



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

**Escuela Nacional de Estudios
Profesionales Aragón**

**“FACTIBILIDAD DE UN PROYECTO
APLICADO
A UN SISTEMA DE RIEGO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER TÍTULO
PROFESIONAL COMO:

**INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

(ÁREA MECÁNICA)
presenta:

Enrique Colín Santiago

Asesor:

ING. Dámaso Velázquez Velázquez



México

Enero 2005

m. 342405



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.

DEDICATORIAS

A mis padres:

AMBROSIO Y MARBELLA, por todo el apoyo, cariño y comprensión, ya que ellos han hecho de mí una persona de bien.

A mi tía:

LU, por toda la paciencia que ha tenido durante tantos años, así como el cariño que siempre me ha brindado.

A mis hermanas:

CLARA (la boba) e IRENE (la palo), por sus sabios, valiosos e inolvidables consejos a lo largo de mi carrera, ya que sin ellas la vida no sería tan divertida.

A DIOS:

Por haberme dado a los mejores padres del mundo, así como paz, salud y fuerza necesaria para seguir adelante.

A mi asesor y maestro:

El Ingeniero Dámaso Velázquez Velázquez, por el todo el apoyo que me ha brindado para la elaboración de este proyecto.

A mi segunda casa:

LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, por toda la sabiduría, que de ella emana a través de su prestigiado y distinguido cuerpo de académicos.

INDICE

Pág.

Objetivo General	
Objetivo Particular	
Introducción.....	1
Capítulo 1. Mecánica de fluidos.....	3
1.1 Características de los fluidos.....	3
1.2 Dimensiones, homogeneidad dimensional y unidades.....	5
1.3 Análisis de comportamiento de Fluidos.....	5
1.4 Densidad.....	5
1.5 Peso específico.....	6
1.6 Densidad Relativa.....	6
1.7 Viscosidad.....	6
1.8 Compresibilidad de fluidos.....	11
1.9 Presión de vapor.....	12
1.10 La ebullición	13
1.11 Tensión Superficial.....	13
1.12 Unidades de presión.....	14
1.13 Presión Atmosférica.....	15
1.14 Presión Absoluta, Presión excedente ó relativa.....	15
1.15 Máquinas Hidráulicas	16
1.16 Clasificación de las máquinas hidráulicas.....	17
1.17 Máquinas de desplazamiento Positivo.....	18
1.18 El principio del desplazamiento Positivo.....	19
1.19 Clasificación de las máquinas de desplazamiento positivo.....	21
1.20 Máquinas Térmicas.....	21

	Pág.
Capítulo 2. Bombas y Tuberías.....	27
2.1 Turbo máquinas hidráulicas:	
Bombas rotodinámicas.....	27
2.2 Bombas rotodinámicas.....	27
2.3 Elementos constitutivos de una bomba.....	28
2.4 Cebado de la bomba.....	28
2.5 Instalación de la bomba.....	29
2.6 La alcachofa y válvula de pie.....	29
2.7 Dos válvulas de compuerta en la aspiración y en la Impulsión.....	29
2.8 Válvula de Retención en la impulsión.....	29
2.9 Reductor en la aspiración.....	29
2.10 Perdidas.....	30
2.11 Cavitación y golpe de ariete de una bomba.....	31
2.12 Golpe de ariete.....	31
2.13 Tuberías.....	31
2.14 Formula de Darcy	
Ecuación general del flujo de fluidos.....	32
2.15 Factor de fricción.....	32
2.16 Efecto del tiempo y uso en la fricción de tuberías.....	33
2.17 Tipo de válvulas y accesorios usados en sistemas de Tuberías.....	34
2.17.1 Válvulas.....	34
2.17.2 Accesorios.....	34
2.18 Perdida de presión debida a válvulas y accesorios ...	35
2.19 Relación entre la perdida de presión y la velocidad de flujo.....	38
 Capítulo 3. Sistemas de riego.....	 42
3.1 Métodos de riego.....	42
3.2 Elección del método de riego.....	44

	Pág.
3.3 Riego por aspersión.....	45
3.4 Ventajas e inconvenientes.....	45
3.5 Mano de obra.....	48
3.6 Instalación de riego por aspersión.....	49
3.7 Aspersores.....	49
3.7.1 Baja presión.....	50
3.7.2 Media presión.....	50
3.8 Tubería.....	51
3.9 Grupo de bombeo.....	53
3.10 Sistemas de riego por aspersión	54
3.11 Sistemas móviles.....	54
3.12 Sistemas Semimóviles.....	55
3.13 Sistemas fijos.....	55
3.14 Cálculo de una instalación de riego.....	56
3.15 Cálculo de tuberías abastecedoras.....	59
3.16 Diámetros interiores de las tuberías de PVC, según la presión de trabajo.....	62
3.17 Cálculo del grupo de bombeo.....	62
3.18 Tipos de bombas.....	63
3.19 Manejo de una instalación de riego por aspersión.....	65
 Capítulo 4. Proyecto.....	 68
4.1 Memoria de cálculo.....	68
4.2 Situación Actual.....	69
 Capítulo 5. Estudio de factibilidad.....	 70
5.1 Costo y beneficio.....	70
 Capítulo 6. Conclusiones.....	 72
Anexos.....	73
Fuentes de consulta.....	78

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo es, un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, en este caso el agua, así como proporcionar las herramientas tecnológicas suficientes para un aprovechamiento óptimo de este vital líquido, de acuerdo a las necesidades del agricultor, ya sea para tierra de labor o para huerta frutal.

OBJETIVO PARTICULAR

Que el agricultor observe las ventajas y desventajas que puede obtener con este tipo de proyectos, también que aprecie el tiempo y dinero que ahorra a largo plazo, todo esto con materiales que tenga a la mano y que no sea de alto costo, para que no se vea afectada su economía.

INTRODUCCIÓN

El agua es imprescindible para la vida, por ello, desde que tenemos referencias históricas, las grandes civilizaciones se desarrollaron principalmente a lo largo de importantes ríos. En estos lugares la población no solo disponía de agua, sino que también podía cultivar las plantas que necesitaba.

En caso de falta de lluvia o mal reparto estacional de la misma, el riego tiene como finalidad suministrar el agua necesaria en los cultivos, de tal forma que no sufran pérdidas de producción. Además produce unos efectos muy beneficiosos al crear un ambiente favorable para el desarrollo de los cultivos, provocando un microclima que disminuye la temperatura en las épocas cálidas y aumenta en las épocas frías, disminuyendo los problemas de golpes de calor y de heladas.

Ahora bien, dicho aporte debe realizarse con la máxima eficiencia, evitando su derroche así como efectos secundarios perjudiciales (erosión, compactación, salinización, etc.)

Que puedan a menor o mayor plazo, disminuir e incluso imposibilitar dicha producción.

Los regadíos existen desde la prehistoria, como los conocidos casos de Mesopotamia (que aprovechaban las aguas del Tigris y del Eufrates), Egipto, las del Nilo y China, las de Huang Ho. Todos tenían en común unas condiciones meteorológicas parecidas, con elevadas temperaturas, especialmente en verano, escasez de lluvias y periódicas crecidas de los ríos, motivadas por diferentes causas.

Sin embargo muchas de las zonas regadas en la antigüedad, no se han vuelto a regar, debido a una mala utilización del agua, que ha convertido dichas zonas en poco productivas, principalmente por salinización, lo que demuestra la gran importancia de un adecuado y eficiente manejo del riego.

El agua es una cuestión de palpitante actualidad, creciendo la inquietud, a nivel mundial, ante la limitación de las reservas existentes y el agotamiento progresivo de los recursos naturales, muchas veces mal gestionados, frente a las demandas crecientes.

CAPÍTULO 1.

MECÁNICA DE FLUIDOS.

1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS

Partiendo de una vaga idea general de lo que es un fluido, sería que un fluido es "suave" y se deforma con facilidad, pero esta definición no es satisfactoria desde un punto de vista ingenieril. Desde un punto de vista molecular, los líquidos (agua, aceite, etc.) presentan moléculas espaciadas con baja fuerza intermolecular (comparándolos con un sólido), las moléculas tienen más libertad de movimiento, pudiéndose deformar con facilidad (pero no se comprimen tan fácilmente) y es posible verterlos en recipientes o forzarlos a través de un ducto. Una distinción más específica se basa en cómo se deforman bajo la acción de una carga externa. Específicamente "Un fluido se define como una sustancia que se deforma de manera continua cuando sobre ella actúa un esfuerzo cortante de cualquier magnitud". Fluidos comunes como el agua, el aceite o aire satisfacen la definición de fluido: es decir fluyen cuando sobre ellos actúa un esfuerzo cortante

El comportamiento de los fluidos se caracteriza considerando el valor medio o macroscópico, de la cantidad de interés, donde el promedio se evalúa sobre un pequeño volumen que contiene un gran número de moléculas. Así, cuando se afirma que la velocidad en cierto punto de un fluido es bastante alta, en realidad se está indicando la velocidad media de las moléculas en un pequeño volumen alrededor del punto. Esta manera de analizar un fluido es razonable, puesto que la separación de las moléculas suele ser muy pequeña. Para gases a temperaturas y presiones normales la separación es del orden de 10^{-6} mm y para líquidos es del orden de 10^{-7} mm, siendo el número de

moléculas por milímetro cúbico es del orden de 10^{18} para los gases y de 10^{21} para los líquidos. De esta manera, se puede ver que dar la idea de valores medios considerados sobre este volumen es razonable, así se supondrá que todas las características de interés del fluido (presión, velocidad, etc.) varían de manera continua en todo el fluido, por lo que, se considera que un fluido es un medio continuo.

1.2 DIMENSIONES, HOMOGENEIDAD DIMENSIONAL Y UNIDADES

Como en el estudio de mecánica de fluidos es tratar varias características de los fluidos, es necesario describirlos cualitativamente y cuantitativamente.

El aspecto cualitativo sirve para identificar la naturaleza, o tipo, de las características (como longitud, tiempo, esfuerzo y velocidad.) En tanto que el aspecto cuantitativo proporciona una descripción numérica de ellas, se requiere de un número y un patrón con el cual sea posible comparar varias cantidades. Un patrón, por ejemplo, podría ser el metro o el pie, para el tiempo, la hora o segundo y para la masa de slug o kilogramo; a estos patrones se les llama unidades. En la descripción cualitativa se proporciona convenientemente en términos de ciertas cantidades primarias como Longitud de Tiempo, masa y temperatura θ , de esta manera se puede dar una descripción cualitativa de cualquier otra cantidad secundaria, por ejemplo: área = L^2 velocidad = LT^{-1} .

Densidad = ML^{-3} . Para una amplia variedad de problemas de mecánica de fluidos, sólo se requieren las tres dimensiones básicas L, T, M.

De otra manera se pueden usar F, L, T, donde F es la dimensión básica de la fuerza. Como la Ley de Newton establece que la fuerza es igual a la masa por la aceleración, se concluye que

$F = MLT^{-2}$, o que $M = FL^{-1}T^2$. Así, las cantidades secundarias expresadas en términos de M se pueden expresar en términos de F por medio de la relación anterior. Por ejemplo, el

esfuerzo σ es una fuerza por unidad de área, de modo que $\sigma = FL^{-2}$, pero una ecuación dimensional equivalente es $\sigma = ML^{-1}T^{-2}$

1.3 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUIDOS

En el estudio de la mecánica de fluidos se utilizan las leyes fundamentales de la física, como las leyes de movimiento de Newton, la ley de conservación de la masa y la primera y segunda leyes de la termodinámica. El amplio tema de mecánica de fluidos se puede subdividir en estática de fluidos (fluidos en reposo), y Dinámica de fluidos (fluidos en movimiento.) Es obvio que fluidos diferentes pueden poseer en general, características distintas, como ejemplo, los gases son ligeros y compresibles, mientras los líquidos son pesados (comparativamente hablando) y relativamente compresibles. Enseguida, se mencionan las propiedades de los fluidos que desempeñan un papel importante en el análisis del comportamiento de fluidos.

1.4 DENSIDAD

La densidad de un fluido, se designa por la letra griega ρ (rho) y se define como la masa por unidad de volumen, esta característica de los fluidos es utilizada para definir la masa de un fluido, en el sistema SIG (Sistema Ingles Gravitacional) o Sistema Técnico Métrico, las unidades de ρ son slugs/pe³ y el SI, Kg/m³; el valor de la densidad varía entre fluidos diferentes, pero para líquidos, la variación de presión y temperatura en general afectan muy poco el valor de ρ . Solo en los gases es donde la presión y la temperatura afectan de manera substancial la densidad.

1.5 PESO ESPECIFICO.

El Peso Especifico de un fluido se designa por la letra griega gamma (γ) y se define como el peso por unidad de volumen, esta propiedad está relacionada con la densidad por medio de la ecuación

$\gamma = \rho g$ donde g es la aceleración gravitatoria.

El Peso Especifico se utiliza para caracterizar el peso del sistema. Las unidades para el Peso Especifico en el SIG son Lb/ft^3 y el SI son N/m^3 . A condiciones gravitatorias normales ($g=32.174 \text{ ft/s}^2 = 9.807\text{m/s}^2$), el agua a 60°F tiene un peso especifico de 62.4 lb/ft^3 y 9.80 K N/m^3 .

1.6 DENSIDAD RELATIVA

Se designa como DR y se define como la densidad de un fluido, dividida entre la densidad del agua o alguna temperatura específica, normalmente esta temperatura se considera como 4°C (32.9°F), en estas condiciones, el agua presenta una densidad de 1.94 slugs/Ft^3 ó 100 Kg/m^3 , expresándolo en forma de ecuación, la densidad relativa se expresa como: $DR = \rho / \rho_{\text{H}_2\text{O}}(4^\circ\text{C}.)$

Ya que esta expresión es la razón de densidades, el valor de DR no depende del sistema de unidades utilizado, con esto se puede mencionar que la densidad, el peso específico así como la densidad relativa, se encuentran interrelacionadas, pudiendo calcular cualquiera de ellas, a partir de las demás.

1.7 VISCOSIDAD

Tanto la densidad como el peso específico, son medidas para describir la pesadez de un fluido, pero estas propiedades no nos describen el comportamiento de los fluidos, puesto que podemos tener fluidos con densidades similares, pero con diferente forma de fluir.

Para determinar el grado de fluidez se utiliza un experimento hipotético, (ver figura 1) donde un material se coloca entre dos placas paralelas bastante anchas.

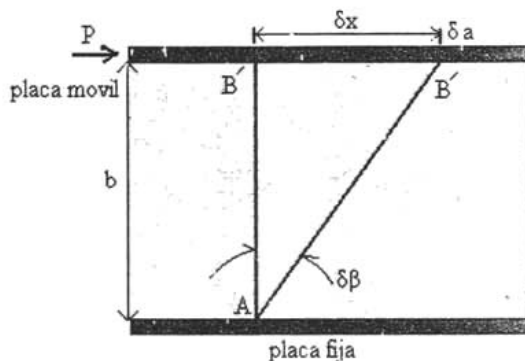


Figura 1. EXPERIMENTO HIPOTÉTICO.

La placa inferior es fija, la placa superior es móvil, si el material entre las placas fuera acero, y se ejerciera una fuerza P en la placa superior, esta placa se movería a una pequeña distancia δx (Suponiendo una sujeción mecánica entre el sólido y las placas) la recta AB rotaría un ángulo pequeño, $\delta \beta$, hasta una nueva posición $A'B'$; Así, se observa que para resistir la fuerza aplicada P , se debe crear un esfuerzo cortante T y para llegar el equilibrio, se debe cumplir $P=TA$, donde A es el área efectiva de la placa superior. Pero si en lugar de utilizar acero, se sustituyera por algún fluido, por ejemplo: agua, se observaría que la fuerza P aplicada a la placa superior, se mueve de manera continua con una velocidad U (Una vez que se extingue el movimiento transitorio inicial.)

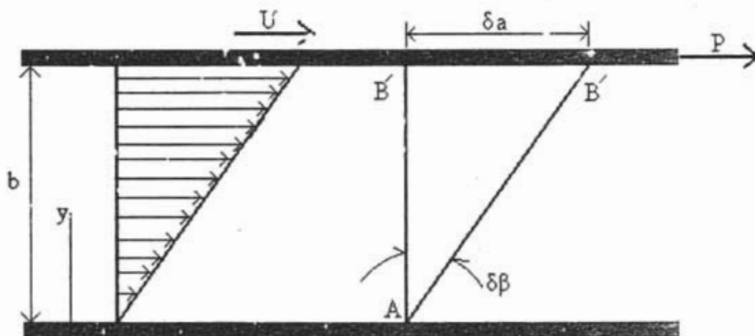


Figura 2. Comportamiento de un fluido colocado entre dos placas paralelas.

De acuerdo con la figura 2, el comportamiento del fluido coincide con la definición de fluido, esto es, que si se aplica un esfuerzo cortante en un fluido, se deformará de manera continua. Desde un punto de vista más detallado, el movimiento del fluido entre dos placas revelaría que el fluido en contacto con la placa superior se mueve a la velocidad de la placa U , y el fluido en contacto con la placa inferior fija posee una velocidad igual a cero. De esta manera se deduce que el fluido en las dos placas paralelas se desplaza a una velocidad $U=Uy/b$, que varía linealmente $U=Uy/b$, esto provoca un gradiente de velocidad du/dy , siendo $du/dy=U/b$, siendo constante el gradiente de velocidad, en este caso en particular. Si se considerara un incremento de tiempo δt , una recta vertical imaginaria AB en el fluido giraría un ángulo δB , de modo que:

$$\tan \delta B \approx \delta B = \delta a/b \text{ como } \delta a = U \delta t \text{ se concluye que } \delta B = U \delta t/b$$

En este caso δB es función no solo de la fuerza P (que rige U), sino también del tiempo.

De esta manera se puede decir que, la viscosidad, es una característica de los fluidos, la cual se encuentra afectada principalmente por la fricción entre el fluido y las paredes c límite del sistema donde se encuentre, como ejemplo, se podría tomar una tubería hidráulica. Pero no solo la viscosidad es afectada por la fricción, también la presión y la temperatura juegan un papel importante, ya que éstas provocan cambios en la estructura del fluido.

Como no es lógico relacionar el esfuerzo cortante T , con δB como se hizo para los sólidos. δB se le considera razón de cambio y la velocidad de deformación se define como γ . De esta manera:

Formula $\gamma = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \delta \beta / \delta t$ esto es igual a $\gamma = U/b = du/dy$

Esto revela que al aumentar el esfuerzo cortante T se incrementa P , aumentando la razón de deformación de corte directamente $T \propto \gamma$, o bien, $T \propto du/dy$.

Esto nos expresa que el esfuerzo cortante y la razón de deformación de gradiente (gradiente de velocidad), se puede relacionar mediante (fórmula)¹

$$T = \mu du/dy$$

Donde la letra griega μ (mu) es la constante de proporcionalidad, llamada viscosidad absoluta, viscosidad dinámica o simplemente viscosidad de fluido.

El valor real de la viscosidad depende del fluido en cuestión, pero para un fluido en particular la viscosidad depende en gran medida de la temperatura. Para fluidos en donde el esfuerzo cortante está relacionado linealmente con la deformación de corte (también llamada velocidad angular) se llaman fluidos Newtonianos, siendo la mayoría

¹ Mecánica de fluidos, streeter, victor Lyle, 6ta. Ed. Mc Grahill. Pag. 15

De los fluidos comunes, tanto líquidos como gaseosos. Pero si el esfuerzo cortante no se relaciona linealmente con la razón de deformación de corte el fluido es llamado no Newtoniano. Como ejemplo de fluido no newtoniano se puede mencionar el plástico bingham, que no es sólido ni fluido, este material soporta un esfuerzo cortante finito sin moverse pero una vez que se excede el esfuerzo de cedencia, fluye como fluido. Como ejemplo de este tipo de material puede mencionarse la pasta dentífrica y la mayonesa. Las dimensiones de la viscosidad son FTL^{-2} , de esta manera la viscosidad se expresa como Lbs/ft^2 en unidades IG y $N \cdot s/m^2$ en el sistema ingles (SI.) La viscosidad depende ligeramente de la presión y el efecto de ésta, pero no es tomada en cuenta, sin embargo la viscosidad es muy sensible a la temperatura, por este motivo, cuando se quiera determinar la viscosidad se debe tener cuidado con la temperatura; como para un fluido dado, la viscosidad varía con la temperatura, es lógico mencionar que al aumentar la temperatura la viscosidad disminuye, pero en los gases un aumento en la temperatura provoca mayor viscosidad, esto se debe a que en un líquido las moléculas están muy próximas entre sí, con intensas fuerzas de "cohesión" entre las moléculas. A medida que aumenta la temperatura las fuerzas de cohesión se reducen, disminuyendo la resistencia del movimiento.

Pero en los gases las moléculas se encuentran bastante separadas entre sí, siendo las fuerzas intermoleculares insignificantes. Por este motivo, a medida que aumenta la temperatura de algún gas, la actividad molecular crece, provocando un incremento en la viscosidad. Existen dos fórmulas empíricas para conocer el efecto de la temperatura sobre la viscosidad, llamada Ecuación de Sotherland para gases expresada como:

$$\mu = CT^{3/2} / T + S$$

Donde C y S son constantes empíricas y T la temperatura absoluta.

Para líquidos, la ecuación empírica es $\mu = De^{B/T}$, donde D y B son constantes y T es la temperatura absoluta. A esta ecuación se le conoce como Ecuación de Andrade. En ambos casos, para determinar las dos constantes, es necesario conocer la viscosidad al menos en dos temperaturas. En problemas de flujo de fluidos, la viscosidad aparece combinada con la densidad de la forma.

$$\nu = \mu/\rho .$$

Esta relación es conocida como viscosidad cinemática, siendo las dimensiones de ésta, L^2/T , siendo las unidades FT^2/s en el IG y m^2/s en SI, en el sistema métrico CGS (centímetro, gramo, segundo) con unidades $\text{dina} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$. A esta combinación se le llama POISE (P) y la viscosidad cinemática utiliza unidades cm^2/s en el sistema CGS, llamada STROKE (St).

Existe un valor adimensional muy importante en el estudio del flujo viscoso a través de Tuberías, llamado Número de Reynolds (Re) se define como $\rho VD / \mu$, donde ρ -densidad del fluido, V es viscosidad media del fluido, D es el diámetro de la tubería y μ es la viscosidad del fluido.

1.8 COMPRESIBILIDAD DE FLUIDOS

Módulo de Elasticidad Volumétrico

Esta propiedad es de uso común, puesto que da a conocer que tan compresible es un fluido, esto es, que tan fácilmente puede cambiar el volumen, el modulo de elasticidad² volumétrico E_v , está definido por:

$$E_v = -dp/dV/V$$

Donde dp es el cambio de diferencial de presión necesario para crear un cambio

Diferencial de volumen dV , de volumen V , el signo negativo indica que: un aumento en la presión produce una disminución de volumen de una masa dada, $m = \rho V$, se obtiene un incremento de densidad, la ecuación anterior también se expresa como:

$$E_v = dp/d\rho/\rho$$

El módulo de elasticidad volumétrico, tiene dimensiones de presión, FL^{-2} .

En unidades IG, los valores en general son: Lb/plg^2 , y en el sistema ingles son N/m^2 (Pa), valores grandes del Módulo de elasticidad Volumétrico, indican que el fluido es relativamente incompresible, esto quiere decir que, se necesita un gran cambio de presión para provocar un pequeño cambio de volumen. Debido a esto, se puede concluir que todos los líquidos se pueden considerar como incompresibles para casi todas las aplicaciones prácticas de ingeniería, pero el módulo volumétrico de interés es el que se tiene a la presión atmosférica.

1.9 PRESIÓN DE VAPOR

Líquidos como el agua y la gasolina se evaporan, si se exponen a la intemperie, esto sucede porque en la superficie del líquido existe una cierta cantidad de movimiento suficiente para superar las fuerzas intermoleculares de cohesión, provocando que escapen hacia la atmósfera.

Pero si se coloca un fluido dentro de un recipiente cerrado de modo que arriba de la superficie del líquido haya un pequeño espacio de aire, haciéndose este espacio el vacío, es allí donde se crea una presión, como resultado del vapor formado debido a las moléculas que escapan; Entonces, la presión ejercida por el vapor sobre la superficie del líquido se denomina presión de vapor.

Como la presión de vapor está muy relacionada con la actividad molecular, el valor de la presión de vapor para un líquido en particular depende de la temperatura.

1.10 LA EBULLICIÓN

Es la formación de burbujas de vapor dentro de una masa de fluido, inicia al momento en el que la presión absoluta del fluido alcanza la presión de vapor. Una razón por la cual justifica el interés de la presión de vapor y la ebullición, es que en los fluidos es posible crear una presión muy baja debido al movimiento del fluido, y se reduce la presión a la presión de vapor, presentándose el fenómeno de ebullición.

Un ejemplo claro es, el flujo a través de los pasajes irregulares y estrechos de una válvula o bomba, cuando en un fluido se forman burbujas de vapor, estas son llevadas hacia regiones de mayor presión, rompiéndose con intensidad suficiente para provocar algún daño estructural, esta ruptura de burbujas de vapor es llamada CAVITACIÓN.

1.11 TENSIÓN SUPERFICIAL

En la interfase líquido-gas o entre líquidos inmiscibles, se crean fuerzas en la superficie del líquido que provocan que la superficie fuera como una piel o membrana estirada sobre la masa del fluido, por ejemplo: Si se colocara una aguja de acero sobre el agua, esta flotaría por efecto de la fuerza de tensión desarrollada sobre la membrana hipotética.

Gotas de mercurio se transforman en esferas al ser colocadas en una superficie lisa, de la misma forma se forman gotas discretas de agua al colocarse en una superficie encerada. Este tipo de fenómenos superficiales son producto de fuerzas de cohesión no equilibradas que actúan sobre las moléculas del líquido en la superficie del fluido, las moléculas en el interior de la masa del fluido están rodeadas por moléculas que se

atraen entre sí de la misma forma, pero las moléculas a lo largo de la superficie están sujetas a la fuerza neta hacia el interior.

Esto provoca la aparente membrana hipotética, a la intensidad de atracción molecular, por unidad de longitud a lo largo de cualquier línea de la superficie, se le llama tensión superficial, se designa por la letra griega sigma σ . La tensión superficial es una propiedad del líquido y depende de la temperatura, así como del otro fluido con que esté en contacto en la interfase, sus dimensiones son: FL^{-1} y sus unidades IG son: Lb/ft y en el sistema ingles son: N/m.

El valor de la tensión superficial disminuye cuando aumenta la temperatura, los efectos de la tensión superficial son importantes en varios problemas de mecánica de fluidos, pues incluyen movimientos de líquidos a través del suelo y otros medios porosos, el flujo de películas delgadas, la formación de gotas y dispersión de chorros líquidos.

1.12 UNIDADES DE PRESIÓN

Las dimensiones con las cuales se expresa la presión son:

$$P = FL^{-2} = ML^{-1}T^{-2}, \text{ en el sistema inglés se expresa como } 1p = 1 \text{ N/m}^2$$

Expresándolo en unidades básicas $1N/m^2 = 1 \text{ Kg/ms}^2 = 1Pa$, el factor de conversión del Sistema Técnico al Sistema Ingles y viceversa es $9.81N/m^2/Kp/m^2 = 1$

En la práctica es común expresar la presión en altura equivalente de columna de líquido determinado, por ejemplo: En metros de columna de agua o en milímetros de columna de mercurio.

De Manera dimensional la presión no es una longitud, sino una fuerza partiendo de una superficie, este es el motivo por el cual las unidades en el sistema ingles como unidades

de presión fueron abolidas, como alternativa se continua utilizando los milímetros de mercurio como unidad de presión llamada también TORR.

1.13 PRESIÓN ATMOSFERICA

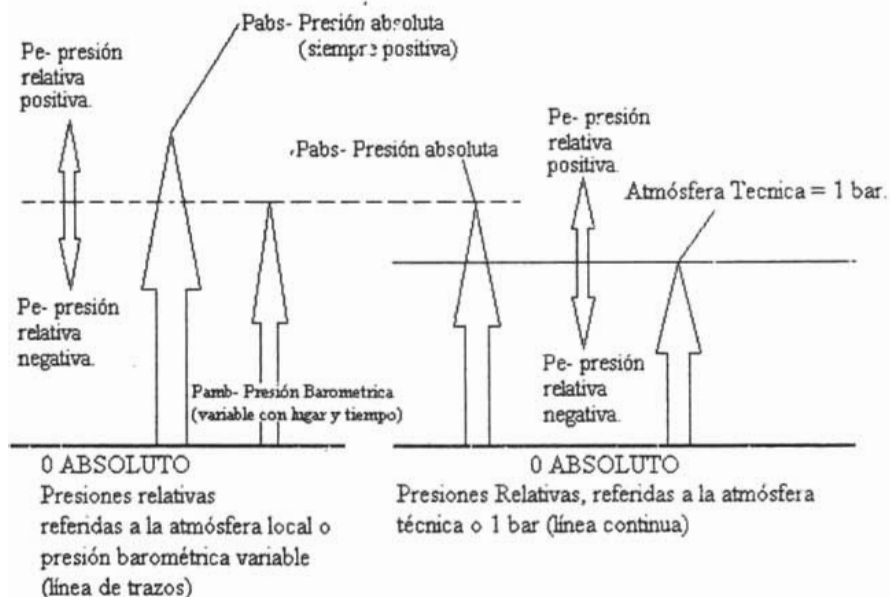
En la superficie libre de un líquido, existe una presión de aire o gas, esta presión puede adquirir un valor cualquiera dentro de un recipiente cerrado, pero si el recipiente es abierto, la superficie libre del líquido presenta una presión llamada **presión atmosférica**, debido al peso de la columna de aire que gravita sobre el fluido, esta presión varia con la temperatura y la altitud. En general existen 3 tipos de atmósferas:

- ✓ Atmósfera normal 1.01396 bar
- ✓ Atmósfera Técnica 1 bar
- ✓ Atmósfera Local y Temporal (es una presión atmosférica, en un lugar y tiempo Determinados.)

1.14 PRESIÓN ABSOLUTA, PRESIÓN EXCEDENTE O RELATIVA.

Cuando nos referimos a presión absoluta, hablamos del cero de la escala que estemos utilizando, las presiones absolutas se miden con relación al cero absoluto(vacío total o 100% de vacío), y las presiones relativas con relación a la atmósfera. (Ver figura 3)

Figura 3. TABLA DE PRESIONES.



1.15 MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Una máquina es un transformador de energía, esto es: Absorbe energía de una clase y restituye energía de otra clase, por ejemplo se puede mencionar un rotor eléctrico, absorbe energía eléctrica y la restituye en energía mecánica y viceversa. De una manera muy general, las máquinas se clasifican en grupos: Máquinas de Fluido, Máquinas herramientas, Máquinas eléctricas, etc.

Las Máquinas hidráulicas son del grupo de Máquinas de Fluido, pues es el fluido el que proporciona la energía a la máquina, (por ejemplo el agua que se suministra a presión en una turbina) o bien, aquellas máquinas donde el fluido es el que recibe la energía, (por ejemplo el agua que sale por una bomba), cabe mencionar que en toda máquina de fluido hay un intercambio entre energía de fluido y energía mecánica. Las aplicaciones de este tipo de máquinas son muy extensas, y revisten una infinidad de formas.

Las Máquinas de Fluido se clasifican en:

✓ Máquinas Hidráulicas

y

✓ Máquinas Térmicas

La Máquina Hidráulica, es aquella en que el fluido intercambia su energía no varía sensiblemente de densidad, en su paso a través de la máquina, por lo cual, en su diseño y estudio de la máquina se hace la hipótesis de que ρ (rho) es constante.

Máquina Térmica, es aquella en que el fluido en su paso a través de la máquina varía sensiblemente la densidad y volumen específico, el cual, en el diseño y estudio de la máquina ya no puede suponerse constante.

1.16 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Para clasificar las máquinas hidráulicas, se considera el órgano principal de la máquina, esto es, el órgano que intercambia la energía mecánica en energía de fluido o viceversa; Según los casos, este órgano es llamado rodete o émbolo.

Ahora, para clasificar las máquinas hidráulicas rotativas y alternativas se consideran dos grupos, basados en el principio fundamental de funcionamiento, que es distinto en los dos grupos.

Un grupo es el de Máquinas de Desplazamiento Positivo, llamadas también Máquinas volumétricas, donde el intercambiador de energía cede energía al fluido o el fluido a él en forma de energía de presión, provocado por la variación de volumen. El segundo grupo es el de las Turbomáquinas, también llamadas Máquinas de Corriente, donde los cambios en la dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido son de gran importancia.

Las Turbomáquinas absorben energía del fluido y restituyen energía mecánica. Las Máquinas de Desplazamiento Positivo absorben energía mecánica y restituyen energía al fluido. (ver figura 4)

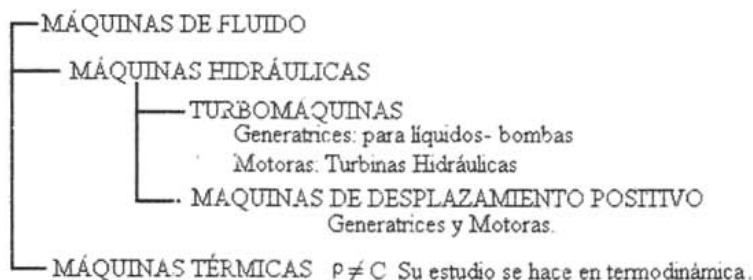


Figura 4. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS MÁQUINAS DE FLUIDO.

1.17 MÁQUINAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Motores y Bombas constituyen la segunda clase de máquinas hidráulicas, esta clase de máquinas comprende un grupo muy extenso compuesto por cilindros hidráulicos y neumáticos;

Un campo de aplicación: exclusivo de las máquinas de desplazamiento positivo es el de las transmisiones y controles hidráulicos y neumáticos.

1.18 EL PRINCIPIO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Se analiza considerando un émbolo con movimiento uniforme y velocidad v , hay un fluido a la presión p . (ver figura 5)

El movimiento del émbolo se debe a la fuerza aplicada F , el émbolo al moverse desplaza al fluido a través del orificio de la figura, si el émbolo se desplaza un espacio l hacia la izquierda el volumen ocupado por el líquido se reducirá un valor igual a Al (donde A es el área transversal del émbolo.) El tiempo t empleado en recorrer la distancia l es $t = l/v$;

El caudal Q o volumen desplazado es la unidad de tiempo será:

$$Q = \frac{Al}{t} = Av$$

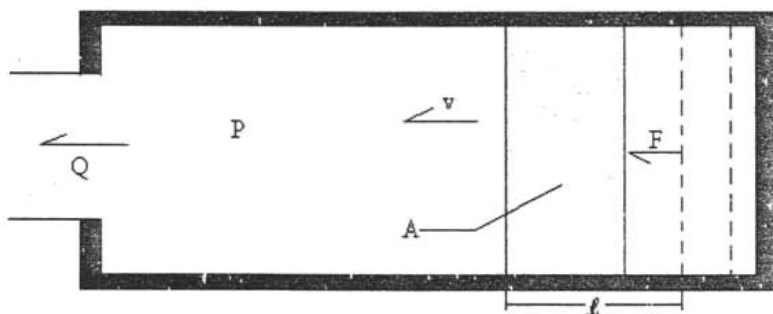


Figura 5.

Esquema del movimiento de un émbolo, si se desplaza un espacio l hacia la izquierda, el volumen ocupado por el líquido se reducirá un valor igual Al

(A área transversal del émbolo.)

Atendiendo a la figura anterior, podemos observar que, podría tratarse de una bomba o un motor, es decir, la máquina puede absorber potencia mecánica F_v , y restituir potencia hidráulica Q_p (bomba) o viceversa. De esta manera queda claro que " El principio de desplazamiento positivo consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara". Este tipo de máquinas no tienen necesariamente movimiento alternativo (émbolo), también pueden tener movimiento rotativo (rotor.) En las máquinas de desplazamiento positivo tanto rotativas como alternativas, tienen una cámara que aumenta de volumen (succión en la bomba) y disminuye de volumen (impulsión), es por esta razón que también son llamadas máquinas volumétricas.

- ✓ El intercambio de energía de fluido se hace siempre en forma de presión, en contraposición a las Turbomáquinas, en donde los cambios de dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido son muy importantes.
- ✓ Las Turbomáquinas basadas en la ecuación de Euler en general no son reversibles; Una bomba rotodinámica al funcionar como turbina, empeora su rendimiento, la razón es que los ángulos de los álabes son muy importantes en la transmisión de energía, y al funcionar como turbina los álabes no tienen ángulos apropiados.

1.19 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Su característica depende del órgano principal, que tiene la función de intercambiar energía con el líquido, a este órgano se le conoce como desplazador generalmente, teniendo una infinidad de diseños pero su clasificación depende de dos criterios:

- 1ro según el tipo de movimiento, se encuentran:
 - las máquinas alternativas y rotativas
- 2do según la variabilidad del desplazamiento, que se clasifican en:
 - Máquinas de desplazamiento fijo
 - y
 - Máquinas de desplazamiento variable.

En resumen, tomando en cuenta los dos criterios anteriormente mencionados, las máquinas de desplazamiento positivo se clasifican en cuatro grupos:

- Máquinas alternativas de desplazamiento fijo.
- Máquinas alternativas de desplazamiento variable.
- Máquinas rotativas de desplazamiento fijo.
- Máquinas rotativas de desplazamiento variable.

1.20 MÁQUINAS TÉRMICAS

Una máquina térmica es un sistema cerrado que opera cíclicamente y produce trabajo intercambiando calor a través de sus fronteras. La condición de funcionamiento cíclico p

continuo implica que la sustancia dentro de la máquina regresa a su estado inicial a intervalos regulares.

Como ejemplo de Máquina Térmica cíclica se considera un equipo de pistón y cilindro sin fricción. El pistón y el peso descansan en unos soportes en la posición 1, y en el volumen debajo del pistón se encuentra un gas. Inicialmente la presión del gas es menor que la presión equivalente que ejerce la combinación de atmósfera, peso y pistón que se encuentra arriba del gas. Luego se suministra calor desde una fuente a temperatura alta hasta que la presión del gas contrarresta exactamente la presión de oposición.

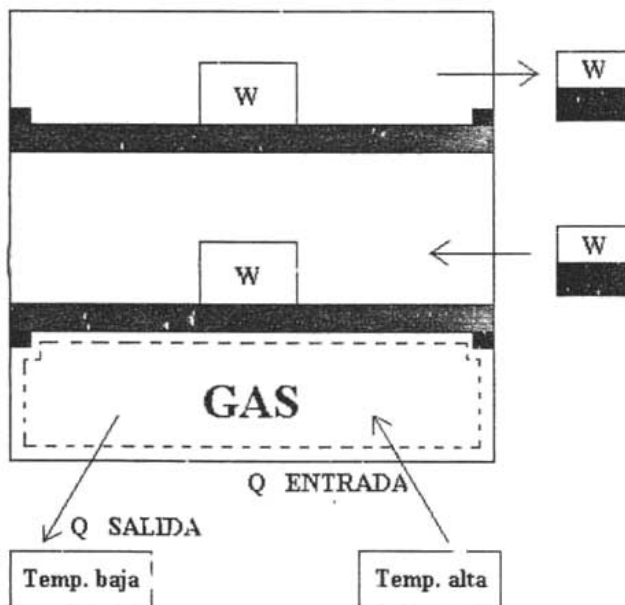


Figura 6.

Ejemplo de Máquina térmica cíclica, se considera un equipo de pistón y cilindro sin fricción. (ver figura 6)

El pistón y el peso descansan en unos soportes en la posición 1, y en el volumen debajo del pistón se encuentra un gas. Inicialmente, la presión del gas es menor que la presión equivalente que ejerce la combinación de atmósfera, peso y pistón que se encuentra arriba del gas. Luego se suministra calor desde una fuente a temperatura alta hasta que la presión del gas contrarresta exactamente la presión de oposición.

El proceso a volumen constante hasta este nuevo estado 2 a partir del estado original 1 se muestra en el diagrama PV. (ver figura 7)

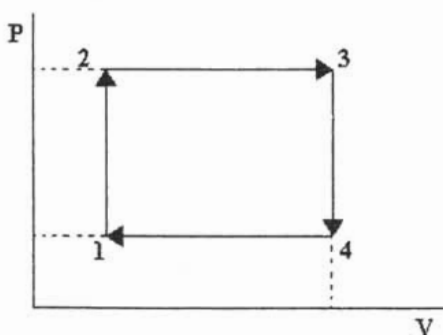


Figura 7.

Si ocurre una transferencia de calor adicional desde la fuente de temperatura alta, el gas tendrá una expansión a presión constante hasta que el émbolo toque el conjunto superior de topes, en éste punto cesa la adición de calor y el peso se desliza horizontalmente del pistón hacia un soporte exterior.

El estado del gas se encuentra ahora como en el punto 3 del diagrama PV, entonces, se expulsa calor del gas hacia un sumidero de baja temperatura, el volumen no cambia sino hasta que la presión del gas disminuye a un valor para contrarrestar exactamente el peso del pistón y la presión atmosférica, este es el estado 4. Una extracción adicional,

provocará que el émbolo descienda a presión constante, hasta alcanzar su posición inicial, en este punto el ciclo se completa. El trabajo neto que produce el ciclo se mide, ya sea mediante el área encerrada en el diagrama PV o por el cambio de energía potencial gravitatoria de los pesos.

Como ejemplo de Máquina Térmica Continua se puede mencionar un equipo termoeléctrico: (ver figura 8)

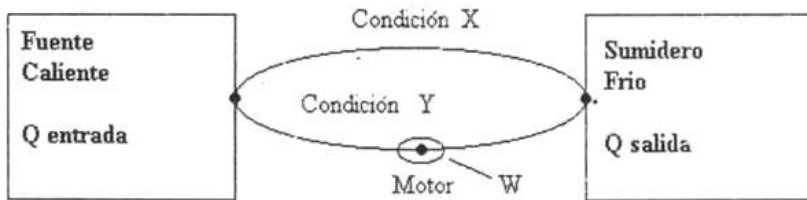


Figura 8.

En esta ilustración, se muestran dos conductores eléctricos distintos con uniones comunes, pero a temperaturas diferentes, estas diferencias de temperatura desarrollan un potencial eléctrico, produciéndose trabajo por la corriente que circula a través del motor.

En la siguiente (figura 9) se ilustra la versión moderna de un equipo termoeléctrico:

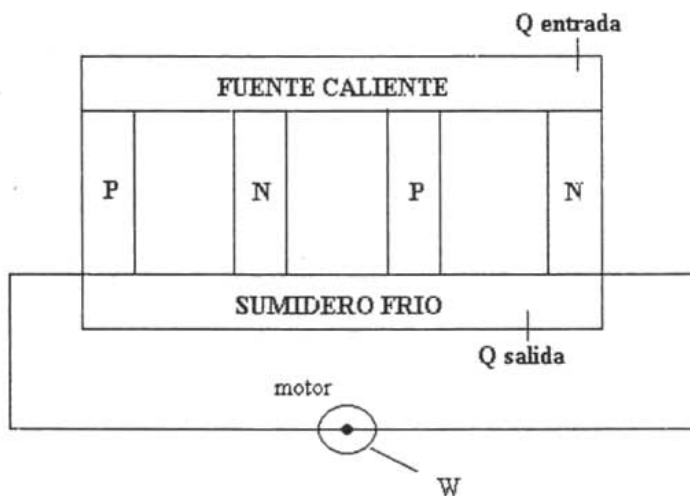


Figura 9.

Los conductores eléctricos son elementos semiconductores, que se conectan en serie, con uniones alternas en contacto con una región de alta temperatura, o baja temperatura, lo cual es clara la descripción en la palabra "ciclo" y continuo, para generar trabajo a partir de calor.

Una forma general de representar las máquinas térmicas mencionadas, es en la forma de diagrama de bloques (ver figura 10), donde cualquier máquina térmica con sumidero de calor Q_A desde una fuente de temperatura alta y una expulsión de calor Q_B hacia un sumidero de temperatura baja.

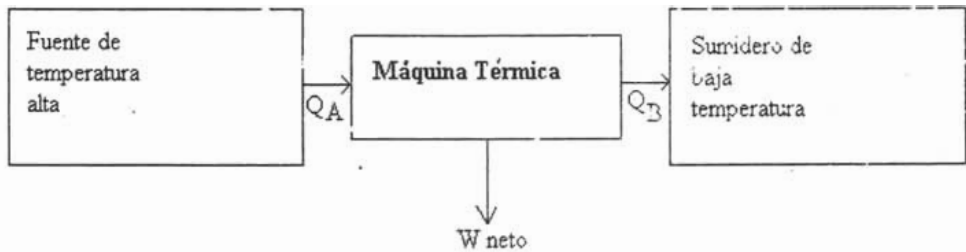


Figura 10.

Analizando de esta manera, este tipo de máquinas, el principio de conservación de energía es: $Q_A + Q_B + W_{NETO} = 0$

Existe un parámetro muy utilizado en ingeniería, para calcular la efectividad de cualquier convertidor cíclico de calor en trabajo, este parámetro es llamado EFICIENCIA TÉRMICA³, en general ésta definición es el cociente de una producción deseada, entre una alimentación necesaria.

En el caso de las máquinas térmicas, eficiencia térmica η_t , se define como:

$$\eta_t = W_{neto}/Q_{entrada}$$

Cabe mencionar que el principio de conservación de la energía ($Q_A + Q_B + W_{neto} = 0$), no delimita, restringe la conversión de calor en trabajo, pero, existe un enunciado de Kevin y Planck de la segunda ley que dice:

"Es imposible, construir una máquina térmica cuyo único efecto sea el intercambio de calor, con una sola fuente inicialmente en equilibrio y la producción de trabajo neto."

Explicando este enunciado en otras palabras sería:

"Es imposible construir una máquina cíclica que no tenga otro propósito, si no el de transformar calor, en una cantidad equivalente de trabajo." Esto es que la eficiencia de cualquier máquina térmica es siempre menor al 100%.

³ Termodinámica kenneth Wark JR , 5ta. Ed. Mc. Grawhill. Pag. 210

CAPÍTULO 2.

Bombas y Tuberías.

2.1 TURBOMÁQUINAS HIDRÁULICAS: BOMBAS ROTODINÁMICAS

Una bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y cede al líquido que la atraviesa, energía hidráulica. Las bombas son utilizadas para impulsar líquidos, ya sea agua, aceite, combustibles, ácidos, cerveza, leche, etc. También son utilizados en líquidos espesos con sólidos.

Las bombas se clasifican en:

2.2 BOMBAS ROTODINÁMICAS

Todas y solo las bombas que son turbo máquinas pertenecen a este grupo, siempre son rotativas, su funcionamiento se basa en la expresión de EULER, y el elemento transmisor de energía se llama rodete. Son rotodinámicas, pues su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente es de interés en la transmisión de energía. La ecuación de EULER es la base para el estudio de la Turbomáquinas hidráulicas, así como el de las turbinas térmicas; Esta ecuación expresa la energía intercambiada por el rodete de todas las máquinas. Existen dos formas de la ecuación de Euler⁴, estas son:

$$Y_u = \frac{1}{g} (U_1 C_{1u} - U_2 C_{2u})$$

EXPRESIÓN ENERGÉTICA

$$H_u = \frac{1}{g} \frac{U_1 C_{1u} - U_2 C_{2u}}{g}$$

EXPRESIÓN DE ALTURAS

⁴ Mecánica de fluidos y Maquinas hidráulicas, Claudio Mataix, 2da. Ed. Haría 1982, Pag 137

Las unidades de la expresión energética son: m^2/s^2 en el sistema ingles, en la expresión de alturas sus unidades son m, en el sistema ingles. En ambas expresiones el signo (+) mas representa una máquina motora, el signo (-) menos, expresa una máquina generadora.

2.3 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA BOMBA

- 1- **RODETE**- es el elemento que gira con el eje de la máquina, tiene un cierto número de álabes, que dan energía al fluido de manera cinética o en forma de presión.
- 2- **CORONA DIRECTRIZ**- o Corona de álabes fijos, recoge el líquido del rodete, transforma la energía cinética suministrada por el rodete en energía de presión; Este elemento no lo tienen todas las bombas, pues eleva el costo en su construcción, pero hace a la bomba más eficiente.
- 3- **CAJA ESPIRAL**- De igual manera cambia la energía dinámica en energía de presión y recoge, además, con pérdidas mínimas de energía, el fluido que sale del rodete, conduciendo a la tubería de salida o tubería de impulsión.
- 4- **TUBO DIFUSOR TRONCOCÓNICO**- Éste elemento vuelve a transformar la energía dinámica en energía de presión.

2.4 CEBADO DE LA BOMBA

Las bombas rotodinámicas no son autocebantes, las de émbolo y de desplazamiento positivo si, Esto es porque las bombas proporcionan una energía al fluido por medio de un rodete; en cambio, las máquinas de desplazamiento positivo funcionan a partir de una diferencia volumétrica.

2.5 INSTALACIÓN DE LA BOMBA

Para instalar una bomba, deben considerarse cierto número de elementos, que hagan posible el transporte de un fluido de un lugar a otro. En primer lugar, se puede mencionar:

2.6 LA ALCACHOFA Y LA VÁLVULA DE PIE

La primera evita entrada de suciedades (ramas, hierbas, papeles, etc.) que pueden obstruir la bomba.

La válvula de pie ayuda a retener el líquido para el cebado de la bomba, ambos elementos provocan pérdida de carga.

2.7 DOS VÁLVULAS DE COMPUERTA EN LA ASPIRACIÓN Y EN LA IMPULSIÓN

A menudo no se instala la primera, pero la segunda si es necesaria puesto que ayuda para la regulación del caudal de la bomba.

2.8 VÁLVULA DE RETENCIÓN EN LA IMPULSIÓN

Evita que el líquido se regrese al momento de detenerse la bomba, esto es necesario siempre y cuando la tubería de impulsión sea muy larga o se encuentre a gran presión.

2.9 REDUCTOR EN LA ASPIRACIÓN

Esto mejora la aspiración y evita la cavitación, pues evita la formación de bolsas de aire, en una instalación es necesario el uso de una serie de metros de tubería y de accesorios (codos, tes, constricciones, etc.) en tramos rectos se presentan pérdidas primarias, y en los accesorios, pérdidas secundarias; estas pérdidas son las pérdidas exteriores a la bomba H_{r-ext} .

2.10 PERDIDAS

Las pérdidas en una bomba se clasifican en tres grupos:

- Pérdidas hidráulicas- Estas pérdidas disminuyen la energía específica útil, que la bomba suministra al fluido y, en consecuencia, la altura útil; Estas clases de pérdidas se dividen en (pérdidas de superficie y pérdidas de forma.)
- Pérdidas Volumétricas- Llamadas Pérdidas intersticiales; en la realidad son pérdidas de caudal y se dividen en dos clases: Pérdidas exteriores q_e y pérdidas interiores q_i . Las pérdidas exteriores q_e son parte de la salpicadura del fluido al exterior, que escapa por el juego de la carcasa y el eje de la bomba que la atraviesa. Pérdidas interiores q_i , son las más importantes pues reducen en gran medida el rendimiento volumétrico de algunas bombas.
- Pérdidas mecánicas- Esta clase de pérdidas son provocadas por el rozamiento del eje con los cojinetes, accionamiento de elementos auxiliares, como son: bombas de engranes para lubricación, cuenta revoluciones, etc.

2.11 CAVITACIÓN Y GOLPE DE ARIETE DE UNA BOMBA.

La cavitación es provocada por una depresión en algún punto o zona de la corriente de un líquido, este fenómeno sucede tanto en estructuras hidráulicas estáticas (tuberías, venturis, etc.) como máquinas hidráulicas (bombas, hélices, turbinas, etc.); Existen muchos problemas en la técnica relacionados con este fenómeno. Dentro de las bombas, la cavitación produce dos efectos perjudiciales, reducción del rendimiento y erosión.

El fenómeno de cavitación está muy relacionado con el tipo de bomba, instalación de la misma, así como las condiciones de servicio de la bomba.

1.12 GOLPE DE ARIETE

Este fenómeno es transitorio y de régimen variable, donde la tubería no es rígida y el líquido es compresible, este fenómeno es producido al cerrar o abrir una válvula y al encender o detener una máquina hidráulica, o disminuir bruscamente el caudal, (en otras palabras, cuando se producen algunas maniobras antes mencionadas, el líquido que fluye a través de la tubería sufre una onda de presión, que provoca que la tubería se dilate), si se detiene el motor de una bomba, sin cerrar previamente la válvula de impulsión, o si se presenta un corte imprevisto de corriente en el funcionamiento de la bomba, el líquido que fluye a través de la tubería provoca una onda de presión, esto genera una dilatación en la tubería, propagándose a través de la misma.

2.13 TUBERÍAS

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de tuberías, siendo las de sección circular más frecuentes, ya que ofrecen mayor resistencia estructural y también mayor sección transversal. La palabra tubería se refiere siempre a un conducto cerrado de sección circular y diámetro interior constante.

Debido a la gran variedad de fluidos que se utilizan en los procesos industriales modernos, existe una ecuación que es utilizada para cualquier fluido, ésta es la fórmula de Darcy, conocida como la fórmula Weisbach o la fórmula de Darcy-Weisbach, que puede ser deducida por análisis dimensional, pero una de las variables de la fórmula, el coeficiente de fricción, debe ser determinado experimentalmente, ésta fórmula es muy utilizada en mecánica de fluidos.

2.14 FÓRMULA DE DARCY

ECUACIÓN GENERAL DEL FLUJO DE FLUIDOS-

El flujo de fluidos en tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí y consecuentemente, por la pérdida de energía disponible. Para aclarar un poco este concepto, en otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido del flujo.

La ecuación general de la pérdida de presión conocida como la formula de Darcy⁵ y que expresa metros de fluido, es;

$$h_L = \frac{f L v^2}{D 2 g n}$$

Esta ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier líquido en una tubería, pero puede suceder que debido a velocidades extremas la presión corriente abajo, disminuya de tal manera que llegue a igualar la presión de vapor de líquido, apareciendo el fenómeno conocido como cavitación y los cuales obtenidos por el cálculo serán inexactos.

2.15 FACTOR DE FRICCIÓN

La fórmula de Darcy puede deducirse por análisis dimensional con la excepción del factor de fricción, que se determina experimentalmente. El factor de fricción para flujo laminar ($Re < 2000$), es solo función del número de Reynolds, mientras que para el flujo turbulento ($Re \geq 4000$), es también función del tipo de pared de la tubería.

5 A Brief introduction to fluids mechanics, Young, Donald F. Okiishi, Theodore Hisao 1939, coaut. New York, Pág. 60

Existe una región llamada zona crítica que comprende entre los números de Reynolds de 2000 a 4000.

Aquí el flujo puede ser tanto laminar como turbulento, esto se debe a varios factores, tales como:

- Cambios de sección
- Cambios de Dirección del flujo
- Y obstrucciones, tales como válvulas corrientes.

Un flujo laminar de transición (zona crítica) o turbulento es importante, pues permite al ingeniero, determinar las características del fluido que se mueve a través de la tubería, suponiendo que se conoce la viscosidad y la densidad en las condiciones de flujo. Como el tipo de la superficie interna de la tubería comercial es independiente del diámetro, la rugosidad de las paredes tiene mayor efecto en el factor de fricción. El factor de fricción f se muestra en la gráfica siguiente con base a la rugosidad relativa obtenida y el número de Reynolds. El valor f se determina por la proyección horizontal de la intersección de la curva ξ/d , según el número de Reynolds calculado en la escala vertical a la izquierda. Debe tenerse en cuenta que estos valores solo se aplican cuando las tuberías son nuevas y limpias.

2.16 EFECTO DEL TIEMPO Y USO EN LA FRICCIÓN DE TUBERÍAS

Las pérdidas por fricción en tuberías son muy sensibles a los cambios de diámetro y rugosidad de las paredes. En muchos de los servicios, el interior de la tubería se va incrustando con cascarilla, tierra y otros materiales extraños. Los técnicos experimentados indican que la rugosidad,

se incrementa con el uso, en una proporción determinada por el material de la tubería y la naturaleza del fluido. Como ejemplo; podría mencionarse que una tubería de

4 pulgadas de acero galvanizado duplicó su rugosidad e incrementó el factor de fricción en 20 % después de tres años de uso moderado.

2.17 TIPOS DE VÁLVULAS Y ACCESORIOS USADOS EN SISTEMAS DE TUBERÍAS.

2.17.1 VÁLVULAS

La variedad en diseños de válvulas dificulta una clasificación completa, pero su clasificación está basada según la resistencia que ofrecen al flujo, por ejemplo:

- Válvulas de compuerta, bola, macho y de mariposa, pertenecen al grupo de baja resistencia.
- Las válvulas que provocan o tienen un cambio en la dirección de flujo, como válvulas de globo y angulares, están en el grupo de alta resistencia.

2.17.2 ACCESORIOS

Estos son empleados para conexión o acoplamientos, se clasifican en:

- De derivación reducción, ampliación y desviación. Los accesorios como, tes, cruces, codos con salida lateral, etc. Se pueden llamar accesorios de derivación.

Los conectores de reducción o ampliación son aquellos que cambian la superficie de paso del fluido, en esta clase se encuentran las reducciones y los manguitos.

(Ver figura 11.)

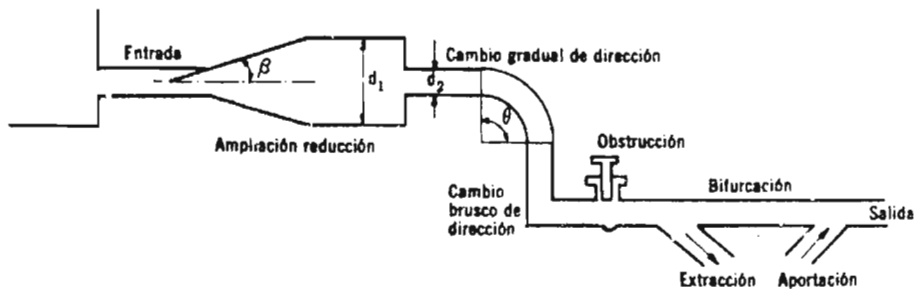


Figura 11. Pérdidas localizadas en una conducción.

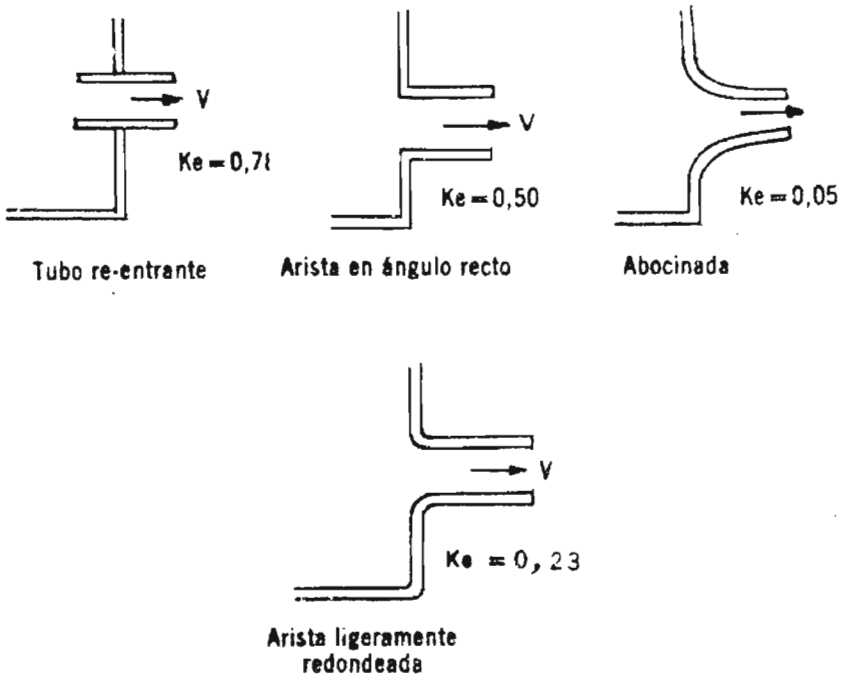
2.18 PÉRDIDA DE PRESIÓN DEBIDA A VÁLVULAS Y ACCESORIOS.

Cuando un flujo se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo adopta una forma característica, cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración del flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor, de la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta. Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración del flujo, producen una pérdida de presión adicional⁶.

La pérdida de presión total producida por una válvula o accesorio, consiste en:

- La pérdida de presión dentro de la válvula
- La pérdida de presión en la tubería de entrada, es mayor de la que se produce normalmente si no existe válvula en la línea, este efecto es pequeño.
- La pérdida de presión en la tubería de salida es superior a la que se produce normalmente, si no hubiera válvula, este efecto puede ser muy grande.

Experimentalmente es difícil medir estas tres caídas por separado.



Algunos valores de pérdidas locales por entrada

Pérdida por ampliación:

$$h_f = k_u \frac{V^2}{2g}$$

K_u depende de la relación a_1/a_2 (área antes de la ampliación)

(área después de la ampliación)

Pérdida por reducción:

$$h_f = k_r \frac{V^2}{2g}$$

K_r depende de la relación de diámetros d_1/d_2

Pérdida por cambio de dirección: gradual:

$$h_f = k_d \frac{V^2}{2g}$$

K_d depende de la relación r/d radio de la curva y el ángulo θ del cambio de dirección.
diámetro de la tubería

Pérdida por cambio brusco de dirección:

$$h_f = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

Pérdida por obstrucción:

$$h_f = k_o \frac{V^2}{2g}$$

K_o depende del tipo de obstrucción y la abertura dejada por la misma.

Pérdida por bifurcación:

$$h_f = k_b \frac{V^2}{2g}$$

K_b depende del ángulo de bifurcación y varía según se trate de una extracción o una aportación a la tubería.

Pérdida por salida:

$$h_f = k_s \frac{V^2}{2g}$$

K_s depende de las condiciones de la salida.

2.19 RELACIÓN ENTRE LA PÉRDIDA DE PRESIÓN Y LA VELOCIDAD DE FLUJO

La pérdida debida a válvulas y accesorios es proporcional a la velocidad elevada a un exponente constante, cuando la caída de presión o pérdida de presión se grafica contra la velocidad en coordenadas logarítmicas, la curva resultante es, por tanto, una línea recta.

La mayor parte de las dificultades encontradas con las válvulas de retención, así como de obturador ascendente y oscilante, son provocadas por un sobre-dimensionamiento que origina funcionamiento ruidoso y desgaste prematuro en las partes móviles.

Existen datos sobre pérdidas de presión para una amplia variedad de válvulas y accesorios, sin embargo, debido al tiempo y al costo de tales pruebas, en la práctica es imposible obtener datos de cada medida, tipo de válvula y conexión.

Las pérdidas de presión en un sistema de tuberías se deben a varias características del sistema, como son:

- Rozamiento en las paredes de la tubería, que es función de la rugosidad de la superficie interior, así como la velocidad, densidad y viscosidad del fluido.
- Cambios de dirección del flujo.
- Obstrucciones en el paso del flujo.
- Cambios repentinos o graduales en la superficie y contorno del paso del flujo.

Como existen elementos que no pueden ser probados, o no han sido analizados, se utilizan a menudo una serie de conceptos que proporcionan información confiable, estos son:

- Longitud equivalente L/D
- Coeficiente de resistencia k
- Coeficiente de flujo C_v o K_v

La relación L/D es la longitud equivalente en diámetros en tubería recta, que causa la misma pérdida de presión que el obstáculo, en las mismas condiciones de flujo.

El coeficiente de resistencia K (ver figura 12.), en teoría, es constante para todas las medidas de un cierto diseño o líneas de válvulas o accesorios, si todas las medidas fueran geoméricamente similares.

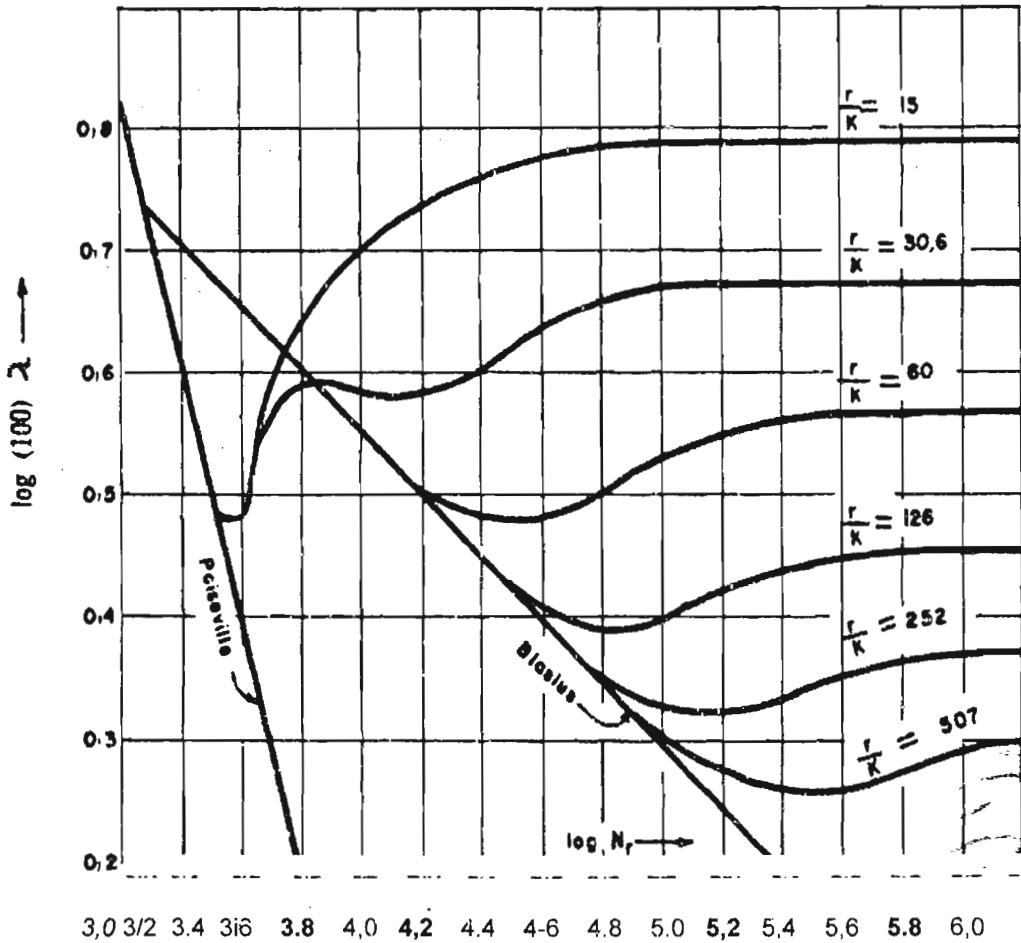


Figura 12. Coeficiente de fricción λ como una función del número de Reynolds, para distintos valores de la rugosidad r/k (Nikuradse).

En la industria de fabricación de válvulas, sobre todo en relación con válvulas de control, conviene expresar la capacidad de la válvula y las características del flujo de la misma, en función de un coeficiente de flujo. En Estados Unidos y Gran Bretaña, el coeficiente de flujo se designa como C_v y se define por:

C_v = caudal de agua, en galones (E.U.A.) o imperiales por minuto, a 60°F (15,6°C) que produce una pérdida de presión de una libra por pulgada cuadrada en la válvula.

Otro coeficiente utilizado es K_v , utilizado principalmente en Europa, se define así:

K_v = caudal de agua en metros cúbicos por hora (m^3/h), que produce una pérdida de presión de un kilogramo fuerza por centímetro cuadrado (Kgf/cm^2), en la válvula.

CAPÍTULO 3.

SISTEMAS DE RIEGO.

3.1 MÉTODOS DE RIEGO

Cuando se va a diseñar un riego hay que tener en cuenta tres premisas fundamentales:

- El agua se debe captar, transportar y distribuir.
- La cantidad de agua debe ser suficiente para cubrir las necesidades de los cultivos. (Eficiencia del riego.)
- El regante debe ser capaz de manejarla adecuadamente.

Por lo general, en el diseño de los sistemas de riego, se hace hincapié en los dos primeros puntos, pero también se debe tener en cuenta el tamaño y el tipo de suelo de la parcela a regar, todos estos factores influyen en el método y sistema de riego que se debe diseñar, acorde con las condiciones reales existentes.

MÉTODOS DE RIEGO

Existen 3 métodos de riego:

- Riego por gravedad.
- Riego por aspersión.
- Riego localizado.

Las diferencias entre los 3 métodos consisten en que el primero no necesita energía, pero sí sistematización del terreno, los dos últimos son más modernos y, en

consecuencia, requieren una tecnología más avanzada, tanto para la fabricación de sus elementos como para un diseño óptimo.

Pero debe quedar claro que el riego por gravedad también ha aprovechado los avances tecnológicos, mejorando su eficiencia con las modernas técnicas actuales.

El riego por gravedad y por aspersión moja todo el terreno, mientras que el riego localizado, solo aporta agua a una fracción de la superficie del terreno, cada uno de ellos, según las condiciones específicas de utilización han dado lugar a numerosos sistemas de riego, atendiendo como tal, al conjunto de instalaciones necesarias, que partiendo de los mismos principios, han ido introduciendo modificaciones para adoptar el riego a condiciones particulares, buscando mejorar el rendimiento y facilitar el trabajo al regante, especialmente en condiciones difíciles.

Los avances tecnológicos, los resultados obtenidos y las numerosas investigaciones realizadas han aportado sustanciales mejoras, en las instalaciones de riego, existiendo en la actualidad numerosos sistemas de riego para cada método.

Los tres métodos de riego tienen características distintas y, en consecuencia, rendimientos o eficiencias diferentes, pero eso no quiere decir que regando con uno u otro las plantas deban recibir menos agua, las diferencias vienen determinadas por la forma en que cada método aporta dicha agua a la planta y en que según el rendimiento o eficiencia de cada riego es necesario, una mayor cantidad de agua, debido a las pérdidas que se producen hasta que el agua llegue a la planta, pero debe quedar claro de que para que una planta tenga la misma producción, sin variar la frecuencia de riego, debe recibir prácticamente la misma cantidad de agua sea cual sea el método de riego empleado.

3.2 ELECCIÓN DEL MÉTODO DE RIEGO

La elección del método de riego depende de los siguientes factores:

- Topografía del terreno.
- Características hidrofísicas del mismo.
- Cantidad y calidad de agua.
- Disponibilidad, precio y calificación de la mano de obra.
- Función de producción y rendimiento económico del cultivo.
- Inversión y costos de funcionamiento del riego elegido.

La topografía del terreno condiciona sobre todo al riego por gravedad a medida que los desniveles aumentan, son necesarios mayores movimientos de tierras para la sistematización del suelo, con el consiguiente aumento del costo, lo que puede hacerlo poco rentable, frente al riego por aspersión, que no necesita dicha sistematización.

La calidad del agua es un factor muy importante, con aguas buenas se puede emplear cualquier método, mientras que al ir disminuyendo su calidad van aumentando las ventajas del riego localizado.

La disponibilidad de la mano de obra es un requisito para el riego por gravedad, aunque con los modernos sistemas ha desaparecido, en gran parte la dureza de este trabajo, este método sigue requiriendo salvo automatizaciones bastante costosas, la mayor cantidad de mano de obra.

3.3 RIEGO FOR ASPERSIÓN

La aspersión es un método de riego que distribuye el agua en forma de lluvia (Ver figura 13.) sobre el terreno, el agua no se transporta a cielo abierto, esto se hace por medio de una red de tuberías de baja presión aprovechando la pendiente del terreno, va en conducción forzada hacia el aspersor, y desde éste por el aire, cae en forma de lluvia sobre la parcela, infiltrándose, sin desplazarse sobre el suelo. Para poder ser distribuida de forma eficiente es necesario instalar un material de riego en parcela, esto con el fin de que el agua alcance cierta presión, llamada presión de trabajo del aspersor. Dicho material está constituido por aspersores y tuberías al que es necesario añadir un grupo de bombeo, que proporcione la presión de trabajo necesaria, la presión presenta evidentes ventajas en algunos casos, así como inconvenientes en otros.



Figura 13. Riego por aspersión

3.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES

De forma general se puede decir que presenta las siguientes ventajas:

- Permite el riego de suelos muy ondulados, sin necesidad de sistematización de los mismos.
- Permite el riego de terrenos que no es posible nivelar.
- Permite una disminución de la mano de obra necesaria en el riego.

Este ahorro es variable, pues depende del tipo de instalación diseñada, la mano de obra se utiliza principalmente en el traslado del equipo, la persona que se encarga del riego no necesita ninguna especialización, de igual manera el trabajo es menos pesado desde el punto de vista físico, por las condiciones en que se realiza.

- Permite regar casi todos los cultivos, salvo algunos muy delicados a los que el tamaño de la gota puede causar daños.
- Evita la construcción de canales sobre el terreno, tanto de los definitivos como de los provisionales.
- Al mismo tiempo desaparecen los trabajos de conservación de dichas redes de distribución, que tan necesarios son para una buena eficiencia del agua.
- Conserva las propiedades físicas óptimas del suelo, al no necesitar movimientos de tierras que destruyen su estructura.
- Permite la distribución en el agua de riego de diferentes sustancias, siendo las más utilizadas los fertilizantes.
- Produce una gran oxigenación del agua
- En caso de nuevos regadíos, la transformación se puede efectuar fácilmente por sectores, con una inmediata puesta en producción.

Pero este tipo de riego tiene sus inconvenientes, que es necesario conocer, con el fin de obtener el máximo aprovechamiento del riego que se va a diseñar.

- Elevado costo de instalación respecto al riego por gravedad, debido a la necesidad de disponer de grupos de bombeo, así como de tuberías y aspersores.

- Mayor costo de funcionamiento respecto a los otros métodos, ya que se necesita una presión de trabajo a la salida del aspersor como mínimo del orden de 20 m.c.a.

Es evidente que el aumento del precio de la energía en los últimos años, obliga a considerar una serie de criterios sobre la utilización de ciertos sistemas de riego por aspersión.

- Necesidad de un suministro de agua de forma continua o lo más prolongada posible.

Existen también limitaciones de tipo económico, que en algunos casos puede ser importantes, referentes al costo de funcionamiento, necesidades de mano de obra, Alturas máximas de elevación del agua de riego, etc.

A lo largo de los años, el riego por aspersión ha venido sufriendo una serie de alternativas y modificaciones, en función de las variaciones producidas en los parámetros que intervienen en su diseño y, sobre todo en su costo.

Inicialmente la aspersión contemplaba, en general, la posibilidad de regar durante un extendido horario, lo que disminuía el caudal de riego, la longitud y diámetro de las tuberías necesarias para el mismo, lo que repercutía en una menor inversión inicial.

Todo ello era posible, ya que la mano de obra era relativamente barata y las jornadas de trabajo, sobretodo en el campo, tenían pocas limitaciones.

3.5 MANO DE OBRA

La mano de obra a lo largo de los años, ha sufrido variaciones importantes, ha experimentado grandes aumentos y por otro lado, los horarios hábiles han disminuido, buscando una mayor comodidad en los mismos y un menor esfuerzo físico en la mayoría de los casos.

El aumento en el precio de la mano de obra, unido a la dificultad de encontrarla, debido al abandono del medio rural, ha tenido una gran incidencia en el diseño de sus instalaciones. Se ha buscado la disminución de la misma que, como regla general, va acompañada por el aumento de una inversión inicial.

Como regla general se puede decir que la progresiva tecnificación de este método, buscando mejores rendimientos de riego, repercute en una mayor inversión, por lo que; Los sistemas más sofisticados sólo se pueden rentabilizar en cultivos con mayores rendimientos económicos.

3.6 INSTALACIÓN DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Las instalaciones de riego por aspersión comprenden las siguientes partes:

- Alas de riego móviles o fijas, que constituyen la parte regante propiamente dicha del dispositivo, algunas veces reciben el nombre de laterales de riego o de tuberías terciarias, sobre ellas van instalados los aspersores, que son emisores que a través de los cuales se distribuye el agua.

- Una red de tuberías principales, constituyendo una red primaria y secundaria, cuya misión consiste en llevar el agua hasta las parcelas de riego, instalándose sobre ellas las tomas para la conexión de las alas anteriormente citadas.
- Un punto de alimentación de agua, que puede ser una toma conectada sobre una red de distribución a presión. o bien un depósito, un río, un canal, un pozo o cualquier otro punto donde el agua pueda ser aspirada por un grupo de bombeo.

3.7 ASPERSORES

Los aspersores son los aparatos que distribuyen, a través de una boquilla por donde sale un chorro a presión, el agua sobre el terreno en forma de lluvia, girando sobre su eje vertical.

Los normalmente utilizados son los de chorro rotativo, subdivididos en aspersores de giro rápido y giro lento.

- Los de Giro Rápido son utilizados en jardinería e invernaderos pequeños, parcelas, etc.
- Los de Giro Lento, son los más empleados en el riego agrícola.

Según la causa que produce el giro, se clasifican en:

- Aspersores de Reacción.
- Aspersores de Turbina.
- Aspersores de Choque.

Su rotación se realiza porque el chorro de agua incide sobre un brazo, provisto de un muelle recuperador que hace girar el aspersor en forma intermitente, mediante sucesivos choques, pueden tener 1 o 2 boquillas.

El caudal Q que sale a través de la boquilla, se ajusta a la ecuación de descarga de emisores:

$$Q = K \cdot H^x \text{ siendo}$$

H – La altura de presión a la entrada del emisor, en m.c.a.

K – El coeficiente de descarga (caudal con carga unitaria.)

X – Exponente de descarga, que depende del tipo de flujo, para los aspersores vale 0.5, y la formula se puede escribir:

$$Q = C_d \cdot S \cdot (2gH)^{1/2} \text{ siendo:}$$

C_d – Coeficiente de gasto, que en aspersores con buena calidad de fabricación varia entre 0.95 y 0.98

S – La sección de la boquilla generalmente circular.

g – aceleración de la gravedad y equivale a 9.81 m/s²

A la salida de la boquilla del aspersor, la presión, que se puede medir fácilmente mediante un tubo de Pitot, se convierte en velocidad formándose un chorro que se va dispersando en el aire y cae sobre el suelo determinando el área mojada.

Respecto a este parámetro, los aspersores se clasifican en tres grupos:

3.7.1 BAJA PRESIÓN

Estos pueden alcanzar un máximo de 2Kgf/cm², su caudal y radio mojados son pequeños y se usan principalmente en jardinería, huertas e invernaderos. (ver figura 14.)

3.7.2 MEDIA PRESIÓN

Esta categoría comprende los aspersores con presiones entre 2,5 y 4 Kgf/cm², generalmente se les suele llamar cañones, su marco puede alcanzar grandes

dimensiones, con aparatos situados cada 60, 80 e incluso 100 metros, se usa para riego de praderas y forrajes en zonas con relieve. (ver figura 15.)

Figura 14.



Figura 15.

3.8 TUBERÍAS

Las tuberías principales suelen ser generalmente fijas, aunque en pequeñas instalaciones, pueden ser móviles e incluso no existir. Dichas tuberías fijas generalmente van enterradas y tradicionalmente se construían de fibrocemento, pero en pequeños diámetros. Cada vez se utilizan más las tuberías de plástico PVC, y polietileno principalmente debido a su más fácil montaje.

No hay ninguna regla que dé preferencia técnicamente a un determinado tipo de material, la solución óptima debe buscarse en cada caso particular, teniendo en cuenta las condiciones de uso y los precios resultantes. Sobre estas tuberías existen a intervalos regulares, previamente calculados o bien, al nivel de cada parcela, bocas donde se conectan las alas de riego móviles o los aspersores de sistemas fijos. Estas tomas presentan una gran variedad de dispositivos, desde los simples acoples rápidos, hasta las más sofisticadas tomas de riego, estas últimas pueden incluir además de la llave de paso, un limitador de caudal que limita el paso de caudales superiores.

Las tuberías móviles generalmente están constituidas por elementos ligeros, duraluminio y material plástico principalmente. (Ver figura 16.) Son de dos tipos:

- Tuberías rígidas.
- Tuberías flexibles o mangueras.



Figura 16.

Las tuberías rígidas se componen generalmente por tramos de 6 o 9 metros de longitud, y su diámetro varía entre 50 y 100 mm. En consecuencia, la distancia entre aspersores debe ser múltiplo de 6 o 9 metros, siendo el más usado el de 12 y 18 metros. La tendencia actual es utilizar tubos de diámetro pequeño para facilitar el transporte de los mismos.

Junto a estos tramos de tuberías existen numerosos accesorios del mismo material, entre los que se pueden citar codos, tes, tapones, válvulas, reducciones, etc., que permiten un fácil tendido de las tuberías, y su puesta en riego sin tener que interrumpir, la circulación en toda la red.

Todas estas tuberías y accesorios se caracterizan por su sencillez, ligereza, facilidad de manejo y resistencia a los golpes y a la corrosión. (Ver figura 17.)

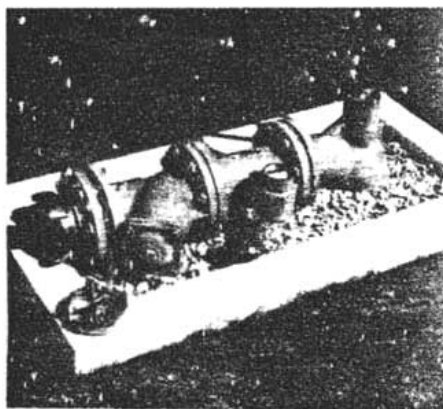


Figura 17. Toma de riego con contador, regulador de presión y limitador de caudal

3.9 GRUPO DE BOMBEO

Está compuesto por una o varias bombas, según la potencia necesaria. Las características del grupo de bombeo, deben ser rentables, y que corresponda a las necesidades reales de la instalación. (Ver figura 18.)

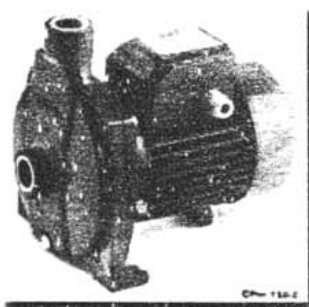


Figura 18.

3.10 SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Los sistemas de riego se pueden dividir en 4 grandes categorías:

- Sistemas móviles.
- Sistemas Semimóviles.
- Sistemas fijos.
- Sistemas autopropulsados o especiales.

Dentro de cada sistema existe un gran número de modalidades, ya que partiendo de idénticos conceptos, los fabricantes van modificando las piezas y perfeccionando los mecanismos, con el fin de aportar al agricultor soluciones que se adopten mejor a cada caso concreto.

3.11 SISTEMAS MÓVILES

En este sistema la superficie a regar suele ser pequeña, es muy utilizado para riegos de complemento o de socorro. No suelen emplear un punto fijo de toma de agua, sino uno diferente en cada posición de riego; Es el más simple de los sistemas, el equipo de bombeo, compuesto por una bomba acoplada a un motor, envía el agua a una tubería con acoplamientos rápidos, generalmente de duraluminio, que se tiende sobre el terreno, sobre dicha tubería van instalados los aspersores.

En este sistema, si no se utilizan mangueras, tiene el inconveniente de necesitar una abundante mano de obra, por lo que en pequeñas explotaciones es cada vez menos utilizado.

3.12 SISTEMAS SEMIMOVILES

Este sistema es utilizado cuando la superficie regada aumenta, tanto el grupo motobomba como las tuberías abastecedoras son mayores y, en consecuencia, más pesadas y de más difícil manejo.

Por ello es aconsejable una instalación fija, debidamente protegida, para una mayor vida útil. La unión con las tuberías enterradas se hace mediante tomas que sobresalen por encima del terreno. La mano de obra disminuye con respecto al sistema móvil, ya que se transporta menos tubería.

Este sistema se enfoca a cultivos frondosos o de porte alto, (maíz, por ejemplo) en donde el traslado, carga y descarga de tubos es difícil y arduo. En algunos casos se puede llegar a dejar los aspersores, buscando la disminución de la mano de obra, siendo necesario únicamente, abrir o cerrar las válvulas en cabeza de las tuberías.

3.13 SISTEMAS FIJOS

En los sistemas anteriormente citados, la mano de obra juega un factor importante, a través del tiempo se ha ido escaseando. En este sistema las tuberías se entierran, quedando únicamente sobre el terreno las conexiones de los aspersores, generalmente acoples rápidos. Este sistema se ha visto favorecido por la evolución de los plásticos, pues permite tuberías de diámetros más pequeños y, por consiguiente, menor costo, es muy común utilizar secciones pequeñas, ya que circula únicamente el caudal de pocos aspersores, que son los que van ocupando sucesivas posiciones de riego.

Este sistema, tiene fácil aplicación en parcelas irregulares, pues pueden instalarse tuberías y aspersores según las necesidades de la parcela o área a regar.

Un paso más adelante, favorecido por los avances tecnológicos, es la automatización parcial o total de este sistema, que puede ser desde la puesta en marcha del grupo de bombeo hasta la del último aspersor, sin necesidad de ninguna acción manual.

Este tipo de adelantos tiene un gran porvenir por la cantidad de ventajas que ofrece pero tiene un inconveniente, su elevado costo y una difícil y laboriosa puesta a punto de los sensores o programa de riego utilizados.

3.14 CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO

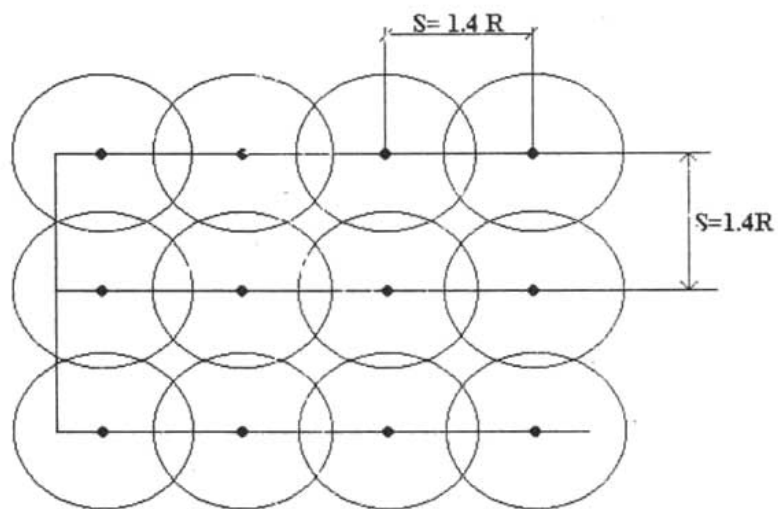
Elección del aspersor.

Las características del aspersor, que se deben determinar en cada caso concreto, están en función de parámetros de riego, estos son:

- Presión de trabajo
- Marco de utilización
- Caudal, que varía según el diámetro de la boquilla o (boquillas empleadas)

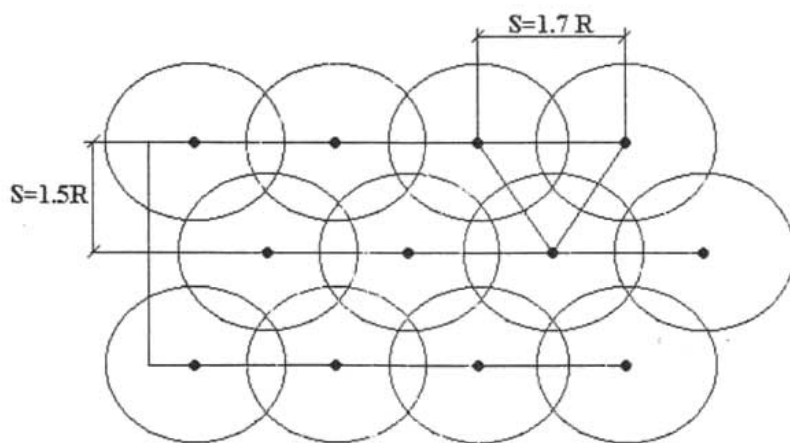
El marco de aspersión (ver figura 19, 19a y 19b) define la distancia que debe situarse los aspersores sobre el terreno, expresado por medio de las incógnitas (a,b) el primero indica la separación de los aspersores a lo largo del ala de riego, y el segundo, la distancia entre dos posiciones consecutivas de dicha ala cuando ésta es móvil, ó la distancia entre tuberías abastecedoras en sistemas fijos.

El valor de a es, en alas móviles, múltiplo de 6 o de 9 que son las longitudes de los tramos de la tubería empleada. Las configuraciones más empleadas son los cuadrados ($a=b$) y las rectangulares, usándose en algunas ocasiones, la posición triangular.



Disposición en cuadrado

Figura 19.



Disposición en triángulo

Figura 19a.

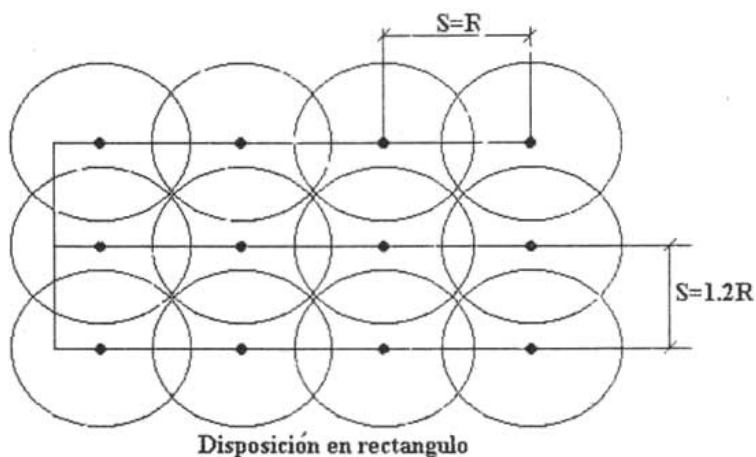


Figura 19b.

Sin embargo hay que tener en cuenta que la presión mínima utilizable debe ser compatible con una adecuada distribución del agua, para los marcos antes citados, las mínimas presiones de trabajo suelen ser de, por lo menos, 2.5 o 3Kg/cm^2 , generalmente se elige la presión de trabajo compatible con el marco elegido, según el tipo de instalación fija, con estos dos parámetros se determina el tipo de aspersor y el diámetro de la boquilla, para una pluviometría adecuada.

Dicha pluviometría, altura del agua aportada sobre el terreno en la unidad de tiempo, no debe provocar encharcamiento.

$I = \text{Pluviometría}(\text{mm/h}) = Q \cdot 1,000 / s$, siendo:

$Q = \text{caudal del aspersor, en m}^3/\text{h}$

$S = \text{superficie regada, que viene}$

Representada por el marco a que

Está instalado el aspersor, a.b m^2

La conductividad hidráulica de un suelo no es constante y varía según la cantidad de agua existente en el mismo, disminuyendo a medida que avanza el riego, por ello se debe utilizar en los cálculos del proyecto un valor medio, válido para la duración de dicho riego.

3.15 CÁLCULO DE TUBERÍAS ABASTECEDORAS

La red principal de una instalación de riego está constituida por el conjunto de tuberías abastecedoras de las alas de riego, sobre ellas no van instaladas aspersores, solo tienen salidas como son los hidrantes o tomas. A partir de cierta superficie para regar, dichas tuberías suelen ser fijas enterradas, con el fin de no entorpecer las labores agrícolas y, estar protegidas de los factores atmosféricos. La profundidad debe ser suficiente para que no sean afectadas las labores de cultivo.

En caso de prever grandes cargas, cada vez más habituales en una agricultura moderna, las tuberías deben protegerse eficazmente contra roturas, es muy utilizado el hormigón en los lugares donde se producirá el paso por encima de la tubería, donde se produzcan sobrepresiones y grandes empujes sobre elementos de tubería.

La red deberá poder vaciarse, esto con un doble motivo, para evitar la congelación del agua en zonas de fuertes heladas que puedan provocar roturas y, en segundo lugar, evitar la sedimentación o incrustación de sustancias transportadas o disueltas, cuando el agua no circula, para este fin se instalan llaves, generalmente en los puntos más bajos.

La determinación de los diámetros de las tuberías se pueden hacer mediante la comparación entre la repercusión anual del costo inicial de las mismas y de la energía

concomida en vencer las pérdidas de carga, al aumentar dichos diámetros crece la inversión inicial pero disminuyen las pérdidas de carga, es decir, el gasto de energía.

Existen numerosas fórmulas para calcular las pérdidas de carga, siendo la más conocida la de Darcy Weisbach.

$hf = f \cdot L/D \cdot U^2/2g$ siendo:

hf = pérdida de carga, en metros

f = coeficiente

L = Longitud de la tubería, en metros

D = diámetro de la tubería, en metros

U = velocidad del agua, en metros/seg

G = aceleración de la gravedad = 9.81 m/s^2

Todos los fabricantes de tuberías facilitan las pérdidas de carga que en ellas se producen, calculadas según diferentes fórmulas, que son variantes de la ya citada fórmula de Darcy Weisbach.

Cuando se utilizan tuberías plásticas, principalmente PE y PVC, se pueden considerar hidráulicamente lisas, los puntos singulares son aquellos en que se produce una variación en el régimen de la corriente, existe en toda la red de tuberías, siendo los más conocidos los codos, tes, estrechamientos, válvulas, etc. En todos ellos se produce una mayor pérdida de carga, dicha pérdida se estima la producida en dichos puntos como un 5 o 10% de la calculada para toda la tubería, según la mayor o menor complejidad del trazado.

Los caudales circundantes por dichas tuberías y, en consecuencia, los diámetros de las mismas, irán disminuyendo a medida que los aspersores o, en su caso, las alas vayan tomando el agua necesaria para el riego.

La solución consiste en dimensionar la tubería por tramos, según el caudal máximo que pueda circular por ellos, que depende del número de aspersores que se debe abastecer. Conociendo el caudal Q que debe transportar cada tubería se determina fácilmente el diámetro, ya que:

$$Q = U.W = U\pi D^2/4$$

La velocidad admisible de cálculo, varía entre 1 y 2 m/s, una vez elegido un valor de cálculo para U, determinamos el correspondiente a D, diámetro que no coincidirá con ninguno comercial. En PVC los diámetros se expresan por su medida exterior que es común, mientras la interior dependerá de la presión de trabajo máxima, en riego por aspersión las presiones de trabajo más habituales en estas tuberías son de 6 y 10 atmósferas.

A continuación se muestra un cuadro de los diámetros exteriores existentes en el mercado y sus correspondientes interiores, según la presión máxima que puede soportar la tubería

3.16 DIÁMETROS INTERIORES DE LAS TUBERÍAS DE PVC, SEGÚN LA PRESIÓN DE TRABAJO. Figura 20.

Diámetro exterior:	6 atmósferas	10 atmósferas
75	70.6	67.8
90	88.6	81.4
110	103.6	99.4
125	117.6	113.0
140	131.8	126.6
160	150.6	144.6
200	188.2	180.8
250	235.4	226.2

Figura 20.

3.17 CÁLCULO DEL GRUPO DE BOMBEO

La bomba viene definida por el caudal Q que debe elevar a una altura de elevación H, factores que determinan el punto de funcionamiento, este punto debe estar en la zona de máximo rendimiento de la misma, que viene determinada por la potencia de la bomba⁷:

$$P1 = \frac{P_e Q H}{\eta_{75}} \quad \text{O bien} \quad P2 = \frac{\gamma Q H}{\eta} \quad \text{donde:}$$

P1 = Potencia de la bomba, en CV.

P2 = Potencia de la bomba, expresado en watos.

Pe = Peso específico del agua, expresado en Kgf/m³.

γ = Peso específico del agua, expresado en N/m^3 .

Q = caudal que hay que suministrar, en m^3/s .

H = altura de elevación, expresada en metros.

η = rendimiento de la bomba.

El caudal Q será el total del riego y vendrá determinado por el número de aspersores regando simultáneamente, la altura de elevación del agua comprende los siguientes puntos:

- Presión de trabajo del aspersor.
- Altura del porta aspersor.
- Pérdidas de carga producidas en diferentes tuberías por donde circula el agua.
- Desnivel que existe entre la toma de agua y la posición que se debe regar.

Una vez determinados estos valores Q y H, se elige la bomba teniendo en cuenta, que según las curvas características que debe facilitar el fabricante, el rendimiento de la misma sea lo más elevado posible, es por eso que los grupos de bombeo estén correctamente instalados para que toda la potencia consumida sea activa.

3.18 TIPOS DE BOMBAS

Las bombas más comúnmente utilizadas para el riego por aspersión son las centrífugas horizontales, que son más simples, baratas y de más fácil mantenimiento.

Su limitación de uso está provocada por la altura neta de aspiración (n.p.s.h.), que en

este tipo de bombas, puede alcanzar un máximo de 7 metros, y representa la máxima diferencia de cotas que puede existir entre el nivel libre del agua y el eje de la bomba.

Existen 2 tipos, según la posición del motor que la acciona:

No sumergibles, con motor en la superficie del terreno, lo que obliga a la existencia de un eje desde el motor hasta la bomba. Cuya longitud limita la profundidad de la instalación.

Sumergibles, que como su nombre lo indica tienen un motor eléctrico sumergido. Toda la instalación se encuentra dentro del pozo o sondeo y únicamente sobresale el cable eléctrico.

La potencia total que se debe instalar calculada para el periodo de máximas necesidades, en el cual normalmente se riega toda la superficie. Sin embargo, si la alternativa incluye diferentes cultivos, es muy frecuente que a lo largo de todo ciclo agrícola, no se riegue toda la parcela o bien que las cantidades de agua que se van a aportar varíen, en este caso la utilización de toda la potencia de bombeo calculada no es necesaria.

Por esta razón y salvo en caso de pequeñas instalaciones con poca potencia, se suele dividir la potencia que se va a instalar en más de 2 bombas, que funcionen separadamente cuando disminuyen las necesidades de riego y conjuntamente cuando estas así lo requieran.

A modo de recordatorio, a continuación queremos repetir las principales ideas para proyectar correctamente una instalación de riego por aspersión:

- Dividir el caudal de riego todo lo posible, con el fin de disminuir el diámetro de las tuberías y consecuentemente su costo.
- El dimensionamiento de las tuberías abastecedoras debe, sobre todo en zonas con muchas horas de riego anuales, evitar grandes necesidades energéticas por pérdidas de carga, que repercutirían en grandes costos de utilización.
- Las alas de riego deben situarse lo más niveladas posibles, para lograr una mayor longitud de las mismas con la misma variación de presiones.
- El trazado para áreas de forma irregular, debe hacerse de manera que exista el mayor número de alas de igual longitud.
- Es conveniente mantener constante el número de aspersores regando simultáneamente, para que la bomba pueda funcionar siempre en las mismas condiciones, sin variaciones de caudal.
- La altura de elevación del agua debe calcularse con exactitud. El curarse en salud, con cálculos y coeficientes por exceso, trae como consecuencia un aumento de la potencia calculada y un mayor costo para el regante, despilfarrando energía sin ningún beneficio.

3.19 MANEJO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO POR ASPERSIÓN.

Un buen manejo debe incluir labores de conservación y protección de la instalación. Como norma general se puede decir que conviene vaciar la red en épocas sin riego, por un doble motivo. En primer lugar para evitar la congelación en zonas de fuertes heladas, que puedan provocar roturas. En segundo lugar para evitar la sedimentación o incrustación de sustancias transportadas o disueltas, cuando el agua no circula.

Además cuando existen abundantes sustancias en suspensión puede ser conveniente una limpieza de las tuberías.

En el manejo de riego por aspersión se puede distinguir dos aspectos diferentes. Por un lado, se debe buscar la disminución del costo y por otro lado una buena eficiencia de aplicación.

Para disminuir los costos de energía se debe de analizar la tarifa eléctrica según potencia instalada y horas de uso.

El viento suele ser el principal condicionante para este riego, en zonas ventosas, se recomienda además de las modificaciones de marco de aspersión, disminuir la pluviometría y aumentar el tiempo aplicación.

En equipos autopropulsados o móviles la disminución de la pluviometría se consigue modificando su velocidad de desplazamiento.

El único condicionante que puede existir es regar toda la parcela en el tiempo máximo previsto de separación entre dos riegos. Sin embargo, en sistemas fijos dicho cambio implica, en general, modificaciones en la presión que se debe disminuir, y caudal utilizados. En consecuencia el rendimiento del grupo motobomba varía, así como la duración de los horarios de riego.

En general las diferentes dosis o aportaciones de riego a lo largo del ciclo de cultivo se logran modificando el tiempo de riego. Este cambio se puede efectuar fácilmente en instalaciones fijas, donde no se modifica el número de alas, aumentando únicamente el horario de riego. Por el contrario, en equipos móviles obliga a aumentar el material necesario en parcela o bien la mano de obra. En ambos casos aumentan los costos de inversión o de explotación. Sobre estas variaciones en el manejo es posible utilizar diagramas de operación o programas de computadora, que permite simular las

operaciones de riego y prever los resultados que se pueden obtener al cambiar las variables de operación, buscando un óptimo rendimiento.

Pero debe quedar claro que estos resultados teóricos simulados tienen que ser comprobados en la realidad, pues el funcionamiento de la instalación puede ser algo diferente de acuerdo a la teoría.

Existen numerosos modelos, en el cual se estiman los valores como el déficit, rendimiento de aplicación y la fracción adecuadamente regada.

Para aspersión el programa más utilizado es el Catchcan, que permite estimar la uniformidad de distribución de agua, según diferentes marcos, presiones de trabajo y vientos previstos. También calcula la distribución real del agua según datos obtenidos en evaluaciones sobre el terreno.

CAPÍTULO 4

PROYECTO.

4.1 Memoria de cálculo.

PERDIDAS DE CARGA

$$h_f = f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{U^2}{2g}\right) = 0.32 \left(\frac{360\text{m}}{0.025\text{m}}\right)\left(\frac{(2)^2 \text{ m/s}}{2(9.81\text{m/s})}\right) = 94.003$$

CAUDAL

$$Q = U\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) = (2\text{m/s})\left(\frac{\pi(6.25 \times 10^{-4})^2}{4}\right) = 9.817 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

BOMBA

$$P = \frac{\gamma Q H}{\eta} W = \frac{(9810\text{N/m})(9.817 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s})(13\text{m} + 360\text{m} + 3.3\text{m})}{.75} = 3623.94\text{w}$$

$$1\text{HP} = 746\text{w} \quad 3623.94\text{w} \text{ equivale a } 6.47\text{hp}$$

*Esto es con 22 aspersores y 360 m de manguera de 1 pulgada

PERDIDAS DE CARGA

$$h_f = f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{U^2}{2g}\right) = 0.32 \left(\frac{250\text{m}}{0.025\text{m}}\right)\left(\frac{(2)^2 \text{ m/s}}{2(9.81\text{m/s})}\right) = 65.280\text{m}$$

CAUDAL

$$Q = U\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) = (2\text{m/s})\left(\frac{\pi(6.25 \times 10^{-4})^2}{4}\right) = 9.817 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

BOMBA

$$P = \frac{\gamma Q H}{\eta} W = \frac{(9810\text{N/m})(9.817 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s})(13\text{m} + 250\text{m} + 2.55\text{m})}{.75} = 3409.83\text{w}$$

$$1\text{HP} = 746\text{w} \quad 3409.83\text{w} \text{ equivale a } 4.57\text{hp}$$

*Esto es con 17 aspersores y 250m de manguera de 1 pulgada

4.2 SITUACIÓN ACTUAL

Cuando vemos llover nos damos cuenta como el panorama cambia, gozamos del clima agradable, de mucha belleza y se mantiene mientras llueve.

Cuando este tiempo pasa, nos enfrentamos a la necesidad de sustituir esta lluvia por alguna forma para llevar agua a las plantas y lo logramos en cierta forma.

Si esta necesidad de agua la transportamos a un terreno de cultivo se vuelve entonces una serie de problemas que debemos de solucionar.

La cantidad de agua que se necesita para regar puede disminuir si en los terrenos aledaños se esta usando, inclusive el exceso ya que la única regulación que existe son las compuertas.

Dentro del terreno hay que dirigir el agua en forma regular, el tiempo para llevar acabo esta labor es demasiado y muy cansado aun así, no se tiene un resultado optimo, no se humedece el área como se desea, el terreno, en diferentes formas se erosiona. Y al mismo tiempo se deforma la superficie que se preparo para cierto cultivo.

La persona que hace este trabajo, al caminar por el terreno, se expone a demasiado enfriamiento, riesgos de cortaduras que las más de las veces se infectan, paulatinamente sufren dolores en las extremidades inferiores y ya en la edad adulta sufren problemas reumáticos, acompañados también, en deformaciones en los pies.

Otra característica muy importante es el tiempo en que se tardan en regar, u el poco o nada de cuidado y el demasiado desperdicio del agua.

Cuando por fin, después de todas las dificultades y deficiencias, hemos logrado humedecer el terreno, nos quedan aún lo que son las fumigaciones y la fertilización, que siendo dos trabajos diferentes, es posible hacerlos con el sistema que se recomienda, son adaptaciones no costosas y sencillas de manejar.

CAPÍTULO 5

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.

5.1 COSTO BENEFICIO

200 m de manguera de 1 " \$270

codos \$ 6 cada uno por 4=\$24

tes \$9 cada uno por 5=\$45

llaves de paso de 1" \$ 35 cobre \$12 plástico por 5 =\$175

Aspersor de ½" de pulsaciones metálico \$80 y \$95 por 20 =\$1900

Bomba de agua con motor de combustión interna. \$ 4000

Mano de obra aproximadamente. \$ 1700

Costo total del proyecto \$ 8114

Estos precios pueden variar, ya que la necesidad del agricultor esta en función del tipo de riego que necesita, ya sea en una huerta o un terreno para cultivo.

Como el proyecto desde un inicio esta pensado para utilizarse en una huerta, un agricultor en la comunidad de San Martín Ocochitepec, tiene un ingreso aproximado de \$5600 a la quincena, su principal actividad es el cultivo de aguacate, ave de paraíso y guayaba, siendo su ingreso más fuerte la venta de guayaba, ya que en esta región este producto es muy fácil de cultivar por las condiciones de la región, ya que tiene un clima cálido húmedo.

El agricultor tiene la posibilidad de ir pagando el proyecto con mensualidades de \$680 pesos, esto con el fin de que no se vea tan afectado en su economía, pero aun así, los agricultores tienen la posibilidad de pedir créditos, ya que existen programas de ayuda (PROGRESA, PROCAMPO, SÉDAGRO) donde, tienen la posibilidad de pedir herramienta para cultivo, semillas, fertilizantes y hasta material para construcción.

Con este tipo de ayudas estamos hablando de que el agricultor solo pagaría la mano de obra, esto considerando que a un peón se le esta pagando el día a \$70 pesos, pero cabe mencionar que lo que se pagaría de mano de obra está en función del tipo de terreno donde se aplicaría el sistema de riego.

El beneficio que el agricultor tendría con este sistema de riego es, el hecho de poder regar su terreno en menor tiempo, y cuando lo considere necesario. Actualmente riegan por tiempos, esto es que cada persona cuenta con cierto tiempo de riego de 3 o más horas según el tamaño del terreno.

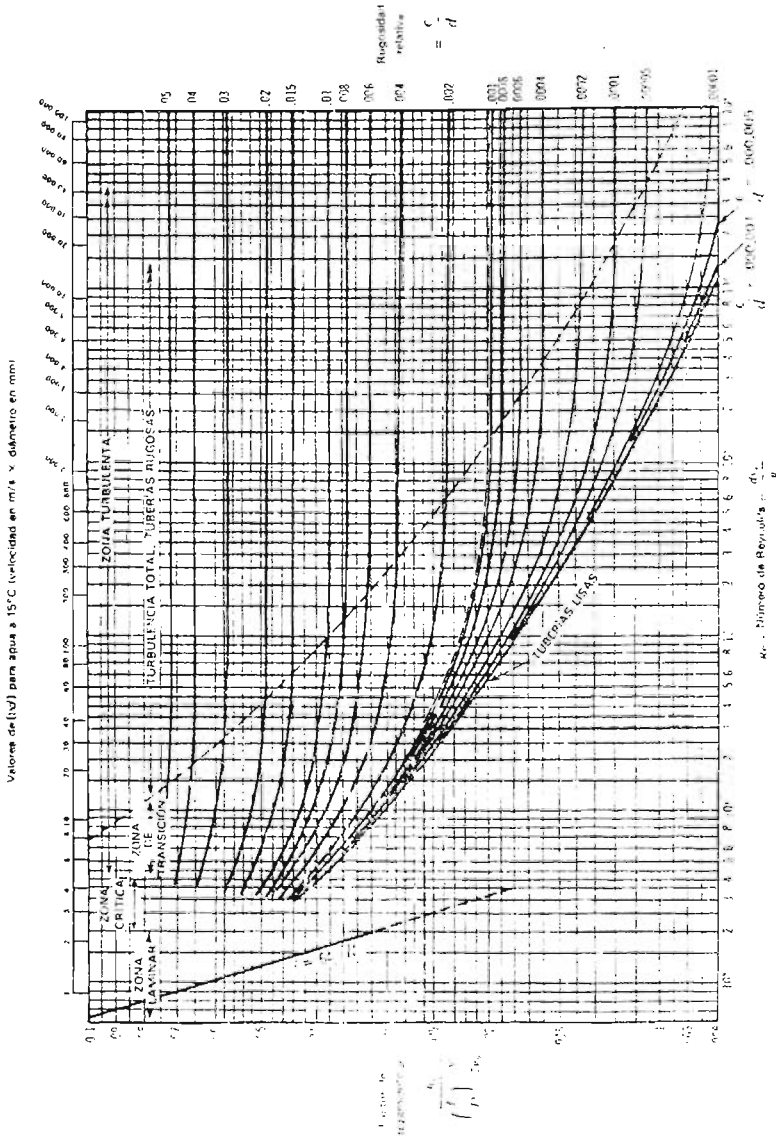
CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES.

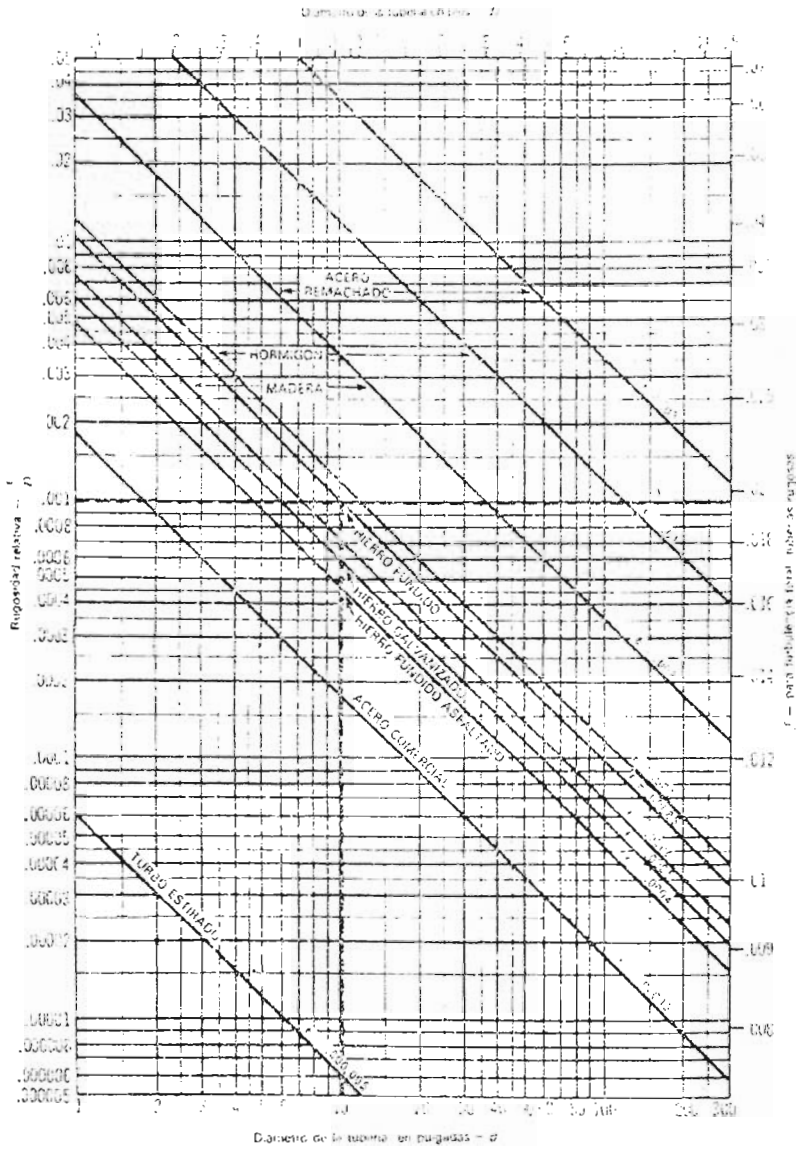
El sistema de riego que estoy proponiendo nace precisamente de los factores antes mencionados, pues es increíble que existiendo tanta información con respecto a este tema, la gente del campo no cuente con métodos que le hagan la vida más placentera, con este tipo de proyectos solo se estaría resolviendo una pequeña parte de la gran problemática existente dentro del campo, en sí el proyecto esta pensado para personas de escasos recursos, pues los materiales con los que estoy diseñando el sistema, son los que la gente del campo tiene a la mano como son, mangueras, codos y tes. En lo único que podría haber algún problema sería en la bomba a utilizar, pues aquí es donde se debe de ~~analizar~~ **analizar si conviene** un motor de combustión interna o eléctrico, pues el costo de estos motores oscila entre los \$1000 y \$3500 pesos, pero aún así, existen programas de ayuda para la gente del campo, donde el gobierno proporciona créditos para la obtención de maquinaria o herramientas para el cultivo. Es solo cuestión de organizar a la gente para sacar un proyecto adelante, explicándoles las ventajas o desventajas que tienen este tipo de proyectos.

ANEXOS

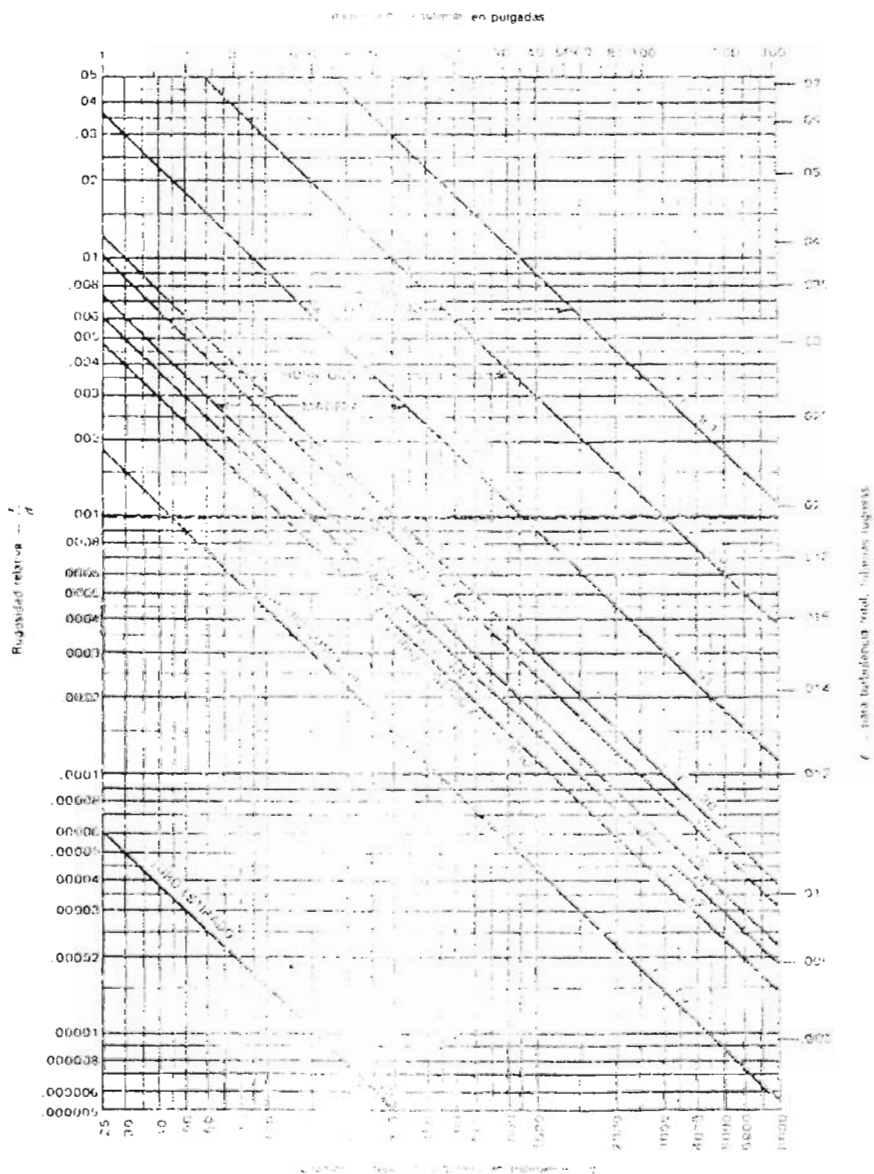
Factores de fricción para cualquier tipo de tubería comercial



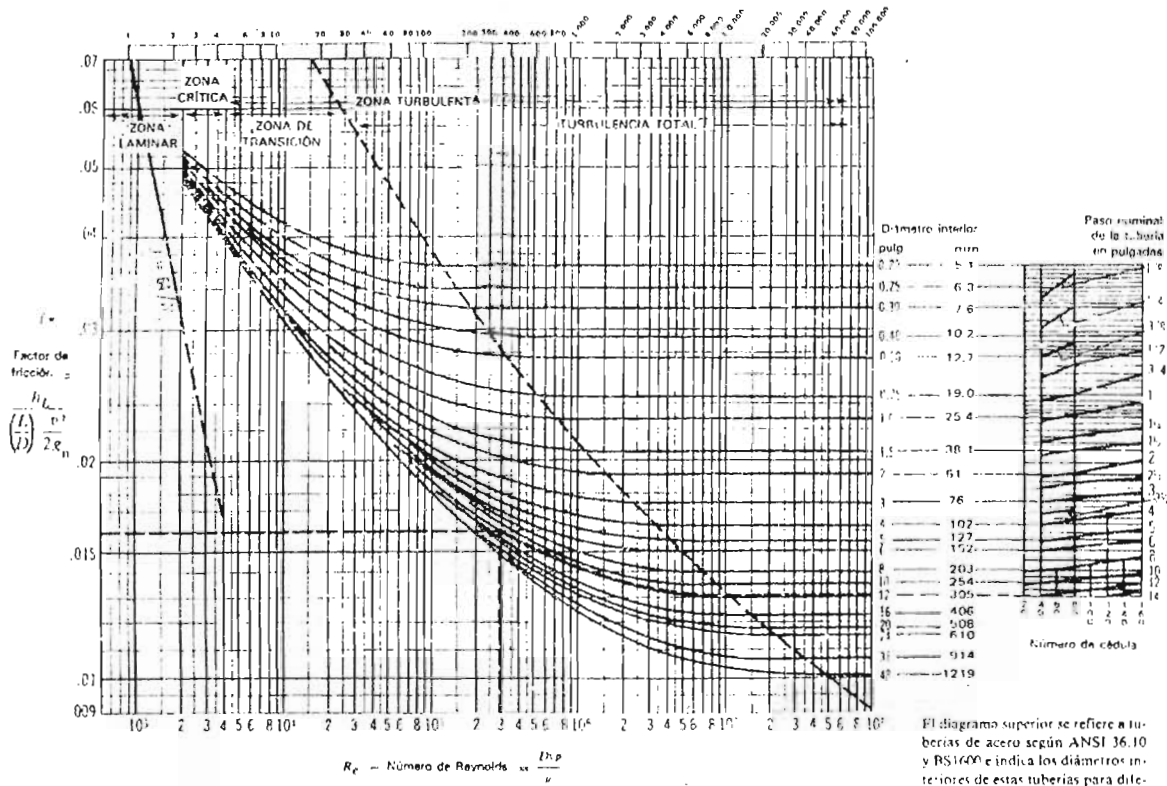
... 2. Rugosidad relativa de los materiales de las tuberías y factor de fricción para flujo en régimen de turbulencia total



Rugosidad relativa de los materiales de las tuberías y factor de fricción para flujo en régimen de turbulencia total



VALORES DE (f/v) PARA AGUA A 15°C (VELOCIDAD EN m/s y DIÁMETRO EN mm)



El diagrama superior se refiere a tuberías de acero según ANSI 36.10 y BS1600 e indica los diámetros interiores de estas tuberías para diferentes números de cédula. Para otras tuberías de acero comerciales, hállese el diámetro interior y véase solo la gráfica principal.

Coefficiente de resistencia K , longitud equivalente L/D y coeficiente de flujo (continuación)

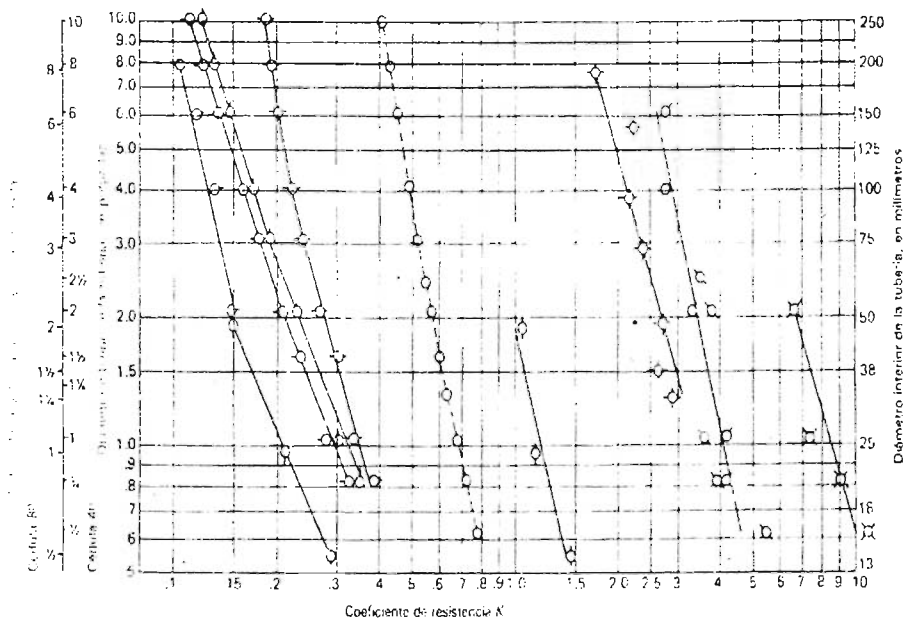


Figura 2-14. Variaciones del coeficiente de resistencia $K (= f L/D)$ con la medida

Símbolo	Producto probado	Autoridad
○	Tubería de Cédula 40 de 30 diámetros de longitud $(K = 30 f)$	Moody A.S.M.E. Trans., No. 1, 1944
⊙	Válvulas de compuerta de cunfo con cuerpo de hierro, clase 125	Univ. of Wis. Exp. Sta. Bull., Vol. 9, No. 1, 1922
⊚	Válvulas de compuerta de cunfo de acero, clase 600	Crane Tests
⊖	Curvas de tubería de 90 grados, $R/D = 2$	Pigott A.S.M.E. Trans., 1950
⊘	Curvas de tubería de 90 grados, $R/D = 3$	Pigott A.S.M.E. Trans., 1950
⊙	Curvas de tubería de 90 grados, $R/D = 1$	Pigott A.S.M.E. Trans., 1950
⊚	Válvulas de compuerta de cunfo con globo reducido, de acero, clase 600	Crane Tests
⊛	Válvulas de compuerta Clase 100 de acero con jaula de bola de Venturi	Crane-Armour Tests
⊜	Válvulas de globo en Y, con cuerpo de hierro, clase 125	Crane-Armour Tests
⊝	Válvulas angulares, de bronce, clase 125, con obturador de anillo recambiable	Crane Tests
⊞	Válvulas de globo, de bronce, clase 125, con obturador de anillo recambiable	Crane Tests

FUENTES DE CONSULTA.

- Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.

Claudio Mataix.

2da edición Harla c. 1982

- Mecánica de Fluidos

Streeter, Victor Lyle

6ta edición McGrawhill

- BOMBAS- Teoría diseño y Aplicaciones.

Ing. Manuel Viejo Zubicaray

2da edición editorial Limusa

- Ingeniería del Riego.

Utilización Racional del Agua

Guillermo Castañon

1ra edición Editorial Paraninfo

- Termodinámica.

Kenneth Wark JR.

5ta edición Editorial McGrawhill

- A brief introduction to fluid mechanics.

Young, Donald F.

Okiishi, Theodore Hisao, 1939- , coaut.

New York : J. Wiley, c1997