29 EVAPORIMETRO TIPO PICHE.

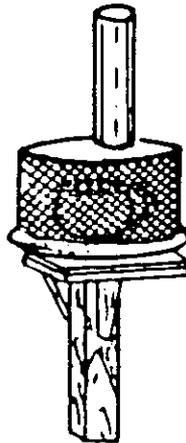


fig. 30 TANQUE SUMMERLAND.

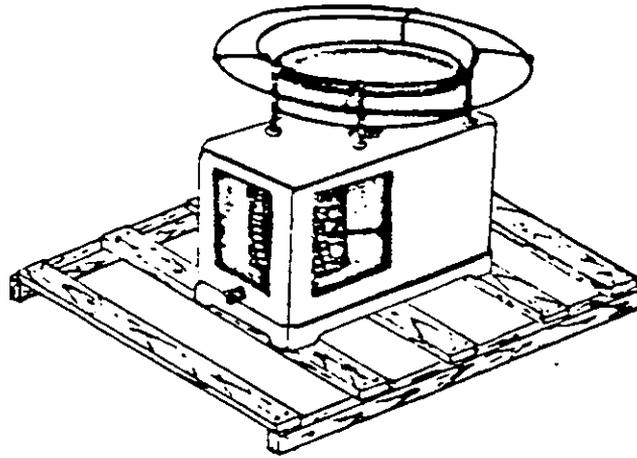


fig. 31 EVAPORIGRAFO.

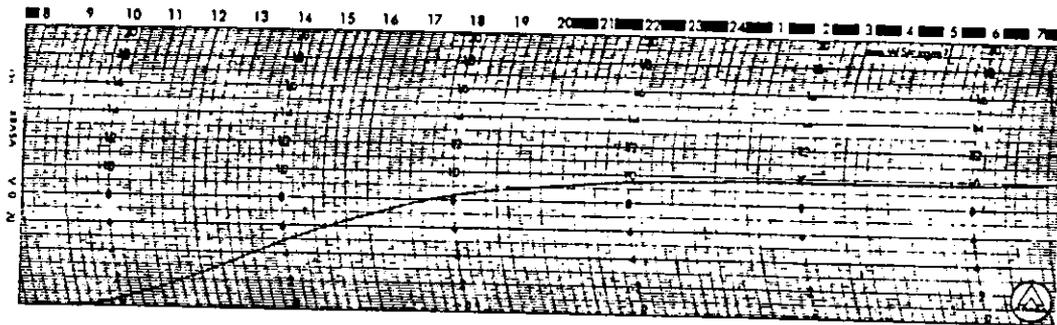


fig. 32 GRAFICA DEL EVAPORIGRAFO.

**Tanque estándar tipo "A".** Desde hace varios años, se estudia la posibilidad de adoptar un tipo particular de tanque como instrumento de referencia internacional, y aunque aún no se ha tomado ninguna decisión definitiva, el tanque americano tipo "A" ha sido adoptado por la OMM como patrón de comparación ya que su funcionamiento ha sido estudiado de una manera profunda en condiciones climáticas muy diversas y también en latitudes y altitudes muy diferentes obteniendo en ambas circunstancias óptimos resultados.

Las observaciones consisten en medir la evaporación del agua de la superficie del tanque. Con este tanque de evaporación clase "A", se ajusta el agua del mismo con respecto a una superficie fija, midiendo la cantidad de agua que debe añadirse o retirarse para alcanzar este resultado. Este instrumento está constituido por:

- **Tanque evaporímetro.** Es un depósito cilíndrico de lámina de fierro galvanizada. Su diámetro interior es de 1.22 m y 0.26m de altura (fig. 33 y 34).
- **Plataforma o base.** Generalmente, se coloca sobre una plataforma formada con 10 barrotes de madera armada con clavos (la construcción de dicha base no queda sujeta a este material). La plataforma no debe quedar enterrada sino en parte solamente, con el objeto de facilitar el drenaje y también para que el aire circule y haya cierta ventilación debajo del tanque, contribuyendo de esta manera a conservarlo en buen estado.
- **Cilindro de reposo.** Es un aditamento para conseguir que una parte de la superficie del agua permanezca en completa quietud y permita medir con precisión su nivel. Está formado por un cilindro hueco de bronce, montado sobre una placa triangular del mismo metal que se apoya sobre tres tornillos que permiten nivelarla. En la parte de la placa que sirve de fondo al cilindro, hay una perforación, de manera que, colocando el aditamento dentro del tanque evaporímetro, el agua que llena a éste, penetra al interior del cilindro conservando dentro de él el mismo nivel que en el resto del tanque, pero sin movimiento alguno.
- **Micrómetro.** Está formado por un tornillo terminado en punta fina, cuya cabeza es un disco graduado. El tornillo pasa a través de una cabeza que lleva tres pequeños brazos radiales y que se haya fija con solidez a uno de estos; hay una regla dividida en milímetros colocada paralelamente al tornillo y tan inmediata a la cabeza de éste, que sin dificultad se aprecia cuál es la división de su arista que queda al borde del disco (fig. 35).

Cada vuelta del tornillo es de 1mm, o sea, que el borde del disco avanza 1mm a lo largo de la regla graduada. El disco está dividido en diez partes iguales marcadas con la numeración 10, 20, 30, etc., y de dimensiones tales que es fácil apreciar décimas partes del espacio correspondiente a cada división, esto es centésimas partes de una vuelta completa del disco, es decir, centésimos de milímetros.

Para poder utilizar el micrómetro, se apoyan los tres pequeños brazos (c) en la boca del cilindro de reposo y se hace avanzar el tornillo hasta que la punta toque la superficie del agua. La precisión de esta operación se habrá logrado en el momento en que se observe que se ponen en contacto la punta del tornillo y dicha superficie.

La cifra que mide el nivel del agua, se obtiene leyendo primeramente la indicación en milímetros que señala el filo del disco (a), sobre la regla (b) y sumando a dicha cantidad el número de centésimos de milímetro que se puede apreciar en el disco, tomando como referencia la arista de la regla graduada. La observación se hará a una hora establecida diariamente, la OMM da como sugerencia hacer esta lectura a las 7:00 A. M. todos los días.

---

• **Instrumentos auxiliares.** Como ya se citó, la evaporación depende de un cierto número de factores, es por ello que en ciertas estaciones dispone de instrumentos para medir estos elementos. Así pues, se coloca en el tanque evaporímetro un anemómetro totalizador a la altura del tanque, y dos termómetros comunes o tipo Six, uno a la altura de la superficie del agua y otro sumergido. Esto con el fin de conocer las condiciones ambientales reinantes durante la evaporación (fig. 36).

• **Agua.** El cambio de agua del tanque ha de realizarse periódicamente, vaciando el mismo con objeto de limpiarlo y llenarlo después con agua limpia, hasta el nivel de unos 3 a 6 cm, abajo del borde de su boca, de acuerdo con la región en que esté instalada la estación climatológica.

Cada determinado tiempo y de acuerdo con las condiciones atmosféricas del lugar, deberá agregarse o sacarse agua del evaporímetro, a fin de tener un nivel de referencia adecuado. Por ejemplo, en regiones donde la evaporación es muy grande no deberá dejarse muy bajo el nivel del agua, ya que pudiese darse la evaporación de toda y al día siguiente resultará imposible hacer la lectura correspondiente por falta del líquido; por el contrario, en regiones lluviosas, debe extraerse agua del tanque, a fin de evitar que con la cantidad de lluvia se sobrevierta el agua del depósito y no pueda efectuarse la lectura en cuestión.

Estas operaciones (agregar o quitar agua), se harán inmediatamente después de una observación bajo la siguiente forma:

Se toma la lectura de la mañana y se anota en el renglón y el día que corresponda; inmediatamente después se añade o se quita agua del tanque y una vez terminada cualquiera de estas operaciones se vuelve a hacer otra lectura que se anotará en el mismo renglón y día (cambiando de columna). A continuación se muestran algunos ejemplos de cómo obtener la evaporación en los diferentes casos que se presentan:

#### Ejemplo 1. Determinación de la evaporación del día 3

Lectura micrométrica del día 3	= 30.62
Lectura micrométrica del día 4	= <u>25.18</u>
Diferencia	= 5.44
Evaporación del día 3	= 5.44 mm.

#### Ejemplo 2. Determinación de la evaporación del día 5 (cuando ha llovido), primera forma:

Lectura micrométrica del día 6	= 28.12
Lectura del pluviómetro del día 6	= <u>5.20</u>
Diferencia	= 22.92
Lectura micrométrica del día 5	= 26.41
Diferencia encontrada	= <u>22.92</u>
Diferencia	= 3.49
Evaporación del día 5	= 3.49 mm.

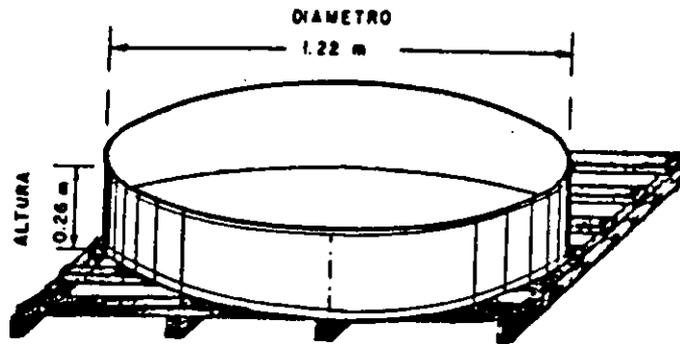


fig. 33 ESQUEMA DEL TANQUE EVAPORIMETRO Y BASE.

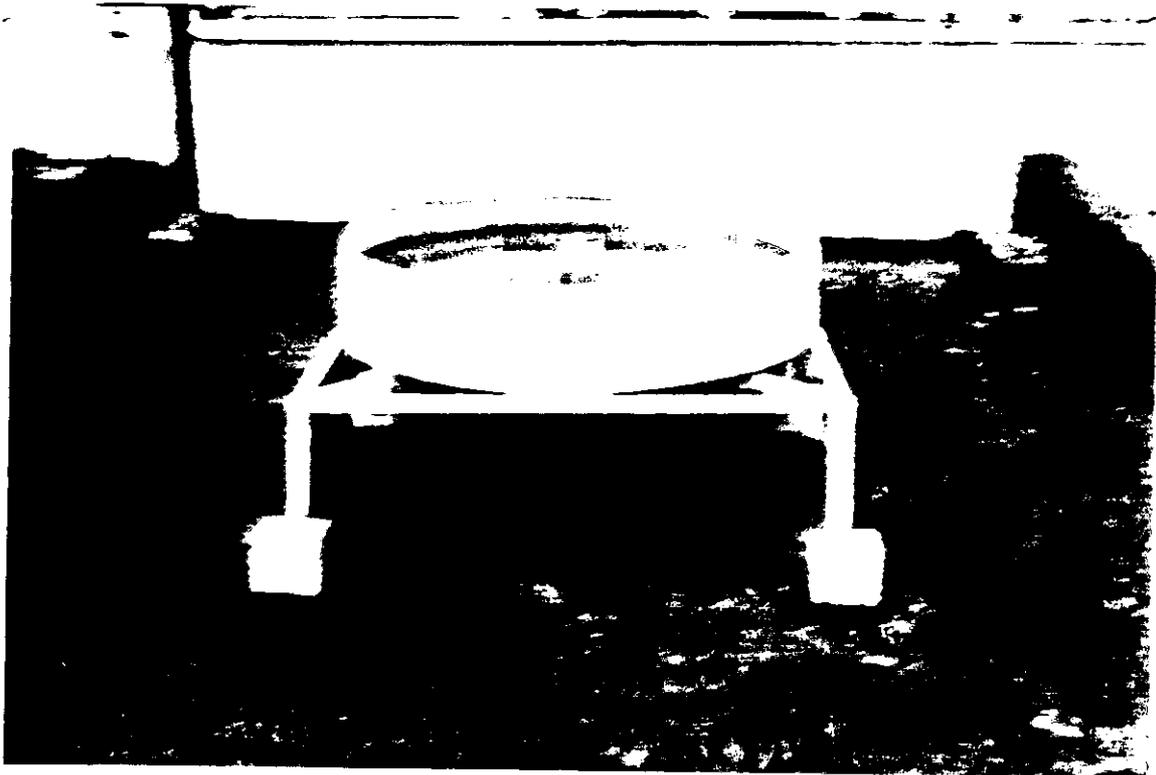


fig. 34 TANQUE EVAPORIMETRO Y BASE DE USO EN EL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

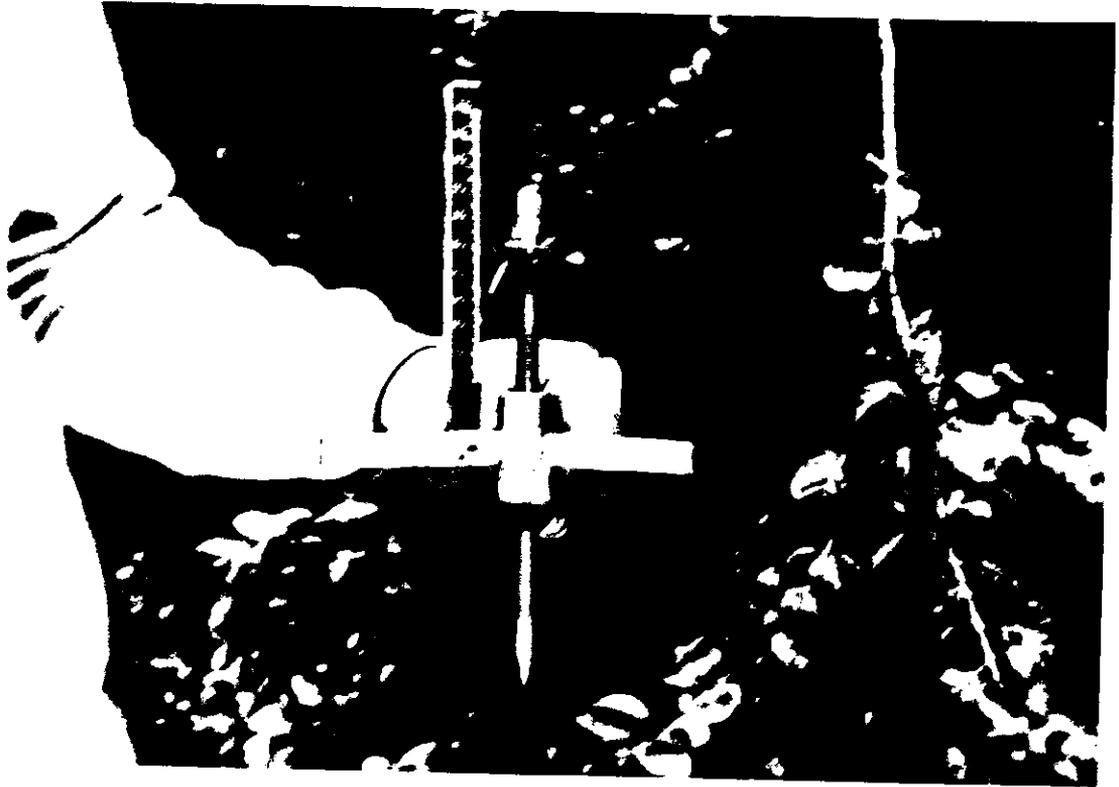


fig. 35 MICROMETRO.

ANEMOMETRO TOTALIZADOR  
DE CAZOLETAS

TERMOMETROS TIPO SIX

CILINDRO DE  
REPOSO Y MICROMETRO

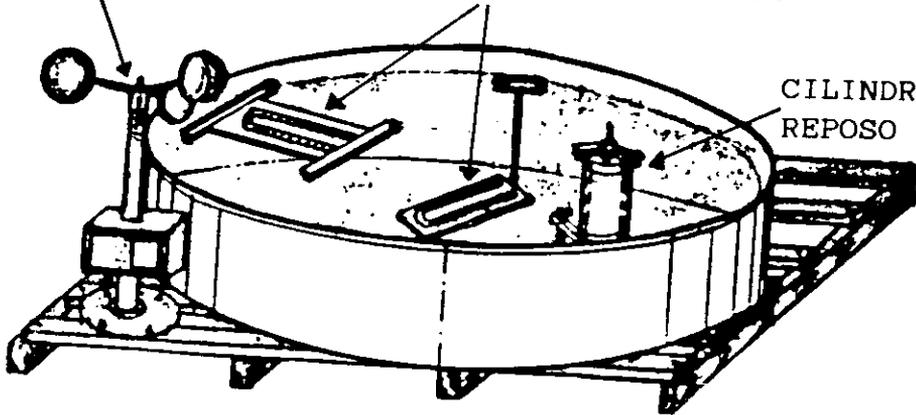


fig. 36 INSTRUMENTOS AUXILIARES.

Ejemplo 3. Determinación de la evaporación del día 5  
(cuando ha llovido), segunda forma.

Lectura micrométrica del día 5	= 26.41
Lectura del pluviómetro del día 5	= <u>5.20</u>
Suma	= 31.61
Suma encontrada	= 31.61
Lectura micrométrica del día 6	= <u>28.12</u>
Diferencia	= 3.49
Evaporación del día 5	= 3.49 mm

Ejemplo 4. Determinación de la evaporación del día 11  
(con lluvia en dos días consecutivos 11 y 12), primera forma:

Lectura micrométrica del día 12	= 43.06
Lectura del pluviómetro del día 12	= <u>15.11</u>
Diferencia	= 27.95
Lectura micrométrica del día 11	= 34.22
Diferencia encontrada	= <u>27.95</u>
Diferencia	= 6.27
Evaporación del día 11	= 6.27 mm

Ejemplo 5. Determinación de la evaporación del día 11  
(con lluvia en dos días consecutivos 11 y 12), segunda forma:

Lectura micrométrica del día 11	= 34.22
Lectura del pluviómetro del día 12	= <u>15.11</u>
Suma encontrada	= 49.33
Lectura micrométrica del día 12	= <u>43.06</u>
Diferencia	= 6.27
Evaporación del día 11	= 6.27 mm

Ejemplo 6. Determinación de la evaporación de los días 16 y 17  
( cuando se agrega agua o se ha cambiado la de la tina)

Lectura micrométrica del día 16	= 32.15
Lectura micrométrica del día 17	= <u>25.25</u>
Evaporación del día 16	= 6.90 mm
Lectura micrométrica del día 17	= 80.00 (máximo nivel)
(después de agregar agua)	
Lectura micrométrica del día 18	= <u>67.23</u>
Evaporación del día 17	= 12.77 mm

Ejemplo 7. Determinación de la evaporación del día 21  
(Cuando debido a una fuerte lluvia el tornillo no da la medición)

Para este caso se saca agua de la tina hasta que se pueda tener lectura con el tornillo, utilizando para ello el cuartillo, que es un cilindro que equivale a 0.69 mm. del tornillo micrométrico. Se supone que se trata de una tina cuya lectura, que se puede leer en el tornillo es de 80.00 mm

Lectura micrométrica del día 21	= 62.23
Lectura del pluviómetro del día 21	= 25.10

Obviamente, la lectura micrométrica del día 22 no se podría realizar por estar el agua arriba del nivel máximo del tornillo. Suponiendo que se hubieran sacado 25 cuartillos equivalentes a 17.25 mm. del tornillo micrométrico y que la lectura que se obtuviese fuera de 64.22, la real del día 22, como sino hubiese llovido, sería :

Lectura micrométrica del día 22 (Después de haber sacado agua)	= 64.22
Cantidad de agua sacada ( 25 cuartillo)	= <u>17.25</u>
Suma	= 81.47
Lectura del pluviómetro del día 21	= <u>25.10</u>
Diferencia	= 56.37
Lectura real del tornillo micrométrico del día 22	= 56.37

Por lo tanto: se tiene:

$$\text{Evaporación del día 21} = 62.23 - 56.37 = 5.86 \text{ mm.}$$

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Los requisitos que deben reunir los aparatos para una correcta medición de la evaporación son:

- que el instrumento responda bien a todos los factores meteorológicos que afectan la evaporación,
- que esté cercado, sujeto a un mínimo de interferencias causadas por animales, material extraño y otros, y
- vigilar que no haya pérdidas o aumentos accidentales en el volumen del agua del tanque, previendo escapes por deterioro en el cuerpo de éste.

La OMM recomienda que las estaciones de meteorología agrícola efectúen, siempre que sea posible, registros continuos de evaporación. Las medidas deben ser hechas de modo que sean representativas de la evaporación de la superficie del suelo.

La medida de la evaporación de la superficie del suelo y la del agua tiene mucha importancia para los ingenieros hidrólogos. Desgraciadamente, es difícil obtener medidas que sean representativas de las condiciones naturales.

Por lo tanto, los valores obtenidos por estos instrumentos deben ser ajustados si se quieren obtener indicaciones correctas de la evaporación del agua.

## 3.2 TRANSPIRACION.

### 3.2.1 Introducción.

Del agua absorbida por el sistema de raíces de una planta, sólo una porción minúscula permanece en los tejidos de la misma; virtualmente, toda el agua retorna a la atmósfera en forma de vapor, debido a la transpiración. Este proceso constituye una fase importante del ciclo hidrológico debido a que el mecanismo principal por medio del cual el agua precipitada sobre la superficie de la tierra regresa a la atmósfera.

Al estudiar el balance hídrico de una cuenca hidrológica, es difícil, generalmente, separar la evaporación y la transpiración. Por esta razón ambos factores se tratan usualmente en ingeniería como uno solo; es necesario tener conocimiento de cada proceso para asegurar que las técnicas empleadas concuerden con la realidad física.

### Factores que afectan la transpiración.

Las diferencias de concentración entre la savia en las células de la raíz de una planta, y el agua en el suelo, causan una presión osmótica capaz de mover el agua del suelo, a través de la membrana de la raíz hacia las células de ésta. Una alta salinidad en la solución del suelo y/o una tensión de humedad alta en el suelo, pueden impedir o reducir sustancialmente la transferencia osmótica. Una vez dentro de la raíz, el agua es transportada a través de la planta al espacio intercelular dentro de las hojas (**fig. 37**).

El aire entra a la hoja a través de los estomas (poros de la superficie de la hoja), y los cloroplastos, en el interior de la hoja, usan el dióxido de carbono del aire y una pequeña porción del agua disponible para producir los carbohidratos necesarios para el crecimiento de la planta (fotosíntesis). Al entrar el aire en la hoja, parte del agua escapa a través de los estomas abiertos; este es el proceso de la transpiración. La relación entre el agua transpirada y el agua utilizada para formar la materia de la planta es muy grande, y alcanza valores de 800 o más.

La tasa de transpiración es en general independiente del tipo de planta, siempre y cuando existan cantidades adecuadas de agua en el suelo, y que la superficie esté cubierta totalmente por la vegetación.

Dado que la fotosíntesis depende en alto grado de la radiación recibida, cerca del 95% de la transpiración diaria ocurre durante el día, comparada con un 75% a 90% de la evaporación del suelo. El crecimiento de las plantas cesa cuando la temperatura disminuye hasta cerca de los 4° C y la transpiración es entonces muy pequeña.

La transpiración está limitada por la tasa a la cual la humedad se encuentra disponible para la planta. A pesar de que existen muy pocas dudas de que la tasa de evaporación del suelo en condiciones meteorológicas fijas disminuya casi a la par con el tiempo, persisten ideas diversas con respecto a la transpiración. Se cree que esta controversia y las discrepancias evidentes se pueden atribuir a los varios métodos que se han utilizado para obtener los datos en que se basan las distintas hipótesis, y a la terminología no descriptiva utilizada para expresar los resultados.

Se cree que la transpiración es independiente de la humedad disponible hasta cuando ésta alcanza el punto de marchitez (contenido de humedad en el cual se produce marchitez permanente de las plantas), mientras que por otro lado también se supone que la transpiración es aproximadamente proporcional a la humedad remanente en el suelo y disponible para las plantas

---

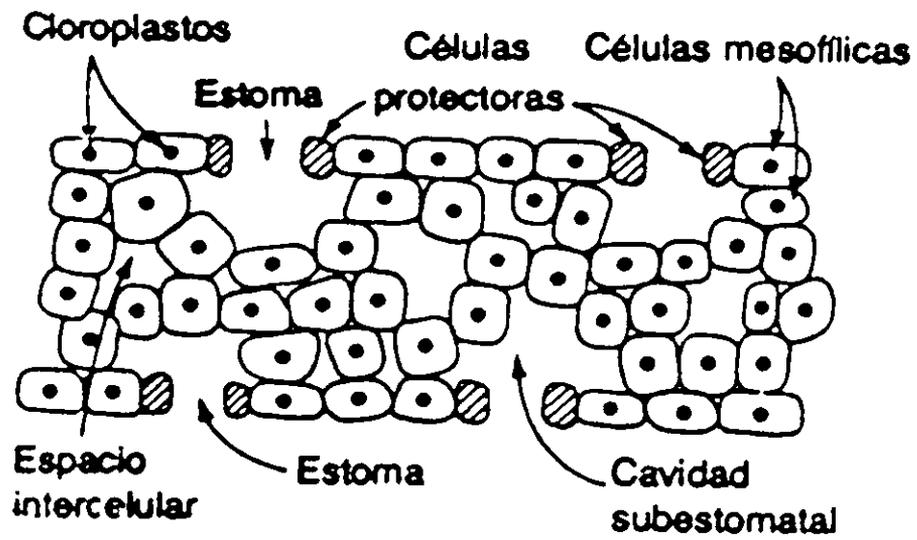


fig. 37 ESTRUCTURA INTERNA DE UNA HOJA.

---

La capacidad de campo se define como la cantidad de agua retenida en el suelo después de que el exceso de agua gravitacional ha drenado. El rango de humedad del suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez (agua disponible) es una medida de la máxima cantidad de agua disponible para las plantas. El agua disponible varía con el tipo de suelo, en un rango que va desde 0.5 mm/cm de profundidad para arenas hasta de 2 mm/cm de profundidad para arcillas limosas.

El tipo de planta es un factor importante en el control de la transpiración cuando la humedad del suelo es limitada. Cuando se secan las capas superiores del suelo, las especies con raíces poco profundas no pueden obtener agua y se marchitan, mientras que las especies con raíces profundas continúan transpirando hasta que la humedad del suelo se reduce a profundidades hasta el punto de marchitez. Por lo tanto, la vegetación con raíces profundas transpira más agua durante periodos secos sostenidos que las plantas de especies con raíces poco profundas.

La transpiración por unidad de área también depende de la densidad de la cobertura vegetal. Con espacios amplios entre las plantas (baja densidad de cobertura), no toda la radiación solar llega a aquellas y parte de ella es absorbida por la superficie del suelo. Sin embargo, la transpiración relativa no es proporcional a la densidad de cobertura por dos razones:

- Una planta aislada recibe radiación en su cara que está hacia el sol, la cual sería interceptada por una planta adyacente en caso de existir una cobertura muy densa, y
- Una porción de la radiación que llega al suelo es transmitida a la planta posteriormente, proceso conocido como el efecto de oasis.

El tipo de planta también influye en la transpiración durante periodos de sequía, aún en condiciones específicas de humedad del suelo. Las xerófitas (especies de los desiertos), con menos estomas por unidad de área y menor superficie expuesta a la radiación, transpiran relativamente poca agua. Las freatófitas, por el contrario, tienen un sistema de raíces que llega hasta el nivel freático y transpiran a tasas sustancialmente independientes del contenido de humedad de la zona de aereación.

Todas las plantas pueden controlar la abertura estomatal en algún grado, y aún las mesófilas (plantas de las zonas templadas) poseen alguna capacidad para reducir la transpiración durante periodos de sequía. Sin embargo, esta capacidad de control es sólo para reducir la transpiración. Aún las plantas acuáticas, hidrófitas, no pueden bombear agua a la atmósfera en tasas que excedan aquellas controladas por la disponibilidad de energía radiante y sensible. Una charca cubierta de plantas acuáticas no pierde agua a una tasa apreciablemente diferente a la de una charca libre de vegetación. Cualquier diferencia en la transferencia de calor sensible, debido a un aumento en la rugosidad de la superficie, tiende a ser equilibrada por el aumento en el albedo.

La lluvia interceptada por la vegetación es evaporada inmediatamente y por lo tanto utiliza alguna energía que de lo contrario estaría disponible para la transpiración. Los experimentos con cobertura de pasto indican que la reducción en transpiración puede equivaler a la intercepción, mientras que otros experimentos con pequeños pinos parecen mostrar que la reducción es mucho menor que las pérdidas por intercepción.

### 3.2.2 Instrumentación y medición.

Como no es posible medir las pérdidas por transpiración para un área apreciable en condiciones naturales, la determinación de la transpiración está restringida a estudios de muestras pequeñas en condiciones de laboratorio. Un método consiste en colocar una o más plantas en maceteros dentro de un espacio confinado y calcular la transpiración como el aumento en el

contenido de humedad en espacio confinado. La mayoría de las medidas se realiza en un fitómetro, que es un recipiente grande y lleno de suelo en el cual se siembran una o más plantas.

El único escape de humedad es por transpiración (la superficie de suelo se sella para impedir la evaporación), la cual puede ser estimada pesando la planta y el recipiente en diferentes intervalos de tiempo.

Al suministrar aereación y agua adicional, se puede llevar a cabo un estudio con el fitómetro durante todo el ciclo de vida de una planta. Como es virtualmente imposible simular condiciones naturales, los resultados de las observaciones de este tipo principalmente tienen interés académico para el hidrólogo, y constituyen apenas algo más que un índice del uso del agua por una plantación en condiciones de campo.

Los atmómetros tipo Piche, se han utilizado frecuentemente en estudios de transpiración. Estos instrumentos alimentan automáticamente una superficie húmeda expuesta, con el agua de un pequeño tanque. El cambio en el contenido del tanque sirve como índice de la transpiración.

---

---

### 3.3.EVAPOTRANSPIRACION.

#### 3.3.1 Introducción

Al estudiar el balance hídrico de un área de drenaje, el interés principal radica en la determinación de las pérdidas de agua totales (o evapotranspiración), la evaporación de superficies de agua, suelo, nieve, hielo y de cualquier otra superficie, más la transpiración. El uso consuntivo es la evaporación total de un área más el agua utilizada directamente para construir los tejidos de las plantas. La distinción entre los dos términos es en gran parte académica, con diferencias numéricas que están casi siempre dentro de los errores de medición y generalmente se tratan como sinónimos.

Suponiendo que cualquier reducción en evapotranspiración, debida a una deficiencia en la humedad del suelo es independiente de las condiciones meteorológicas, el concepto de evapotranspiración potencial introducido por el Dr. Thornthwaite es de uso común. El término fue definido como "la pérdida de agua que ocurriría si en ningún momento existiera una deficiencia de agua en el suelo para el uso de la vegetación". Se ha encontrado desde entonces que la evapotranspiración depende de la densidad de cobertura y de su estado de desarrollo. Para que sea útil, la evapotranspiración potencial debe ser independiente de la naturaleza y condición de la superficie, excepto con respecto a la disponibilidad de humedad, o debe estar definida en términos de una superficie particular. Posteriormente la definición original se modificó para incluir la condición de que la superficie estuviera totalmente cubierta por vegetación verde. Esta definición modificada, es en general satisfactoria, pero no tiene sentido durante el invierno a grandes latitudes.

Para fines de claridad y obtener resultados que se puedan reproducir, existe una buena razón para considerar la evapotranspiración potencial como equivalente a la evaporación de una superficie de agua libre, de grandes proporciones, pero sin capacidad de almacenamiento de calor. La evapotranspiración tal como fue definida por el Dr. Thornthwaite, se aproxima a la evaporación de agua libre siempre y cuando haya una cobertura vegetal completa y que los efectos de los factores meteorológicos en las dos superficies sean lo suficientemente parecidos para que se conviertan de la misma manera en evapotranspiración efectiva.

Existen numerosos enfoques para estimar la evaporación real y potencial, ninguno de los cuales se puede aplicar generalmente a todos los propósitos. El tipo de datos necesarios depende del uso que se persiga. En algunos estudios hidrológicos se necesita la evapotranspiración media de la hoja, mientras que en otros casos hay interés en el uso del agua por una plantación particular o en el cambio de usos del agua que resultaría de un cambio en la cobertura vegetal.

#### Control de la evapotranspiración.

Como consecuencia del éxito reportado al reducir la evaporación de superficies de agua por medio de películas monomoleculares, se llevaron a cabo experimentos para reducir la transpiración de las plantas mezclando alcoholes grasos en el suelo. Se han publicado algunos resultados positivos, mientras que otros experimentos han indicado efectos no significativos o un aumento en la transpiración. Un análisis detallado de un gran número de experimentos independientes llegó a la conclusión de que las concentraciones de alcohol graso necesarias para reducir la transpiración también reducen el crecimiento de las plantas y que estos materiales no son adecuados como antitranspirantes.

Desde principios de siglo se ha realizado una investigación continua para determinar o predecir los efectos hidrológicos de cambios en el uso de la tierra. Existen pocas dudas de que los cambios en el uso de la tierra puedan tener un efecto apreciable en la evapotranspiración anual.

---

---

como también en su distribución cíclica. Las diferencias en albedo, rugosidad aerodinámica y comportamiento de las plantas tienen algún efecto, pero los factores primordiales son aquellos relacionados con la disponibilidad de agua cubierta por una vegetación libre.

La disponibilidad de agua está determinada en buena parte por el tamaño de la zona de raíces y el régimen climático. Si los periodos largos sin lluvia, durante la temporada de crecimiento, son característicos de un área, la cobertura forestal de raíces profundas transpirará libremente la mayor parte del tiempo aún cuando se haya terminado la disponibilidad de agua para plantas con raíces poco profundas. En áreas donde las condiciones climáticas son tales que las plantas con raíces poco profundas obtienen una adecuada cantidad de agua la mayor parte del tiempo, la evapotranspiración es afectada en menor grado por la profundidad de la zona de raíces. Los cambios en el uso de la tierra que se reflejan en diferentes duraciones del periodo de crecimiento de plantas también tienen efecto.

Cualquier intento para reducir la evapotranspiración mediante cambios en el uso de la tierra se debe llevar a cabo solamente después de un estudio cuidadoso de todos los posibles efectos secundarios. Una tala de bosque disminuirá la evapotranspiración y aumentará el caudal pero puede producir tasas de erosión inaceptables y caudales poco mayores.

### 3.3.2 Instrumentación y medición.

Muchas de las observaciones de la evapotranspiración se llevan a cabo en recipientes de suelo, conocidos bajo diferentes nombres como tanques, evapotranspirómetros y lisímetros. Los dos primeros términos se refieren a recipientes con fondo impermeable, y mientras se ha intentado restringir el uso de la palabra lisímetro a recipientes con fondo permeable o con un mecanismo para mantener una presión negativa en el fondo. La evapotranspiración se calcula manteniendo un balance de aguas en el recipiente.

Así como los tanques evaporímetros, los evapotranspirómetros pequeños producen solamente índices de evapotranspiración potencial. En consecuencia, la normalización del instrumental y su operación son de extrema importancia. Al resumir los resultados de observaciones alrededor del mundo, se tiene que: el evapotranspirómetro, cuando se opera adecuadamente es decir, se riega satisfactoriamente de tal manera que no haya deficiencias de humedad ni exceso de humedad apreciable en el suelo del tanque, y cuando se encuentra expuesto homogéneamente dentro de un área de protección de tamaño adecuado para eliminar el efecto de advección de humedad, es un instrumento que debe producir resultados razonablemente confiables de la evapotranspiración potencial. Se debe tener gran cuidado con la operación del instrumento, el suelo, la vegetación, los métodos de cultivo y las prácticas de riego se deben mantener normalizados para poder asegurar resultados comparables de una estación de observación a otra.

Con muy poca frecuencia se obtienen observaciones confiables de la evapotranspiración real (cuando ésta es apreciablemente menor que la potencial) debido a que es casi imposible mantener la humedad del suelo y la cobertura vegetal de las zonas vecinas al tanque bajo las mismas condiciones de éste. Los resultados experimentales indican que se pueden tomar medidas confiables de la evapotranspiración con lisímetros grandes de 5 m o más de diámetro si se tienen en cuenta la necesidad de aplicar una fuerza de succión en la base comparable en magnitud a aquella presente en el perfil natural del suelo. Se necesita además que las dimensiones limitadas del lisímetro no impidan el desarrollo de las raíces, y que las características de cobertura sean iguales sobre el lisímetro y en las áreas circunvecinas.

Se han desarrollado varias técnicas empíricas para estimar la evapotranspiración potencial a partir de datos climatológicos.

---

---

La evapotranspiración potencial y la evaporación a partir de una superficie delgada de agua libre están afectadas por los mismos factores meteorológicos: radiación, humedad, temperatura y viento. Aunque existen diferencias en cuanto a la rugosidad de la superficie, su albedo y posiblemente otros factores involucrados, la evaporación de agua libre debe ser un mejor índice de la evapotranspiración potencial que la temperatura del aire.

El efecto de las deficiencias de humedad en la relación entre la evapotranspiración real y la potencial ha sido tema para largos debates. Algunos investigadores sostienen que la evapotranspiración desde una parcela homogénea continua a una tasa sin disminución hasta que el contenido de humedad a través de la zona de raíces se reduce cerca al punto de marchitez; otros mencionan resultados experimentales que muestran que la tasa es aproximadamente proporcional a la cantidad de agua disponible remanente; un tercer punto de vista es que la tasa es una función compleja del agua disponible pero limitada por la tasa potencial. Independientemente de la relación funcional para una parcela homogénea, la tasa de abatimiento en un área de drenaje heterogéneo, e inicialmente saturado, disminuye rápidamente con el tiempo (para una evapotranspiración potencial constante) debido a variaciones en la capacidad en la zona de raíces y de otros factores pertinentes.

La suposición de que la relación entre la evapotranspiración real y la potencial es proporcional a la cantidad de agua disponible tal vez sería satisfactoria en una cuenca, si cada tormenta pudiera saturar el suelo. Desafortunadamente, esta simple función no puede explicar adecuadamente el aumento de la evapotranspiración que ocurre inmediatamente después de una precipitación, sobre un suelo relativamente seco. Esta dificultad puede ser superada por la separación arbitraria del almacenamiento de humedad en dos categorías. En este enfoque se considera que la humedad de la **zona superior** disminuye siempre a la tasa potencial y que cualquier déficit en esta zona debe ser satisfecho antes de que la lluvia empiece a recargar la **zona inferior**. El abatimiento en la zona inferior ocurre solamente cuando se acaba la humedad disponible en la zona superior en cuyo caso, se supone que la tasa de evapotranspiración es proporcional a la humedad disponible en la zona inferior. Aplicando este simple modelo a observaciones de precipitación y de escorrentía total es como se obtienen los valores diarios de evapotranspiración por medio de procedimientos de conteo.

### **Evapotranspirómetro del Dr. W.C. Thornthwaite**

En 1946, durante su estancia en México, el Dr. Thornthwaite diseñó un nuevo evapotranspirómetro, sencillo en su manejo y satisfactorio en sus fundamentos, para la medida de la evapotranspiración potencial (**fig. 38**). En esencia, este instrumento consiste de un tanque metálico enterrado hasta su arista superior y lleno de tierra hasta el nivel del suelo, sembrado con plantas cuya evapotranspiración potencial se desea conocer y dentro del cual el nivel freático se mantiene a una cierta profundidad, siempre constante.

Se tiene otro tanque, desde el cual se abastece de agua al primero por medio de una tubería subterránea, y entre los dos una cámara o pequeño tanque de regulación, que permite mantener el nivel del agua en las condiciones mencionadas, y medir el excedente en el caso de que la precipitación pluvial sea abundante. Requiere instalar en cada estación 13 unidades en condiciones idénticas y muy próximas entre sí, con el propósito de comprobar el funcionamiento correcto de este sistema y hacer posible la localización de fallas en cualquiera de las tres unidades. La tierra que se coloca dentro de los tanques debe satisfacer ciertas condiciones básicas, especialmente en relación con el coeficiente de marchitamiento y su capacidad de absorción

---

---

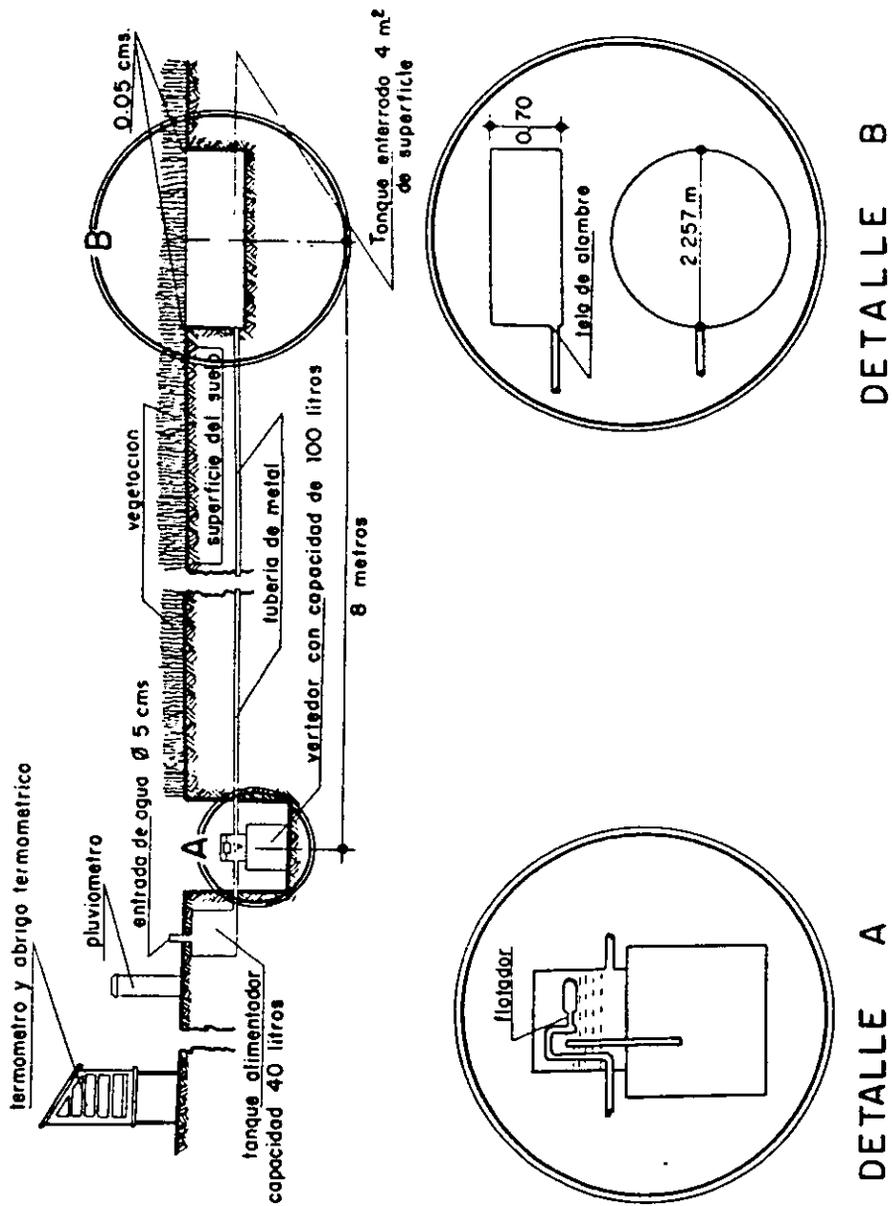


Fig. 38 EVAPOTRANSPIROMETRO DEL DR. W. C. THORNTHWAITTE.

---

---

### Evapotranspirómetro modificado de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México

Con el fin de obtener una mayor flexibilidad en la medición de las pérdidas por evapotranspiración potencial y real, es que se ha diseñado un evapotranspirómetro que tome en consideración, en forma más apegada a la realidad, las condiciones naturales de humedad que imperan en el terreno, especialmente en lo que se refiere a escurrimiento superficial y a la humedad de los suelos. Se consideró que el evapotranspirómetro convencional, usado en la mayoría de las estaciones de la cuenca del Valle de México, no satisface todos los requerimientos antes mencionados; consecuentemente, se modificó parcialmente el diseño del evapotranspirómetro convencional del doctor W. C. Thornthwaite. Pero respetando básicamente sus características de funcionamiento.

Este evapotranspirómetro se utilizó, en dos estaciones de evapotranspiración del río Milpa Alta, obteniéndose resultados sumamente satisfactorios.

Se sabe que los fenómenos de evaporación y evapotranspiración corresponden a la fase del ciclo hidrológico que en nuestro país consume la mayor cantidad de agua, por esto es primordial y necesario conocer las pérdidas totales por estos dos conceptos. La suma de la evaporación que se produce en las plantas, la transpiración de las mismas y la evaporación que tiene el lugar en el suelo que las sustenta, así como la evaporación de superficies de agua libre, se ha denominado, en conjunto, "evaporación total", "uso consuntivo" o "evapotranspiración".

En la práctica, con el fin de medir la evapotranspiración potencial de un cultivo, es necesario simular ciertas condiciones de humedad, las cuales, para este caso, se mantienen constantes por medio de una alimentación continua de agua que permite satisfacer, en todo momento, las demandas de evapotranspiración del cultivo. Esto se ha logrado manteniendo el nivel freático a la misma profundidad dentro de los evapotranspirómetros, con lo cual se producen condiciones de humedad casi constantes.

Asimismo, existe un gran número de observaciones realizadas en otros países utilizando tanques experimentales denominados lisímetros, los cuales han sido usados comúnmente para determinar la evapotranspiración potencial de cultivos individuales y de la vegetación natural, en un determinado lapso.

Los cultivos se plantan en tanques, en los cuales el nivel freático siempre se mantiene a una determinada profundidad. El consumo de agua necesario para mantener un desarrollo satisfactorio se determina pesando el tanque de prueba, lo cual requiere instalaciones muy costosas.

Sin embargo, es bastante más difícil medir la evapotranspiración real con los aparatos existentes, debido a que no se puede hacer fluctuar la profundidad del nivel freático dentro de los evapotranspirómetros y, en consecuencia, cambiar el contenido de humedad del suelo en concordancia con las condiciones observadas alrededor del evapotranspirómetro.

En la actualidad, de ninguna de las dos evapotranspiraciones se tienen mediciones confiables por el número y calidad de las observaciones.

Como ya se comentó, el evapotranspirómetro del Dr. Thornthwaite es satisfactorio en sus fundamentos para la medida de la evapotranspiración potencial, pero existen dos aspectos muy importantes que dicha instalación no toma en cuenta:

- el escurrimiento superficial que se produce sobre la superficie del evapotranspirómetro, y
- la posibilidad de hacer fluctuar el nivel freático dentro del tanque de evapotranspiración.

El hecho de no proporcionar drenaje al escurrimiento superficial hace que haya un volumen mayor de agua disponible para la infiltración y la evapotranspiración, lo cual puede llegar a afectar los resultados. Por otro lado, la posibilidad de hacer variar a voluntad el nivel freático dentro del tanque de evapotranspiración, permite ampliar el rango de mediciones del aparato, pudiéndose llegar a determinar, de esta manera, la pérdida por evapotranspiración real en una mayor diversidad de cultivos o de vegetación natural.

Tomando en consideración lo anterior, se modificó parcialmente el diseño del evapotranspirómetro del Dr. Thornthwaite.

El nuevo modelo consta básicamente de los mismos elementos, a saber: tanque alimentador, tanque de regulación, tanque de evapotranspiración, tanque de excedencias, pero se le ha dotado de un conducto que recoge el escurrimiento superficial para ser medido en un tanque especial y de un dispositivo para cambiar la profundidad del nivel freático (**figs. 39 y 40**).

En el evapotranspirómetro modificado, los tanques de evapotranspiración quedan localizados a una distancia mínima de 7 m. Todo el terreno que circunda a los evapotranspirómetros deberá estar cubierto con la misma vegetación cuyo uso consuntivo se está estudiando para reducir las condiciones de frontera, las cuales, en este tipo de observaciones, son sumamente importantes.

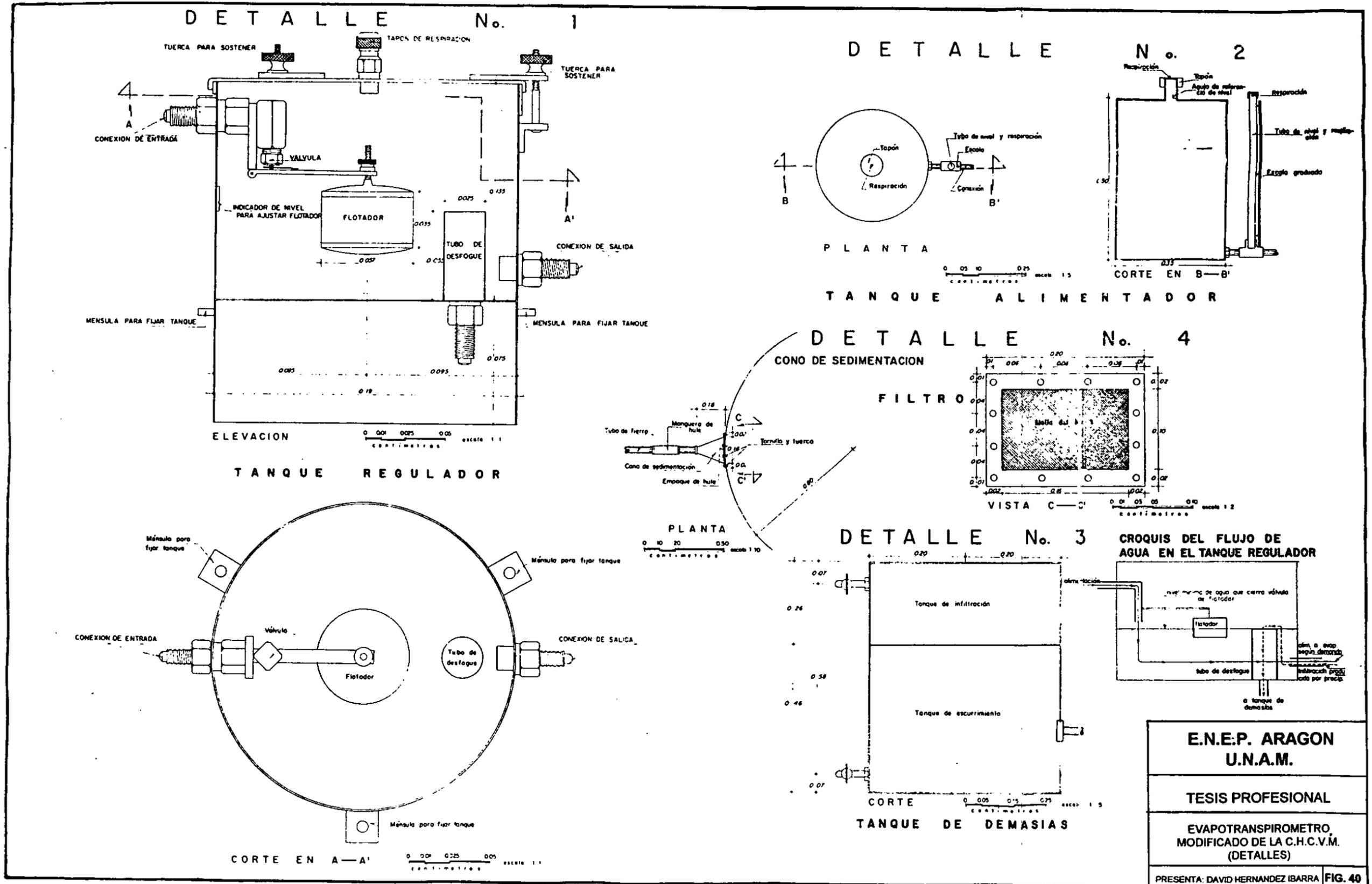
**Escurrecimiento superficial.** Para captar el escurrimiento superficial que se produce sobre la superficie del evapotranspirómetro se conectó, en un punto de la parte superior del tanque de evapotranspiración, un cono de captación de dimensiones reducidas, el cual tiene una conexión de 1" de diámetro. En este lugar se fija una tubería de fierro galvanizado del mismo diámetro, que une al cono con el tanque de excedencias, el cual se dividió en dos compartimientos: uno para recibir el escurrimiento superficial proveniente del cono y el otro para almacenar los volúmenes infiltrados originados por la lluvia y provenientes del tanque de evapotranspiración. Este, tiene un pequeño orificio rectangular de 10 por 15 cm, a través del cual pasa el volumen escurrido en la superficie del tanque hacia el citado cono, el cual está protegido por una malla de alambre para evitar el paso de basuras y tierra. Se produjo un suave declive artificial en la superficie de la tierra dentro del tanque, para hacer que el escurrimiento se encauce hacia el orificio donde está conectado el cono.

**Fluctuaciones del nivel freático.** Para hacer variar a voluntad el nivel freático dentro del tanque de evapotranspiración, se diseñó el depósito regulador de tal manera que pudiera hacerse subir o bajar sobre un sistema de tres guías provistas de rosca, siendo fijado el tanque de regulación por medio de tuercas sobre cada guía. Debido a que todo el sistema funciona como vasos comunicantes, al levantar el tanque de regulación, la válvula dentro del mismo permite el paso de agua adicional proveniente del tanque regulador hasta que el nivel dentro del evapotranspirador sea el mismo que en el regulador; el tubo transparente de nivel instalado en el extremo de la tubería de cobre enterrada, que indica la elevación del nivel freático dentro del tubo evapotranspirador, mostrará ese aumento.

---

---





En forma inversa, al bajar el tanque regulador, el flotador del mismo cierra el paso de agua que viene del alimentador y el volumen sobrante proveniente del tanque de evapotranspiración se vacía al tanque de excedencias por un orificio especial, localizado en el tanque de regulación. De esta manera es posible levantar el nivel freático hasta la superficie de la tierra del tanque de evapotranspiración o bajarla a 0.88 m de la superficie.

Sin embargo, es posible construir el tanque de evapotranspiración con una mayor profundidad, siendo entonces factible bajar, de esta manera, aún más el nivel freático dentro del mismo, en caso que así se requiera por las condiciones naturales del terreno en la zona donde se desee efectuar mediciones de evapotranspiración.

El hecho de poder hacer fluctuar el nivel freático dentro del tanque de evapotranspiración tiene dos finalidades:

- Estudiar objetivamente la influencia de la profundidad del nivel freático sobre el monto de la evaporación y la evapotranspiración.
- Determinar la evapotranspiración real en una zona, haciendo variar la profundidad del nivel freático dentro del tanque y por lo mismo, modificar las condiciones de humedad del suelo para igualarlas a las que se tienen en el suelo natural exterior.

**Modificaciones adicionales.** Se han aumentado las capacidades respectivas del tanque de alimentación y del de excedencias; por otra parte, el tanque de evapotranspiración se hizo de 0.90 m de profundidad y de una superficie de 2 m<sup>2</sup> (lo que equivale a un diámetro de 1.60 m, aproximadamente).

La profundidad del tanque se puede aumentar para tomar en consideración mayores profundidades del nivel freático; sin embargo, no se recomienda hacerlo mayor de 1.60 m, ya que según estudios realizados, la profundidad de 1.50 m es considerada como el límite hasta el cual la evaporación y evapotranspiración tienen efecto sobre aguas subterráneas (salvo en el caso de cultivos con raíces muy profundas). Asimismo, se puede ampliar la superficie del tanque de evapotranspiración, con lo cual se reducen las condiciones de frontera y, consecuentemente, los resultados corresponderían a condiciones más reales. Para este caso, deberán aumentarse las respectivas capacidades de los tanques de alimentación y de excedencias.

Las conexiones entre los tanques alimentador y regulador, así como el regulador y el evapotranspirador y del regulador al de excedencias, se hicieron con tubo de plástico transparente, principalmente para poder mover el tanque regulador hacia arriba o hacia abajo y, en segundo lugar, para observar en cada caso el flujo de agua respectivo. Se modificó la distribución de las salidas de agua dentro del tanque evapotranspirador, para que el agua se reparta en una forma más uniforme dentro del mismo.

Con el fin de poder destapar y limpiar, en caso de necesidad la tubería de cobre enterrada que conecta el tanque evapotranspirador sobre el regulador se instaló a la izquierda de este último un tapón con rosca que se puede remover en cualquier momento sin que se requiera desconectar ni desmontar ninguna otra parte, existiendo además el suficiente espacio para poder introducir una varilla limpiadora. Para poder observar el nivel del agua dentro del tanque evapotranspirador, se instaló un tubo transparente al principio de la tubería de cobre enterrada. Finalmente, se mejoró el flujo dentro de todo el sistema de tuberías, instalando tubos ventiladores en algunos sitios adecuados, debido que se pudo observar por las mangueras transparentes, que dentro de la propia tubería se formaban burbujas de aire, las cuales, en algunos casos llegaban a impedir el libre flujo del líquido.

---



---

### Procedimiento de cálculo.

Con el fin de ilustrar el procedimiento de cálculo de la evapotranspiración, se presenta la **tabla 2**, en la cual se muestra el cálculo de la misma en la estación vertedor Milpa Alta para el mes de junio de 1997, así como la forma que fue preparada para facilitar dicho cálculo. Para este caso se consideró que el nivel freático se mantiene constante a la misma profundidad (0.70 m).

Existen dos condiciones diferentes que se deben tomar en consideración para calcular el volumen evapotranspirado:

- **Días sin precipitación.** Para el caso de los días en los cuales no llueve, el agua proveniente del tanque de alimentación pasa al de regulación, donde es controlada por el flotador antes de pasar al tanque de evapotranspiración. En este último, la humedad es llevada por capilaridad y por las raíces a la capa superficial del suelo para ser evaporada y evapotranspirada. Consecuentemente, el volumen agregado cada 24 horas al tanque alimentador y medido con probeta equivale, en todos los casos, al volumen evapotranspirado durante un día, es decir:

$$\text{evapotranspiración} = \text{agua agregada}$$

- **Días con precipitación.** En el caso de estos días, mientras no llueva, una parte del volumen almacenado en el tanque de alimentación pasa a través del tanque de regulación hasta el evapotranspirador, tal como ocurre en los días en que no hay precipitación. Sin embargo, al empezar a caer la lluvia y producirse la infiltración, el agua infiltrada aumenta el nivel freático dentro del tanque de evapotranspiración. Debido a que todo el sistema está basado en el principio de vasos comunicantes, al subir dicho nivel freático, se produce el cierre automático de la válvula del flotador en el tanque regulador, con lo cual se impide el paso del agua proveniente del tanque de alimentación; el exceso de agua infiltrada se comienza a vaciar hacia el tanque de excedencias por un tubo vertedor, localizado dentro del tanque regulador. En forma semejante, el escurrimiento superficial pasa al tanque de excedencias mediante una tubería que descarga directamente a dicho tanque, instalado exclusivamente para este objeto.

La válvula del flotador se vuelve a abrir en aquel instante en el cual el agua, dentro del tanque de evapotranspiración, recupera su nivel normal, y se vuelven a manifestar demandas por evapotranspiración.

Consecuentemente, para el caso de los días lluviosos, la evapotranspiración se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Evapotranspiración} = \text{precipitación} + \text{agua agregada} - (\text{volumen escurrido} + \text{volumen infiltrado})$$

Se ha podido observar en los evapotranspirómetros instalados en la cuenca del río Milpa Alta que la infiltración total producida por una cierta precipitación específica ocurra en un término de 24 a 48 horas.

En la actualidad, se instalan evaporímetros de este tipo en las cuencas de los ríos Milpa Alta y Tizar, con el fin de tener un valor auxiliar que guíe en la determinación de las pérdidas por evaporación y evapotranspiración.

---



---

DIA DE LA OBSERV. (8 h)	LUGAR	EVAPOTRANSPIROMETRO NUM. (1)								EVAPOTRANSPIROMETRO NUM. (2)								PROMEDIOS			DIA DEL FENOMENO
		AGUA AGREGADA		AGUA RECOLECTA				EVAPOTRANSPIRACION	AGUA AGREGADA		AGUA RECOLECTA				EVAPOTRANSPIRACION	ESCUADRA	TEMPERATURA	EVAPOTRANSPIRACION			
		litros	mm	litros	mm	litros	mm		litros	mm	litros	mm	litros	mm					mm	mm	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)		
								2.4-(6.8)							2.11-(13.15)	5.11	2.5	5.16			
2	0.1	1.15	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	4.950	1.400	1.100	0.00	0.00	0.00	0.00	3.900	0.000	0.000	3.995	1		
3	4.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.430	5.800	2.900	0.00	0.00	0.00	0.00	1.300	0.000	0.000	1.300	2		
4	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.200	1.700	0.00	0.00	0.00	0.00	2.300	0.000	0.000	2.300	3		
5	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.150	0.170	0.00	0.00	0.00	0.00	4.430	0.000	0.000	4.430	4		
6	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	5		
7	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	6		
8	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	7		
9	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	8		
10	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	9		
11	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	10		
12	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	11		
13	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	12		
14	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	13		
15	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	14		
16	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	15		
17	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	16		
18	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	17		
19	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	18		
20	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	19		
21	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	20		
22	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	21		
23	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	22		
24	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	23		
25	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	24		
26	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	25		
27	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	26		
28	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	27		
29	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	28		
30	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	29		
31	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	30		
SUMA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	31		
PRM.	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000			

DATOS ADICIONALES:						TEMPERATURA EN EL MES EN °C								
CICLO DE LLUVIAS														
DURACION	PRECIP. TOTAL	RECUBRIMIENTO	INFLUENCIA	EVAPOTRANSPIRACION		Máxima	Mínima	Media	Máxima en 24 hs.	Mínima en 24 hs.	Media en 24 hs.	Total en 31 días		
DÍAS	mm	mm	%	mm	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	mm	mm	mm
10.														
20.														
30.														
50.														

No. días de r. = 2. -- 2. -- 2. --  
 11.100 + 0.113 + 0.000 + 11.100 + 11.111 --  
 11.100 + 0.113 + 0.000 + 11.111 --  
 Prom. 0.0 + 0.1 + 0.1 + 0.1 --  
 No. % = 1.1% + 0.0% + 0.0%

TEMPERATURA EN EL MES EN °C  
 Máxima 28.3 Día 28  
 Mínima 7.7 Día 6  
 Media 17.3  
 Máxima en 24 hs. 28.3 Día 28  
 Mínima en 24 hs. 7.7 Día 6  
 Media en 24 hs. 17.3  
 Total en 31 días 11.111  
 EVAPOTRANSPIRACION EN mm  
 Máxima en 24 hs. 1.80 Día 1  
 Mínima en 24 hs. 1.90 Día 23  
 Media en 24 hs. 4.80  
 Total 126.226  
 EVAPOTRANSPIRACION (mm)  
 Máxima en 24 hs. 3.995 Día 1  
 Mínima en 24 hs. 0.000 Día 5  
 Media en 24 hs. 4.177

Tabla 2. TABLA DE EVAPOTRANSPIRACION.

---

---

**CAPITULO IV**

**VIENTO, TEMPERATURA Y HUMEDAD**

---

---

## IV.1 VIENTO

### 4.1.1 INTRODUCCION

Una parte de la energía de radiación solar que llega a la tierra se transforma finalmente en energía cinética de los gases de la atmósfera, cuyas moléculas están en consecuencia siempre en movimiento.

El viento es el movimiento natural del aire atmosférico. En meteorología, esta palabra se refiere, en general, a un movimiento de conjunto del aire cerca de la superficie terrestre o en altitud.

El viento sufre generalmente fluctuaciones rápidas. El grado de perturbación aportado por estas fluctuaciones se expresa con el término turbulencia. Calma es la ausencia de todo movimiento perceptible del aire.

El movimiento del aire raramente es regular. Corrientemente es turbulento, con torbellinos de forma y dimensiones variadas, que se desarrollan en el aire y perturban su flujo. El efecto de la turbulencia cerca de la superficie terrestre es la producción de variaciones rápidas e irregulares de la velocidad y de la dirección del viento. Estas fluctuaciones de frecuencia elevada son independientes unas de otras.

La velocidad, la dirección y la turbulencia del viento, se miden preferentemente con la ayuda de instrumentos, pero cuando es imposible, se les puede evaluar a estima. Esto es, por ejemplo, lo que ocurre cuando la velocidad del viento es inferior a 2 nudos, pues con velocidades débiles, los instrumentos son poco sensibles y dejan de ser precisos.

#### Variaciones del viento.

Cuando se habla de variaciones de la velocidad del viento, es preciso distinguir cuidadosamente entre rachas y turbonadas.

Una racha es un aumento brusco del viento con respecto a su velocidad media tomada en un cierto intervalo de tiempo. Su duración es menor que la de una turbonada y va seguida de un debilitamiento o amaine del viento.

La turbonada es un viento fuerte que se inicia bruscamente, dura algunos minutos y después se calma también rápidamente. Se le define con más precisión como un incremento brusco, desde 16 nudos al menos, de la velocidad del viento, alcanzando 22 nudos como mínimo y una duración de un minuto.

En la proximidad de las montañas, en los valles, cerca de las costas, se observan durante el día y por la noche variaciones notables de la velocidad del viento en superficie. Es lo que se llama **variación diurna del viento**.

En el interior de los continentes, aún siendo la naturaleza del terreno muy semejante, se observa a menudo una notable variación de la velocidad del viento en el transcurso del día. Alcanza su máximo entre el mediodía y la caída de la tarde a causa de la transferencia de la cantidad de movimiento por la convección de las capas superiores de la atmósfera hacia las capas bajas. Cuando, al final de la tarde, desciende la temperatura, la convección disminuye y el viento también. Alcanza su mínimo hacia el alba.

---

---

## Fuerzas que actúan sobre el aire en movimiento

Las presiones reducidas al nivel del mar, medidas en dos localidades, son en general diferentes. El gradiente de presión es el índice de variación de la presión en relación con la distancia horizontal, contada desde las altas presiones hacia las bajas.

En el sentido del gradiente de presión se ejerce una fuerza sobre cada partícula de aire y se podría esperar que se viera el desplazamiento de las partículas de aire desde las altas hacia las bajas presiones. En la realidad, el aire se desplaza raramente en esta dirección. Además, hay que tener en cuenta la rotación de la Tierra. Un observador en pie sobre la superficie terrestre gira con ella en realidad, por efecto de la rotación de la misma. El aire en movimiento parece sufrir una desviación, este es el **efecto de Coriolis**.

Se puede tener en cuenta el efecto Coriolis suponiendo que existe una fuerza, la **fuerza Coriolis**, que actúa sobre el aire. Su valor es proporcional a la velocidad del viento con relación a la superficie terrestre y, para una misma velocidad, varía con la latitud; nula en el ecuador, tiene su máximo en los polos.

En el hemisferio norte, la fuerza Coriolis parece desviar el aire hacia la derecha colocándose en el sentido del movimiento. En el hemisferio sur, la desviación se dirige hacia la izquierda.

Otra fuerza que actúa sobre las partículas del aire es la del **rozamiento**. Existe, siempre que el aire está en movimiento relativo, sea con respecto a la superficie terrestre, sea con respecto a las capas adyacentes. Se dirige en sentido inverso al movimiento relativo.

La fuerza de rozamiento tiene mayor valor cerca de la superficie terrestre y el aire que alcanza una capa de un kilómetro, aproximadamente, se dice que está en la capa de rozamiento o capa límite. Por encima de la capa límite el rozamiento es despreciable a menudo.

**Viento geostrófico:** Considérese una partícula de aire en movimiento horizontal de velocidad constante en una región donde el rozamiento es despreciable. Las fuerzas que actúan sobre la partícula son: la fuerza debida al gradiente de presión y la fuerza de Coriolis.

Cuando estas dos fuerzas son exactamente iguales y opuestas no pueden provocar desviación del movimiento hacia la derecha o la izquierda. Se dice en este caso que el movimiento es geostrófico. La **fig. 41** muestra cómo se puede realizar este equilibrio en el hemisferio norte. Las condiciones correspondientes en el hemisferio sur se representan en la **fig. 42**.

Habiéndose establecido que el movimiento geostrófico no se desvía a derecha ni a izquierda y que es horizontal, el aire corre sobre el globo terrestre siguiendo un gran círculo. Para una latitud determinada hay una velocidad de viento tal que la fuerza de Coriolis equilibra exactamente a la fuerza del gradiente de presión, esta es la velocidad del viento geostrófico.

Se puede determinar el viento geostrófico sobre un mapa sinóptico, con la ayuda de una escala de viento geostrófico, cuando las isobaras son rectilíneas, o sea paralelas a los círculos máximos.

No se puede determinar la velocidad del viento geostrófico sobre el ecuador donde la fuerza de Coriolis es nula. En ausencia de otras fuerzas, el aire es dirigido allí en la dirección del gradiente de presión, es decir desde las altas hacia las bajas presiones. En realidad, la fuerza de Coriolis es débil en las bajas latitudes y el movimiento es raramente geostrófico entre 15°N y 15°S.

---

---

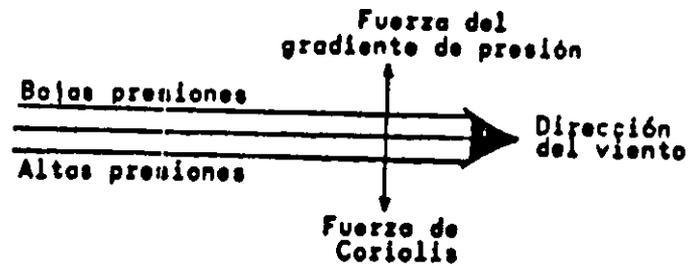


fig. 41 MOVIMIENTO GEOSTROFICO EN EL HEMISFERIO NORTE.

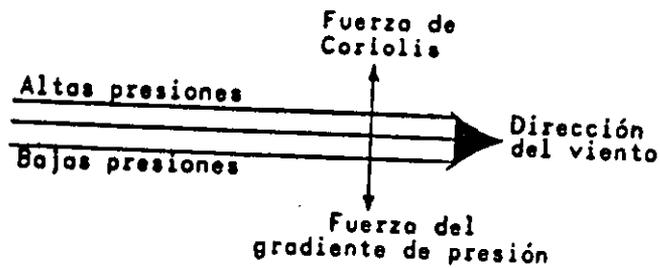


fig. 42 MOVIMIENTO GEOSTROFICO EN EL HEMISFERIO SUR.

---

---

**Viento del gradiente.** Considérese de nuevo el movimiento de una partícula de aire que se desplaza horizontalmente a velocidad constante en una región donde el rozamiento es despreciable. Pero supóngase ahora que la fuerza de Coriolis y la fuerza del gradiente de presión no se equilibran. En estas condiciones, el movimiento se curva hacia la derecha o la izquierda.

A una latitud dada, siguiendo la velocidad del viento, la fuerza de Coriolis puede ser más grande que la fuerza del gradiente de presión.

Se llama viento del gradiente al movimiento horizontal, a velocidad constante y sin rozamiento, lo que implica que el movimiento es tangente a las isobaras en todo punto. La velocidad del viento correspondiente a estas condiciones es la velocidad del viento del gradiente.

Se puede observar el viento del gradiente en un solo punto o a todo lo largo de la trayectoria del aire. En el primer caso, la dirección del viento es tangente a la isobara en el punto considerado. Cuando se tiene el viento del gradiente en una gran extensión, el movimiento sigue las isobaras a todo lo largo de las trayectorias, pero esto no es posible más que si las isobaras están inmóviles. En estas condiciones, la dirección del viento es tangente en todo punto a la isobara a todo lo largo de la trayectoria.

Cuando se observa el movimiento debido al gradiente sobre una cierta extensión, el aire se desplaza siguiendo las isobaras curvas del mapa sinóptico. Si la fuerza del gradiente de presión prevalece sobre la fuerza de Coriolis, el movimiento se curva alrededor de la zona de bajas presiones. El esquema a) de la **fig. 43** muestra de qué manera se puede representar esta situación en el hemisferio norte. La configuración correspondiente para el hemisferio sur está representada por el esquema b).

Se notará que, en el hemisferio norte, el movimiento alrededor de una baja se realiza en sentido inverso al de las agujas del reloj, porque la fuerza de Coriolis se dirige hacia la derecha del viento. En el hemisferio sur, por el contrario, el movimiento se realiza en el sentido de las agujas del reloj. Sin embargo, en uno y otro caso el movimiento se llama ciclónico.

El movimiento ciclónico tiene el mismo sentido que la rotación de la tierra. Hemos visto, que esta rotación, vista desde un lugar situado en el polo norte, parece tener el sentido inverso al de las agujas del reloj, por el contrario, parece ser al revés desde el polo sur. El movimiento es en sentido inverso de la rotación terrestre en cada uno de los hemisferios. El movimiento alrededor de una zona de alta presión se llama anticiclónico.

Como en el caso del movimiento geostrófico, el rozamiento es despreciable; sin embargo, como las isobaras son curvas a menudo, el viento del gradiente es en general una mejor aproximación al movimiento real que el viento geostrófico.

#### **4.2.2 Instrumentación y medición.**

##### **Principios generales de la medida del viento.**

El viento puede ser considerado como un vector definido por una magnitud, la velocidad del viento que depende de la diferencia de presiones entre dos zonas y la distancia media que existe entre ambas, y una dirección. La dirección del viento se indica por el punto de donde procede; así, viento Sur indica un viento procedente del sur y que sopla del sur hacia el norte.

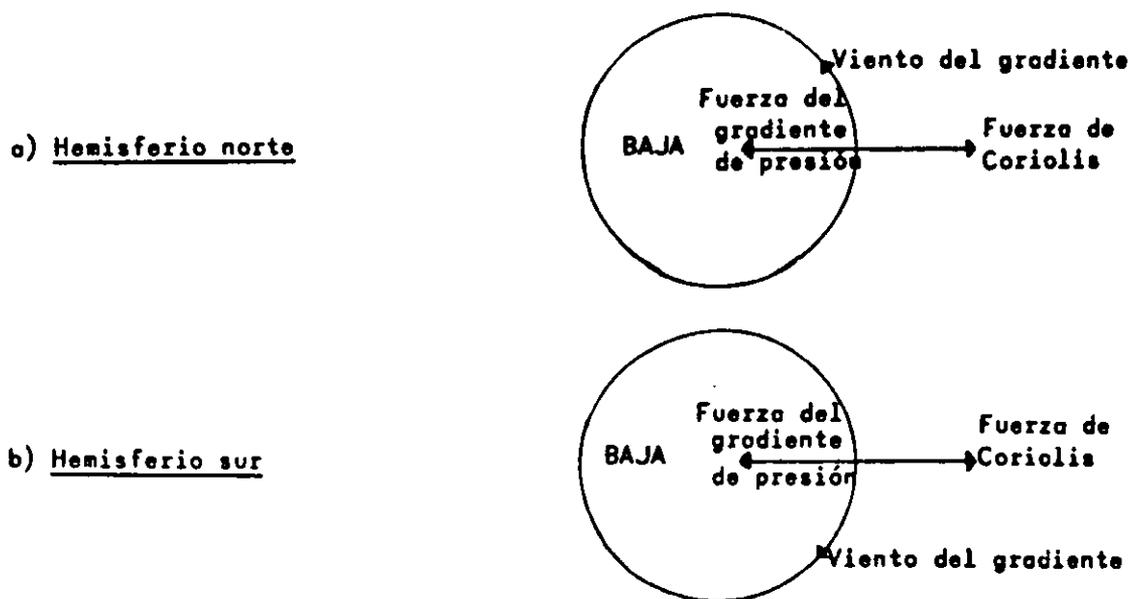


fig. 43 VIENTO DEL GRADIENTE ALREDEDOR DE UNA BAJA.

A veces es difícil medir la velocidad y dirección del viento con exactitud suficiente. El movimiento del aire es perturbado por numerosos factores tales como la rugosidad del suelo, la naturaleza de la superficie, las fuentes de calor, la presencia de edificios, etc.

Además, por regla general, la velocidad del viento aumenta con la altura sobre la superficie terrestre. En consecuencia, para obtener medidas comparables en lugares diferentes, es preciso adoptar una altura tipo para la medida del viento en superficie.

La altura normalizada de los instrumentos de medida del viento en superficie es de 10 m sobre el suelo, en terreno llano y descubierto. Se define como terreno descubierto aquel en que la distancia entre los instrumentos y todo obstáculo es al menos igual a diez veces la altura de este obstáculo.

**Dirección.** Esta se expresa en grados contados a partir del Norte geográfico en el sentido de las manecillas del reloj, o bien, se expresa en rumbos magnéticos dados por la brújula.

Sin embargo, para los mensajes cifrados, la dirección del viento debe expresarse en la escala 00-36. El **cuadro 4** da las cifras de la clave y su equivalente exacto en grados correspondientes a los 32 rumbos de la rosa de los vientos (**fig. 44**).

**Velocidad.** Se expresa en nudos; un nudo es igual a una milla marina por hora o 0.51 m/s.

La velocidad del viento se puede medir de distintas maneras. La más sencilla es la observación directa del efecto del viento en la superficie terrestre sin utilizar instrumentos. La escala Beaufort, establecida en 1905 por el Almirante Sir Francis Beaufort con objeto de estimar la velocidad del viento en el mar, más tarde fue adoptada para utilizarse en tierra. Después se le añadieron equivalencias en velocidad del viento para cada clase de efectos observados.

Los instrumentos de medida y registro de la velocidad del viento han reducido considerablemente la utilización de la escala Beaufort, particularmente para las escalas terrestre. Sin embargo, constituye un medio cómodo para estimar la velocidad del viento a falta de otros procedimientos. El **cuadro 5** da las equivalencias entre los grados de la escala Beaufort y la velocidad del viento.

Dirección en la rosa de los vientos	Equivalente exacto en grados	Cifras de la clave	Dirección en la rosa de los vientos	Equivalente exacto en grados	Cifras de la clave
Calma	-	00	S cuarto SW	191,25	19
N cuatro NE	11,25	01	SSW	202,5	20
NNE	22,5	02	SW cuarto S	213,75	21
NE cuarto N	33,75	03	SW	225	23
NE	45	05	SW cuarto W	236,25	24
NE cuarto E	56,25	06	WSW	247,5	25
ENE	67,5	07	W cuarto S	258,75	26
E cuarto N	78,75	08	W	270	27
E	90	09	W cuarto NW	281,25	28
E cuarto SE	101,25	10	WNW	292,5	29
ESE	112,5	11	NW cuarto W	303,75	30
SE cuarto E	123,75	12	NW	315	32
SE	135	14	NW cuarto N	326,25	33
SE cuarto S	146,25	15	NNW	337,5	34
SSE	157,5	16	N cuarto NW	348,75	35
S cuarto SE	168,75	17	N	360	36
S	180	18	Variable	-	99

cuadro 4. DIRECCION DEL VIENTO.  
EQUIVALENCIA EN LOS RUMBOS DE LA ROSA DE LOS VIENTOS.

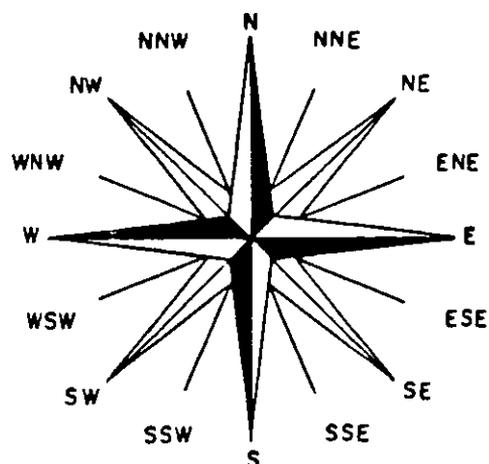


fig. 44 ROSA DE LOS VIENTOS.

Fuerza Beaufort	Nombre	Equivalencia de la velocidad a una altura tipo de 10 metros sobre terreno llano y descubierto				Características para la estimación de la velocidad en tierra
		nudos	metros/s	km/h	m.p.h.	
0	Calma	1	0-0,2	1	1	Calma; el humo se eleva verticalmente
1	Ventolina	1-3	0,3-1,5	1-5	1-3	La dirección del viento se revela por el movimiento del humo, pero no por las veletas
2	Brisa muy débil	4-6	1,6-3,3	6-11	4-7	El viento se percibe en el rostro; las hojas se agitan; la veleta se mueve
3	Brisa débil	7-10	3,4-5,4	12-19	8-12	Hojas y ramitas agitadas constantemente; el viento despliega las banderolas
4	Brisa moderada	11-16	5,5-7,9	20-28	13-18	El viento levanta polvo y hojitas de papel; ramitas agitadas
5	Brisa fresca	17-21	8,0-10,7	29-38	19-24	Los arbustos con hoja se balancean; se forman olitas con cresta en las aguas interiores (estanques)
6	Viento fresco	22-27	10,8-13,8	39-49	25-31	Las grandes ramas se agitan; los hilos telegráficos silban; el uso del paraguas se hace difícil
7	Viento fuerte	28-33	13,9-17,1	50-61	32-38	Los árboles enteros se agitan; la marcha en contra del viento es penosa
8	Viento duro	34-40	17,2-20,7	62-74	39-46	El viento rompe las ramas; es imposible la marcha contra el viento
9	Viento muy duro	41-47	20,8-24,4	75-88	47-54	El viento ocasiona ligeros daños en las viviendas (arranca cañerías, chimeneas, tejados)
10	Temporal	48-55	24,5-28,4	89-102	55-63	Raro en los continentes; árboles arrancados; importantes daños en las viviendas
11	Borrasca	56-63	28,5-32,6	103-117	64-72	Observado muy raramente; acompañado de extensos destrozos
12	Huracán	64 o más	32,7 o más	118 o más	73 o más	Estragos graves y extensos

cuadro 5. ESCALA DE BEAUFORT

---



---

### Aparatos que miden las componentes del viento

**Veleta.** Es un instrumento que permite determinar o registrar la "dirección" del viento en superficie y su velocidad instantánea. Generalmente, posee una rosa de los vientos y una flecha cuya punta se mueve hacia la dirección de donde sopla el viento (**fig. 45**); además de una lámina que es movida por éste sobre una escala que indica su velocidad en un instante determinado. Nos permite determinar la velocidad del viento observando el puente-arco y contando el número de barritas que señale la placa vertical al ser impulsada y desplazada al recibir el impacto del viento sobre la cara expuesta y determinando su equivalencia de acuerdo con la **tabla 3**.

**Anemómetro totalizador de cazoletas.** Este aparato se compone de 3 brazos horizontales conteniendo cada uno una cazoleta; éstos se hallan fijos sobre un eje vertical (**fig. 46**).

El impulso del viento es detectado por las cazoletas, las que por medio de un sistema de engranajes y un contador de vueltas (semejante al velocímetro de un automóvil) van registrando el recorrido del viento en su contador de kilómetros y metros.

Es posible conocer la velocidad para cierto espacio de tiempo multiplicando la diferencia de lecturas del inicio y final por la constante del aparato.

Por ejemplo, se realiza una lectura todos los días a las 7 AM y la constante del aparato (C.A.) es 100; por lo que la velocidad media diaria se calcula de la siguiente manera:

Octubre 20 lectura del anemómetro = 434182

Octubre 21 lectura del anemómetro = 432922

Diferencia = 1260  
C.A. = 100

$$V = 1260 \times 100 = 126\,000 \text{ m/día}$$

o

$$V = 5.250 \text{ km/h}$$

o

$$V = 5\,250 \text{ m/h} \times \frac{h}{3\,600 \text{ s}} = 1.46 \text{ m/s}$$

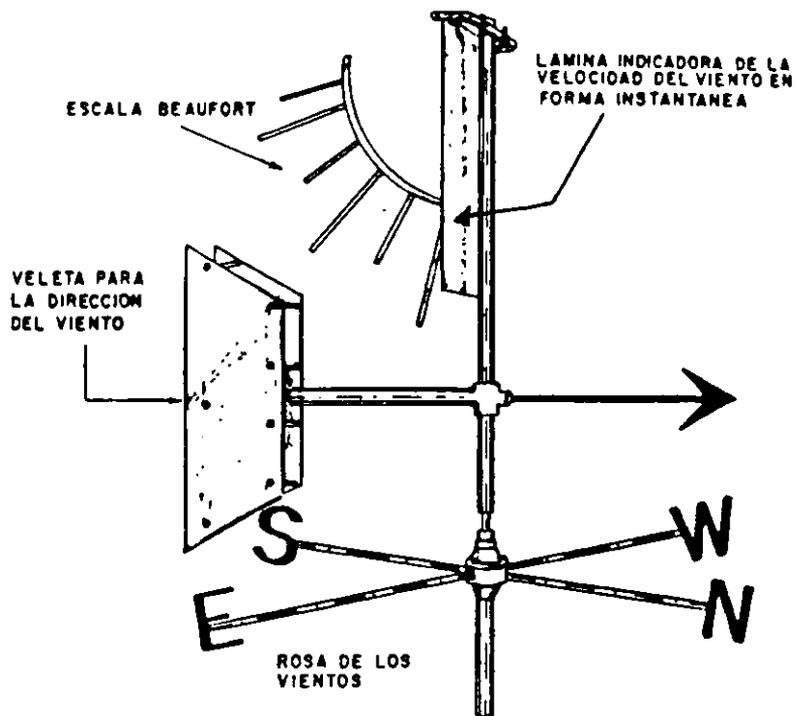


fig. 45 ESQUEMA DE LA VELETA.

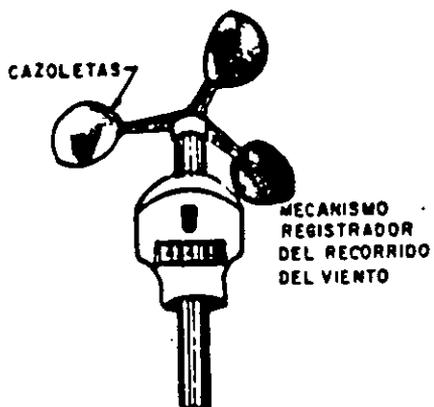


fig. 46 ANEMOMETRO TOTALIZADOR.

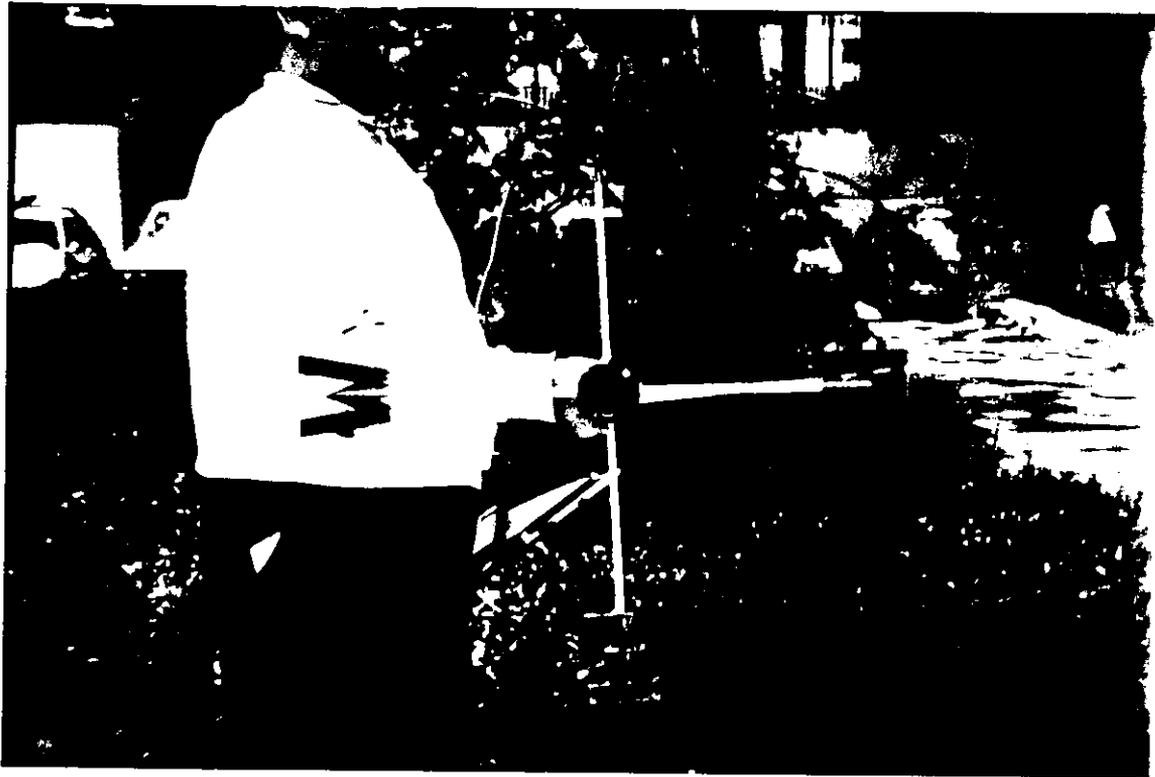


fig. 47 ROSA DE LOS VIENTOS.

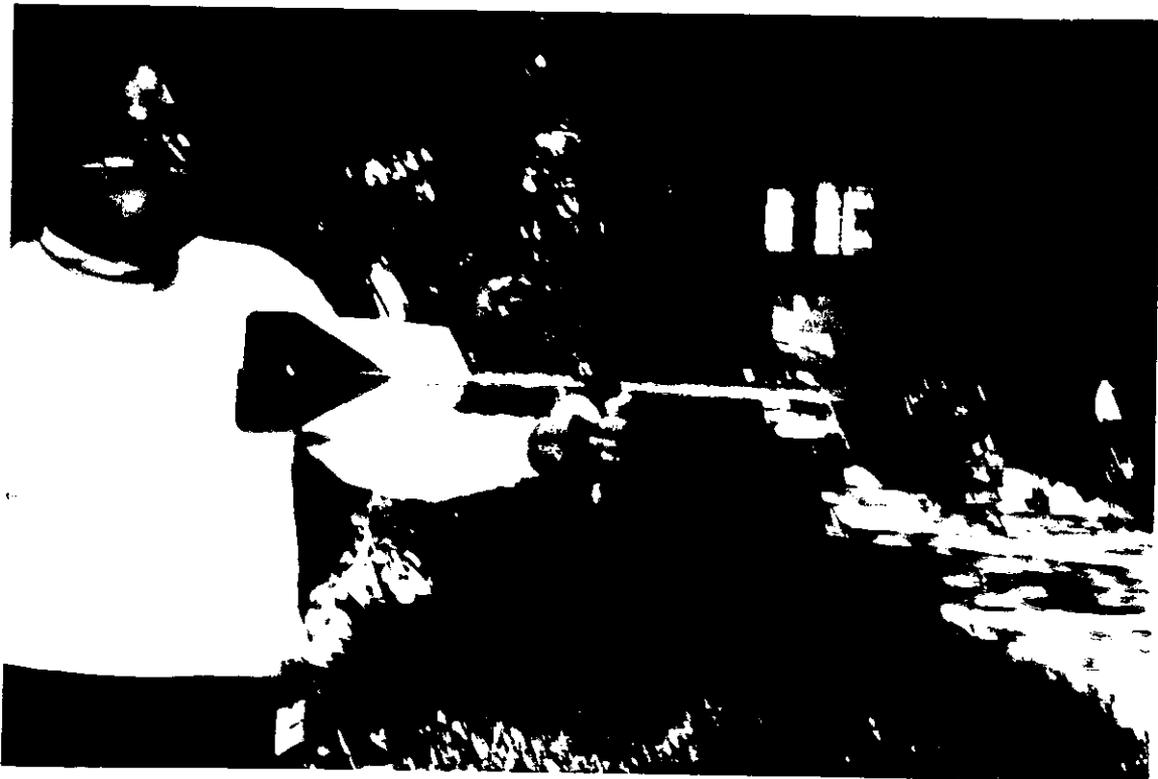


fig. 48 VELETA PARA LA DIRECCION DEL VIENTO.



fig. 49 ESCALA BEAUFORT.



fig. 50 LAMINA INDICADORA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN FORMA INSTANTANEA.



fig. 51 VELETA COMPLETA.

NUMERO DE BARRAS	METROS/SEGUNDOS
1.0	2
1.5	3
2.0	4
2.5	5
3.0	6
3.5	7
4.0	8
4.5	9
5.0	10
5.5	12
6.0	14
6.5	17
7.0	20

**tabla 3. EQUIVALENCIA DEL NUMERO DE BARRAS A METROS/SEGUNDO.**

Por lo cual, una forma práctica de obtener esta velocidad de manera rápida, es:  
 Diferencia de lecturas/24 = km/h  $\text{km/h}/3.6 = \text{m/s}$

Por lo que para el ejemplo, se tiene:  
 $1260/24 = 5.250 \text{ km/h}$ ;  $5.25/3.6 = 1.46 \text{ m/s}$

### Anemógrafo mecánico

En este aparato graficador se obtiene el recorrido y la dirección del viento. Su elemento sensible está constituido por unas cazoletas como las del anemómetro para el recorrido y por una veleta para la dirección del viento (fig. 52).

Funciona por medio de un sistema de engranajes y a diferencia de los demás aparatos graficadores, éste no utiliza una plumilla con tinta para graficar el fenómeno, sino que utiliza un tipo de gráfica especial con una capa fina de cera, donde por medio de unos rodillos imprime los elementos del viento.

La gráfica, que es un rollo, tiene una duración de un mes (fig. 52); en ella se puede apreciar en la parte izquierda la dirección del viento según el rayado y la velocidad en la parte derecha por medio de la pendiente de las líneas, para lo cual se utilizan unas plantillas (fig. 53) que presentan varias líneas modelo con sus respectivos valores en m/s. A fin de obtener la velocidad se sobrepone la plantilla B en la gráfica y se ve cuál de las líneas coincide con las de ésta y se le asigna este valor; cuando aparecen dos líneas en una hora, como en nuestro ejemplo de las 12 a las 13 PM, se toma la que tenga mayor longitud. La plantilla A sirve para verificar el valor obtenido por la plantilla B y ésta se coloca en el lado izquierdo donde se tiene la dirección del viento,

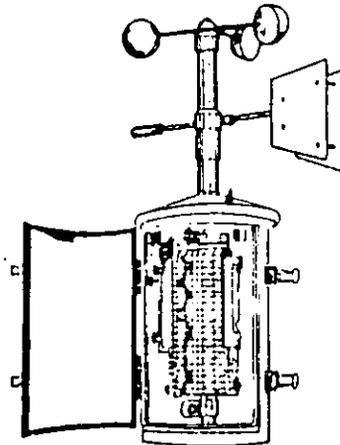
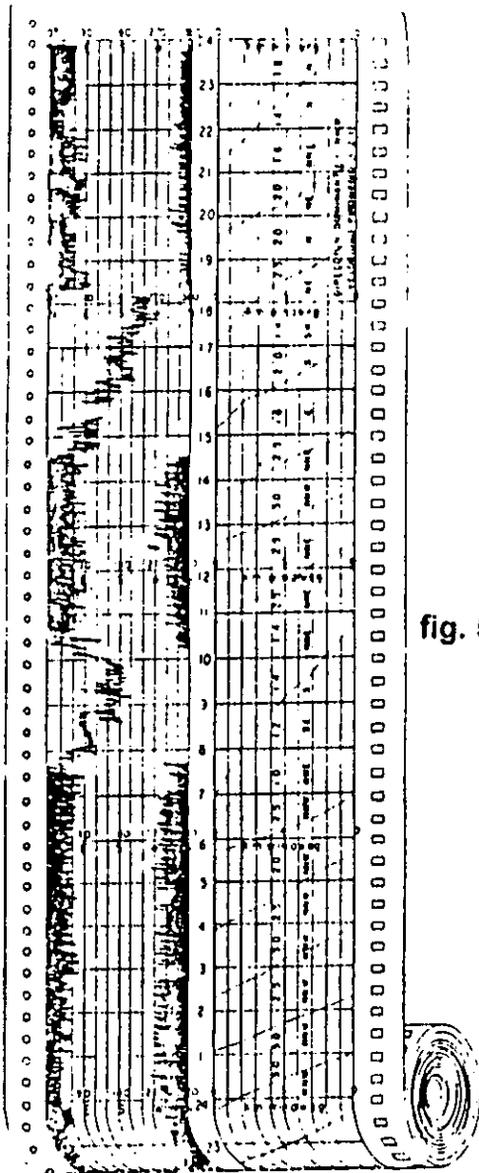


fig. 52 ANEMOGRAFO MECANICO Y SU GRAFICA

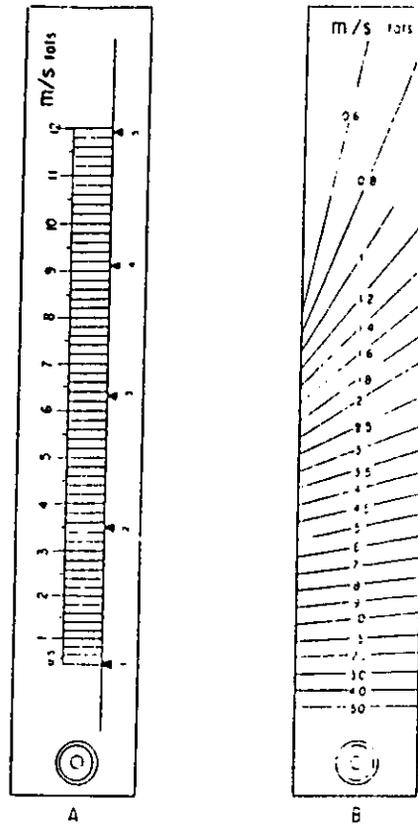


fig. 53 PLANTILLAS DEL ANEMOGRAFO.

### **Anemocinemógrafo**

Este aparato, además de registrar sin intermisión y de la misma forma que los otros aparatos el recorrido y dirección del viento, lo hace también con ráfagas de éste, es decir, las intensidades máximas, para lo cual usa un tubo de presión.

Este instrumento consta principalmente de un dispositivo para medir las variaciones de presión conducidas por el viento que sopla en el interior de un tubo. El tubo está unido a una veleta, para asegurar su orientación en la dirección del viento y se conecta con otro tubo a un recipiente con agua donde se encuentra un cuerpo flotante (fig. 54).

Un aumento de la velocidad del viento incrementa la presión dentro del cuerpo flotante y hace que éste ascienda. Los movimientos de dicho cuerpo son registrados por una plumilla unida que los inscribe sobre una gráfica. El anemocinemógrafo se instala sobre una torre sólida a 12 m de altura.

La gráfica del anemocinemógrafo se construye a diario y se cambia todos los días a las 8 AM. En ella se puede ver las diferentes direcciones del viento en el transcurso de las horas diurnas y la velocidad se obtiene por medio de las pendientes de las líneas, para lo cual se utiliza una plantilla (fig. 55) que presenta varias líneas modelo con sus respectivos valores en km/h.

A fin de conocer la velocidad, se sobrepone esta plantilla en las líneas de velocidad de esta gráfica, se ve cuál de las líneas de la plantilla coincide y se le asigna ese valor. Para conocer la velocidad de las líneas hacia arriba, se coloca la plantilla por el reverso. La velocidad máxima en km/h se determina para cada hora.

La velocidad media del viento dominante se obtiene sólo promediando las velocidades máximas horarias de la dirección dominante.

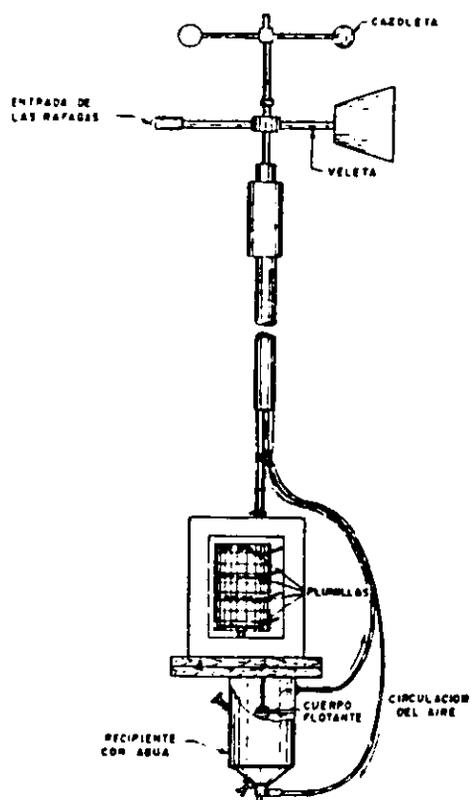


fig. 54 ANEMOCINEMOGRAFO.

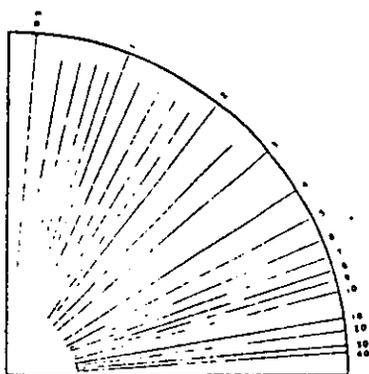


fig. 55 PLANTILLA PARA OBTENER LA VELOCIDAD DEL VIENTO.

---

---

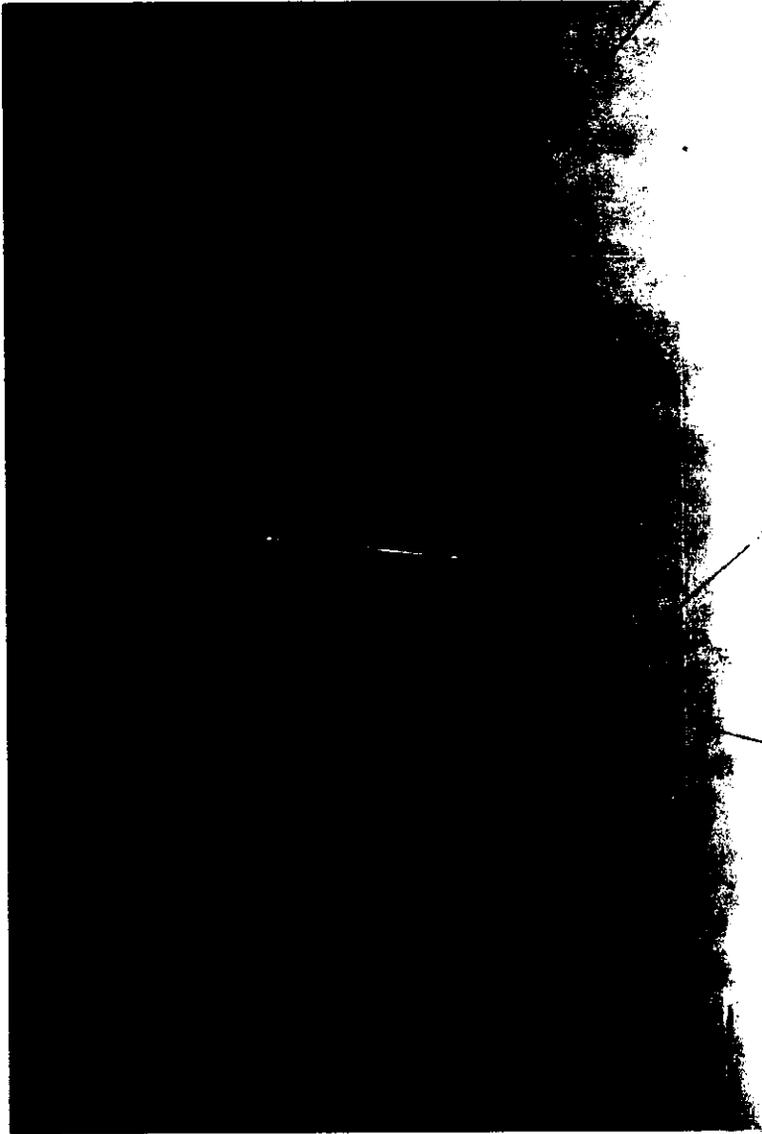
**Anemocinemógrafo del Servicio Meteorológico Nacional.** El equipo cuenta con tres sensores de viento, un anemómetro de tres cazoletas y dos veletas orientadas hacia el norte geográfico (**fig. 56**), además de un elemento indicador-registrador llamado anemocinemógrafo(**fig. 56**).

El anemocinemógrafo se complementa con un par de sistemas de corrimientos de papel con sus respectivas plumillas que, al mandar los sensores las señales al aparato, dejarán un registro de la velocidad y la dirección del viento con unidades de km/h y en grados o en los 36 rumbos geográficos, respectivamente.

Los instrumentos sensores se encuentran en la azotea del edificio que alberga al Servicio Meteorológico Nacional, y están colocados sobre una barra de aluminio instalada en el extremo superior de una estructura metálica con una altura de 5 metros, por otra parte, el anemocinemógrafo se ubica en la planta alta de dicho inmueble.

Los elementos sensores se encuentran conectados electrónicamente (**fig. 57**) tanto a los indicadores o carátulas, como a las plumillas y mecanismos de corrimiento del anemocinemógrafo (**fig. 58**).

El anemómetro es un generador eléctrico, que en cuanto más rápido gire mayor voltaje generará; el anemocinemógrafo al recibir el voltaje generado por las cazoletas lo representa cuantificándolo como la velocidad del viento en la carátula o indicador de velocidad (**fig. 59 a**) y, la orientación mostrada por las veletas será la dirección o ángulo de la aguja de la carátula de dirección (**fig. 59 b**); así, como este proceso se realiza al recibir las señales los indicadores, lo harán igualmente los mecanismos registradores y con ello se obtendrán las gráficas de velocidad y dirección del viento (**fig. 60**).



**fig. 56 ELEMENTOS SENSORES.**

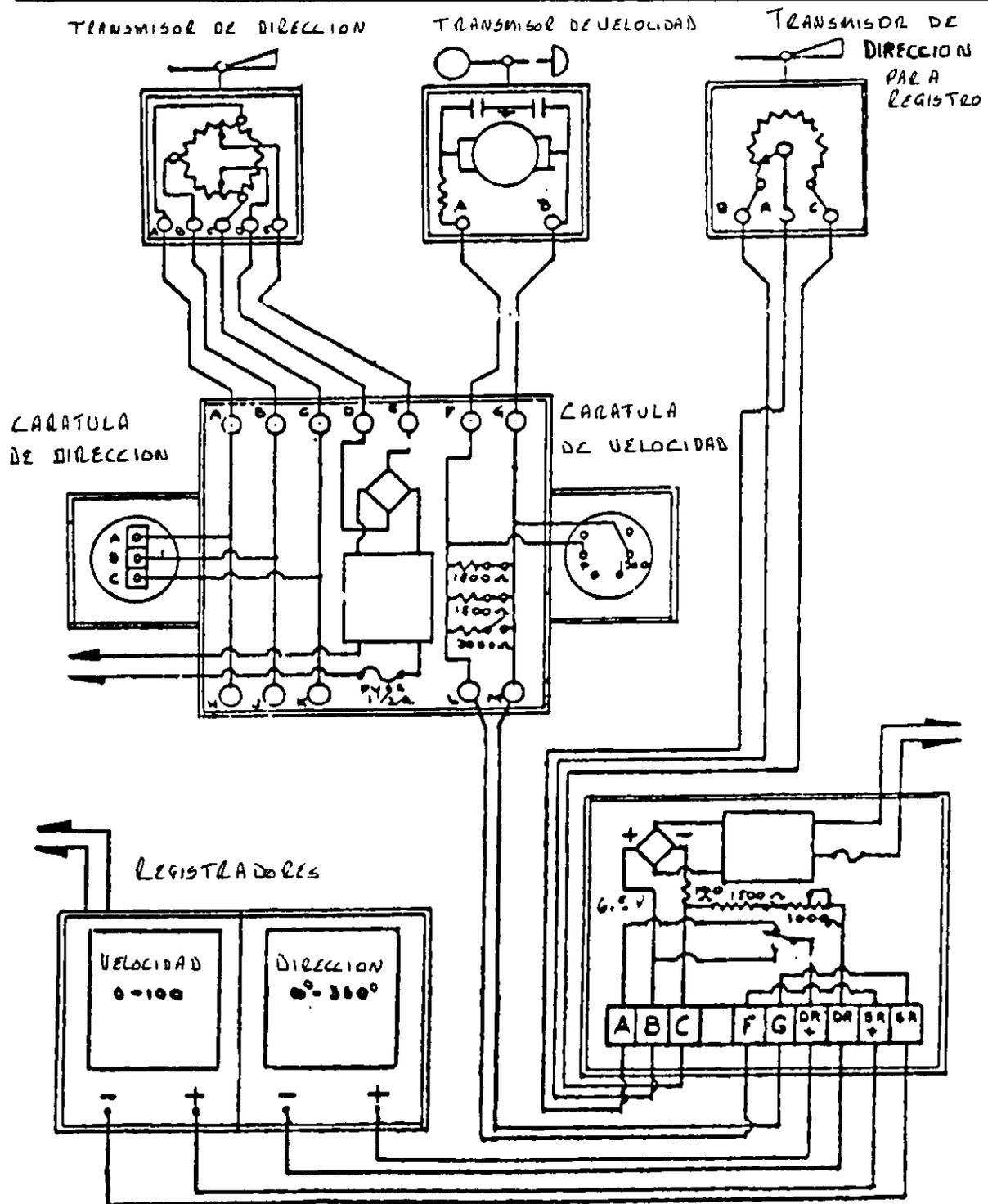


fig. 57 DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELECTRONICA ENTRE LOS ELEMENTOS SENSORES Y EL ANEMOCINEMÓGRAFO.

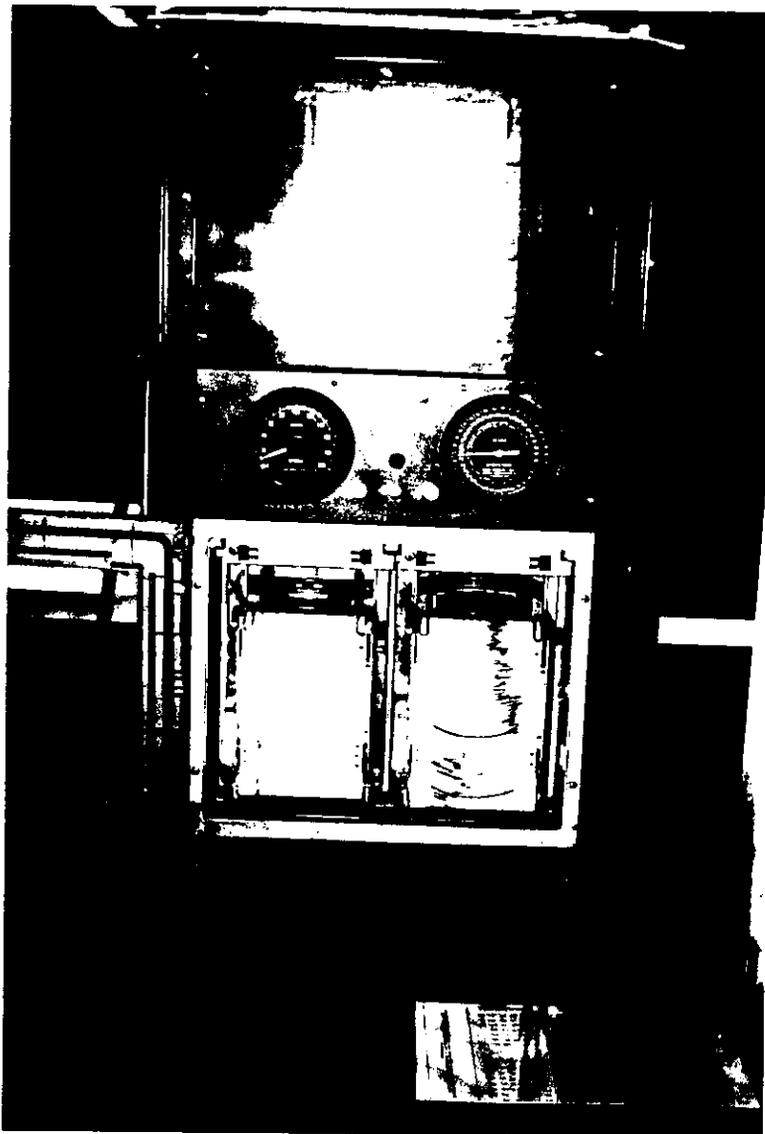


fig. 58 ANEMOCINEMOGRAFO ELECTRONICO.

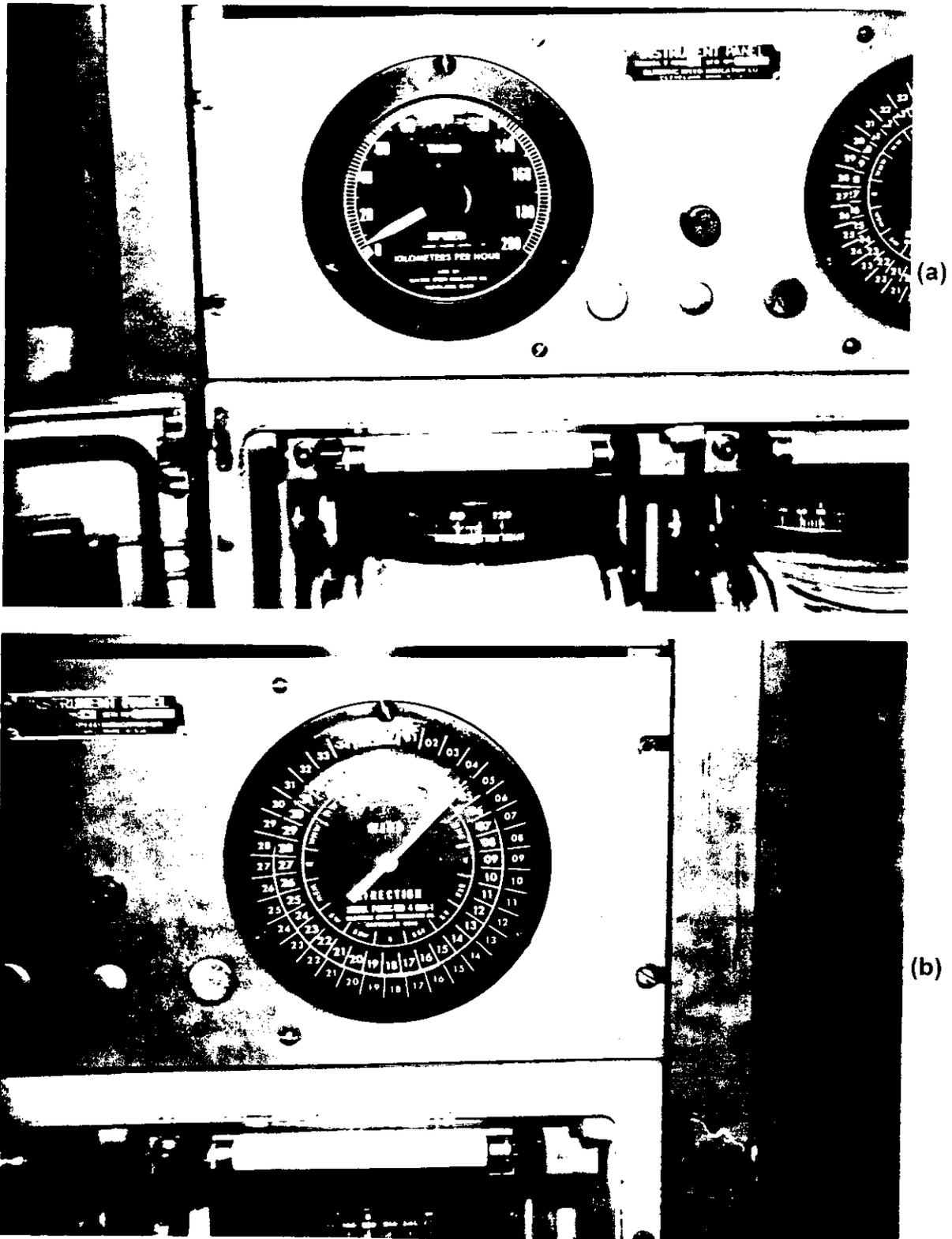
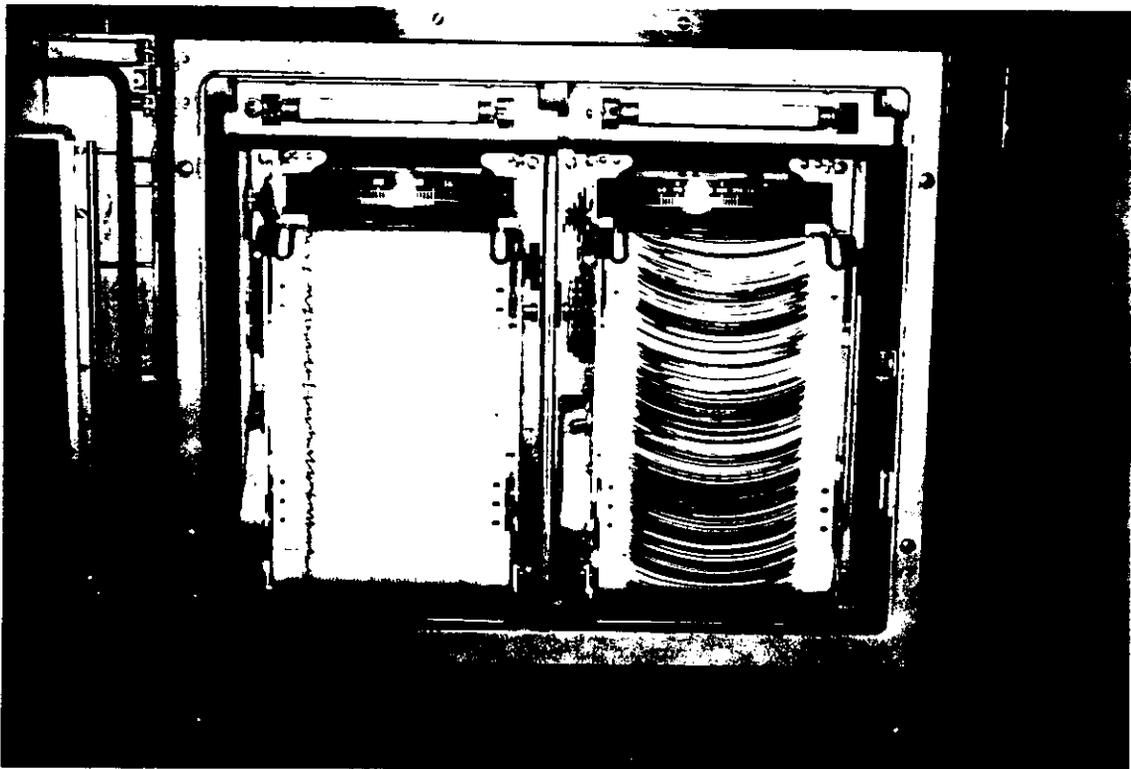


fig. 59 INDICADOR DE VELOCIDAD (a) Y DE DIRECCION (b).



**fig. 60 SISTEMAS REGISTRADORES DE VELOCIDAD Y DIRECCION.**

---



---

## IV.2 TEMPERATURA.

### 4.2.1 INTRODUCCION

El concepto más elemental de temperatura es el resultado de una sensación. En efecto, cuando se toca un cuerpo se dice que está caliente o frío, según la sensación que se experimente.

Pero esta idea es insuficiente. La temperatura es la condición que determina si el cuerpo es apto para transmitir calor a otros cuerpos o para recibir el calor transmitido por éstos. En un sistema compuesto por dos cuerpos, se dice que uno de ellos tiene mayor temperatura cuando cede calor al otro. Existen varias formas de transmisión de temperatura, que son por:

**Conducción.** Es el flujo de energía térmica de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura sin que haya transferencia de material, mediante interacciones atómicas o moleculares. Por impacto inelástico en el caso de fluidos (gas o líquido), oscilaciones en los sólidos no conductores de electricidad (metales). Por ejemplo: al poner una parte de una varilla de hierro en contacto con el fuego, se transmitirá el calor en toda ésta.

**Convección.** Es la transmisión de energía térmica en el propio cuerpo del fluido (gas o líquido) cuando se desplaza al estar en contacto con una fuente de calor. Una parte del fluido (la que está en contacto con la fuente de calor) al calentarse se dilata, disminuye su densidad y tiende a ascender y la otra parte, del fluido más fría y más densa, tiende a descender dando lugar a corrientes convectivas, las cuales producen así una mezcla de moléculas en el cuerpo del fluido; por ejemplo, el calentamiento libre o forzado del aire en una habitación (calefacción). Para que se produzca transmisión de calor por convección, antes debe haber un proceso de transmisión de calor por conducción.

**Radiación.** Es la emisión y propagación de energía por medio de ondas electromagnéticas, las cuales se desplazan a la velocidad de la luz (300 000 km/s) a través del espacio y sin intervención activa de la materia o, incluso, sin requerir necesariamente de un medio para su propagación. Un ejemplo común es la radiación que el Sol emite a la Tierra. Este tipo de transmisión se divide en:

- **Radiación electromagnética.** Es la emisión y propagación de ondas electromagnéticas (no necesitan para propagarse de ningún medio elástico y pueden hacerlo en el vacío)
- **Radiación corpuscular.** Está constituida por partículas materiales como electrones, protones, neutrones, etc. (los cuales contienen energía cinética).

### Escalas termométricas

Las escalas prácticas de temperatura se basan en dos puntos fijos que corresponden a temperaturas corrientes que pueden reproducirse fácilmente. Los dos puntos fijos reconocidos internacionalmente son el punto de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua.

• **Punto de fusión del hielo.** Es la temperatura a la cual el hielo puro se funde a la presión externa de 1 atm normal, a 45° de latitud.

• **Punto de ebullición del agua.** Es la temperatura a la cual el agua hierve cuando la presión externa es igual a 1 atm normal, a 45° de latitud.

## Escalas

**Centígrado o Celsius (°C).** Es la más común usada en un gran número de países, la cual se asigna el valor de 0° al punto de fusión del hielo y 100° al punto de ebullición del agua.

**Fahrenheit (°F).** Es usada en los países anglosajones, la cual da el valor de 32° al punto de fusión del hielo; 100° a la temperatura del cuerpo humano (equivalente a 36°C aproximadamente) y 212° al punto de ebullición del agua.

**Réaumur (°Re).** Usada en algunos países, da el valor de 0° al punto de fusión del hielo y 80° al punto de ebullición del agua.

## Escalas absolutas

Puesto que el límite inferior absoluto de temperatura puede ser localizado exactamente, pero nunca alcanzado, se han establecido escalas cuyo origen es el cero absoluto; así, se tiene:

**Absoluta o Kelvin (K).** La temperatura absoluta la definió lord Kelvin con la siguiente expresión:

$$T = \tau + 1/\gamma$$

T = temperatura absoluta.

$\tau$  = temperatura centígrada.

$\gamma$  = coeficiente de dilatación de los gases ideales a presión constante.

$$\gamma = 0.003663$$

donde  $1/\gamma = 273$

$$T = \tau + 273$$

Así la escala da el valor de 273 al punto de fusión del hielo y 373 al punto de ebullición del agua.

**Rankine.** Da el valor de 491.7 al punto de fusión del hielo y 671.7 al punto de ebullición del agua.

## Relación que existe entre las diferentes escalas termométricas.

Las relaciones que existen entre las diferentes escalas (fig. 61), se pueden obtener tomando como base la escala centígrada; se ejemplificará esto obteniendo la relación entre la escala centígrada y la Fahrenheit:

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{100} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180}$$

En el primer miembro de la ecuación planteada se tiene en el numerador °C y en el denominador la amplitud de la escala, en el segundo miembro en el numerador se tienen °F-32, se

le resta 32 para que parta de cero la escala y en el denominador se dé su amplitud (  $212 - 32 = 180$ ).

Despejando °C

$$^{\circ}\text{C} = \frac{100}{180} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

De esta forma se pueden obtener las demás relaciones, tomando en cuenta siempre que la escala que se va a relacionar debe partir de cero y tomarse su amplitud. Las otras relaciones:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{4} (^{\circ}\text{Re}) = 1.25 (^{\circ}\text{Re})$$

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{^{\circ}\text{Ra} - 491.7}{1.8}$$

Ejemplos de conversión de una escala a otra:

Convertir 22°C a grados Fahrenheit, Réaumur, Kelvin y Rankine:

- a Fahrenheit

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32) \quad \therefore \quad ^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32 = 1.8 ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 \times 22 + 32 = 71.6^{\circ}\text{F}$$

- a Réaumur

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{4} (^{\circ}\text{Re}) \quad \therefore \quad ^{\circ}\text{Re} = \frac{4}{5} (^{\circ}\text{C}) = 0.8 ^{\circ}\text{C}$$

$$^{\circ}\text{Re} = 0.8 \times 22 = 17.6 ^{\circ}\text{Re}$$

- a Kelvin

$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273 \quad \therefore \quad ^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{K} = 22 + 273 = 295^{\circ}\text{K}$$

- a Rankine

$$^{\circ}\text{C} = \frac{^{\circ}\text{Ra} - 491.7}{1.8} \quad \therefore \quad ^{\circ}\text{Ra} = 1.8 \times ^{\circ}\text{C} + 491.7$$

$$^{\circ}\text{Ra} = 1.8 \times 22 + 491.7 = 531.5 ^{\circ}\text{Ra}$$

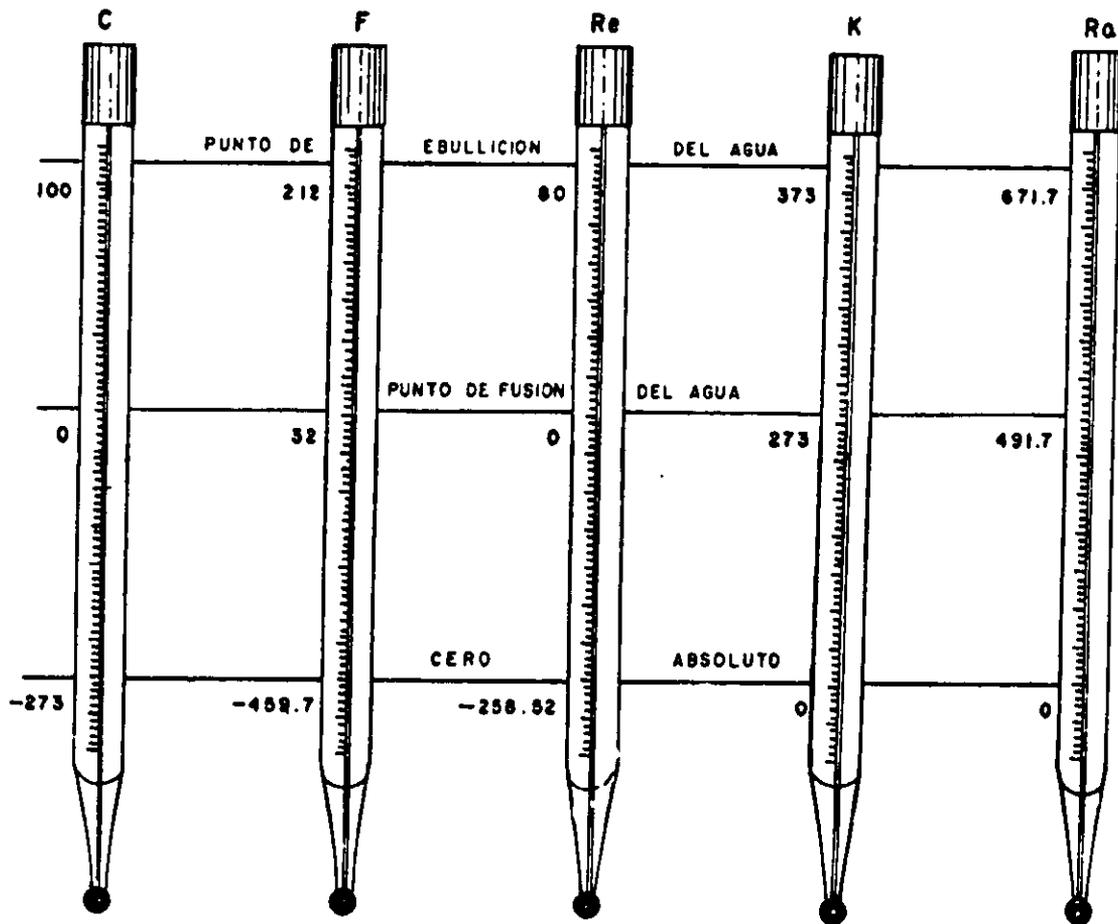


fig. 61 COMPARACION ENTRE LAS DIFERENTES ESCALAS TERMOMETRICAS.

---

---

Convertir 53°Re a grados Rankine

Primero, se convierten los grados Réaumur a centígrados

$$^{\circ}\text{C} = 1.25^{\circ}\text{Re}$$

$$^{\circ}\text{C} = 1.25 \times 53 = 66.25^{\circ}\text{C}$$

Segundo, se convierten los grados centígrados a Rankine

$$^{\circ}\text{Ra} = 1.8 \times ^{\circ}\text{C} + 491.7$$

$$^{\circ}\text{Ra} = 1.8 \times 66.25 + 491.7 = 610.95 ^{\circ}\text{Ra}$$

En forma análoga, se procede para la conversión de una escala (que no sea la centígrada) a otra (que no sea la centígrada).

#### 4.B.2 Instrumentación y medición.

Los procesos físicos basados en los efectos físicos del calor empleados por la termometría para medir la temperatura son:

- dilatación de un líquido encerrado en un tubo de vidrio,
- dilatación de un líquido dentro de una envoltura metálica y que provoca un aumento de presión,
- desarrollo de una fuerza electromotriz entre las soldaduras de un circuito formado por dos metales diferentes (termómetro de termopar),
- cambio de curvatura en una banda de metal compuesta por dos láminas metálicas que tienen coeficientes de dilatación diferentes y se encuentran soldadas en toda su longitud (termómetro de lámina bimetálica),
- variación de resistencia eléctrica de un hilo de platino, y
- variación de la resistencia de una mezcla especial de sustancias químicas (termómetro de termistancias).

#### Instalación de los termómetros.

Para poder obtener una correcta medición de la temperatura del aire, deben cumplirse los siguientes requisitos:

- Se debe poner en contacto el bulbo del termómetro con el aire dentro de la caseta o abrigo meteorológico, para evitar que los objetos cercanos transfieran calor por radiación o por reflexión de los rayos solares especialmente.
  - El abrigo meteorológico debe estar bien ventilado, situado en un lugar donde el aire circule libremente, para que el termómetro sea capaz de captar las variaciones de la temperatura de éste.
- 
-

---

• Se ha establecido por convención que los termómetros estén a una altura de 1.5m, para disponer de datos comparables entre las estaciones. Esto se debe a que al calentarse la superficie terrestre por la radiación solar, que es la principal fuente de calentamiento del aire, el cual adquiere su temperatura por contacto con el suelo más frío o caliente por conducción y luego en el mismo aire, se produce una mezcla de calor por convección; Esto varía con la altura.

### **Requisitos de un buen termómetro.**

Un termómetro debe ser esencialmente sensible y exacto.

El termómetro es sensible si indica en forma rápida pequeñas variaciones de temperatura. Para cumplir con este requisito de sensibilidad, el termómetro debe reunir condiciones tales como tener el tubo o capilar muy estrecho y las paredes del depósito bien delgadas y con una superficie en relación al volumen, el cual debe ser pequeño.

El termómetro debe ser exacto si la subdivisión de la escala es correcta y el área de cada subdivisión es igual; además, dicha escala debe estar grabada en forma clara en el tubo.

### **Medidas para efectuar lecturas claras.**

Para realizar lecturas correctas de temperatura, deben tomarse las siguientes precauciones:

- evitar que los rayos solares incidan en el termómetro,
- que el depósito del termómetro esté seco, y
- la visual debe dirigirse en forma perpendicular a la escala del termómetro, para eliminar de esta manera el error de paralaje.

**Apreciación.** La escala de los termómetros viene graduada, generalmente, en grados y 0.5 de grado, pero al hacer la lectura se debe apreciar a simple vista hasta el décimo de grado. Por ejemplo: 19.3°C, 21.8°C, 29.4°C, etc.

### **Principales tipos de termómetros.**

**Termómetro de líquido en tubo de vidrio.** Este es el termómetro común o seco, y está formado por un depósito cilíndrico, que se prolonga por un tubo capilar también de vidrio cerrado en el otro extremo. Mediante la acción del calor el líquido contenido en el depósito se dilata y asciende por el tubo capilar. La lectura de la temperatura ambiente se hace sobre la escala grabada en el termómetro donde esté el extremo de la columna del líquido cuando ésta se detenga (**fig. 62**).

Los líquidos termométricos más comunes que se utilizan son el mercurio y el alcohol etílico. El mercurio sólo se puede usar en temperaturas arriba de -36°C, pues ahí se encuentra su punto de congelación. Para temperaturas más bajas, el alcohol etílico puro da resultados satisfactorios. Ese termómetro se haya en posición vertical en la caseta a 1.5 metros de altura sobre el suelo.

---

---

**Termómetro de extremas.**

**Termómetro de máxima.** Se emplea para conocer la temperatura más alta de cada día (fig. 62). Es un termómetro de mercurio con un marcado estrechamiento en el tubo capilar cerca del depósito (fig. 63).

Cuando la temperatura aumenta, el mercurio del depósito se dilata con fuerza y puede pasar por el estrechamiento; al disminuir aquella, el mercurio se contrae y en la parte estrecha la columna del mercurio se corta. Al no existir ninguna fuerza que obligue al mercurio a volver al depósito, la columna permanece en el tubo capilar marcando la más alta temperatura que alcanzó.

Cada día después de obtener la temperatura máxima, el termómetro se pone otra vez en condiciones de trabajar sacudiéndolo enérgicamente para que el mercurio regrese al depósito. Este termómetro se coloca en posición inclinada (30°C) dentro de la caseta con el fin de que el efecto de la gravedad impida al mercurio desplazarse.(fig. 64).

**Termómetro de mínima.** Se emplea para conocer la temperatura más baja de cada día (fig. 62). Es un termómetro de alcohol con un tubo ancho en vez de ser capilar por donde pasa un índice metálico esmaltado (fig. 63).

Este termómetro se coloca en posición horizontal; así cuando la temperatura disminuye, el índice es arrastrado por el menisco que se forma en la extremidad de la columna del alcohol, al contraerse el volumen de este líquido, quedando el índice marcando la temperatura más baja; si la temperatura aumenta, el alcohol pasa entre las paredes del tubo y el índice sin desplazar a éste último. La lectura se hace en el extremo del índice, más alejado del depósito; también este termómetro va en la caseta.(fig. 64).

**Termómetro tipo Six de máxima y mínima.** Consiste en un tubo con forma de "U" (fig. 65), el cual tiene dos tubos B y C llenos parcialmente de mercurio y parte del tubo B y los depósitos A y B están llenos de guayacol.

El mecanismo de funcionamiento es el siguiente: al aumentar la temperatura, el guayacol del depósito A y del tubo B tiende a dilatarse y este aumento de volumen ejerce una presión sobre la columna de mercurio del tubo C que hace que ésta ascienda y empuje un índice pequeño metálico esmaltado que no podrá bajar al descender la temperatura, pues no se mueve por su propio peso; de esta forma queda indicada la temperatura máxima.

Al descender la temperatura se contrae el guayacol contenido en el depósito A y tubo B, lo que hace que la columna de mercurio del tubo C descienda y ascienda la del tubo B la cual hará subir al índice a una altura que será la temperatura mínima.

Para poner el termómetro en condiciones de funcionar al día siguiente, bastará colocar un imán sobre el tubo a la altura de los índices para hacerlos bajar al inicio de las columnas de mercurio. En la fig. 66 se muestra la forma como se toman las lecturas en el termómetro tipo SIX.

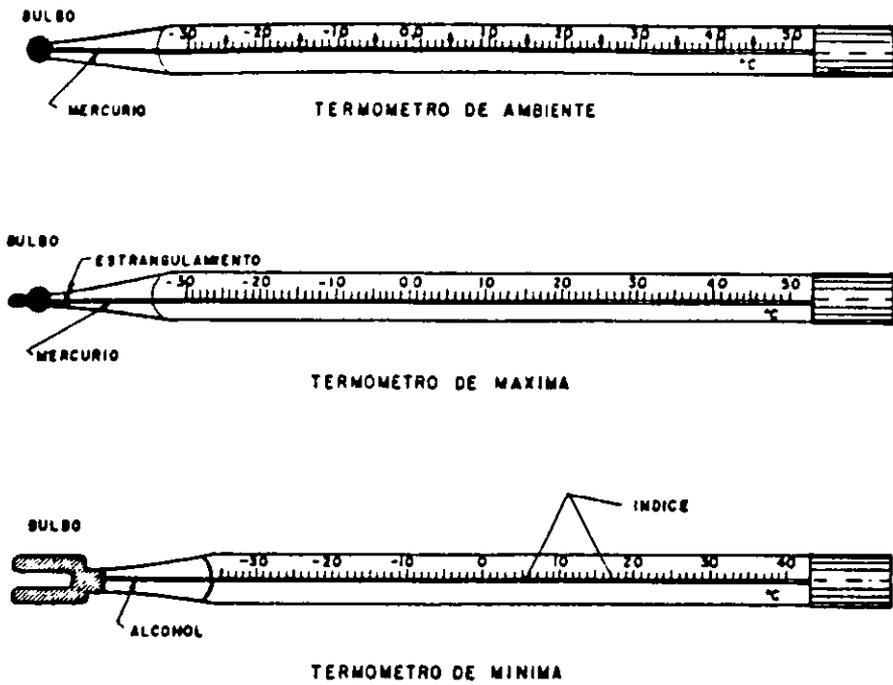


fig. 62 TERMOMETROS DE AMBIENTE, MAXIMA Y MINIMA.

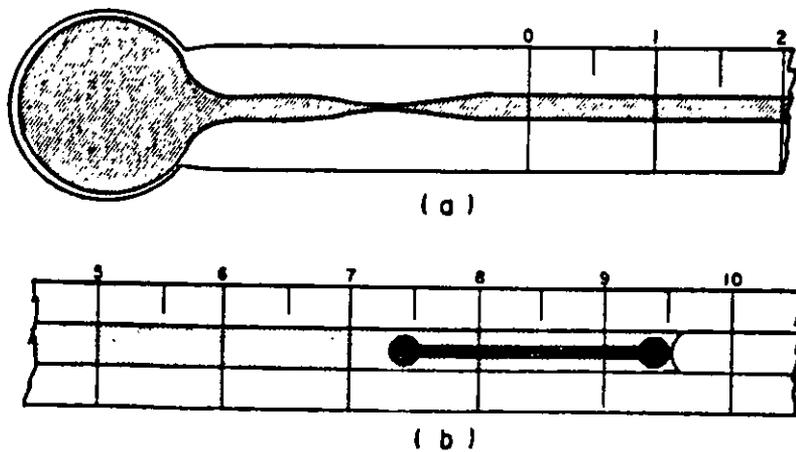


fig. 63 DETALLE DEL TERMOMETRO DE MAXIMA (a) Y MINIMA (b).

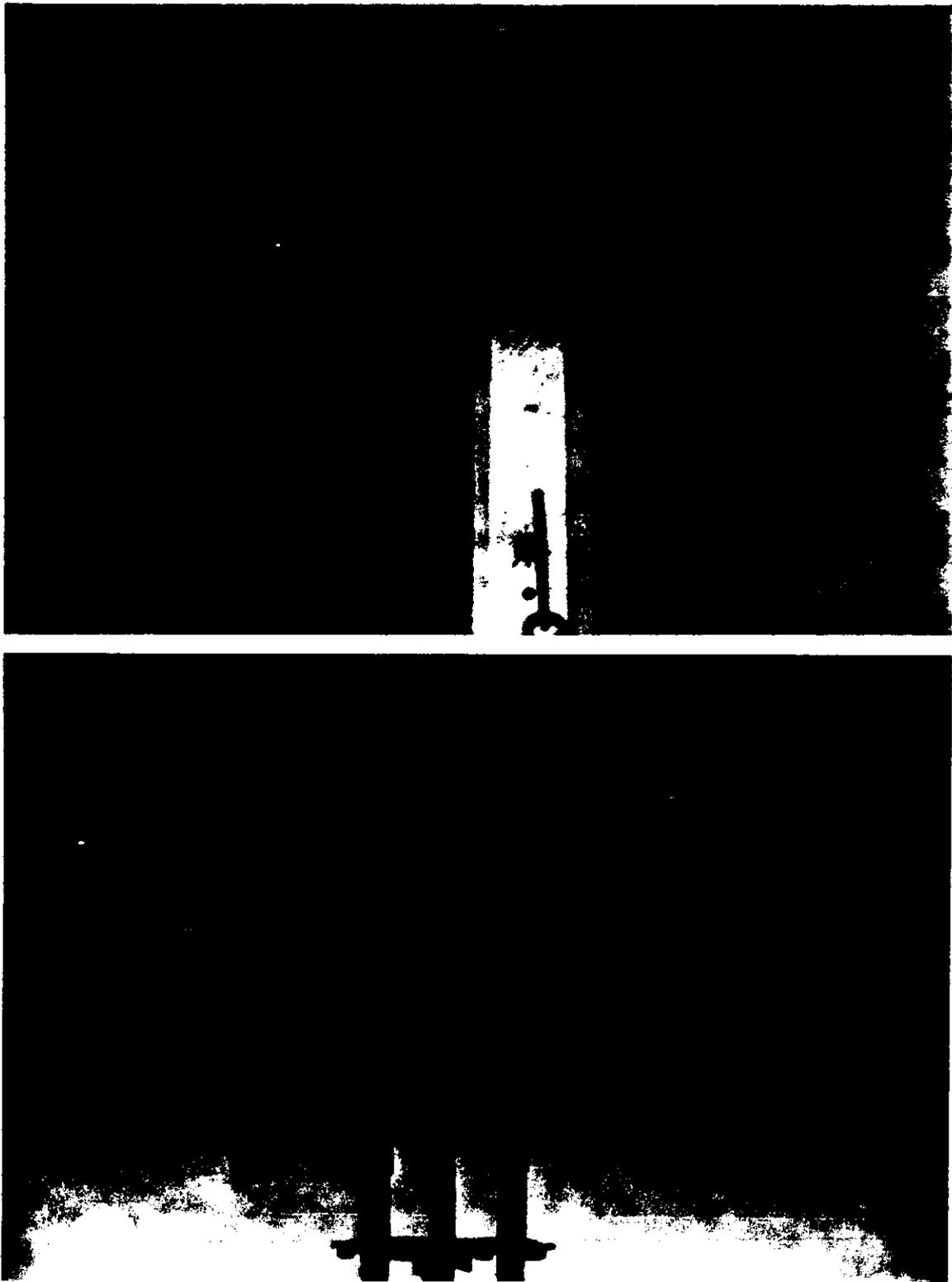


fig. 64 TERMOMETROS DE MAXIMA Y MINIMA, USADOS EN EL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

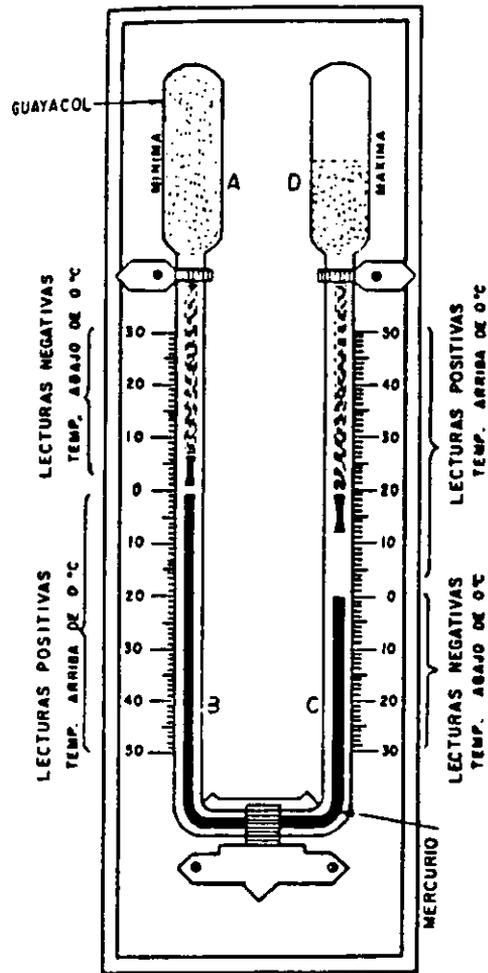


fig. 65 ESQUEMA DEL TERMOMETRO DE MAXIMA Y MINIMA TIPO SIX.

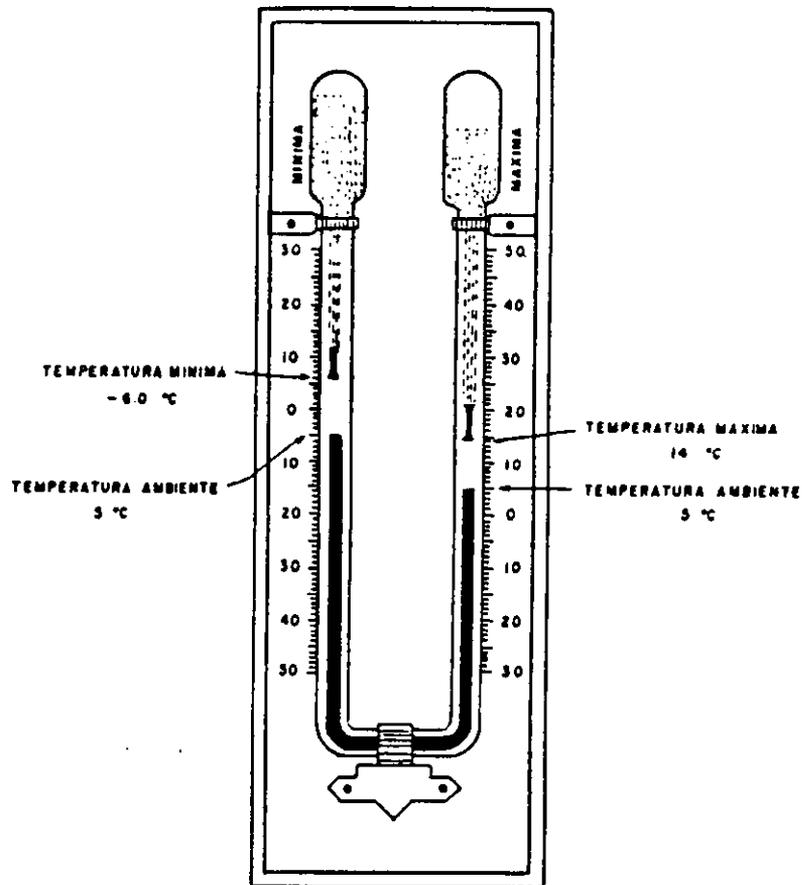


fig. 66 LECTURAS DE LAS TEMPERATURAS MAXIMA, MINIMA Y AMBIENTE EN EL TERMOMETRO TIPO SIX.

**Termómetro de honda.** Es un termómetro con un anillo en la parte superior y por medio de un hilo que se introduce en éste se le hace girar a una velocidad de 2 vueltas por segundo durante 30 s ó 1 min, con lo que se logra que el bulbo quede en contacto con una mayor masa de aire. Se obtiene así la temperatura de el aire con bastante exactitud, presenta la ventaja de no necesitar de la caseta se utiliza principalmente en mediciones directas en el campo.

**Termómetro de aspiración tipo Assmann.** Este termómetro se utiliza en días sin viento, pues consta de un mecanismo que le proporciona corrientes de aire con una velocidad de 2.3 m/s por medio de un ventilador de cuerda colocado en la parte superior; dichas corrientes circulan en un tubo doble de paredes brillantes donde se encuentra el depósito. Para efectuar la lectura se le debe dar cuerda y esperar tres minutos.

**Termómetro de líquido en envoltura metálica.** En este termómetro, el elemento sensible es un manómetro calibrado para medir la temperatura; se utiliza a menudo como termómetro de motores de automóvil. También algunos termógrafos se basan en este principio.

**Termómetro de par termoeléctrico.** Su principio es el siguiente: el termopar esta formado por dos hilos de diferentes metales cuyos extremos están soldados; cuando las temperaturas de cada soldadura son diferentes se produce una fuerza electromotriz la cual se indica en un voltímetro calibrado para este fin; son muy usados como piranómetros o sea, como instrumentos para medir temperaturas muy altas y también, en ciertas aplicaciones especiales, se emplean para medir temperaturas bajas.

**Termómetro bimetalico.** Es un termómetro cuyo elemento sensible es una lámina bimetalica formada por dos láminas con coeficientes de dilatación muy distintos, soldadas una con otra a lo largo de toda su longitud. Cuando la temperatura aumenta , una de las láminas se dilata más que la otra forzando a todo el conjunto a curvarse sobre la lámina más corta.

Las láminas bimetalicas pueden estar inicialmente en espiral, siendo la lámina interior la del metal que se dilata más; así, cuando la temperatura aumenta la espiral tenderá a desarrollarse; este movimiento es amplificado por un sistema de palancas sujetas en el extremo libre de la espiral y termina en una aguja que indica la temperatura. Este es el principio empleado en los termógrafos para obtener el registro continuo de la temperatura.

**Termómetro de resistencia de platino.** Es un termómetro de gran precisión, se basa en la variación de la resistencia a la temperatura que presenta un hilo de platino. A éste se le proporciona corriente eléctrica con una pila y mediante un aparato de medida se transforman las variaciones de resistencia en valores de temperatura. Se puede utilizar para medir una extensa gama de temperaturas y también en los termógrafos.

**Termómetro de termistancias.** Su principio se basa en la variación de la conductividad de ciertas sustancias químicas con la temperatura; al aumentar ésta disminuye su resistencia eléctrica.

Se utilizan como termómetros de radio sonda ( aparatos que se elevan en la atmósfera por medio de globos y miden entre otras cosas la temperatura en altitud), esto debido a que son sólidos y pequeños.

---

**Geotermómetros.** Son termómetros con los cuales se hace la medición de la temperatura del suelo.

Por tratarse de un medio heterogéneo compuesto por sólidos, líquidos y gases, la instalación de dichos instrumentos debe ser realizada muy cuidadosamente, para lograr un íntimo contacto entre el suelo y el bulbo del termómetro.

La temperatura del aire y la del suelo están estrechamente relacionadas. Por esta razón, en los observatorios metereológicos importantes se registra la temperatura del suelo. Las observaciones de la temperatura del suelo se hacen en éste a profundidades de 5,10,15,30,50 y 100 cm.

El bulbo del geotermómetro está enterrado a la profundidad indicada y el tubo capilar es suficientemente largo como para sobre pasar el nivel del suelo y permitir la lectura.

Cerca del bulbo el tubo está acodado, ello facilita al observador la lectura del termómetro; pues éste emerge del suelo inclinado (fig. 67).

Además de hacerse cuidadosamente la instalación de los geotermómetros para poder tomar la temperatura más representativa del suelo, debe hacerse también en protección de la parte del elemento que va enterrada; otro aspecto de protección que se debe considerar es la parte restante del instrumento que queda expuesta a partir del nivel del terreno, en este caso se recomienda cercar el instrumento de manera tal que permita tomar las medidas fácilmente y a la vez evitarle cualquier peligro por la presencia de cualquier ser vivo.

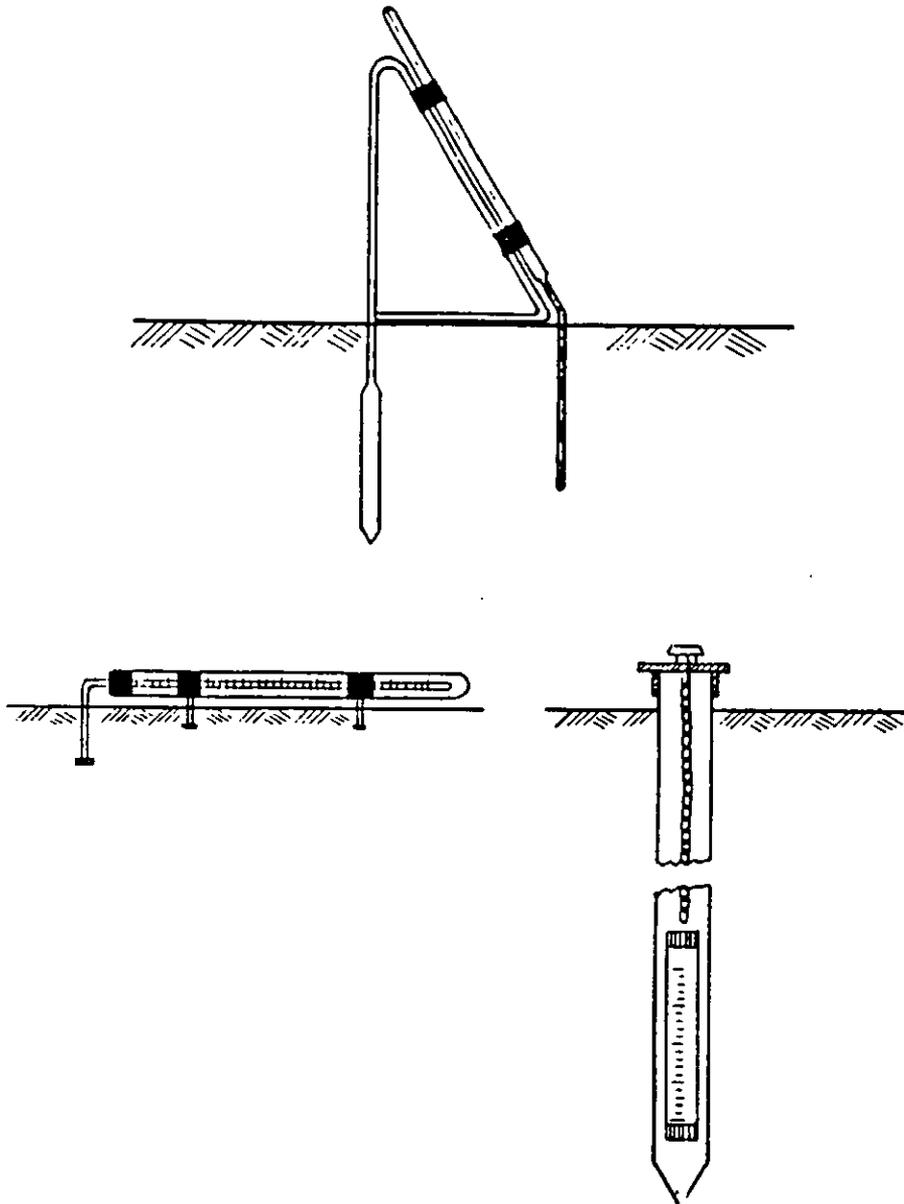


fig. 67 GEOTERMOMETROS

---

**Termógrafo.** Es un aparato graficador que registra continuamente la temperatura del aire (**fig. 68**) El elemento sensible puede ser de dos clases:

- un tubo metálico lleno de alcohol, de sección elíptica (**fig. 69**), que presenta una curvatura y uno de sus extremos fijos; al aumentar la temperatura y dilatarse el alcohol éste ejerce una presión que tiende a enderezar el tubo, el movimiento del extremo libre es transmitido y amplificado por un sistema de palancas a la plumilla inscriptora;

- el otro sistema se basa en el principio del termómetro bimetálico, ya explicado anteriormente(**fig. 70**)

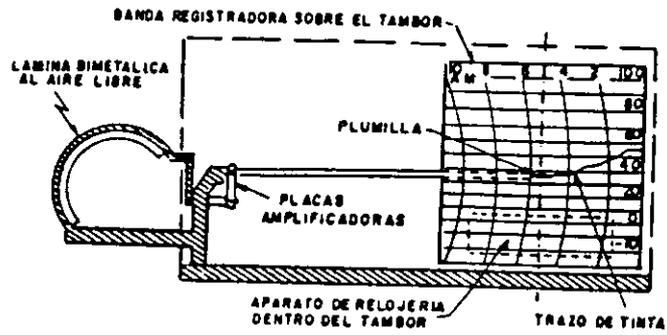
**Gráfica del termógrafo.** En la **fig. 71** se presenta una gráfica semanal del termógrafo en cuyo eje horizontal tiene la escala en horas para los 7 días de la semana y del eje vertical la escala en °C que va de los 50 a -10 °C. A partir de esta gráfica se puede conocer la temperatura de cualquier hora de los días de la semana la mínima y la máxima del día, que valor alcanzaron y la hora en que se presentaron. La gráfica presentada muestra para el día sábado una mínima de -3.6°C a las 7 AM y la máxima de 24 ° C a las 3:20 PM, aproximadamente.

**Control de la hora y temperatura.** Los termógrafos, si bien tienen la ventaja de indicar la temperatura en cualquier instante, sus indicaciones siempre están afectadas por errores, debido a que no son del todo sensibles y exactos. Por ello, sus lecturas deben estar sometidas al control de las observaciones directas, efectuadas a horas fijas; éstas se realizan para verificar la marcha del aparato de relojería y la temperatura inscrita.

Con esta doble finalidad al efectuar las observaciones tridiurnas (a las 7, 14 y 19 horas, por ejemplo). El observador debe mover suavemente la plumilla inscriptora hacia arriba y hacia abajo de su posición de equilibrio. De esta manera aquella efectuará sobre el papel un trazo vertical.

Si el aparato de relojería marcha en buenas condiciones, en todos los casos el trazo coincidirá con la línea curva que señala la hora correspondiente.

Si el aparato reiteradamente retrasa, la marcha se corrige por medio de una palanca que se encuentra en el tambor. Con la ayuda de los mismos trazos, se deduce la temperatura que el aparato registró en las horas de observación directa.



ESQUEMA DEL TERMOGRAFO.

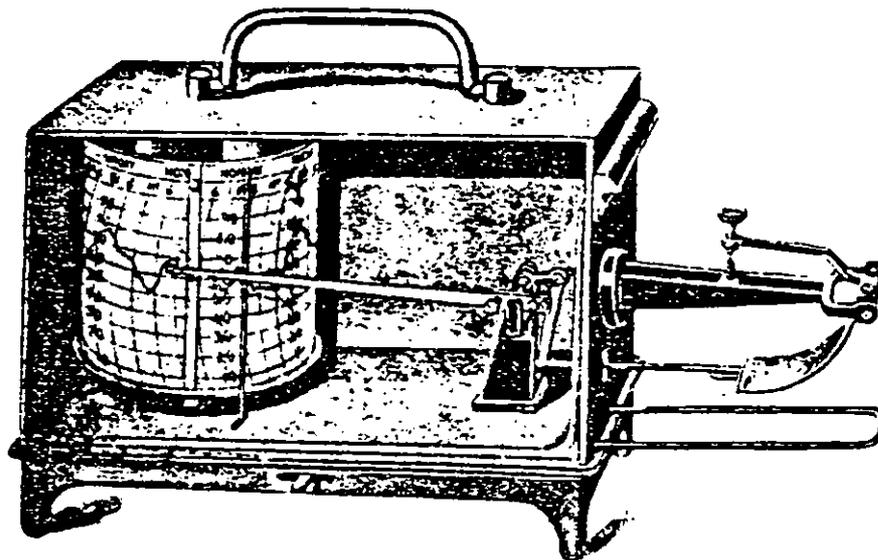


fig. 68 TERMOGRAFO.

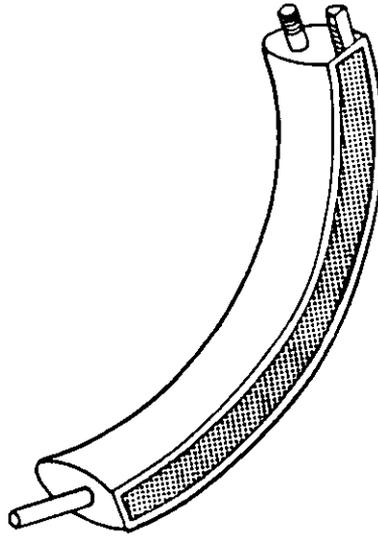


fig. 69 PIEZA SENSIBLE DEL TERMOGRAFO QUE CONTIENE ALCOHOL.

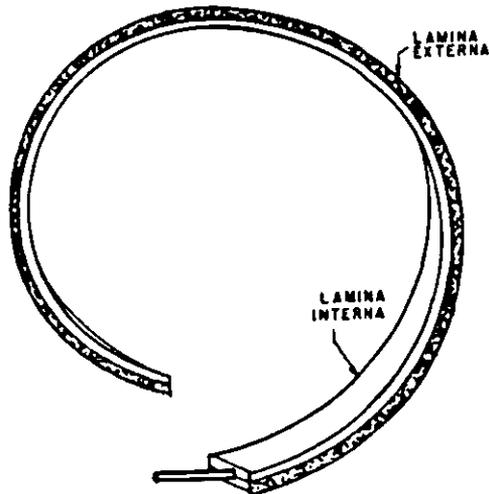


fig. 70 PIEZA SENSIBLE DEL TERMOGRAFO BIMETALICO.

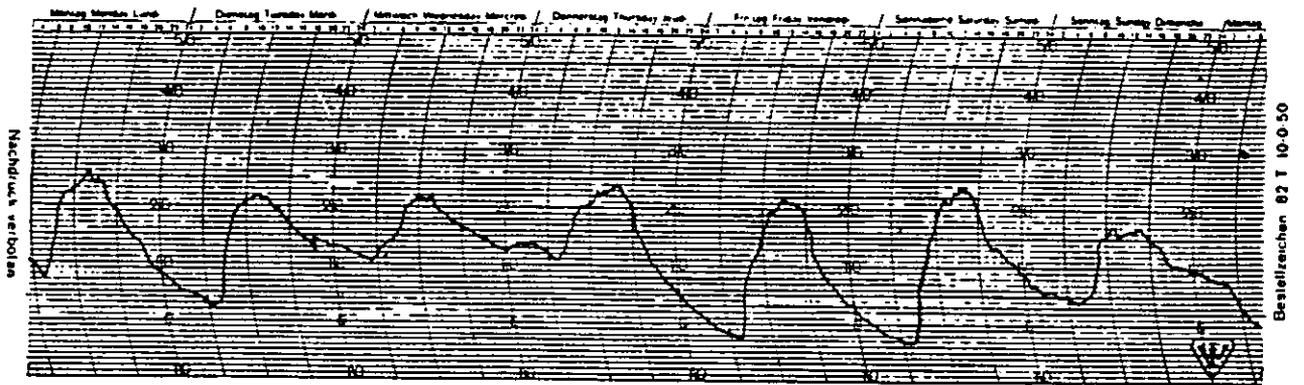


fig. 71 GRAFICA DEL TERMOGRAFO.

---



---

**Temperaturas más comunes que se registran.**

**Temperatura media diaria o diurna.** En un día la temperatura del aire sufre muchas modificaciones, debido a las diferentes alturas que adquiere el sol al paso de las nubes, cambia la intensidad y dirección del viento etc., por lo que reporta aquella en 24 hr un gran número de valores. Para comparar la temperatura de 2 días distintos esa gran variedad de valores resulta muy inconveniente. Por tanto, para condensar en forma sencilla las temperaturas registradas durante el día, se recurre a la temperatura media diaria para la cual hay distintos métodos de cálculo.

- Sumando y promediando las temperaturas registradas en las 24 horas del día:

$$\text{Temperatura media diaria} = (T_1 + T_2 \dots + T_{24}) / 24$$

Este método se puede aplicar en observatorios que posean termógrafo y que efectúen observaciones cada hora.

- Sumando y promediando las temperaturas de horas determinadas:

La toma de lecturas en algunas estaciones se hace a las 8 AM y 8 PM.

$$\text{Temperatura media diaria} = \frac{T \text{ 8 AM} + T \text{ 8 PM}}{2}$$

Por este método se obtienen valores muy próximos al que resulta sumando y promediando la temperatura de las 24 hr del día.

- Sumando y promediando las temperaturas máxima y mínima.

$$\text{Temperatura media diaria} = \frac{T \text{ max} + T \text{ min}}{2}$$

Este método se puede aplicar si se tienen termómetros de máxima y mínima e igualmente da valores muy satisfactorios.

**Temperatura media mensual.** Es el promedio de las temperaturas medias diarias. Se obtiene sumando las temperaturas de cada uno de los días y dividiendo entre el total de días del mes.

**Temperatura media anual.** Es el promedio de las temperaturas mensuales. Se obtiene sumando la temperatura mensual de cada mes del año y dividiendo entre 12.

**Temperatura máxima diaria.** Es la temperatura más alta registrada en el día.

**Temperatura máxima mensual.** Es el promedio de las temperaturas máximas diarias.

**Temperatura máxima extrema mensual.** Es la temperatura más alta que se registra en el mes (puede ser un día o más).

---



---

---

---

**Temperatura máxima absoluta.** Es la temperatura más alta registrada desde que se estableció la estación de observación.

**Temperatura mínima diaria.** Es la temperatura más baja registrada en el día.

**Temperatura mínima mensual.** Es el promedio de las temperaturas mínimas diarias.

**Temperatura extrema mínima mensual.** Es la temperatura más baja que se registra en el mes (puede ser un día o más)

**Temperatura mínima absoluta.** Es la temperatura más baja registrada desde que se estableció la estación de observación.

**Temperatura media normal diaria.** Es la temperatura media de un registro de cuando menos 30 años. Su cálculo se realiza así:

- Se desea calcular la temperatura normal diaria para una estación, disponiendo de 30 años de observaciones por ejemplo de 1966-1995; para conocer la temperatura normal del primero de enero se sumará la temperatura media del primero de enero de 1966 más la media del primero de enero de 1967 y así hasta el primero de enero de 1995. La suma de estos treinta valores se divide entre treinta y el resultado será la temperatura normal del primero de enero. De la misma manera se procede para los otros 364 días del año.

**Temperatura media normal mensual.** Es la temperatura media mensual de un registro de cuando menos treinta años.

Para efectuar su cálculo se procede a usar el procedimiento usado en el ejemplo anterior:

Para conocer la temperatura normal de enero, se hará la suma de la temperatura media normal de enero de 1966 más la de enero de 1967 así hasta la de enero de 1995.

Así, la suma de estos treinta valores divididos entre treinta nos dará la temperatura normal de enero.

De la misma manera se hará para los otros once meses del año.

**Temperatura media normal anual.** Es la temperatura media de un registro de cuando menos treinta años. Para calcularla tomando el ejemplo anterior, se suman las temperaturas medias anuales de los treinta años y se divide entre treinta y el promedio así obtenido será la temperatura normal anual.

En los tres puntos anteriores se hace referencia a la temperatura media, pero si el cálculo se hiciera con el dato de temperatura máxima o mínima y según fuera éste, diario, mensual o anual, se hablaría de temperatura máxima normal diaria, temperatura mínima normal diaria, temperatura máxima normal mensual, temperatura mínima normal mensual, temperatura máxima normal anual y temperatura mínima normal anual.

---



---

**Amplitudes y oscilaciones térmicas.**

**Amplitud diaria (aperiódica).** Es la cantidad de grados existentes entre la temperatura máxima y la temperatura mínima en un día.

Se obtiene restando la temperatura mínima de la máxima. Así, por ejemplo, si la temperatura máxima en un día fue de 21.9 °C y la mínima de 4.5 °C, la amplitud diaria habrá sido:

$$21.9 \text{ °C} - 4.5 \text{ °C} = 17.4 \text{ °C}$$

**Amplitud media diaria mensual (aperiódica).** Es la cantidad de grados existentes entre la temperatura máxima media y la mínima media en un mes. Se calcula de la siguiente manera: se desea obtener dicho valor para la misma estación anterior, para el mes de abril de 1990. Para ello, se suman y promedian las treinta máximas del mes; este valor se llama máxima media.

Luego se suman y promedian las treinta mínimas del mes; este valor se llama mínima media. Restando la mínima media de la máxima media se obtiene la amplitud media aperiódica del mes de abril para la misma estación.

**Amplitud media diaria mensual normal (aperiódica).** Es el promedio de las amplitudes medias diarias de un mes determinado de un período de por lo menos treinta años. Se obtiene de siguiente manera:

Se tienen datos de treinta años en nuestra estación (1966-1995) y se desea dicho cálculo para el mes de mayo. Se suma la amplitud media diaria del mes de mayo de 1966, hasta la del mes de mayo de 1995, luego se divide entre treinta y se obtiene el valor deseado.

**Amplitud anual.** Es la diferencia de temperatura media existente entre el mes más caluroso del año y el mes más frío.

Se tiene por ejemplo que, para nuestra estación, la amplitud anual correspondiente a 1989 fue:

temperatura media del mes más caluroso (mayo)	28.0 °C
temperatura media del mes más frío (enero)	<u>4.0 °C</u>
amplitud anual	14.0 °C

**Amplitud normal anual.** Es la diferencia de la temperatura media normal mensual del mes más caluroso y el mes más frío del año.

---

---

## 4.3 HUMEDAD.

### 4.3.1 Introducción.

Aunque el agua está presente en cantidades más o menos grandes en cualquier parte de la atmósfera, generalmente sucede que es invisible por encontrarse en estado de vapor. Sin embargo, de vez en cuando se condensa para formar nubes que proporcionan ciertas indicaciones sobre el tiempo futuro.

Esta agua entra en la atmósfera por los procesos de evaporación y de transpiración y luego cae sobre la tierra en forma de precipitación, cerrando así el ciclo hidrológico. Para conocer bien este proceso y poder predecir el futuro estado de la atmósfera, es preciso estudiar las variaciones de humedad o del contenido de agua en la misma. También es necesario conocer los métodos utilizados para medir la humedad del aire.

**Humedad atmosférica.** La atmósfera es el vapor de agua que, en un porcentaje muy variable, según el espacio y el tiempo, está presente en la tropósfera y desde 0 a 25% de volumen. Se tiene que:

$$\text{aire húmedo} = \text{aire seco} + \text{vapor de agua}$$

El aire seco y el vapor de agua son independientes entre sí y siguen las leyes de la Física en concordancia con sus respectivas propiedades.

**Vapor.** Es el gas que resulta de aplicar calor a un líquido (agua) o a un sólido (hielo).

#### Importancia del vapor de agua.

El vapor de agua contenido en la atmósfera tiene grandes consecuencias meteorológicas y climáticas, que son las siguientes:

- Absorbe selectivamente por medio de varias bandas de absorción a la energía irradiada por la Tierra, ya que es casi transparente a la radiación solar y, por tanto, regula la rapidez de la pérdida de calor, el vapor de agua desempeña también un papel muy importante en el calentamiento y enfriamiento de la atmósfera, ya que actúa como abrigo que le impide la pérdida de energía. Absorbe muy fácilmente las radiaciones térmicas, por lo que el aire húmedo se calienta más que el aire seco bajo la acción directa de los rayos solares.

- La cantidad de vapor de agua en la atmósfera representa una forma de calor latente de condensación que se libera al formarse las nubes. Un kilogramo de vapor de agua al condensarse o formarse, puede calentar o enfriar un grado de temperatura  $2000\text{m}^3$  de aire.

Constituye por esto, un vehículo de transporte de energía en la atmósfera que es fácilmente acarreada a grandes distancias por vientos.

- La cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera regula la velocidad de evaporación del agua de la superficie terrestre y de los mares.

- 
- 
- Por su condensación y congelación, produce numerosos fenómenos meteorológicos como: nubes, niebla, nieve, granizo, rocío, etc.
  - Regula la desecación de los suelos.
  - Influye en la velocidad de transpiración de las plantas.
  - Favorece o no a la aparición de plagas agrícolas.

#### **Variación del vapor de agua en el aire.**

Las variaciones más notables de la humedad en el aire, en el tiempo y en el espacio, son la:

**Diaria.** Su marcha diaria es inversa a la temperatura.

**Anual.** Determinada por la variación anual de la temperatura y por el régimen pluviométrico.

**Causada por la altura.** No existen leyes precisas al respecto, pero la temperatura disminuye con la altura y en consecuencia la capacidad del aire para mantener vapor de agua.

**Causada por la latitud.** Esta variación es muy irregular. Con la latitud disminuye la temperatura del Ecuador hacia los polos.

#### **Algunos aspectos físicos en relación con la atmósfera.**

**Calor latente.** Es la cantidad de energía absorbida o desprendida por la materia al pasar de un estado a otro. Al pasar del estado sólido al líquido, el agua requiere de cierta cantidad de energía; lo mismo para pasar del estado líquido al gaseoso.

Se necesitan 80cal para convertir un gramo de hielo en un gramo de agua a 0°C y 600cal para convertir un gramo de agua a 0°C en un gramo de vapor de agua a esa misma temperatura; por ello, el vapor de agua contiene más energía interna que el agua y ésta más que el hielo.

Esta energía almacenada por el vapor de agua se conoce con el nombre de energía latente o calor latente de vapor de agua.

La energía del líquido al evaporarse no se emplea en elevar la temperatura, sino sólo en el cambio de estado físico.

Por lo contrario, al pasar del estado de vapor de agua al estado líquido, la energía latente del vapor de agua se libera calentando la atmósfera y se llama, entonces, calor latente de condensación, y es una fuente de energía muy importante en el desarrollo de las tormentas (en especial, las tropicales).

En el paso de sólido a líquido o a gas se consume calor, y en el paso de gas a líquido o a sólido se libera calor. Los cambios que se presentan en el agua son los siguientes:

Estado inicial:	Estado final:	Proceso:
hielo	agua	fusión
hielo	vapor de agua	sublimación
agua	vapor de agua	vaporización
agua	hielo	solidificación
vapor de agua	agua	condensación
vapor de agua	hielo	sublimación sólida

#### Ley de Dalton de las presiones parciales.

"La suma de las presiones parciales de una mezcla de gases es igual a la presión total ejercida por la mezcla de ellos."

El vapor de agua ejerce una presión propia; la presión atmosférica es la suma de las presiones del aire seco y del vapor de agua.

La presión del vapor de agua depende del número de moléculas presentes en un determinado volumen y, por tanto, de la masa del vapor de agua por unidad de volumen.

**Tensión de vapor** . Es la presión parcial que ejerce (por su fuerza de expansión) el vapor de agua presente en el aire; se expresa en mm de mercurio (Hg) o milibares (mb).

$$1 \text{ mb} = 0.75 \text{ mm Hg}$$

La tensión de vapor más elevada (30mb aproximadamente) se observa en las regiones tropicales cerca de la superficie del mar.

**Tensión de vapor a saturación**. Es la tensión de vapor ejercida por el vapor de agua contenido en un volumen saturado a la temperatura del aire contenido en ese volumen (varía con la temperatura). Por lo común, se expresa con la letra E.

En términos generales, se puede decir que E aumenta en progresión geométrica. Así, se tiene:

Tensión de vapor saturante sobre una superficie plana de agua pura.	
Temperatura (° C)	Tensión de vapor saturante (mb)
-10	2.86
0	6.11
10	12.27
20	23.37
30	42.43
40	73.77

**Tensión de vapor actual.** Es la tensión de vapor presente en el aire en un momento dado. Generalmente, se representa con la letra  $e$ .

**Formas como se expresa el contenido de vapor de agua en la atmósfera.**

**Humedad absoluta.** Es la verdadera cantidad de vapor de agua contenido en la atmósfera. Es el peso del vapor de agua por la unidad de volumen. Se expresa en:

$$g \text{ (de vapor de agua)} / m^3 \text{ (de aire)}$$

Pero como estas unidades dependen de la presión del aire y, por lo tanto, cambian con la altura, se da preferencia a dos unidades que son independientes de la presión del aire, esto es :

**Humedad específica,** se expresa en :

$$g \text{ (de vapor de agua)} / kg \text{ (de aire humedo)}$$

**Mezcla de humedad,** es la relación de la cantidad (masa) de vapor de agua a cantidad (masa) de aire seco. Se expresa en:

$$g \text{ (de vapor)} / kg \text{ (de aire seco)}$$

**Humedad relativa o porcentaje de humedad.** Para expresar el contenido de vapor en el aire es mejor basarse en la presión que ejerce, no en su masa. Por tanto, se tiene que la humedad relativa es la relación expresada en porcentaje entre la tensión de vapor del aire y la que tendría si en las mismas condiciones de temperatura alcanzara la saturación.

O también, es el cociente entre la tensión de vapor actual  $e$  y la tensión de vapor a saturación  $E$ , correspondiente a la temperatura de dicha masa de aire: El aire está saturado de humedad cuando la  $H_r$  es de 100%. Por ejemplo:

Si el aire a 20°C tiene una tensión de vapor a saturación de 23.37 mb, y si sólo presenta una tensión de vapor actual de 17.23 mb, se tiene que:

$$HR = \frac{e}{E} \times 100 \qquad HR = \frac{17.23}{23.37} \times 100 = 74\%$$

**Déficit de saturación.** Es la diferencia entre la tensión máxima que puede tener la atmósfera para una temperatura dada y la tensión actual. Se expresa en mm Hg o mb.

Para el ejemplo anterior, se tiene:

$$Ds = E - e$$

$$Ds = 23.37 - 17.23 = 6.14 \text{ mb}$$

**Punto de rocío.** Es la temperatura a la cual el aire quedasaturado por enfriamiento, sin adición de vapor de agua ni variación de presión (proceso isobárico). Toda reducción de temperatura (enfriamiento) posterior produce condensación; así se forma la niebla y el rocío.

---

---

También puede decirse que es la temperatura a la que el vapor de agua de la atmósfera empieza a condensarse (la temperatura del termómetro seco y del húmedo del psicrómetro son iguales, instrumento presentado posteriormente).

El contenido de vapor de agua es constante para cualquier temperatura de rocío, independientemente de las temperaturas seca y húmeda. Este concepto es muy útil para expresar la humedad atmosférica, ya que se usa para pronosticar la posibilidad de formación de nieblas, nubes, etc.

#### 4.3. 2 Instrumentación y medición.

Todas las muestras de aire tomadas en la proximidad de la superficie del globo contienen una cierta cantidad de vapor de agua; pero en general, ésta no es suficiente para que el aire esté saturado. En ciertas regiones, esta cantidad de agua es tan pequeña que es difícil medirla por procedimientos sencillos.

A continuación se muestran los instrumentos que se utilizan para medir la cantidad de vapor de agua contenida en el aire.

**Higrómetro.** Es el instrumento usado para medir la humedad relativa del aire. Mide la humedad por el alargamiento de un cuerpo higroscópico siendo éste el cabello humano, en el cual las células están juntas, pero cuando en aire está húmedo los espacios intercelulares y las células mismas absorben vapor de agua y el cabello aumenta en longitud y diámetro (**fig. 72**).

El higrómetro de cabello (**fig.73**) es un instrumento muy sencillo, no muy exacto, debido a que la calidad del cabello no es constante, pues lo inhabilita la grasa y el polvo.

**Psicrómetro.** Instrumento que indica la humedad del aire mediante la comparación de las temperaturas registradas simultáneamente por un termómetro seco y otro húmedo.

Se basa en que el agua para evaporarse necesita absorber calor (600cal/g) y a éste lo obtiene de los cuerpos que están en su contacto; y, en que la evaporación del agua es tanto más rápida cuanto más seco está el aire ( se sobre entiende en igualdad de los restantes factores, como temperatura, velocidad del viento, presión atmosférica, etc.).

El psicrómetro está compuesto de dos termómetros comunes de mercurio, uno seco y el otro (termómetro húmedo) tiene su bulbo envuelto por una fina muselina (tela clara y transparente hecha con hilos muy finos y retorcidos de algodón) empapada de agua destilada (está en contacto con un vasito de agua); este termómetro será más o menos enfriado por evaporación e indicará una temperatura  $T'$  inferior a la temperatura  $T$  dada por el termómetro gemelo seco.

La evaporación del agua depende de la humedad ambiental del aire, llegando incluso a ser nula cuando el aire se halla saturado.

Así, la diferencia de temperatura entre los termómetros llamada **diferencia psicrométrica** depende en definitiva de la humedad atmosférica, y el valor de la misma se lee directamente conociendo la diferencia psicrométrica en unas tablas previstas para tal efecto.

Este instrumento es preciso a altas temperaturas, pero su sensibilidad disminuye cuando son bajas.

---

---

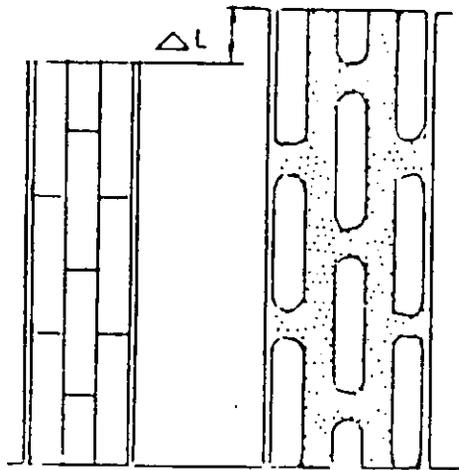


fig. 72 ALARGAMIENTO DEL CABELLO HUMANO AL ABSORBER VAPOR DE AGUA.

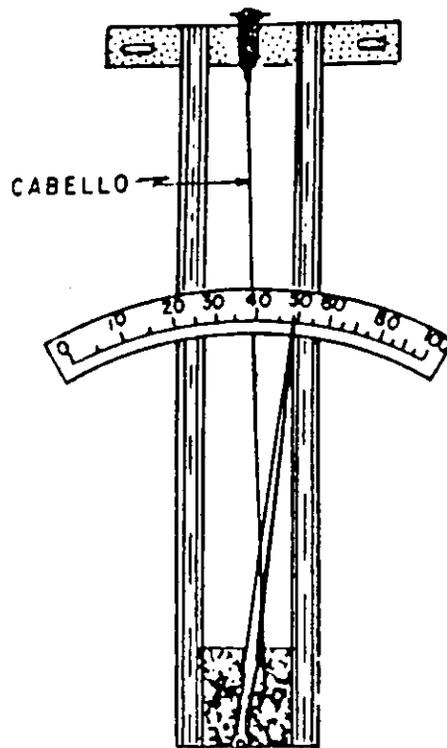


fig. 73 HIGROMETRO DE CABELLO.

Existe una variedad de psicrómetros que es la siguiente:

**Psicrómetro simple (sin ventilación artificial).** Consta de dos termómetros, uno seco y otro húmedo, que se colocan verticalmente dentro de la caseta meteorológica (fig.74).

Las tablas empleadas para determinar la humedad se calculan habitualmente suponiendo que la velocidad media del aire a la altura de los depósitos de los termómetros es de 1 a 1.5 m/s. En la práctica, la velocidad del aire a la altura de los depósitos, a menudo difiere sensiblemente de la gama de valores adoptados. Los errores son quizá mayores cuando el aire es seco y cálido o cuando el viento es muy débil.

**Psicrómetro de Assmann o de aspiración (con ventilación artificial).** Una hélice dirige el aire hacia los depósitos de los termómetros.

La velocidad del aire aspirado, a la altura de los depósitos, no deberá ser inferior a 2.5 m/s, ni superior a 10 m/s, en el caso de que los termómetros utilizados sean del modelo corriente empleado en las estaciones meteorológicas (figs. 75, 76 Y 77).

**Psicrómetro de honda o psicrómetro de manivela.** En éste, los termómetros están colocados uno al lado del otro sobre la misma armazón metálica unida a un mango que permite hacer girar la montura para proporcionar la adecuada velocidad del aire. Este tipo de psicrómetro debe utilizarse de un modo correcto en lugares protegidos de la radiación solar directa (figs. 78 y 79).

Estos psicrómetros cuando están cuidadosamente calibrados y se usan de un modo adecuado, dan exactitudes que se aproximan al 2% entre un 20 y 80% de humedad relativa y entre 10 y 44°C. Son posibles los errores hasta un 5% de humedad relativa a temperaturas y humedades extremas.

#### Uso de las tablas psicrométricas.

Para obtener la tensión de vapor actual y saturación ( $e$  y  $E$ ), la humedad relativa (HR), el déficit de saturación ( $D_s$ ) y el punto de rocío ( $P_r$ ) a partir del psicrómetro, se requiere el uso de las tablas psicrométricas (tablas 4, 5 y 6).

La **tabla 4** contiene los valores de la tensión de vapor de saturación en función de la temperatura, la **tabla 5** contiene los valores que relacionan los °C con los mm de Hg en función de la diferencia psicrométrica que es la diferencia entre las temperaturas de los bulbos seco y húmedo, y la **tabla 6** para convertir los mm de Hg a mb. A fin de obtener las variables mencionadas se procede, por ejemplo, así:

- si la lectura del termómetro de bulbo seco (temperatura ambiente) es de 19.3 °C, con este valor como argumento se entra a la **tabla 4** y se obtiene la correspondiente tensión de vapor a saturación ( $E$ ), que es igual a 16.67 mm Hg.
- con la lectura del termómetro de bulbo húmedo, en este caso igual a 15.8°C, se entra nuevamente a la **tabla 4** y se obtiene el valor de 13.39 mm Hg.
- A partir de la diferencia psicrométrica ( $19.3 - 15.8 = 3.5$ ), se entra a la **tabla 5** y se obtiene el valor de 1.73 mm Hg.
- Con la diferencia de los valores  $13.39 - 1.73 = 11.66$ , se obtiene el valor de la tensión de vapor actual ( $e$ ), que en este caso es de 11.66 mmHg.

°C	mm Hg
temperatura bulbo seco (temperatura ambiente)	19.3 → T <sub>4</sub> → 16.67 = E
temperatura bulbo húmedo	<u>15.8</u> → T <sub>4</sub> → 13.39
diferencia psicrométrica	3.5 → T <sub>5</sub> → $\frac{1.73}{11.66} = e$

$$E = 16.67 \text{ mmHg}$$

$$e = 11.66 \text{ mmHg}$$

$$HR = (e/E) \times 100 = (11.66/16.67) \times 100 = 70\%$$

$$D_s = E - e = 16.67 - 11.66 = 5.01 \text{ mmHg}$$

El Pr se obtiene entrando a la **tabla 4**, con el valor de e, pues el Pr es la temperatura cuando e pasa a ser E:

$$e = 11.66 \rightarrow (T_4) \rightarrow 13.6^\circ\text{C} = Pr$$

Si los valores de E, e y D<sub>s</sub> se quieren expresar en mb, se dividen los mm de Hg entre 0.75 o se usaría la **tabla 6**.

$$E = 16.67 \text{ mm Hg (t3, ó entre 0.75)} = 22.2 \text{ mb}$$

$$e = 11.66 \text{ mm Hg (t3, ó entre 0.75)} = 15.5 \text{ mb}$$

$$D_s = 5.01 \text{ mm Hg (t3, ó entre 0.75)} = 6.7 \text{ mb}$$

La **tabla 5** se obtiene multiplicando la temperatura por la constante psicrométrica ( $\gamma$ ) que relaciona los grados centígrados con mm Hg. También se tiene la que relaciona los grados centígrados con milibares, cuyos valores son:

$$\gamma = 0.495 \text{ mm Hg} / ^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 0.66 \text{ mb} / ^\circ\text{C}$$

Así, el valor de 1.73 del ejemplo se obtiene de la **tabla 5** entrando con el valor de la diferencia psicrométrica o multiplicando éste por 0.495.

$$\text{Diferencia psicrométrica} = 3.5 (t_2) = 1.73 \text{ mm Hg}$$

$$3.5 * 0.495 = 1.73 \text{ mm Hg}$$

Si se buscara el valor de mb, sería:

$$3.5 * 0.66 = 2.31 \text{ mb}$$

---

---

**Higrógrafo.** Es un instrumento registrador que inscribe, sobre una banda de papel, continuamente la humedad relativa del aire. Sigue el principio del higrómetro de cabello, por lo que se puede decir que el higrógrafo es un higrómetro unido a un dispositivo registrador.

La banda del higrógrafo tiene grabadas horizontalmente las horas del día, y en la escala vertical se tienen marcadas las divisiones en porcentaje de 0 a 100%, pues este instrumento da directamente los valores de la humedad relativa. Estos siempre están afectados debido a ciertos errores, por lo común, a causa de la falta de sensibilidad del instrumento (**fig. 80**).

**Gráfica del higrógrafo.** Como puede observarse, el valor máximo de humedad relativa se alcanza cuando se da el mínimo de temperatura y el mínimo cuando se da el máximo de la temperatura.

En esta gráfica (**fig. 81**), la semana empieza el día 29 de enero y termina el 5 de febrero de 1995; el día viernes, la humedad relativa alcanzó el 100% de las 6:50 a las 8:20 hrs y su valor mínimo de 50% se dio a las 16:00 hrs

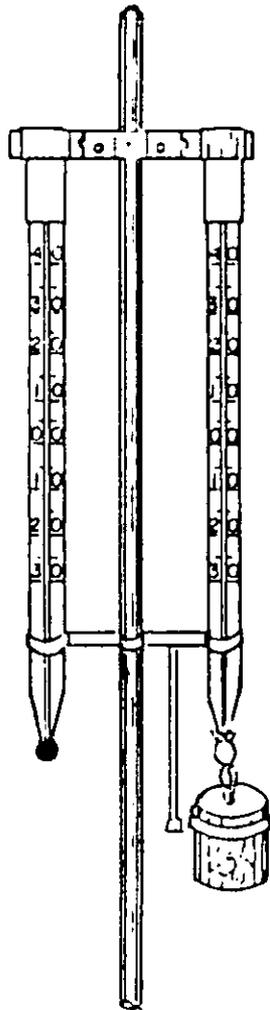
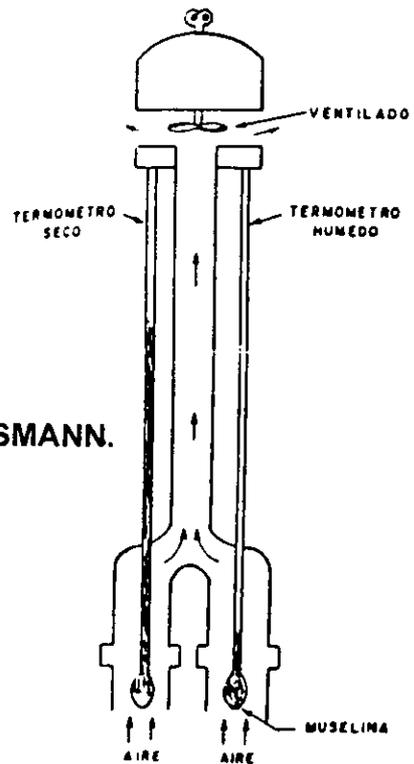
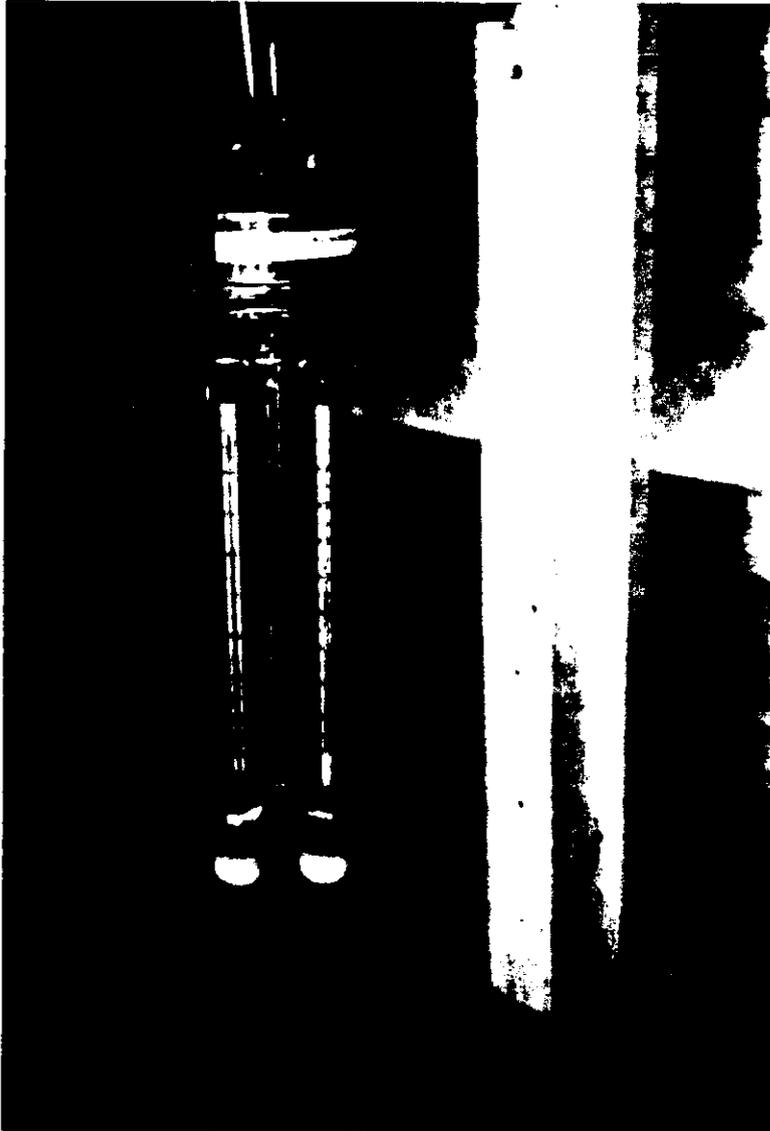


fig. 74 PSICROMETRO SIMPLE.

fig. 75 PSICROMETRO DE ASPIRACIÓN O ASSMANN.





**fig. 76 PSICROMETRO DE ASPIRACION. USADO EN EL SERVICIO  
METEOROLOGICO NACIONAL.**



**fig. 77 PSICROMETRO DE ASPIRACIÓN, USADO EN EL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, (VARIACION).**

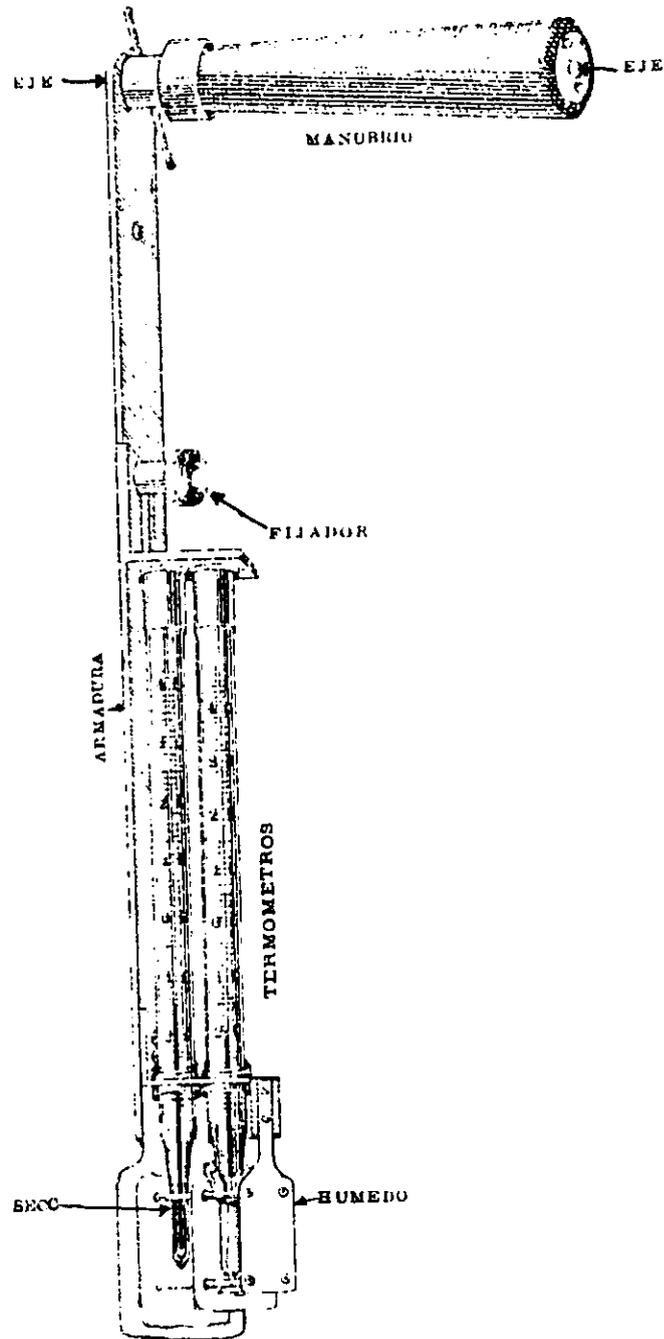
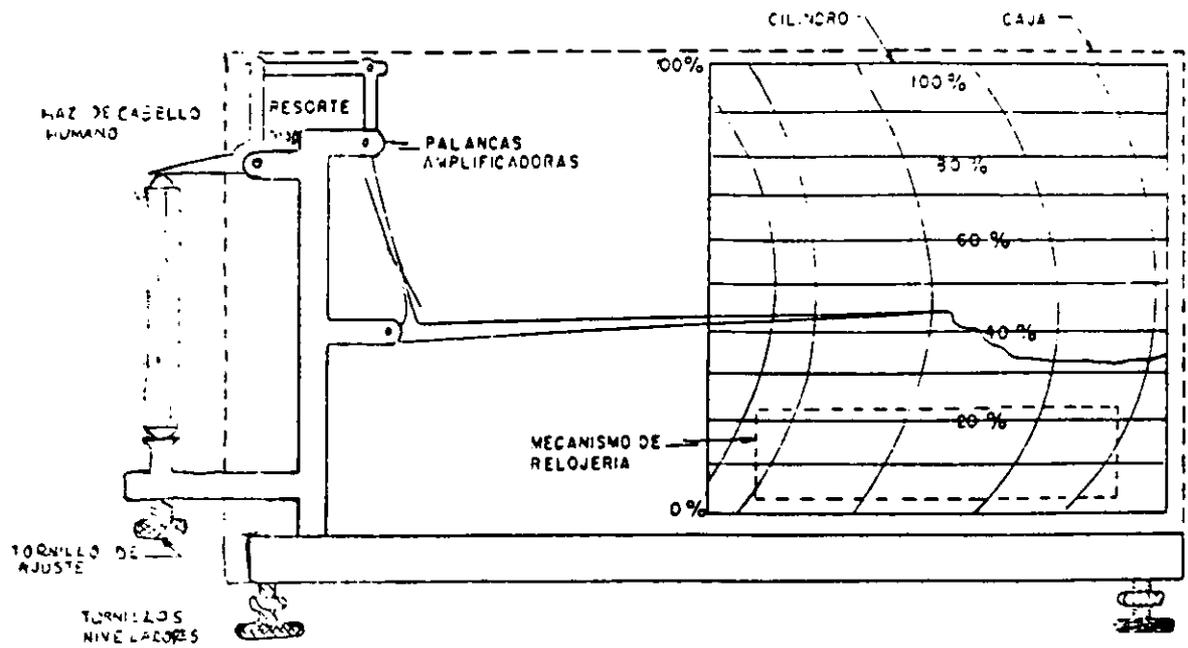


fig. 78 ESQUEMA DEL PSICROMETRO DE MANIVELA



**fig. 79 PSICROMETRO DE MANIVELA, USADO EN EL INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA DE LA U.N.A.M.**



ESQUEMA DEL HIGROGRAFO

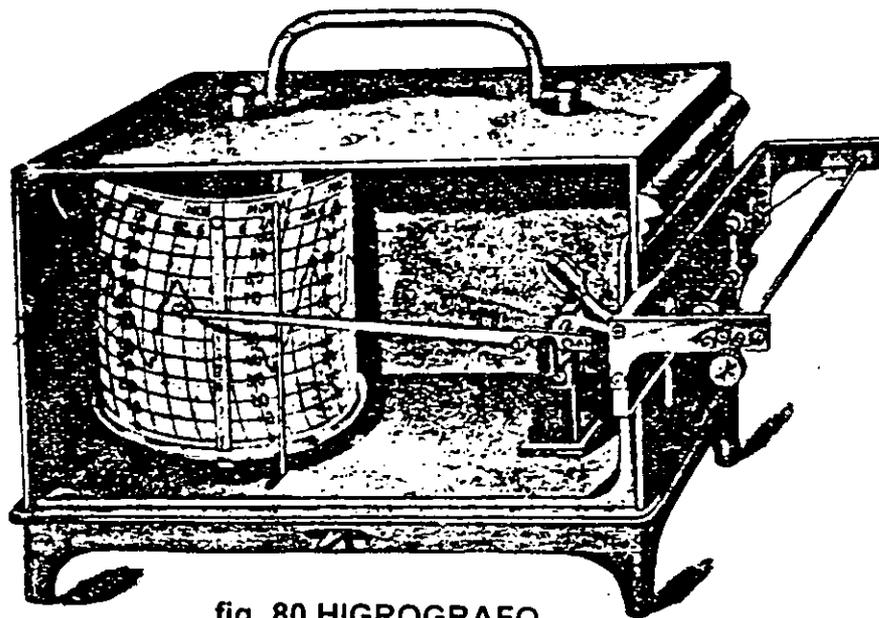


fig. 80 HIGROGRAFO



Grados	Décimos de grado									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-29	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30
-28	0.36	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33
-27	0.40	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.36
-26	0.44	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40
-25	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44
-24	0.53	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49
-23	0.59	0.58	0.58	0.57	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.54
-22	0.65	0.64	0.64	0.63	0.62	0.62	0.61	0.61	0.60	0.60
-21	0.71	0.71	0.70	0.69	0.69	0.68	0.67	0.67	0.66	0.65
-20	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.75	0.74	0.74	0.73	0.72
-19	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79
-18	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.88
-17	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96
-16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06
-15	1.26	1.25	1.24	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16
-14	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27
-13	1.51	1.49	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39
-12	1.65	1.64	1.62	1.61	1.59	1.58	1.56	1.55	1.53	1.52
-11	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.73	1.71	1.70	1.68	1.67
-10	1.97	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.87	1.86	1.84	1.82
-9	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.06	2.05	2.03	2.01	1.99
-8	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.21	2.19	2.17
-7	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47	2.45	2.43	2.41	2.39	2.37
-6	2.79	2.76	2.74	2.72	2.69	2.67	2.65	2.62	2.60	2.58
-5	3.03	3.01	2.98	2.96	2.93	2.91	2.88	2.86	2.83	2.81
-4	3.30	3.27	3.24	3.22	3.19	3.16	3.14	3.11	3.08	3.06
-3	3.59	3.56	3.53	3.50	3.47	3.44	3.41	3.38	3.35	3.33
-2	3.89	3.86	3.83	3.80	3.77	3.74	3.71	3.68	3.65	3.62
-1	4.22	4.19	4.16	4.12	4.09	4.06	4.02	3.99	3.96	3.93
0	4.58	4.54	4.51	4.47	4.43	4.40	4.36	4.33	4.29	4.26
0	4.58	4.61	4.65	4.68	5.71	4.75	4.78	4.82	4.85	4.89
1	4.92	4.96	4.99	5.03	5.06	5.10	5.14	5.17	5.21	5.25
2	5.29	5.32	5.36	5.40	5.44	5.48	5.52	5.56	5.60	5.64
3	5.68	5.72	5.76	5.80	5.84	5.88	5.92	5.96	6.00	6.05
4	6.09	6.13	6.17	6.22	6.26	6.31	6.35	6.39	6.44	6.48
5	6.53	6.57	6.62	6.67	6.71	6.76	6.81	6.85	6.90	6.95
6	7.00	7.05	7.09	7.14	7.19	7.24	7.29	7.34	7.39	7.44
7	7.49	7.55	7.60	7.65	7.70	7.76	7.81	7.86	7.91	7.97
8	8.02	8.08	8.13	8.19	8.24	8.30	8.36	8.41	8.47	8.53
9	8.58	8.64	8.70	8.76	8.82	8.88	8.94	9.00	9.06	9.12
10	9.18	9.24	9.30	9.36	9.43	9.49	9.55	9.62	9.68	9.76
11	9.81	9.88	9.94	10.01	10.07	10.14	10.21	10.27	10.34	10.41
12	10.48	10.55	10.62	10.69	10.76	10.83	10.90	10.97	11.04	11.11
13	11.19	11.26	11.33	11.41	11.48	11.56	11.63	11.71	11.78	11.86
14	11.94	12.01	12.09	12.17	12.25	12.33	12.41	12.49	12.57	12.65
15	12.73	12.81	12.89	12.97	13.06	13.14	13.23	13.31	13.39	13.48
16	13.57	13.65	13.74	13.83	13.91	14.00	14.09	14.18	14.27	14.36
17	14.45	14.54	14.63	14.72	14.82	14.94	15.00	15.10	15.19	15.29
18	15.38	15.48	15.58	15.67	15.77	15.87	15.97	16.07	16.17	16.27
19	16.37	16.47	16.57	16.67	16.78	16.88	16.98	17.09	17.19	17.30
20	17.41	17.51	17.62	17.73	17.84	17.95	18.06	18.17	18.28	18.39
21	18.50	18.62	18.73	18.84	18.96	19.07	19.19	19.31	19.42	19.54
22	19.66	19.78	19.90	20.02	20.14	20.26	20.39	20.51	20.68	20.76
23	20.88	21.01	21.14	21.26	21.39	21.52	21.65	21.78	21.91	22.05
24	22.18	22.31	22.45	22.58	22.72	22.85	22.99	23.13	23.27	23.41
25	23.55	23.69	23.83	23.97	24.11	24.26	24.40	24.55	24.69	24.84
26	24.99	25.14	25.29	25.43	25.58	25.74	25.89	26.04	26.20	26.35
27	26.81	26.96	27.11	27.26	27.41	27.57	27.72	27.87	28.02	28.17
28	28.10	28.26	28.41	28.56	28.71	28.87	29.02	29.17	29.32	29.47
29	29.79	29.95	30.10	30.25	30.40	30.56	30.71	30.86	31.01	31.16

tabla 4. TENSIÓN MÁXIMA DEL VAPOR DE AGUA (mm Hg).

Grados	Décimos de grado									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
30	32.36	31.76	31.92	32.10	32.29	32.47	32.66	32.85	38.04	38.28
31	33.42	33.02	33.80	33.99	34.19	34.38	34.58	34.78	34.97	35.17
32	35.37	35.37	35.78	35.98	36.18	36.89	36.59	36.80	37.01	37.22
33	37.43	37.64	37.85	38.06	38.28	38.49	38.71	38.93	39.15	39.87
34	39.59	39.81	40.03	40.25	40.48	40.71	40.93	41.16	41.39	41.62
35	41.85	42.09	42.32	42.55	42.79	43.08	43.27	43.51	43.75	43.99
36	44.23	44.48	44.72	44.97	45.22	45.46	45.71	45.97	46.22	46.47
37	46.73	46.99	47.24	47.50	47.76	48.02	48.28	48.55	48.81	49.05
38	49.35	49.61	49.88	50.16	50.43	50.70	50.98	51.25	51.53	61.82
39	52.09	52.37	52.65	52.94	53.22	53.51	53.80	54.09	54.38	54.67
40	54.97	55.26	55.50	55.85	56.15	56.45	56.76	57.006	57.36	57.67
41	57.93	58.29	58.60	58.91	59.22	59.64	59.85	60.17	60.49	60.81
42	61.13	61.46	61.78	62.11	62.43	62.76	63.10	63.48	63.76	64.10
43	64.43	67.77	65.11	65.45	65.80	66.14	66.49	66.84	67.19	67.54
44	67.89	68.24	68.60	68.96	69.32	69.68	70.04	70.40	70.77	71.15
45	71.50	71.87	72.25	72.62	72.99	73.37	73.75	74.13	74.51	74.90
46	75.28	75.67	76.06	76.45	76.84	77.24	77.63	78.03	78.43	78.83
47	79.23	79.64	80.04	80.45	80.86	81.27	81.69	82.10	82.62	82.94
48	83.36	83.78	84.21	84.63	85.06	85.49	85.92	86.36	86.79	87.23
49	87.67	88.11	88.55	89.00	89.45	89.90	90.35	90.80	91.25	91.71

tabla 4. TENSION MÁXIMA DEL VAPOR DE AGUA (mm Hg)  
(continuación).

Grados	Décimos de grado									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
1	0.50	0.54	0.59	0.64	0.69	0.74	0.79	0.84	0.89	0.94
2	0.99	1.04	1.09	1.14	1.19	1.24	1.29	1.34	1.39	1.44
3	1.49	1.53	1.58	1.63	1.68	1.73	1.78	1.83	1.88	1.93
4	1.98	2.03	2.08	2.13	2.18	2.23	2.28	2.33	2.38	2.43
5	2.48	2.52	2.57	2.62	2.67	2.72	2.77	2.82	2.87	2.92
6	2.97	3.02	3.07	3.13	3.17	3.22	3.27	3.32	3.37	3.42
7	3.47	3.51	3.56	3.61	3.66	3.71	3.76	3.81	3.86	3.91
8	3.96	4.01	4.06	4.11	4.16	4.21	4.26	4.31	4.36	4.41
9	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70	4.75	4.80	4.85	4.90
10	4.95	5.00	5.05	5.10	5.15	5.20	5.25	5.30	5.35	5.40
11	5.45	5.49	5.54	5.59	5.64	5.69	5.74	5.79	5.84	5.89
12	5.94	5.99	6.04	6.09	6.14	6.19	6.24	6.29	6.34	6.39
13	6.44	6.48	6.53	6.58	6.63	6.68	6.73	6.78	6.83	6.88
14	6.93	6.98	7.03	7.08	7.13	7.18	7.23	7.28	7.33	7.38
15	7.43	7.47	7.52	7.57	7.62	7.67	7.72	7.77	7.82	7.87
16	7.93	7.97	8.02	8.07	8.12	8.17	8.22	8.27	8.32	8.37
17	8.42	8.46	8.51	8.56	8.61	8.66	8.71	8.76	8.81	8.86
18	8.91	8.96	9.01	9.06	9.11	9.16	9.21	9.26	9.31	9.36
19	9.41	9.45	9.50	9.55	9.60	9.65	9.70	9.75	9.80	9.85

tabla 5. PSICROMETROS VENTILADOS.

mm	mb	mm	mb	mm	mb	mm	mb	mm	mb	mm	mb
0.0	0.0	5.0	6.7	10.0	13.3	15.0	20.0	20.0	26.7	25.0	33.3
.1	.1	.1	.8	.1	.4	.1	.1	.1	.8	.1	.4
.2	.3	.2	.9	.2	.6	.2	.3	.2	.9	.2	.6
.3	.4	.3	7.1	.3	.7	.3	.4	.3	27.1	.3	.7
.4	.5	.4	.2	.4	.9	.4	.5	.4	.2	.4	.9
.5	.7	.5	.3	.5	14.0	.5	.7	.5	.3	.5	34.0
.6	.8	.6	.4	.6	.1	.6	.8	.6	.4	.6	.1
.7	.9	.7	.6	.7	.3	.7	.9	.7	.6	.7	.3
.8	1.1	.8	.7	.8	.4	.8	21.1	.8	.7	.8	.4
.9	.2	.9	.9	.9	.5	.9	.2	.9	.9	.9	.5
1.0	1.3	6.0	8.0	11.0	14.7	16.0	21.3	21.0	28.0	26.0	34.7
.1	.4	.1	.1	.1	.8	.1	.4	.1	.1	.1	.8
.2	.6	.2	.2	.2	.9	.2	.6	.2	.3	.2	.9
.3	.7	.3	.3	.3	15.1	.3	.7	.3	.4	.3	35.1
.4	.9	.4	.4	.4	.2	.4	.9	.4	.5	.4	.2
.5	2.0	.5	.5	.5	.3	.5	22.0	.5	.7	.5	.3
.6	.1	.6	.7	.6	.4	.6	.1	.6	.8	.6	.4
.7	.3	.7	.8	.7	.6	.7	.3	.7	.9	.7	.6
.8	.4	.8	.9	.8	.7	.8	.4	.8	29.1	.8	.7
.9	.5	.9	9.1	.9	.9	.9	.5	.9	.2	.9	.9
2.0	2.7	7.0	9.3	12.0	16.0	17.0	22.7	22.0	29.3	27.0	36.0
.1	.8	.1	.4	.1	.1	.1	.8	.1	.4	.1	.1
.2	.9	.2	.6	.2	.3	.2	.9	.2	.6	.2	.3
.3	3.1	.3	.7	.3	.4	.3	23.1	.3	.7	.3	.4
.4	.2	.4	.9	.4	.5	.4	.2	.4	.9	.4	.5
.5	.3	.5	10.0	.5	.7	.5	.3	.5	30.0	.5	.7
.6	.4	.6	.1	.6	.8	.6	.4	.6	.1	.6	.8
.7	.6	.7	.3	.7	.9	.7	.6	.7	.3	.7	.9
.8	.7	.8	.4	.8	17.1	.8	.7	.8	.4	.8	37.1
.9	.9	.9	.5	.9	.2	.9	.9	.9	.5	.9	.2
3.0	4.0	8.0	10.7	13.0	17.3	18.0	24.0	23.0	30.7	28.0	37.3
.1	.1	.1	.8	.1	.4	.1	.1	.1	.8	.1	.4
.2	.3	.2	.9	.2	.6	.2	.3	.2	.9	.2	.6
.3	.4	.3	11.1	.3	.7	.3	.4	.3	31.1	.3	.7
.4	.5	.4	.2	.4	.9	.4	.5	.4	.2	.4	.9
.5	.7	.5	.3	.5	18.0	.5	.7	.5	.3	.5	38.0
.6	.8	.6	.4	.6	.1	.6	.8	.6	.4	.6	.1
.7	.9	.7	.6	.7	.3	.7	.9	.7	.6	.7	.3
.8	5.1	.8	.7	.8	.4	.8	25.1	.8	.7	.8	.4
.9	.2	.9	.9	.9	.5	.9	.2	.9	.9	.9	.5
4.0	5.3	9.0	12.0	14.0	18.7	19.0	25.3	24.0	32.0	29.0	38.7
.1	.4	.1	.1	.1	.8	.1	.4	.1	.1	.1	.8
.2	.6	.2	.3	.2	.9	.2	.6	.2	.3	.2	.9
.3	.7	.3	.4	.3	19.1	.3	.7	.3	.4	.3	39.1
.4	.9	.4	.5	.4	.2	.4	.9	.4	.5	.4	.2
.5	6.0	.5	.7	.5	.3	.5	26.0	.5	.7	.5	.3
.6	.1	.6	.8	.6	.4	.6	.1	.6	.8	.6	.4
.7	.3	.7	.9	.7	.6	.7	.3	.7	.9	.7	.6
.8	.4	.8	13.1	.8	.7	.8	.4	.8	33.1	.8	.7
.9	.5	.9	.2	.9	.9	.9	.5	.9	.2	.9	.9

tabla 6. CONVERSION DE MILIMETROS DE MERCURIO A MILIBARES.

---

---

**CAPITULO V**

**RADIACION SOLAR**

---

---

## V. RADIACIÓN SOLAR

### 5.1 Introducción

Como sabemos por la Física, la energía calorífica, que es la que más nos interesa, puede transmitirse de tres maneras:

- **Por conducción.** Que es como se transfiere el calor de molécula en los cuerpos sólidos.
- **Por convección.** O acarreo del calor por medio del movimiento de las porciones mismas que forman a los fluidos, como el agua y el aire, a virtud de corrientes ocasionadas por diferencias en densidad que se establecen debido al calentamiento disperejo del fluido al encontrarse parte de él en contacto con una superficie caliente, o bien, por convección forzada, en que la agitación mecánica del fluido por el viento y otro agente mecánico induce el mezclamiento o intercambio de propiedades entre dos capas de fluidos adyacentes.
- **Por radiación.** Esta forma de transmisión del calor, a diferencia de las otras formas mencionadas, puede llevarse a cabo en el vacío, es decir, sin que sea necesario que medie ninguna substancia entre el cuerpo emisor y el receptor.

Un ejemplo de cada una de las formas de transmisión del calor lo tenemos en el caso de un hogar o chimenea casera.

Si metemos una barra metálica al fuego, notaremos que el extremo por el cual sostenemos la barra con la mano irá aumentando su temperatura. Se trata pues de un caso de conducción de calor.

Por otra parte, si nos sentamos en el extremo opuesto de la habitación en que se encuentra la chimenea, notaremos que después de algún tiempo, el aire caldeado por las paredes de la chimenea pierde densidad y peso y sube hasta el techo en donde se enfría, al ponerse en contacto con objetos más fríos; aumenta su densidad y desciende para regresar al punto inicial en un circuito cerrado. Si la habitación no tiene ventilación que renueve el aire, éste acabará por alcanzar una temperatura bastante elevada. Este es el caso de transporte de calor por convección.

Ahora bien, menos conocido es el hecho de que la luz, emitida por las llamas o las brasas, calienta las partes que iluminan directamente, demostrándose con ésto, que la luz también es un vehículo de transferencia de energía.

Detengámonos a examinar la naturaleza de las radiaciones o energía radiante, como también se le llama a esta forma de transferencia de energía.

El transporte de energía por radiación es, en realidad, el modo más universal de transmisión de la energía, pues gracias a este mecanismo, la energía del Sol (y aún la de las estrellas) llega a la Tierra a través de los espacios interplanetarios, no solamente en forma de luz y calor, sino también en forma de ondas de radio y radar, de rayos cósmicos y de rayos gamma. Todas estas radiaciones y otras como los rayos X, los rayos infrarrojos y los rayos ultravioleta constituyen lo que se llama el espectro electromagnético, del cual la luz es sólo la porción sensible al ojo humano.

Al igual que la luz, las otras radiaciones consisten en ondas o vibraciones que se propagan a 300,000 km/seg, distinguiéndose entre si por la frecuencia de sus vibraciones  $f$  o por su longitud de onda  $\lambda$ . La relación que liga a estas cantidades es bien sencilla, a saber:

$$f \lambda = \text{velocidad de la luz}$$

de manera que, conociéndola longitud de onda  $\lambda$ , es posible calcular la frecuencia y viceversa, ya que la velocidad de la luz es constante.

Al igual que la luz, las otras radiaciones se propagan en línea recta, se reflejan y se refractan y aún manifiestan los fenómenos de dispersión y difracción, solamente que los medios que son transparentes para unas no lo son para otras y viceversa; así, los que resultan opacos a un tipo de radiación, pueden ser transparentes para otros tipos de energía radiante, dependiendo esto solamente de su longitud de onda o de su frecuencia.

### **Tipos de radiación.**

Existen diversos tipos de radiación. En primer término se tiene a la radiación solar o de onda corta debido a que su composición espectral o distribución de longitudes de onda, está comprendida entre los límites de 0.3 y 3.0 micras y su emisión sólo se presenta durante los periodos diurnos.

En segundo lugar se tiene a la radiación terrestre o de onda larga entre 4 y 100 micras que emite la tierra y todos los objetos sobre la superficie del planeta (plantas, animales, rocas, etc.) a su entorno y en conjunto la superficie terrestre hacia la atmósfera, su emisión es continua (periodos diurnos y nocturnos).

### **Composición de la radiación solar.**

En la materia, pequeñas partículas cargadas negativamente, los electrones, se mueven continuamente a velocidades extremadamente elevadas cuyo valor medio aumenta con la temperatura, en el curso de esta incesante agitación llega un momento en que esas partículas chocan y se producen vibraciones que originan ondas electromagnéticas. Las partículas animadas de gran velocidad vibran rápidamente, dando lugar a ondas cortas; las ondas largas resultan de la colisión de partículas más lentas. A las elevadas temperaturas que existen en el Sol, las partículas cargadas se desplazan a velocidades muy diferentes.

La energía radiante del Sol abarca un amplio campo del espectro electromagnético (**fig. 82**), desde los rayos cuya longitud de onda es muy corta (rayos gamma y rayos X) hasta los rayos cuya longitud de onda es muy larga (ondas largas de radiodifusión) aunque la mayor parte de la radiación solar pertenece a la banda visible (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil, violeta).

La energía radiada de un cuerpo aumenta con la temperatura del cuerpo, mientras que la longitud de onda de los rayos irradiados es tanto más pequeña cuanto mayor sea su temperatura, por este motivo, los cuerpos calientes irradian más calor que los cuerpos fríos y lo hacen con rayos cuya longitud de onda es más pequeña.

La radiación solar en el límite superior de la atmósfera está formada por diferentes longitudes de onda y es a partir de ello que se identifican tres tipos de radiación solar; la radiación química o actínica formada por radiaciones de longitud de onda muy pequeña menor a 0.36 micras, entre ellas se encuentra la radiación ultravioleta que representa el 9% de la energía solar y son invisibles al ojo humano.

La radiación lumínica es la visible al ojo humano y es lo que propiamente se llama luz, su longitud de onda va de 0.36 a 0.76 micras, corresponde al 41% de la energía solar. Finalmente se tienen las radiaciones infrarrojas o térmicas, invisibles al ojo humano y cuya longitud varía de 0.76 a 4 micras, equivale al 50% de la radiación solar.

### **Tipos de radiación solar.**

Dentro de la radiación solar se consideran varios tipos como son: la radiación solar directa, difusa, global y total.

#### **Radiación solar directa.**

La radiación solar directa es la porción de la radiación solar que es transmitida íntegramente y se distingue por ser la que forma una sombra más nítida y llega a la superficie sin sufrir ninguna desviación.

#### **Radiación solar difusa.**

La radiación solar difusa es el resultado de la reflexión y dispersión la radiación solar; a ella corresponden las primeras y últimas luces del amanecer y anochecer, respectivamente, así mismo es la de mayor presencia en los días nublados.

#### **Radiación solar global.**

La radiación global es la suma de las radiaciones directa y difusa sobre una superficie horizontal que es la que se registra en las estaciones meteorológicas de primer orden.

#### **Radiación solar total.**

Por último, la radiación total incluye la radiación de onda larga existente en el ambiente, característica que la distingue de la radiación global.

### **Factores que afectan la radiación solar.**

Los factores que intervienen en la intensidad de la radiación solar son bastantes; los fundamentales se clasifican en cuatro grupos:

- **Astronómicos**
  - espectro solar
  - magnitud de la constante solar
  - variación de la distancia entre la Tierra y el Sol
  - declinación solar
  - variación del ángulo horario
  
- **Geográficos**
  - latitud
  - longitud
  - altura sobre el nivel del mar
  - geografía de la localidad (costas, montañas, etc.)

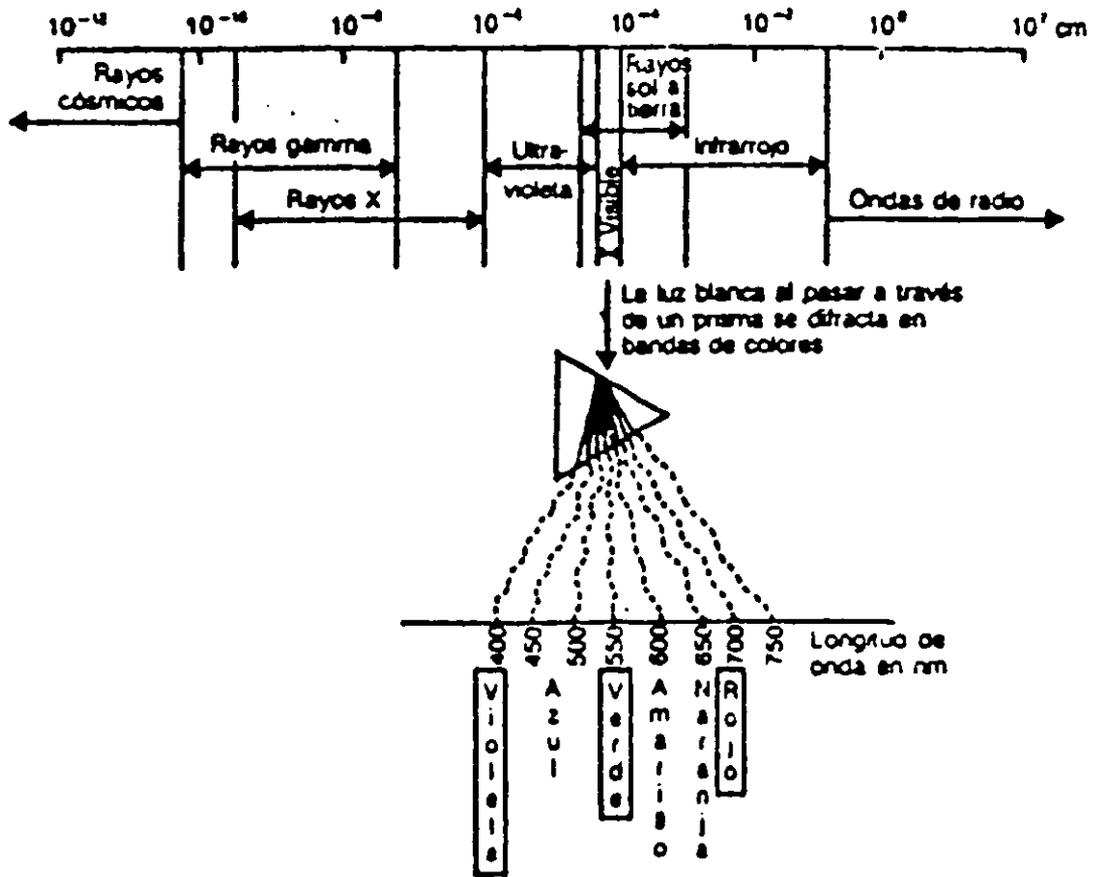


fig. 82 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO.

- Geométricos
  - altura solar
  - azimut del Sol
  - inclinación del plano receptor
  - rumbo del plano receptor
  
- Físicos
  - contenido de agua en la atmósfera
  - turbidez de la atmósfera
  - contenido de gases permanentes
  - efectos de la nubosidad del cielo
  - efecto del albedo del suelo

Cada uno de estos factores al incidir de manera conjunta o por separado causan la existencia de una mayor o menor intensidad en la radiación solar.

### **Atmósfera terrestre .**

Al entrar en contacto la radiación solar con la Tierra, lo hace a través de la atmósfera y al ser atravesada ésta, provocará efectos en la primera. Antes de conocer dichos efectos, definamos qué es la atmósfera.

La atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea a la Tierra (del griego *atmos*-vapor y *sphera*-esfera). Está constituida por una mezcla de gases que en conjunto se conoce con el nombre de aire. A pesar de que el aire no es un compuesto químico, posee propiedades físicas muy notables que hicieron que los antiguos (griegos y romanos) lo consideraran, junto con la tierra, el agua y el fuego, como un elemento.

El aire es incoloro, excepto cuando se ve a través de grandes masas, lo que da un tinte azulado a los objetos lejanos, como las montañas y serranías distantes. Es además, inodoro e insípido. El aire, como toda sustancia material, tiene peso y por ser un gas ejerce una fuerza compresora, o presión, sobre la superficie de todos los cuerpos con los que se halla en contacto. Aunque es más ligero que el agua, con la cual comparte las propiedades físicas antes citadas, posee una característica distintiva sumamente importante que es la de ser fácilmente compresible o dilatable, lo que permite la transmisión de las ondas sonoras a través de él, sin las cuales nuestro planeta sería un mundo silencioso.

Esta misma propiedad hace que las capas cercanas al suelo tengan mayor densidad que las superiores debido a que éstas gravitan sobre aquellas comprimiéndolas. Así que, la densidad del aire decrece con la altitud, por lo que también disminuye con ella la presión atmosférica, ya que ésta se origina por el peso de las diversas capas de la atmósfera.

Por otra parte, la atmósfera no posee un límite superior bien definido ya que la densidad del aire, se va haciendo gradual, pero indefectiblemente menor a medida que se asciende; hasta que llega un momento en que por su poca densidad el aire no puede distinguirse del vacío interplanetario. A medida que las técnicas de observación se han ido perfeccionando, la altura máxima asignada a la atmósfera ha ido creciendo. Por observación del frenaje sufrido por los satélites puestos en órbita, se calcula hoy en día que la atmósfera terrestre se extiende hasta cerca de los 1,200 km sobre la superficie del planeta.

El aire puro es relativamente transparente a toda clase de radiaciones. Sin embargo, debido a las diferencias en densidad de las diversas capas que constituyen la atmósfera, los rayos

luminosos provenientes del espacio exterior sufren una refracción continuada. No obstante, la mayoría de los fenómenos ópticos que se observan en la atmósfera se deben más bien a las impurezas que el aire contiene.

### Composición de las capas de la atmósfera.

El aire puro y seco desde el nivel del mar hasta una altura de 11 km en los polos y 18 km en el Ecuador, es una mezcla de cierto número de gases permanentes en la atmósfera que son:

N (nitrógeno)	=	78.08% en volúmen
O (oxígeno)	=	20.95% en volúmen
Suman		99.03% en volúmen
A (argón)	=	0.93% en volúmen
CO <sub>2</sub> (dióxido de carbono)	=	0.03% en volúmen
Total		99.99% en volúmen

El resto está constituido por vestigios de los siguientes gases:

Ne	(neón)
He	(helio)
Kr	(kriptón)
H	(hidrógeno)
Xe	(xenón)
O <sub>3</sub>	(ozono, aumenta con la altura)
Rn	(radón, disminuye con la altura)

Además de los gases permanentes, la atmósfera contiene numerosas partículas orgánicas e inorgánicas clasificadas como polvos atmosféricos que son las causantes de la mayoría de los fenómenos ópticos observados, y además, una cantidad variable de vapor de agua que en días muy calientes y húmedos puede ser hasta del 5% del aire seco.

En la zona tropical húmeda el promedio del vapor de agua es de 2.6% en peso; a 50° de latitud es de 0.9% y a 70° de latitud es de 0.2%, es decir, que disminuye al aumentar la altitud. El vapor de agua es, como sabemos, la materia prima de los múltiples productos de condensación tales como: las nubes, la niebla, la lluvia, la nieve, el granizo, etc. El vapor de agua y el polvo atmosférico se concentran en la parte inferior de la atmósfera y disminuyen rápidamente con la altura.

A pesar de su abundancia, el nitrógeno no tiene gran importancia en los fenómenos del tiempo y del clima, pero es muy importante en la formación de los suelos de los que se nutren las plantas. El bióxido de carbono es el producto de la combustión de muy diversas sustancias y de la putrefacción de la materia orgánica, que tiene lugar muy constantemente en la superficie de la tierra; es fuertemente absorbido por el agua de los océanos que ayudan a mantener una proporción relativamente constante de este gas en la atmósfera.

### Divisiones o capas de la atmósfera.

La atmósfera posee una fuerte estratificación cuyo efecto más notable es el producir fuertes diferencias en densidad y en presión atmosférica en el sentido vertical. Estas diferencias son mucho mayores que las que pueden observarse en sentido horizontal.

Sin embargo, no solamente las diferencias en densidad y presión caracterizan a las diversas capas de la atmósfera, sino también el comportamiento de la temperatura en cada una de ellas, el cual depende esencialmente de la composición del aire a distintos niveles. En efecto, hay ciertos gases que absorben más energía de unas longitudes de onda que de otras, por lo que el calentamiento que experimenta la atmósfera es muy peculiar, haciendo que haya diferencias notables en la distribución de la temperatura en sentido altitudinal.

Se reconocen en la atmósfera las siguientes capas (fig. 83).

- **Tropósfera.** Es la capa más próxima al suelo, que abarca desde el nivel del mar hasta una altura de 11 a 18 km. Esta altura es variable según la latitud del lugar y la estación del año. La Tropósfera se distingue porque en ella la temperatura disminuye en cierta proporción al aumentar la altura, de manera que se calcula que en su parte superior, a la latitud de los trópicos, la temperatura es del orden de  $-55^{\circ}\text{C}$ . En esta capa tienen lugar la mayoría de los movimientos y fenómenos atmosféricos que constituyen lo que llamamos tiempo meteorológico. Su composición es más o menos uniforme debido a la continua agitación a que está sometida. Por lo mismo, en ella se encuentra casi la totalidad del vapor de agua y de las partículas de polvo. Constituyen, así mismo, más del 80% de la masa de la atmósfera.
- **Tropopausa.** Es una delgada capa o región de transición que separa a la Tropósfera de la capa que se sitúa sobre ésta, llamada Estratósfera. Su altura depende de la de la Tropósfera.
- **Estratósfera.** Se encuentra inmediatamente arriba de la Tropopausa y comprende desde el límite superior de dicha capa hasta los 50 km de altura. Se reconocen en ella varias capas: la más baja, con límite superior alrededor de los 30 km, es más o menos isotérmica ya que su temperatura varía muy poco con la altura; es una región relativamente tranquila ya que la agitación característica del aire en los niveles inferiores no puede llegar hasta ahí, con excepción de algunas erupciones volcánicas que de vez en cuando le inyectan gases y cenizas y, recientemente, de las explosiones nucleares que le introducen mortales productos radioactivos los que, después de permanecer algún tiempo flotando, acaban por precipitarse sobre la superficie terrestre.  
Entre los 30 y 50 km de altura la temperatura aumenta gradualmente hasta alcanzar un máximo de unos  $10^{\circ}\text{C}$  en las inmediaciones de los 50 km S.N.M.
- **Estratopausa.** Es la capa de transición entre la Estratósfera y la Mesósfera, con una altura de los 50 km S.N.M y, a diferencia de la Tropopausa, su temperatura es muy alta.
- **Mesósfera.** Comprende de los 50 km a los 80 km S.N.M., y la caracteriza una disminución gradual de la temperatura hasta un valor de  $-95^{\circ}\text{C}$  a los 80 km. Se dice que la Mesósfera es tan turbulenta como la Tropósfera.
- **Mesopausa.** Es la región de transición entre la Mesósfera y la capa superior llamada Termósfera. La Mesopausa experimenta las temperaturas más bajas de la atmósfera.
- **Termósfera.** Arriba de la Mesopausa se encuentra la Termósfera, llamada así porque dentro de ella la temperatura aumenta constantemente hasta los 600 km S.N.M., donde alcanza un valor de unos  $1,400^{\circ}\text{C}$ . A estas alturas, sin embargo, el concepto que se tiene comúnmente de la temperatura pierde su sentido. En efecto, debido a las poquísimas moléculas de aire que existen en esas regiones, la temperatura de un cuerpo a estas alturas estaría determinada por sus condiciones de equilibrio irradiativo, más bien que por la temperatura del aire deducida a partir de la teoría cinética de los gases, que es a lo que se refiere el término temperatura en estas altas regiones de la atmósfera.

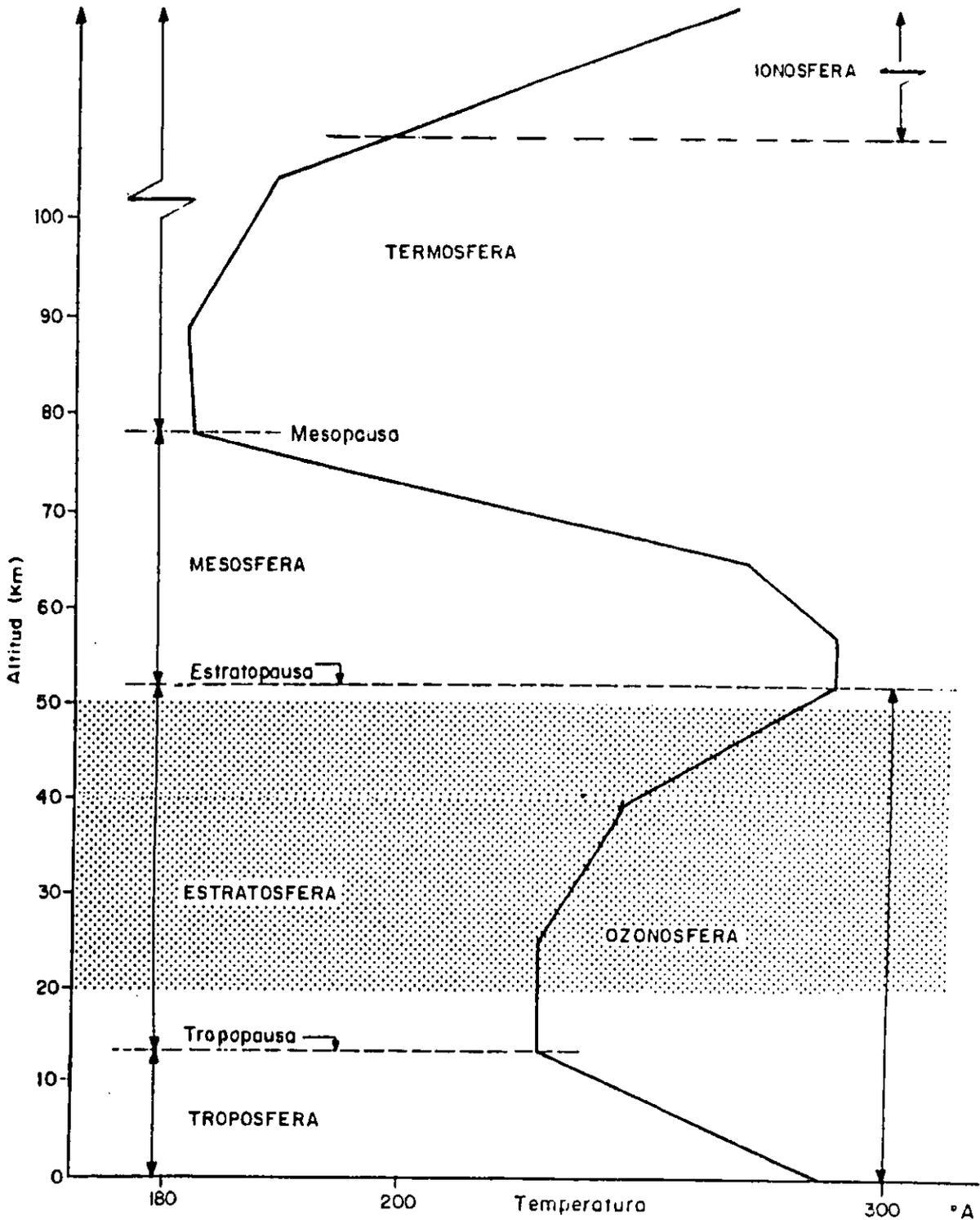


fig. 83 ESTRUCTURA VERTICAL DE LA ATMOSFERA.

---

A través de la atmósfera hay probablemente una transición gradual de la temperatura, de la Mesopausa hasta la de la atmósfera solar, dentro de la cual está sumergida la de la Tierra.

La división anterior de la atmósfera tiene como base las características térmicas del aire, pero frecuentemente se divide en otras regiones en base a su composición química o a su carácter eléctrico. Las más comunes son las siguientes:

- **Ozonósfera.** Es una capa cuyo límite superior coincide con la Estratósfera y en la que se encuentran pequeñas cantidades de ozono ( $O_3$ ), resultantes de la disociación fotoquímica de las moléculas de oxígeno bajo la acción de los rayos solares. Aunque la concentración máxima de ozono se halla cerca de los 30 km S.N.M., también se encuentra en bajas concentraciones cerca de la superficie terrestre hacia donde se difunde desde la capa de concentración máxima donde se forma. Motivo por el cual algunos autores toman a la superficie de la tierra como límite inferior de dicha capa.

La Ozonósfera tiene una gran importancia desde el punto de vista biológico ya que impide que las radiaciones ultravioletas lleguen con toda su intensidad al suelo. Se ha dicho que si no existiera esa capa de ozono, no sería posible la vida en el planeta, ya que dichas radiaciones destruyen los tejidos vivos.

El ozono, por otra parte, es una sustancia tóxica, como lo han demostrado los estudios recientes del efecto de la contaminación atmosférica sobre las plantas y los animales debida a dicho gas.

- **Ionósfera.** Es una región constituida por varias capas, en la que las moléculas de aire se encuentran fuertemente ionizadas y por lo tanto contienen electrones libres. Comúnmente se le asigna un límite inferior de 60 a 80 km, con un límite superior indefinido. Entre las diversas capas que la forman se mencionan la capa de Kennelly-Heaviside que está entre los 9 y 130 km y la capa de Appleton, a 300 km.

Estas capas son conductoras de la electricidad y gracias a ellas se pueden captar las ondas de radio (que viajan en línea recta) provenientes del lado opuesto de la tierra, ya que dichas capas las reflejan. En la Ionósfera tienen lugar también las auroras polares que son manifestaciones luminosas provocadas por la llegada de partículas cargadas de electricidad a la atmósfera terrestre, las cuales además producen perturbaciones del campo magnético terrestre y tormentas ionosféricas que afectan a las comunicaciones radio eléctricas. En la base de la ionósfera se observan también las nubes noctilucen.

### **Efectos de la atmósfera terrestre sobre la radiación.**

Cuando la radiación solar llega al límite de la atmósfera se producen fenómenos físicos que contribuyen a conservar la vida en el planeta. El primero de ellos es la absorción, denominada así por el proceso por el cual un flujo de radiación penetra en un cuerpo y se transforma en energía térmica. La radiación solar es absorbida por los gases, agua y aerosoles. La variación de la absorción en una atmósfera sin nubes y sin polvo depende principalmente de la distribución del vapor de agua en la Tropósfera y el ozono en la atmósfera. El vapor de agua absorbe principalmente en la región cercana al infrarrojo entre 0.7 y 4 micras. A longitudes de onda más cortas el absorbedor gaseoso principal es el ozono, el cual es efectivo en el ultravioleta y el visual. El  $O_2$  y el  $CO_2$  juntos son responsables de aproximadamente el 1% de absorción de la atmósfera.

La reflexión se produce cuando una radiación al incidir sobre un cuerpo es desviada o devuelta sin modificar sus caracteres, las nubes interceptan una buena parte de la radiación solar y la reflejan en todas direcciones. La mitad de esa radiación reflejada se dirige al espacio y la otra

---

---

---

mitad hacia la tierra; las superficies como es el caso de los bosques reflejan un 10% de lo que reciben, el océano un 12%, un campo arado 15%, la arena seca 20%, la pradera 25%, las nubes 75% y la nieve fresca hasta un 80%. Al ocurrir esta reflexión hacia el espacio, las nubes pueden absorber o reflejar de nuevo y producir con ello el efecto de invernadero que permite conservar el calor a la tierra durante la noche.

La atmósfera como cualquier otro gas, se compone de moléculas que dejan entre sí espacios vacíos cuyo volumen es mucho mayor que el volumen ocupado por ellas. Además de las moléculas existen numerosas partículas tales como el polvo, humo, gotas de agua, etc. Los rayos solares se propagan en línea recta, chocan contra esas moléculas y partículas que actúan como verdaderos obstáculos y se desvían en todas direcciones. Este fenómeno recibe el nombre de dispersión. La tierra absorbe el 47% de la radiación solar, la atmósfera el 17% y el resto se pierde en el espacio.

Los rayos luminosos de onda más corta como el azul y el violeta se dispersan más fácilmente que otros y a ello se debe la coloración azul de nuestro cielo. Este fenómeno de dispersión unido al de reflexión da como resultado la radiación solar difusa prevaleciente en días nublados, el amanecer y atardecer.

Otro factor de la atmósfera que tiene gran influencia en la atenuación de la radiación solar es la nubosidad, ya que puede llegar a reducir la intensidad de la radiación hasta en un 80% o 90%.

Las nubes absorben, dispersan y reflejan la radiación solar en mayor o menor grado dependiendo de su altitud, composición y tamaño, las nubes de poca altura reducen la intensidad de la radiación solar más que las nubes de gran altura, pues desde un punto de vista físico-químico, las nubes constituyen un aerosol con una fase de agua esparcida (sólida o líquida) y una concentración normal en una atmósfera sin nubes, por ello bajo condiciones de cielo parcialmente nublado, los valores instantáneos de la radiación muestran variaciones muy pronunciadas en periodos cortos de tiempo (horas, minutos) debido a la relación dinámica entre el sol y los grupos de nubes.

### **Leyes de radiación solar.**

Este tema pertenece a la Meteorología en general, sin embargo en algunas ocasiones es necesario tener presente algunas leyes para apoyarnos en ellas.

#### **• Ley de Planck**

La energía emitida por un cuerpo negro es una función de su temperatura y de la longitud de onda en que la radiación se procesa.

#### **• Ley de Stefan-Boltzmann**

Esta ley establece que la cantidad total de energía emitida por un cuerpo negro, en todas las longitudes de onda, es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absorbida.

#### **• Ley de Kirchhoff**

La capacidad de absorción de un material es igual a su poder de emisión para una misma longitud de onda a igual temperatura.

---



---

- **Ley de Wien**

Existe una razón inversamente proporcional entre la temperatura de un cuerpo negro y la longitud de onda del punto de máxima emisión de energía, es decir, la radiación máxima de energía se efectúa en una onda, cuya longitud es inversamente proporcional a la temperatura del cuerpo.

- **Ley de Bouguer**

La intensidad calorífica de una radiación que atraviesa un medio transparente, decrece en progresión geométrica cuando la masa atravesada crece en progresión aritmética.

- **Ley del coseno de la oblicuidad**

La intensidad calorífica recibida varía proporcionalmente al coseno del ángulo que forman el plano considerado y el plano perpendicular a los rayos solares.

## 5.2. Instrumentación y medición

### Métodos de medición de la radiación solar.

La radiación no constituye un elemento climático usual y su medición se realiza de manera continua en pocas estaciones (600) alrededor del mundo.

La precisión de las mediciones es generalmente alrededor del 5% para periodos cortos, es decir, de unas cuantas horas, aumentando 3% para periodos de un día, siempre y cuando se cuente con un buen equipo y buen mantenimiento.

Los instrumentos por lo general son bastante caros y para su operación requieren de un técnico experimentado para asegurar su funcionamiento continuo. En México, el departamento de radiación solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la U.N.A.M. es el único con personal capacitado para la instalación, mantenimiento y reparación de estos instrumentos.

La cantidad de radiación que la tierra recibe se mide en  $\text{cal/cm}^2/\text{min}$ . Una caloría es la cantidad de calor que es necesario suministrar a un gramo de agua para elevar su temperatura de  $14.5^\circ\text{C}$  a  $15.5^\circ\text{C}$ . Otras unidades que se utilizan para expresar la radiación recibida por unidad de superficie son:

$$1 \text{ Langley (Ly)} = 1 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{watts/m}^2$$

$$1 \text{ cal/cm}^2/\text{min} = 698 \text{ W/m}^2$$

$$1 \text{ W/m}^2 = 0.0014327 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$$

Sin embargo existen otras unidades expresadas en la **tabla 7**, la cual contiene los factores de conversión de unidades en que generalmente se expresan los totales diarios de radiación global solar.

---



---

Radiación global	cal/cm <sup>2</sup> /día	J/m <sup>2</sup> /día	WH/m <sup>2</sup> /día	MJ/m <sup>2</sup> /día	KWH/m <sup>2</sup> /día
cal/cm <sup>2</sup> /día	1	4.187X10 <sup>4</sup>	11.63	4.187X10 <sup>-2</sup>	11.63X10 <sup>-3</sup>
J/m <sup>2</sup> día	2.388X10 <sup>-5</sup>	1	2.778X10 <sup>-4</sup>	1.0X10 <sup>-6</sup>	2.778X10 <sup>-7</sup>
WH/m <sup>2</sup> /día	0.086	3.6X10 <sup>3</sup>	1	3.6X10 <sup>-3</sup>	1.0X10 <sup>-3</sup>
MJ/m <sup>2</sup> /día	2.338X10 <sup>1</sup>	1.0X10 <sup>6</sup>	2.778X10 <sup>2</sup>	1	2.778X10 <sup>-1</sup>
KWH/m <sup>2</sup> /día	86.0	3.6X10 <sup>6</sup>	1.0X10 <sup>3</sup>	3.6	1

**tabla 7. FACTORES DE CONVERSION DE LA RADIACION SOLAR.**

Cabe destacar que si se habla de energía las unidades propias para expresar a ésta son watts, joules y kilowatts y no cal/cm<sup>2</sup>/min en las cuales se ha expresado hasta ahora este elemento climático. Para medir la cantidad de energía solar que incide sobre un determinado punto en la superficie terrestre, se utilizan diversos tipos de dispositivos, los cuales tienen siempre como principio de funcionamiento de conversión de energía solar en algún otro tipo de energía, como pueden ser energía eléctrica, energía calorífica, etc.

Para lograr la conversión de energía se utilizan: celdas solares, uniones bimetálicas, efectos térmicos de cambio de propiedades de la materia y cualquier dispositivo sensible al calor o a la radiación, es susceptible de ser adaptado a un aparato medidor de la energía del sol.

Los sensores de la radiación solar se clasifican en:

- Térmicos (termomecánicos y termoelectrónicos).
- Fotoválticos.

Los sensores térmicos operan detectando el cambio de temperatura de algún material (el sensor propiamente dicho) expuesto al flujo radiacional que pretende medirse. Dentro de este tipo encontramos los termomecánicos, que detectan los efectos mecánicos del cambio de temperatura y los termoelectrónicos que como su nombre lo indica registran los efectos eléctricos, generalmente las corrientes eléctricas que se generan por el cambio de temperatura del material sensor.

El principio de trabajo de los sensores fotoválticos lo constituye la variación de la conductividad eléctrica de ciertos materiales, cuando varía la intensidad de la luz que incide sobre ellos. A diferencia de los sensores termoelectrónicos la sensibilidad de los fotoválticos tiene una mayor dependencia espectral.

Los instrumentos disponibles para medir los componentes del balance de radiación se agrupan en:

- **Pirheliómetros.** Miden la radiación solar directa que incide en forma normal a una superficie.
- **Piranómetros.** Miden la radiación solar (global) recibida desde todo el hemisferio celeste sobre una superficie horizontal terrestre. Se les llama también solarímetros o actinógrafos.
- **Heliógrafos.** Miden únicamente la duración de la insolación (horas de brillo solar).
- **Pirgeómetros.** Miden la radiación infrarroja o de onda larga.
- **Pirradiómetros.** Miden la radiación solar y la infrarroja desde un solo hemisferio.
- **Radiómetros netos.** Determinan la radiación neta (balance de energía).

## Pirheliómetros

Los pirheliómetros son instrumentos destinados a medir la intensidad calorífica de la radiación solar directa que incide en forma perpendicular a una superficie receptora.

**Pirheliógrafo de Gorczynski.** Goza de amplia aceptación por su sensibilidad y precisión. Consiste fundamentalmente en pares termoeléctricos múltiples (de manganina y de constantano) pilas Moll, tan sensibles y de pequeñísima resistencia para ser usados en milivoltímetro común, que es la otra parte esencial del aparato. Además, consta de dispositivos eléctricos y mecánicos anexos que le permiten hacer el registro automático y continuo de las mediciones hechas.

El principio de su funcionamiento consiste en que las soldaduras de los pares termoeléctricos se exponen directamente a la radiación solar y al calentarse se genera una corriente "termoeléctrica" que por medio de un circuito se transmite al voltímetro y es medida, además es registrada en el dispositivo destinado para ese fin. La corriente generada es proporcional a la intensidad calorífica de la radiación solar. En todo momento, por mecanismos especiales, se mantiene la superficie receptora perpendicular a los rayos solares, además dicha superficie se encuentra en el fondo de un tubo que impide la llegada de la radiación difusa. (fig. 84).

**Pirheliómetro de Pouillet.** Este instrumento en la actualidad sólo tiene valor histórico y didáctico. Las partes esenciales de este aparato son:

Una caja metálica cilíndrica, la cual tiene su cara superior ennegrecida con negro de humo. Esta caja está llena de agua y en su interior se encuentra un termómetro.

Para que los rayos solares incidan normalmente en la cara ennegrecida, sobre el mismo eje de ésta, se encuentra un disco con las mismas dimensiones, los rayos solares inciden con normalidad cuando el disco recoge íntegramente la sombra de la caja. (fig. 85).

El principio del instrumento se puede ilustrar a partir del siguiente ejemplo:

Suponiendo que la caja metálica contiene 100 g de agua y que al ser expuesta al sol durante 5 min, la temperatura aumenta en 4°C, en ese tiempo la cantidad de calor recibido será igual al producto de la masa de agua por el calor específico y por los grados del aumento de la temperatura, recordando que el "calor específico de un cuerpo" es la cantidad de calorías requeridas para elevar en 1° la temperatura de 1 g de dicho cuerpo.

El calor específico del agua es de 1 cal/g°C. Continuando con el ejemplo se tiene:

$$100 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times 4^\circ\text{C} = 400 \text{ cal}$$

Suponiendo que la cara superior de la caja metálica tiene una superficie de 40 cm<sup>2</sup>, la cantidad de calor recibida por cm<sup>2</sup> será de:

$$400 \text{ cal}/40 \text{ cm}^2 = 10 \text{ cal/cm}^2$$

Para conocer la cantidad de calorías recibidas en 1 min, se divide entre 5 y se obtiene:

$$10 \text{ cal/cm}^2/5 \text{ min} = 2 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$$

Es decir, que la intensidad calorífica medida ha sido de:

$$2 \text{ cal/cm}^2/\text{min} = 2 \text{ Ly}/\text{min}$$

---

---

En la práctica, es necesario tener en cuenta el calor que absorbe la caja metálica, el termómetro, así como también el calor que el instrumento recibe de los objetos vecinos, etc.

Este aparato presenta dos grandes desventajas que son:

- Debido a la baja conductividad térmica del agua, dentro de la caja metálica puede existir agua a diferentes temperaturas acusando el termómetro una temperatura errónea. Para reducir esta fuente de error, el aparato posee un dispositivo mezclador de agua.
- Debido al elevado calor específico del agua, las variaciones de temperatura de la misma son muy pequeñas y muy lentas resultando así un instrumento poco sensible.

**Pirheliómetro de Abbot.** Este instrumento consta de un disco macizo de plata en el que se halla el elemento sensible de un termómetro acodado. El funcionamiento de este aparato es idéntico al de Pouillet, el único cambio que se realiza es el de sustituir el calor específico, ya que el de la plata es igual a  $0.056 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ . (fig. 86).

### Piranómetros.

Estos aparatos miden la radiación global solar sobre una superficie receptora horizontal. Dentro de las características generales que presentan este tipo de aparatos, se tiene:

- El elemento sensible está protegido por una cubierta de vidrio o de cuarzo que lo mantendrá limpio y seco, para que proporcione el mejor registro posible. Esta cubierta no solamente protege al receptor del viento y la lluvia, sino que tiene la propiedad de dejar pasar solamente la radiación de onda corta, entre  $0.35$  y  $2.8 \mu$  para vidrio sin color y entre  $0.25$  a  $4 \mu$  para cuarzo. ( $1\mu=10^{-3} \text{ mm}=10^{-6} \text{ m}$ ).
- La superficie receptora usualmente tiene por lo menos dos elementos sensores: uno ennegrecido que absorbe una gran porción de la radiación incidente y el otro cubierto con una pintura blanca de gran reflectividad a la radiación de onda corta.
- Instalación. A diferencia de los pirheliómetros, los piranómetros están expuestos continuamente y en toda clase de climas, por tanto, los segundos deben ser resistentes y estar instalados con seguridad.

Un piranómetro deberá ubicarse de modo que ninguna sombra sea proyectada sobre él durante el día y en ninguna época del año; no deberá estar cerca de paredes con colores claros u otros objetos que probablemente reflejen la luz solar sobre el receptor y no deberá estar expuesto a fuentes de radiación artificial. Este aparato se instala sobre una base sólida a  $1.20 \text{ m}$  de altura, nivelado.

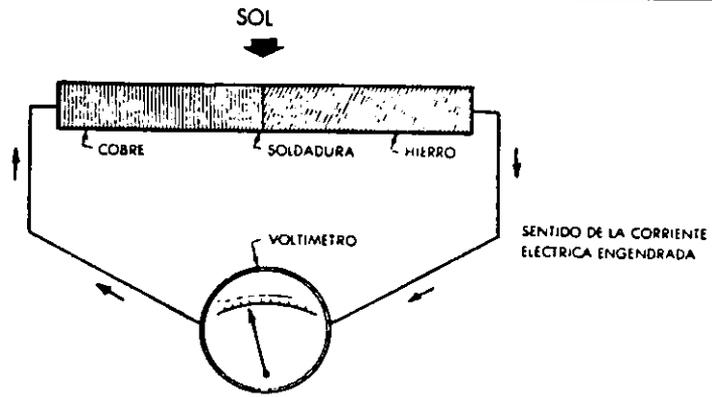


fig. 84 CORRIENTE TERMOELECTRICA DEL PIRHELIOGRAFO DE GORCZYNSKI

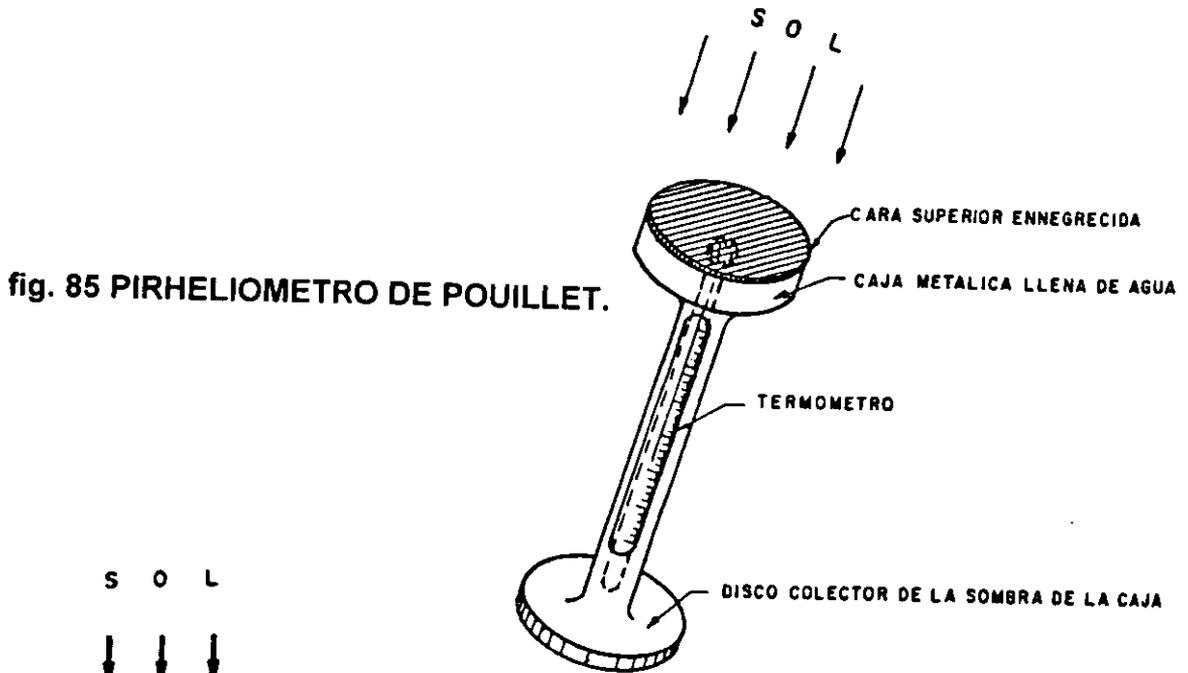


fig. 85 PIRHELIOMETRO DE POUILLET.

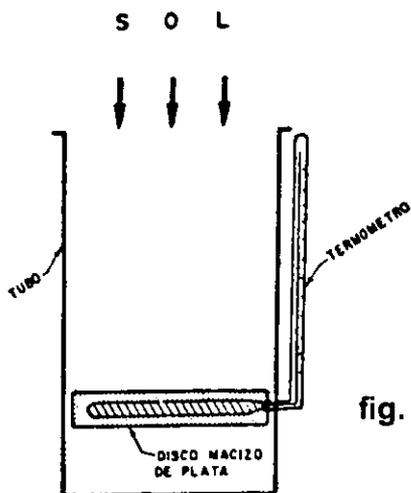


fig. 86 PIRHELIOMETRO DE ABBOT.

---

---

**Piranómetro de Eppley.** Este es un aparato estándar para medir la radiación global, el elemento sensible consta de dos anillos concéntricos delgados y planos de plata. El interior está cubierto de negro y el exterior de blanco (óxido de magnesio) (fig. 87).

La diferencia de temperaturas entre los anillos se mide con un número grande de termocupas (16 ó 50, dependiendo de la precisión requerida), las cuales están en buen contacto térmico con las superficies inferiores de los anillos. El conjunto de receptores está dentro de una bombilla esférica de vidrio soplado especial, llena de aire seco, y sólo permite el paso a longitudes de onda menores de  $3.5 \mu$ .

**Piranógrafo del tipo Robitzsch.** El sensor consta de cuatro placas bimetálicas de constantano (aleación cobre-níquel) y de invar (aleación de hierro-níquel con bajo contenido de carbono y cromo) colocadas en forma horizontal y protegidas por un domo hemisférico transparente a la radiación solar. Las placas del centro están pintadas de negro para obtener la mayor absorción posible de la radiación solar, y las dos restantes, fijadas en uno de sus extremos, están pintadas de blanco para que la radiación incidente en ellas se refleje lo más posible.

Con la radiación solar, las placas negras, sujetas a la parte libre de las placas blancas, aumentan su temperatura y la deforman (se curvan), transmitiendo el movimiento a su lado libre. Este movimiento es amplificado por un sistema mecánico de palancas que permite que una plumilla registre los desplazamientos sobre papel; éste va montado en un tambor cilíndrico con movimiento giratorio de relojería, con una vuelta cada siete días; opcionalmente, puede dar una vuelta en 24 horas.

Los desplazamientos realizados por la plumilla son proporcionales a la radiación global recibida. La constante de proporcionalidad entre el desplazamiento y la radiación global es la llamada sensibilidad del instrumento, se representa como  $C_i$  y tiene unidades  $(\text{cal}/\text{cm}^2/\text{min})$  o  $(\text{W}/\text{m}^2)/\text{min}$ .

Todo este mecanismo está instalado en una caja metálica con las siguientes dimensiones: 34 cm de largo, 18 cm de ancho, y 28 cm de alto. Esta caja está pintada de color blanco esmaltado para evitar un excesivo calentamiento del aparato y cuenta con una escotilla circular para vigilar el registro. En el interior de la caja se encuentra un depósito con sales de sílica-gel, que sirven para evitar el deterioro del mecanismo por oxidación y para que el domo no se empañe por dentro. (fig. 88 y 89).

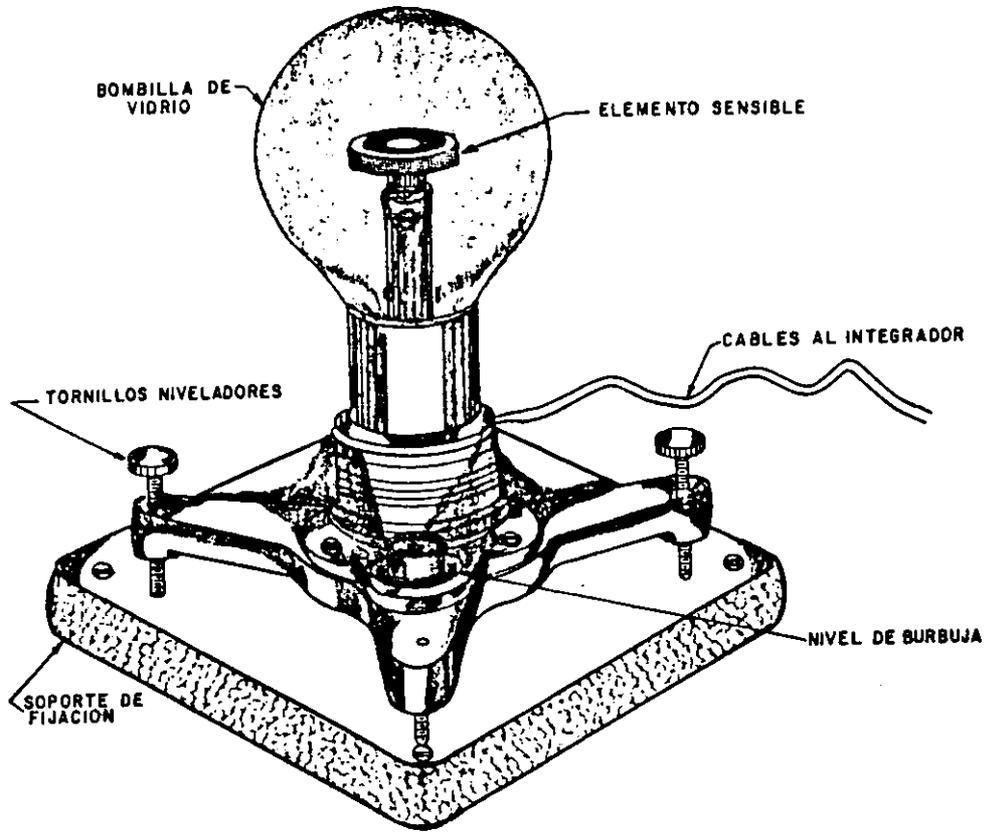


fig. 87 PIRANOMETRO DE EPPLEY.

- a. CUPULA DE CUARZO
- b. ELEMENTO SENSIBLE
- c. MECANISMO AMPLIFICADOR
- d. MECANISMO REGISTRADOR
- e. NIVEL DE BURBUJA
- f. CAJA DE GEL DE SILICE

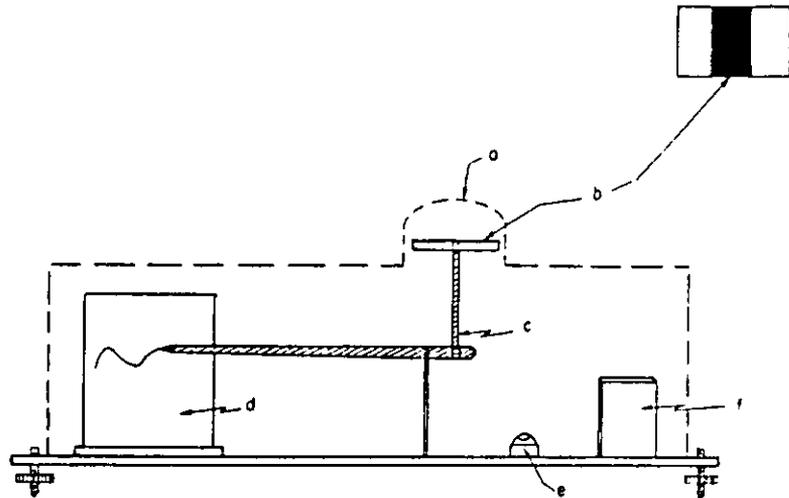


fig. 88 ESQUEMA DEL PIRANOGRAFO BIMETALICO DE ROBITZSCH.

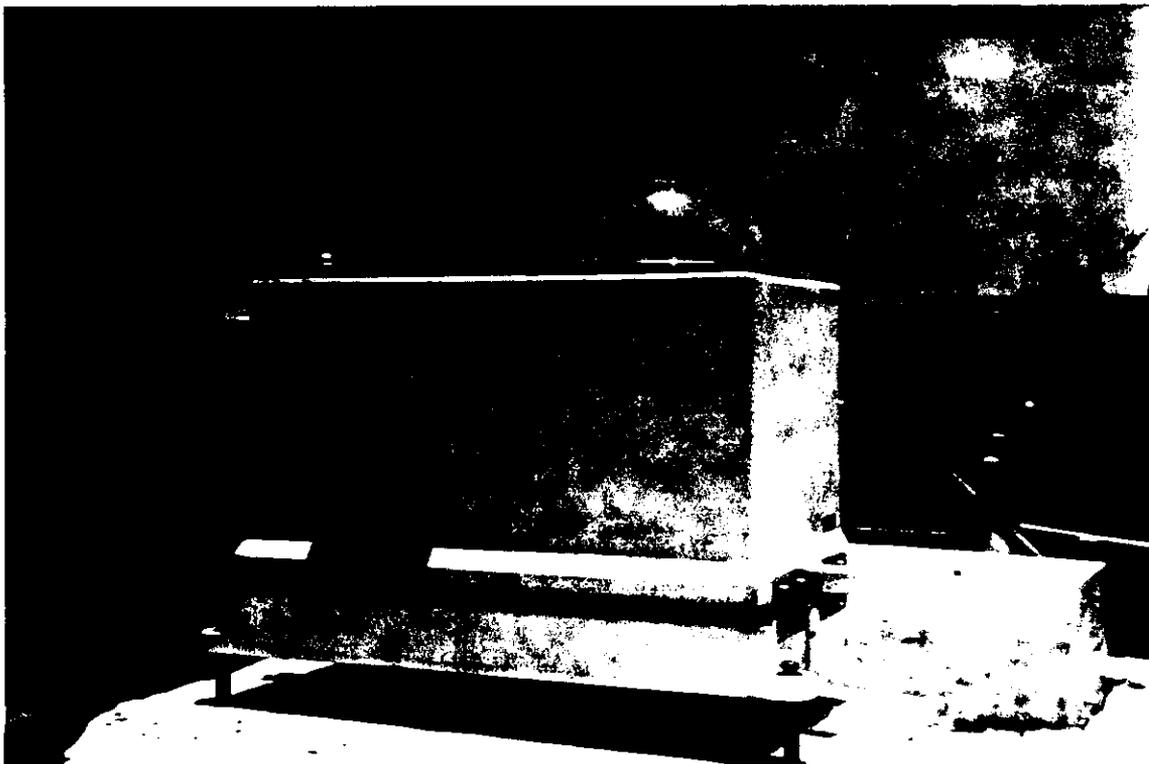


fig. 89 PIRANOGRAFO BIMETALICO DE ROBITZSCH.

Se recomienda para la instalación del piranógrafo tener en cuenta lo siguiente:

### 1. Colocación.

La caja del piranógrafo debe de colocarse a una altura aproximada de metro y medio sobre el nivel del piso; la base en donde se asiente la caja debe ser una placa de 40 x 40 centímetros horizontal y firme, de tal manera que no sufra variaciones por el viento o por cualquier otra causa.

### 2. Nivelación.

La nivelación del instrumento es importante para la correcta interpretación de los datos; se recomienda utilizar los tornillos niveladores auxiliándose con la burbuja de nivel con que cuenta el instrumento.(fig. 90).

### 93. Orientación.

La caja del piranógrafo debe de tener una orientación Este-Oeste; como consecuencia, la escotilla lateral está colocada viendo al Norte.(fig. 91).

El plano del horizonte alrededor del instrumento debe estar libre de objetos que proyecten sombra sobre el mismo; la altura máxima permitida a los objetos (árboles, edificios, etc.) es, por ejemplo, de 10 metros si está a una distancia de 300 metros. El mantenimiento diario debe ser por la mañana, el cual consiste en limpiar la superficie externa del domo con un paño que no deje pelusa y observar por la escotilla lateral que la plumilla tenga tinta y esté graficando, y en su caso quitar la tira de papel con registro y colocar la nueva, darle la suficiente cuerda al tambor.

El mantenimiento semanal consiste en quitar la tira de papel con registro y colocar una nueva, darle la suficiente cuerda al tambor, llenar el depósito de tinta de la plumilla y limpieza general del domo y la escotilla. Revisar el desecador y en su caso regenerarlo, calentándolo con un foco de 60 watts colocado a una distancia no menor de cinco centímetros.

El mantenimiento anual consiste en la recalibración contra un instrumento de referencia, limpieza y revisión completa del sistema mecánico así como repintar la caja.

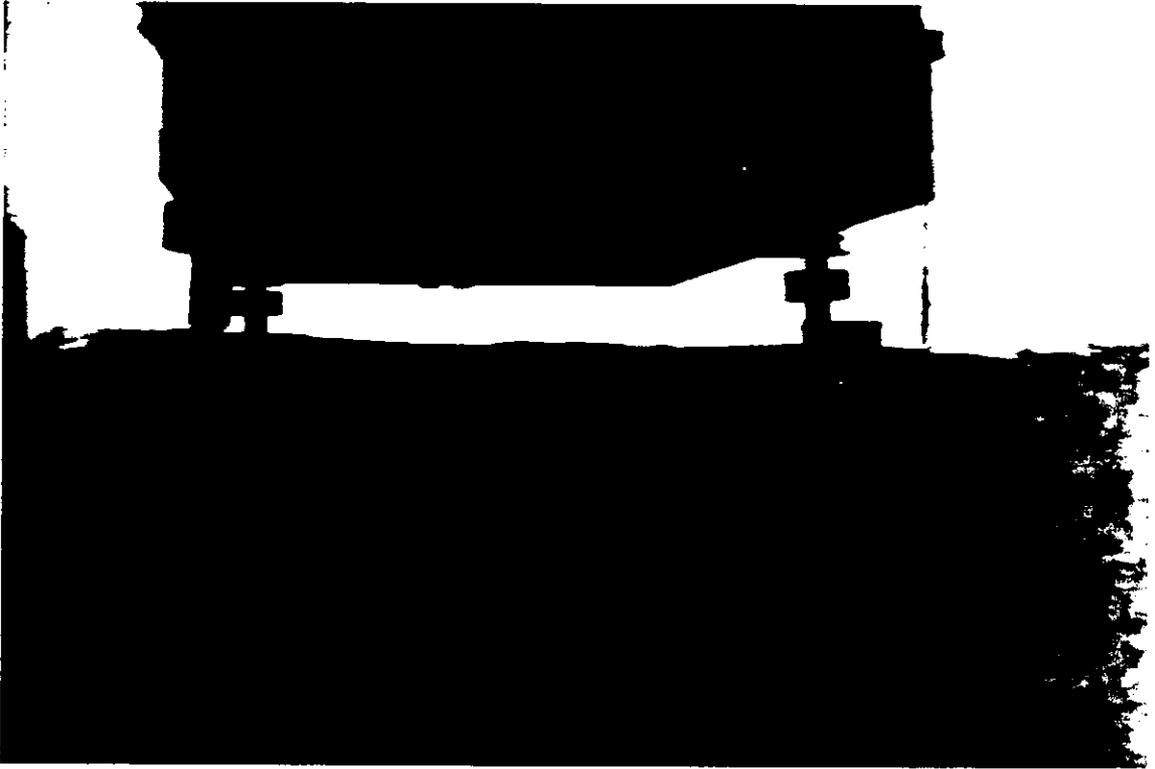


fig. 90 TORNILLOS NIVELADORES.

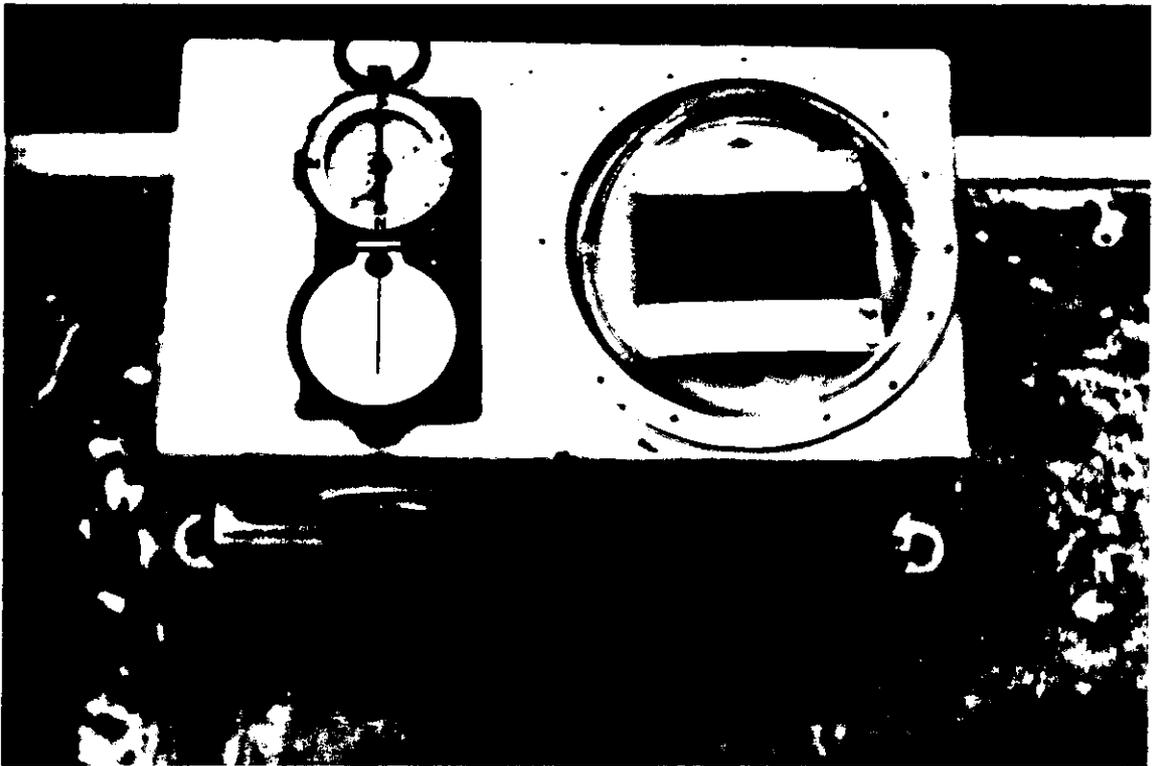


fig. 91 ORIENTACION DEL PIRANOGRAFO.

---

---

## Solarímetro y albedómetro.

### a) Principio del solarímetro y albedómetro

La radiación emitida por el Sol es una radiación de onda corta, que al ser absorbida por superficies generalmente negras, se convierte en calor. La intensidad de la radiación puede ser determinada, transformando ese calor producido por la radiación en electricidad, lo cual se logra por medio de un par termoeléctrico.

### b) Descripción

El solarímetro está constituido por un par termoeléctrico (o varios), protegido por un casquete de cristal y expuesto a la radiación directa del sol. La corriente producida por este par termoeléctrico, se conduce por medio de cables hasta un integrador que da la lectura en milivolts. El casquete de cristal junto con el elemento sensor (par termoeléctrico) están colocados sobre una plataforma circular horizontal a una altura de 1.20 m.

Exactamente igual al solarímetro, es el albedómetro, sólo que éste se encuentra colocado en una posición invertida a la de aquel; de modo que no recibe la radiación directa sino reflejada. La plataforma del albedómetro tiene también su propio integrador. Los integradores no están expuestos a la intemperie, sino que están protegidos (**fig. 92**).

## Heliógrafos

**Heliógrafo de Campbell-Stokes.** Es un instrumento registrador de la continuidad de las horas de brillo solar. El efecto de calor del sol (intensidad de radiación) se utiliza como un medio de registro; ningún tambor es necesario, ya que debido al movimiento aparente del sol va desplazando su imagen a lo largo del día.

### • Principio del heliógrafo

Para registrar la insolación, se concentran los rayos solares que atraviesan una esfera de vidrio sobre una banda de cartulina especial, la cual se quema en el punto donde se forma la imagen del sol. Con la esfera de vidrio se tiene siempre la formación del foco, no obstante las variaciones diurnas y estacionales de dicho astro. La banda se coloca en el soporte curvo concéntrico con la esfera en forma apropiada. Si el sol brilló todo el día, en la banda de cartulina aparecerá una traza carbonizada continua. Pero si lo hizo en forma intermitente, la mencionada traza será discontinua; esto se podrá observar en las bandas de las gráficas más adelante.

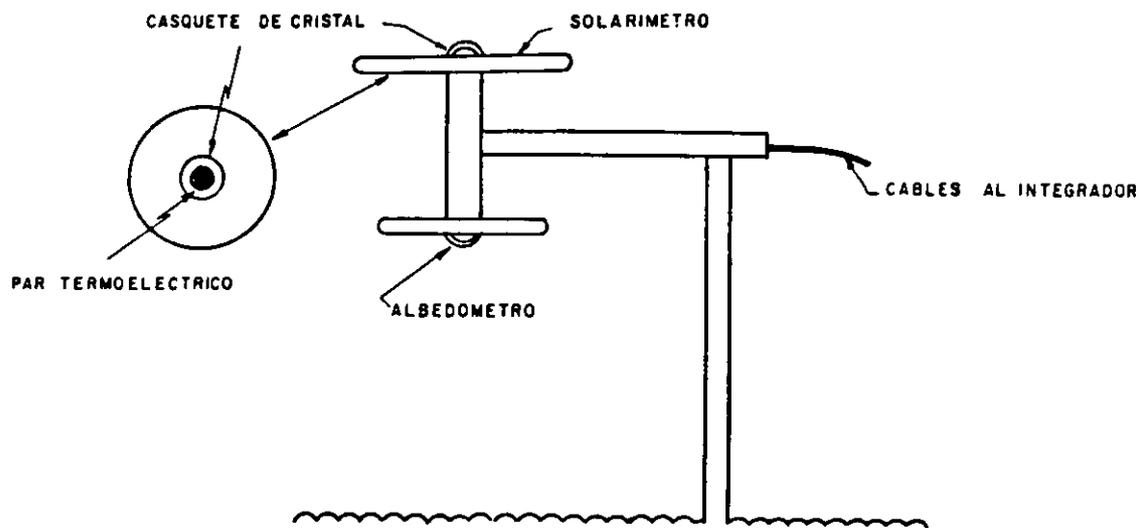


fig. 92 SOLARIMETRO Y ALBEDOMETRO.

---

---

- Descripción del heliógrafo

El heliógrafo está formado por una esfera de vidrio de 10 cm de diámetro montada en el interior de un casquete esférico con un diámetro tal que permite que los rayos solares formen un foco muy intenso en una banda de cartulina especial ajustada en las ranuras del casquete (figs. 93 y 94).

El casquete tiene 3 pares de ranuras para poder poner tres tipos de bandas diferentes de acuerdo a la época del año (fig. 95).

- Bandas registradoras

Son bandas de cartulina especial que casi no se dilatan por la acción de la humedad, de color azul o verde que absorbe la radiación solar, comúnmente conocidas como heliogramas.

Existen tres clases de bandas que se utilizan, respectivamente, de acuerdo a la época del año (fig. 96).

- **Bandas de verano.** Son curvas y largas con el borde convexo hacia arriba. Para el hemisferio norte se colocan aproximadamente del 16 de abril al 30 de agosto.

- **Bandas de invierno.** Son curvas, pero más cortas que las del verano, con el borde cóncavo. Para el hemisferio norte se colocan aproximadamente del 15 de octubre al último de febrero.

- **Bandas de los equinoccios.** Son rectas y un poco más anchas que las anteriores. Para el hemisferio norte se colocan aproximadamente del 1° de marzo al 15 de abril y del 1° de septiembre al 15 de octubre.

En la fig. 96 se muestran los tres casos de insolación que se pueden presentar: un día totalmente despejado, donde el sol quema continuamente la banda; la traza carbonizada discontinua de un día con nublados y cuando dicha banda no se quema por estar el cielo completamente nublado todo el día.

La insolación total diaria se obtiene sumando la longitud de la traza carbonizada, como puede verse en la figura mencionada.

La banda se debe cambiar todos los días cuando el sol se ha ocultado, pues de esa manera se asegura que al otro día, cuando el astro empiece a brillar ya se tenga la banda lista. Ésta se coloca orientada en la dirección norte-sur, fijándose para ello en la línea central que presenta esta dirección (fig. 97 y 98).

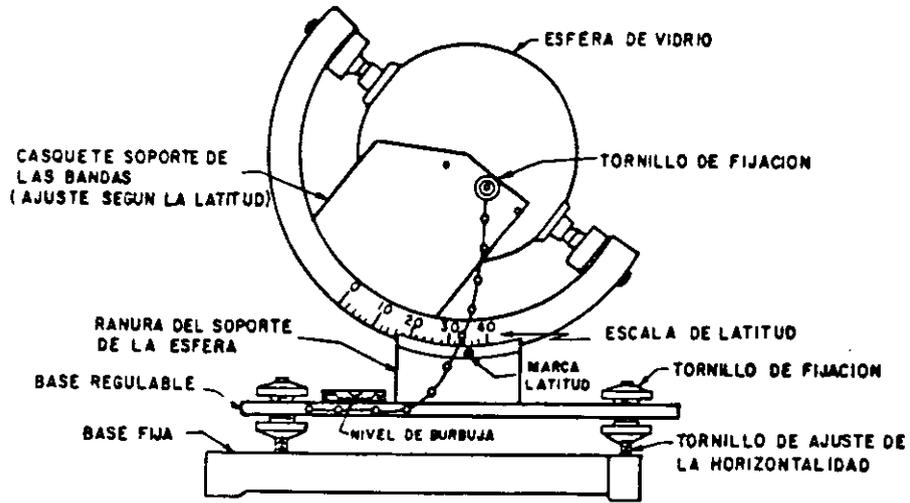


fig. 93 ESQUEMA DEL HELIOGRAFO CAMPBELL-STOKES



fig. 94 HELIOGRAFO CAMPBELL-STOKES

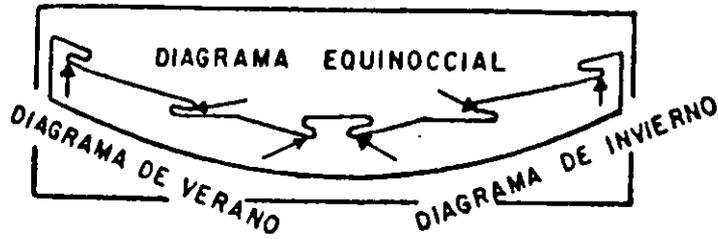


fig. 95 CORTE DEL CASQUETE DEL HELIOGRAFO CAMPBELL-STOKES.

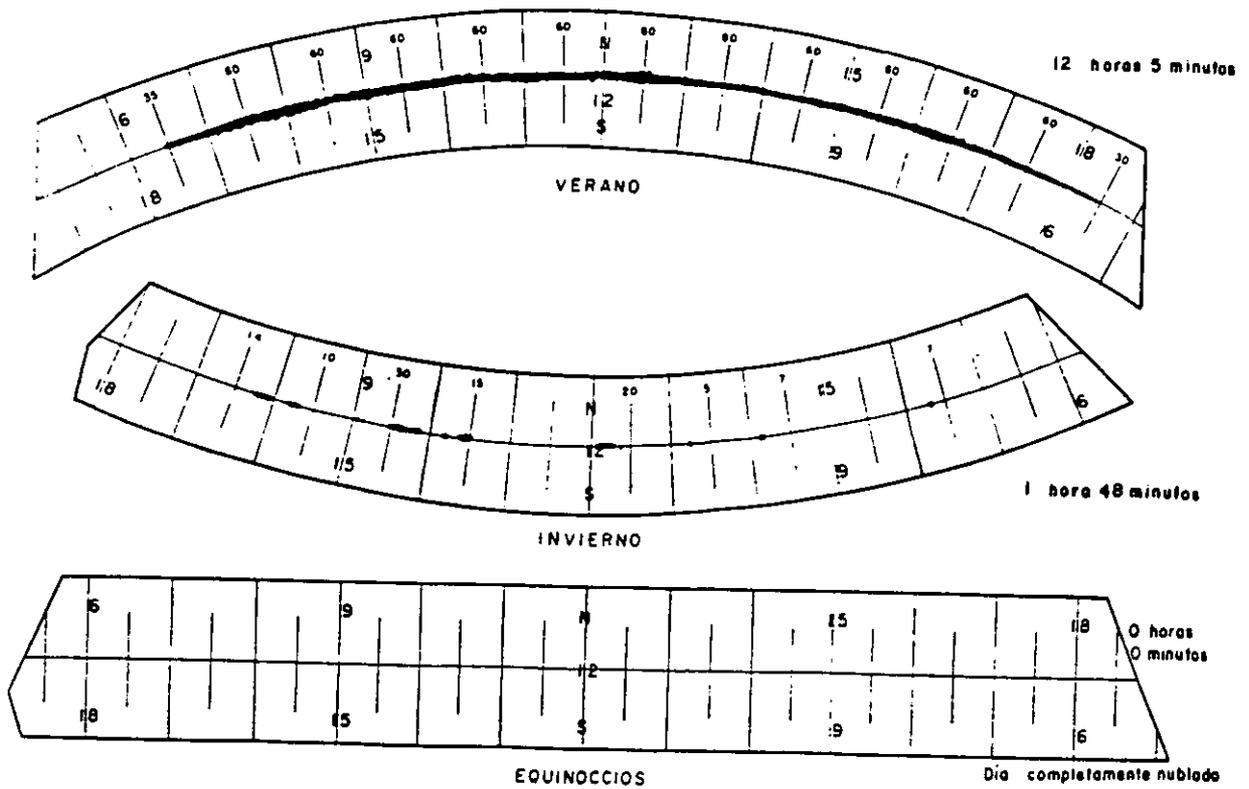


fig. 96 CLASES DE BANDAS PARA HELIOGRAFO.



fig. 97 ORIENTACION DEL HELIOGRAFO.



fig. 98 ESFERA Y BANDA REGISTRADORA DEL HELIOGRAFO.

---



---

- Instalación

Como el heliógrafo registra en forma permanente los periodos de insolación, su instalación debe ser en un sitio sólido a 1.20 m de altura, libre de todo obstáculo que pueda interceptar los rayos solares en cualquier hora del día y época del año. El eje de la esfera debe estar orientado en la dirección norte-sur (línea meridiana). El arco que sujeta el eje de la esfera es móvil; como el aparato debe estar orientado latitudinalmente, tiene una graduación con un índice para ajustar el aparato con la latitud del lugar; además, presenta un nivel de burbuja para que el aparato quede horizontal.

**Heliógrafo de Jordan** La finalidad de este aparato es registrar la duración de la insolación (brillo solar) de un día sobre una gráfica de papel fotosensible, utilizando la radiación de longitud de onda más corta.

- Principio del heliógrafo.

Los rayos solares entran por las perforaciones (una al este y otra al oeste) marcando la gráfica de papel sensible y dando un trazo delgado sobre ella, de longitud proporcional a la duración de los rayos solares.

- Descripción del heliógrafo

El aparato consta de un cilindro de bronce provisto de una tapa, montado sobre una base por medio de un soporte con un perno en el que puede girarse el cilindro, para darle la correcta colocación de la latitud por medio del índice y de la graduación del soporte. El cilindro tiene dos perforaciones que están localizadas sobre ambos lados de éste (**fig. 99**).

- Gráfica del heliógrafo

La gráfica es de papel fotosensible y está dividida en horas iguales alrededor de su superficie circular, también tiene dos pequeños agujeros que coinciden con los del cilindro (**fig. 100**).

- Instalación del heliógrafo

Se debe ubicar en una zona libre de sombras durante el día y en todo el año. El eje del cilindro se orienta en la dirección norte-sur, quedando su tapa hacia el norte; además, es necesario ajustarlo con la latitud del lugar.

Los requerimientos para recabar información sobre radiación solar son cubiertos ampliamente por los aparatos ya descritos, con lo que los últimos tres grupos, sólo son citados para conocerlos, así como su aplicación. Los pirgeómetros que miden la radiación infrarroja o de onda larga, los pirradiómetros que miden la radiación solar y la infrarroja desde un solo hemisferio y los radiómetros netos que determinan la radiación neta al igual que los aparatos anteriores deben observar unas características instrumentales comunes que forman la hoja técnica de todos los instrumentos de radiación y son:

- Constante de calibración o sensibilidad
  - Linealidad
  - Estabilidad
  - Respuesta espectral
  - Estabilidad para cambio de temperatura
  - Respuesta dinámica o constante de tiempo
- 
-

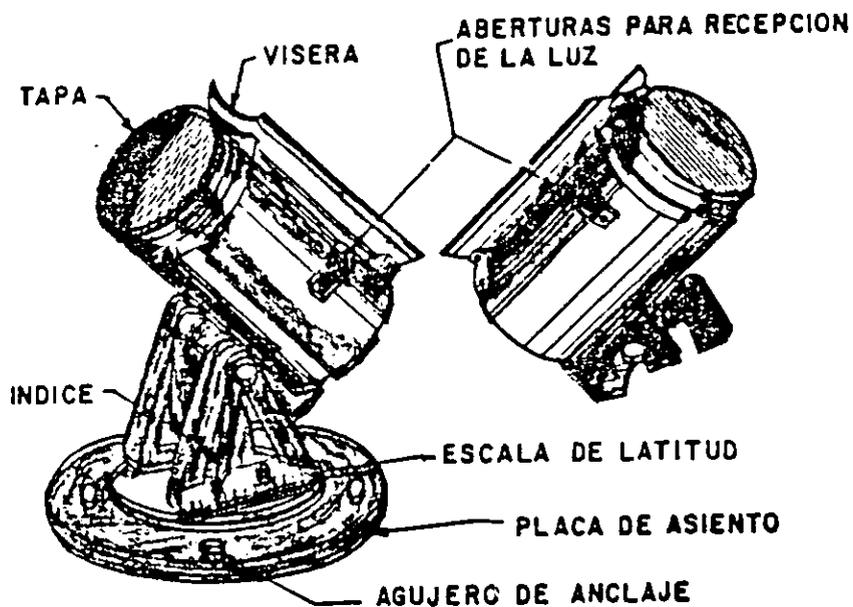
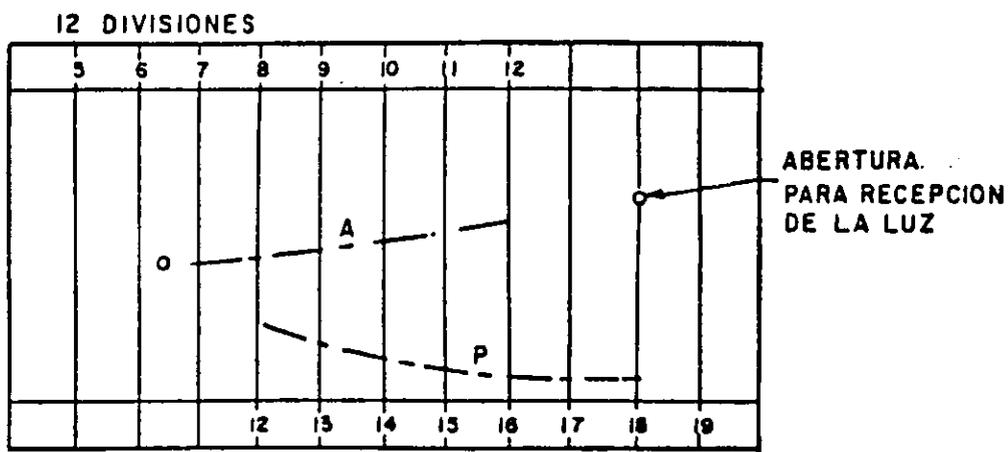


fig. 99 HELIOGRAFO DE JORDAN



A: TRAZO DE LA MAÑANA  
P: TRAZO DE LA TARDE

fig. 100 GRAFICA DE PAPEL SENSIBLE PARA EL HELIOGRAFO DE JORDAN

---

---

**CAPITULO VI**

**RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.**

---

---

## VI. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

El depender por años de uno o dos libros que complementan el curso de Hidrología, no permite aspirar a nuevos horizontes culturales ni tampoco profesionales. El tener una biblioteca con tan poco material y prácticamente no contar con instrumental para mediciones hidrológicas, se traduce en un alto grado de marginación para el estudiante de la carrera de Ingeniería Civil.

Con respecto al material bibliográfico, su desarrollo se frena, teniendo que aceptar como suficiente la información a su alcance, y real cualquier dibujo o fotocopia borrosa de una caseta o instrumental. En lo que toca al instrumental de laboratorio (aquí cabe hacer mención que la materia de Hidrología no cuenta con laboratorio propio) el desarrollo es aún más crítico ya que se tienen como únicos instrumentos para medir la precipitación a un par de lo que en algún tiempo fueron dos Pluviómetros de Hellman donados por la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., pero de los cuales sólo quedan los "cascarones" pues el mecanismo de funcionamiento ya no existe.

No es la intención de este trabajo de investigación echar por tierra la dedicación y esfuerzo de catedráticos e investigadores que por años han logrado impartir, compartiendo sus conocimientos y sobre todo experiencia, la asignatura de Hidrología; sino que impulsado por ellos mismos fue que nació la idea de cubrir en parte la necesidad académica que ellos mismos han experimentado. Se dice en parte, porque con un trabajo de investigación formado de conceptos e imágenes no se logrará cubrir en su totalidad el hueco que se tiene a falta de una investigación amplia docente y escolar que apoye y además genere una bibliografía basta y un laboratorio que corresponda a las exigencias prácticas de una ingeniería.

Este trabajo se presenta con la idea de ampliar, en el tema del instrumental y la medición, los conocimientos de Hidrología dejando un panorama abierto para el estudiante, quien además de conocer el procedimiento de cálculo en cualquier análisis hidrológico en base a datos, ahora conocerá el origen de éstos; apoyándose en los aparatos con los que se hace la medición de los fenómenos naturales que interesan a la Hidrología.

La recomendación que se hace al finalizar este trabajo de investigación, fundamentado en el conocimiento que se logró obtener de las estaciones meteorológicas del S.M.N. , de la U.N.A.M. y D.G.C.O.H., y convencido de la inagotable fuente de datos que se obtendría de una estación de este tipo, es el proponer la instalación de una estación meteorológica en la E.N.E.P. Aragón que funcione para la escuela y sea operada tanto por maestros como alumnos de la misma; para que entonces los cálculos que se realicen, sean sobre datos representativos de Aragón y no de cualquier otro lado, mucho menos inventados.

Con ésto, se propone inducir la preparación del estudiante de ingeniería civil a situaciones reales y provocar en él el desarrollo de la observación no sólo de los aspectos doméstico, industrial o de esparcimiento del agua sino también del destructivo, y así evitar pequeñas omisiones que con el tiempo se pueden convertir en orígenes de terribles catástrofes como las acontecidas en el Centro, Noreste o Sureste del país recientemente.

---

---

## **ANEXO I.**

---

---

## APARATOS COMPUESTOS

### Termohigrógrafo

Este aparato es la combinación de dos instrumentos, por ello, facilita y reduce grandemente el trabajo del instrumentista y del observador meteorológico mediante el registro de los fenómenos de temperatura y humedad en forma simultánea.

Su principio de funcionamiento se rige por el del termógrafo (en base del elemento sensible ya sea de un tubo metálico lleno de alcohol o de un termómetro bimetálico, "bimetal", **fig. 101**), del higrómetro y del higrógrafo (como elemento sensible se usa el cabello humano, en un acomodo especial conocido como "arpa de cabello humano", **fig. 102**).

Su funcionamiento es, por ende, igual que el de aquellos, pero con la ventaja ya mencionada de proporcionar la información en dos gráficas simultáneas en una misma carta **fig. 103** y **104**; al tener éstas en el mismo papel, es fácil observar la correlación que hay entre los fenómenos registrados, por ejemplo, podemos ver en la gráfica (**fig. 105**), que a mayor humedad, menor temperatura, y viceversa.



**fig. 101 ELEMENTO SENSIBLE DE LA TEMPERATURA EN EL TERMOHIGROGRAFO (bimetal)**



**fig. 102 ELEMENTO SENSIBLE DE LA HUMEDAD EN EL TERMOHIGROGRAFO (arpa de cabello humano)**

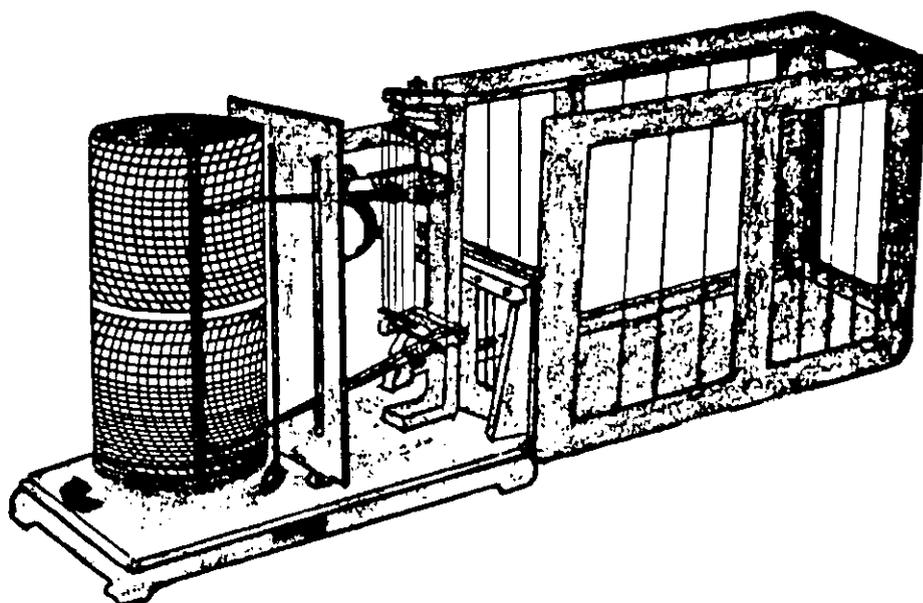


fig. 103 ESQUEMA DEL TERMOHIGROGRAFO



fig. 104 TERMOHIGROGRAFO

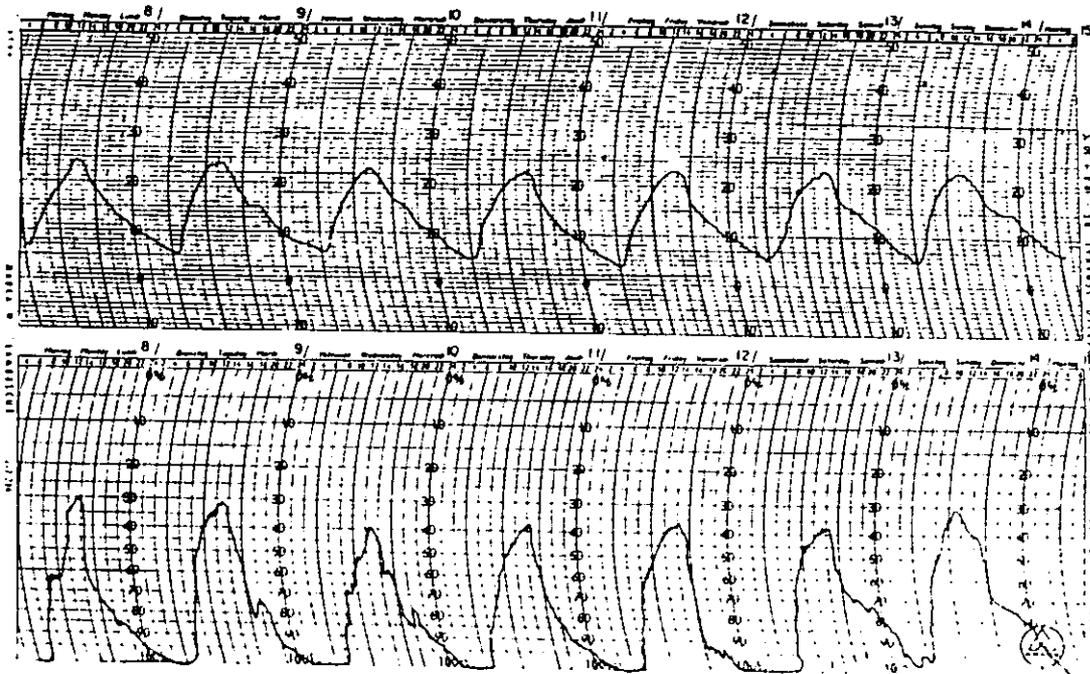


fig. 105 GRAFICA DEL TERMOHIGROGRAFO

---

---

## Termohigrómetro

Este aparato mide en forma directa la temperatura, humedad relativa, humedad absoluta y punto de rocío. La forma de efectuar las lecturas es la siguiente: la aguja del instrumento está formada por un capilar termométrico e indica la humedad relativa en porcentaje.

El menisco de la columna de alcohol en el capilar de la aguja puede coincidir con una curva horizontal y/o una inclinada que presenta el aparato; cuando no coincide, se trazan curvas imaginarias paralelas a las que trae éste y los valores que se obtienen son:

En el extremo izquierdo de la curva horizontal, la temperatura ambiente, al seguir la curva inclinada hacia arriba o hacia abajo, determina la humedad absoluta en  $\text{g/m}^3$ , y partiendo de la parte inferior de donde se obtuvo la humedad absoluta se sigue la curva horizontal hasta el extremo izquierdo indicando la temperatura de punto de rocío.

—De acuerdo a la **figura 106**, las lecturas son:

temperatura =  $23^\circ\text{C}$   
humedad relativa = 40%  
humedad absoluta =  $8.5 \text{ g/m}^3$   
punto de rocío =  $18^\circ\text{C}$

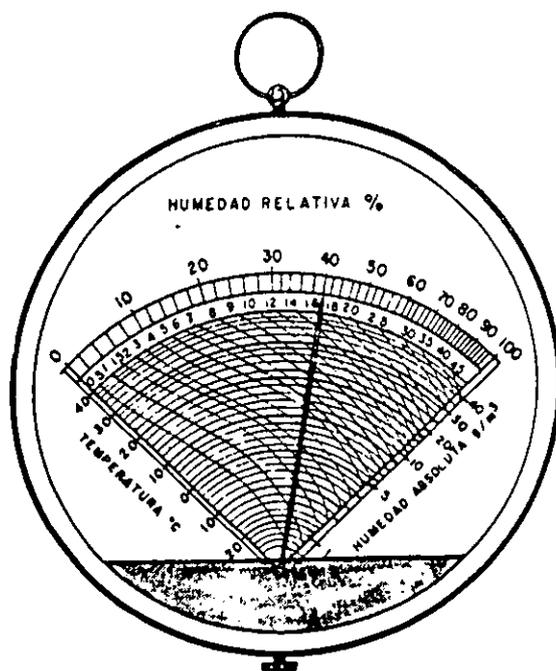


fig. 106 TERMOHIGROMETRO

---

---

## **ANEXO II.**

---

---

**VOCABULARIO.**

**Acrecencia:** Acrecentamiento. Aumento que con ocasión de perder un miembro su cuota experimenta el resto del todo.

**Actínica:** Se aplica a las radiaciones que producen efectos químicos en diversas sustancias.

**Advección:** Desplazamiento de una masa de aire en sentido horizontal

**Aerosol:** Dispersión de un líquido en gas

**Albedo:** Fracción de la luz o energía incidente sobre una superficie que la refleja y la difunde.

**Aleatorio:** Se dice de lo que depende de la suerte o de la casualidad. Es aplicable a los sucesos o resultados que siguen las leyes de la Probabilidad y Estadística.

**Altitud:** Altura de un punto con relación al nivel del mar.

**Altitudinal:** Referente a la altitud.

**Aperiódica:** Que carece de periodicidad.

**Autótrofo:** Se dice del organismo capaz de alimentarse directamente de sustancias inorgánicas (calcio, dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno, etc.) gracias a la energía luminosa o química, como las plantas verdes y algunas bacterias

**Azimut:** Arco del horizonte entre el punto Norte y el círculo vertical que pasa por un cuerpo celeste; se mide desde el Norte en el sentido de las manecillas del reloj, de tal modo que el Norte es 0°; el Este 90°; Sur 180°; Este 270° y otra vez el Norte 360°.

**Bar:** Unidad de presión cuyo valor es de  $10^5$  pascal (N/m<sup>2</sup>)

**Basamento:** Parte de la columna formada por el asiento de la columna y el pedestal.

**Caloría:** Unidad para medir la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua de 14.5°C, bajo la presión de 760 mm Hg, a 15.5°C.

**Caolín:** Arcilla blanca, muy pura, que se emplea en la fabricación de porcelana y papel.

**Ciclo hidrológico:** Al evaporarse cualquier superficie de agua este vapor asciende a capas altas de la atmósfera, donde se condensa y forma las nubes. Cuando se produce un descenso de temperatura, el agua se precipita sobre la tierra, como lluvia, nieve o granizo, y escurre sobre la superficie, permaneciendo en ésta (aguas superficiales) y evaporarse nuevamente, infiltrarse en el terreno (aguas subterráneas) para en un gran porcentaje llegar a los océanos y en ambos casos de ahí reanudar el ciclo.

**Ciénega:** Lugar pantanoso, lleno de lodo.

**Clima:** Conjunto de condiciones atmosféricas (temperaturas, vientos, lluvias) a que será sometida una región o localidad determinada. Teniendo en cuenta la temperatura, los climas se dividen en cálidos, templados y fríos, y teniendo en cuenta la humedad, en lluviosos y secos.

**Climatología:** Tratado de los climas.

**Clorofila:** Conjunto de pigmentos de color verde, presente en las hojas y tallos verdes de gran número de vegetales autótrofos.

**Cloroplasto:** Órgano oval de color verde presente en las células de las plantas autótrofas, que contiene el pigmento llamado clorofila; encargado de realizar la fotosíntesis.

**Condensación:** Cambio regresivo del estado de la materia, por el que un gas pasa a estado líquido. La condensación más común es la que se produce cuando el aire está saturado de vapor de agua, por lo que su sobrante se

---

---

condensa dando lugar a rocíos o escarchas.

**Consuntivo:** Que consume o puede consumir.

**Convergente:** Líneas que se unen en un punto.

**Cumulus nimbus:** O cumulo nimbus. Tipo de nube localizada a una altura de 1.5 a 2km. Se compone de gotas de agua y, en su parte superior, cristales de hielo; contiene a menudo copos de nieve y granizo. Son de gran espesor; su parte superior tiene forma de montaña, con textura fibrosa en su cúspide o lisa; casi siempre aplanadas; se extienden generalmente en forma de yunque.

**Cumulus congestus:** Son nubes móviles, constantemente en evolución; nacen por la mañana y se elevan con el sol, se achatan al ocultarse éste y desaparecen. Su altura media, en la parte inferior, 1.5 km y en la parte superior, 2 km. Se compone de gotitas de agua, pero puede formar cristales de hielo a temperaturas bajo 0°C. Son de dos clases: en una, tienen poco espesor y base horizontal con el aspecto de humo blanco (son indicios de buen tiempo); en la otra, son espesos, de forma de pelotas (presagian mal tiempo). Se llaman también "copos de algodón" o "nubes coliflor". Algunas veces, su cumbre presenta la forma de un hongo.

**Chumacera:** Pieza de una maquinaria sobre la cual gira un eje u otra pieza.

**Difusión:** En Física, fenómeno óptico que consiste en la distribución de la luz en todas las direcciones cuando se refleja en superficies irregulares o sin pulir.

**Disociar:** Separar una cosa de otra o los componentes de una sustancia.

**Dispersar:** Apartar lo que estaba reunido.

**Escorrentía:** Corriente de agua que forma la lluvia sobre un terreno.

**Espectro:** Resultado de la descomposición de la luz a través de un prisma. La luz solar produce el espectro solar, constituido por los siete colores del arco iris.

**Estilete:** Puñal de hoja muy estrecha y aguda.

**Fenología:** Parte de la meteorología que estudia la influencia de los diferentes climas en el desarrollo animal y vegetal.

**Fotosíntesis:** Conjunto de reacciones químicas para la transformación de la energía de la luz en energía bioquímica que tiene lugar en las plantas verdes. Las células vegetales de estas plantas, gracias a la clorofila, captan la energía luminosa y la transforman en energía química, con la cual forman compuestos orgánicos a partir del dióxido de carbono, aguas y sales minerales.

**Freático:** Se dice de las aguas acumuladas en el subsuelo sobre una capa impermeable.

**Frenaje:** Acción de reducir o moderar la velocidad.

**Frente:** Línea donde se intercepta con el suelo la superficie de separación de dos masas de aire de temperaturas diferentes.

**Frente frío:** Se llama así cuando la masa de aire frío desplaza al más cálido.

**Fusión:** En Física, paso de un cuerpo del estado sólido al líquido por acción del calor, sin modificación química.

**Hidrostática:** Parte de la mecánica de los fluidos que estudia las propiedades de los líquidos en estado de reposo o en equilibrio.

**Geofísica:** Ciencia que aplica los métodos de la Física al estudio de la Tierra, desde su interior hasta las altas regiones de la atmósfera.

**Guayacán:** O guayaco. Arbol tropical americano de gran altura, hojas persistentes y madera sumamente dura y pesada; se le conoce como palo santo porque da una valiosa resina aromática de propiedades medicinales.

**Guayacol:** Principio medicinal del guayacán. Líquido de propiedades similares al alcohol de caña.

**Higroscópica:** Que tiene higroscopicidad.

**Higroscopicidad:** Propiedad de algunos cuerpos inorgánicos y todos los orgánicos de absorber y exhalar la humedad según las circunstancias que los rodean.

**Hoya:** Hoyo o cavidad grande formada en la tierra.

---

---

---

**Indefectible:** Que no puede faltar o dejar de ser.

**Insolación:** Tiempo del día en el cual brilla el sol sin bloqueo alguno de nubes.

**Isobárico:** Aplíquese a lugares de igual presión atmosférica.

**Isoyeta:** Se dice de la línea que en una representación cartográfica une los puntos de la Tierra que han recibido la misma cantidad de lluvia.

**Latitud:** Distancia que hay desde cualquier punto cualquiera de la superficie terrestre al ecuador y que se mide en grados, minutos y segundos a lo largo de una línea imaginaria llamada meridiano.

**Leva:** Pieza giratoria con un perfil especial en el que se apoya y desliza el extremo de un varilla, de manera que el movimiento continuo de rotación proporcione un movimiento de vaivén a la varilla.

**Manganina:** Aleación de cobre, manganeso y níquel utilizada para la fabricación de resistencias eléctricas.

**Manómetro:** Instrumento que mide la presión en líquidos y gases.

**Meteorología:** Ciencia que estudia los fenómenos atmosféricos, con el fin de prever el clima. Se basa en las observaciones y datos obtenidos y transmitidos desde numerosas estaciones meteorológicas, aviones, globos y satélites artificiales.

**Milibar:** Unidad de la medida de la presión atmosférica, equivalente a la milésima parte del bar; su símbolo es mb.

**Molécula:** Parte más pequeña de una sustancia pura que conserva íntegramente las propiedades de dicha sustancia.

**μ (mu):** Letra del alfabeto griego.  $1\mu = 10^{-3}\text{mm} = 10^{-6}\text{m}$ .

**Niebla:** Nube de color blanquecino o grisáceo que está formada por gotitas de agua muy pequeñas sobre partículas de polvo, humo, polen, etc. y que se encuentra en contacto con la superficie del suelo.

**Noctilucente:** Que brilla de noche.

**Osmosis:** Fenómeno de difusión entre dos soluciones a través de un tabique o membrana semipermeable que los separa, de modo que sólo algunos componentes de dichas soluciones pueden pasar de un lado al otro.

**Osmótica:** Perteneciente o relativo a la ósmosis.

**Percolación:** Paso de un líquido a través de una masa pulvurulenta o terrosa.

**Periodicidad:** Que se hace o sucede con intervalos o espacios de tiempo regulares.

**Platino:** Elemento químico perteneciente al grupo VIII del sistema periódico. Su número atómico es 78 y su masa atómica 195.09.

**Probabilístico:** Que se basa en el estudio de las probabilidades de un suceso.

**Psicrometría:** Acción de medir la humedad.

**Remanente:** Parte que queda de una cosa, o se reserva de ella.

**Rocío:** Vapor de agua que con la frialdad de la noche se condensa en gotas muy pequeñas, que pueden depositarse sobre la superficie de la tierra, plantas, etc.

**Sinóptico:** Dícese de lo que permite apreciar a primera vista las diversas partes de un todo.

**Solidificación:** Cambio en el estado de un cuerpo del estado líquido al sólido. Es un proceso físico exotérmico, es decir, que cede o libera energía. La temperatura a la que se produce la solidificación de un cuerpo coincide con el punto de fusión del mismo y se mantiene constante durante todo el tiempo en que se produce el proceso.

**Sublimación:** En Física, proceso de cambio del estado de la materia, de sólido a gaseoso y viceversa sin pasar por el estado líquido. Cuando es de sólido a gas absorbe energía calorífica; en el proceso inverso, la libera. En general solo se produce bajo determinadas condiciones de presión y temperatura.

**Termoeléctrica:** Electricidad producida por la acción del calor.

**Termología:** Parte de la Física que trata de los fenómenos en que interviene el calor.

**Termometría:** Parte de la termología que trata de la medición de la temperatura.

---

---

---

En Meteorología, estudio de la acción del calor sobre la atmósfera.

**Termopar:** Dispositivo formado por dos metales o semiconductores distintos, soldados en uno de sus extremos. Si los dos extremos libres se colocan a temperaturas diferentes, se produce entre ellos una diferencia de potencial que puede medirse y que proporciona datos para calcular la temperatura. Se llama también par termoeléctrico.

**Traslapar:** Cubrir una cosa con otra.

**Turbidez:** Cualidad de turbio.

**Turbio:** Que no tiene la transparencia que le es propia.

**Vaporización:** Es el paso rápido al estado gaseoso de un líquido, cuya presión de vapor al aumentar la temperatura, llega a ser igual a la presión ambiente a la que se haya sometido el líquido. Se realiza en toda la masa del líquido que hierve y se manifiesta en forma de abundantes burbujas que, generadas en el seno del líquido, suben a la superficie y desprenden el vapor.

**Vástago:** En una máquina, barra que transmite el movimiento.

---

---

## **BIBLIOGRAFIA**

---

---

**Hidrología aplicada**

Chow, Ven Te  
McGraw-Hill interamericana, 1994  
Colombia  
1a. edición  
584 páginas

**Hidrología para ingenieros**

Linsley  
McGraw-Hill interamericana, S.A., 1977  
México  
2a. Ed.  
386 páginas

**Hidrología aplicada a la Ingeniería**

Springal G., Rolando  
1984  
División de Educación Continua  
Facultad de Ingeniería  
UNAM

**Hidrología subterránea**

Emilio Custodio  
Editorial Omega, 1976  
Barcelona, España  
1157 páginas

**Apuntes de meteorología y climatología**

( primera y segunda parte )  
Mosiño, Pedro A.  
Instituto de Geofísica UNAM, 1975  
México  
1a.edición  
173 páginas

**Manejo de instrumental meteorológico**

Gómez-Arteaga  
Compañía editorial continental, S.A., 1988  
México  
1a. edición  
133 páginas

**Instructivo para la operación de estaciones climatológicas**

Moreno, Ramón R.  
Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1952  
México  
1a. edición  
58 páginas

---

---

---

---

**Estudio sobre la evaporación y sus aplicaciones**

Reporte Técnico, área: agroclimatología  
Dirección general del Servicio Meteorológico Nacional  
SARH, 1981  
México  
1a. edición  
157 páginas

**Los vientos**

Hidy, George M.  
Editorial Reverté Mexicana, S.A., 1972  
México  
1a. edición  
189 páginas

**Agrometeorología**

Torres, Edmundo R.  
Editorial Diana, S.A., 1986  
México  
1a. edición  
150 páginas

**Análisis y diseño de una red agrometeorológica en el Valle del Cauca.  
II Curso internacional de Agrometeorología.**

Departamento de Irrigación  
Sección de Meteorología Agrícola.  
Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de tierras,  
1979  
Bogotá, Colombia  
1a. edición  
129 páginas