CURSO BASICO SISTEMAS DE BOMBEO

Una necesidad muy antigua presentada al ser humano, fue la necesidad de transportar el agua de un lugar a otro, por lo que empezó a idear diversos mecanismos para su solución, iniciando así el desarrollo tecnológico en sistemas de bombeo.

Una bomba sirve para producir una ganancia en carga estática de un fluido procedente de una energía mecánica que se transmite en su eje por medio de un motor.

Hay una diversidad de mecanismos de bombeo (bombas), cuya capacidad, diseño y aplicación cubren un amplio rango que va desde pequeñas unidades utilizadas para dosificación de cantidades mínimas, hasta bombas centrifugas que son capaces de manejar grandes volúmenes para surtir de agua a las grandes concentraciones urbanas. Su variedad de diseños cubren desde diferentes principios de operación, hasta bombas especiales para manejo de sustancias tan diversas como el agua, metales fundidos, concreto, etc., gastos diferentes y materiales de construcción.

1.0 TIPOS Y APLICACIONES DE LAS BOMBAS.

Debido a la diversidad de bombas ya mencionadas, hay muchas formas de clasificar las bombas. Por rangos de volúmenes a manejar, por fluidos a mover, etc. Sin embargo, la clasificación más general es en función de la forma en que las bombas imprimen el movimiento al fluido, separándose en dos tipos principales.

Clasificación de Bombas.

- **BOMBAS**
  - Desplazamiento Positivo
    - Reciprocantes
      - Pistón
        - Doble Acción
          - Simple
          - Doble
          - Vapor
      - Embolo
        - Simple Acción
        - Doble Acción
          - Simple
          - Doble
          - Triple
          - Múltiple
          - Potencia
      - Diarfágma
        - Simple
        - Múltiple
          - Operada p/fluido
          - Ope. Mecánica
    - Rotatorias
      - Rotor Simple
        - Aspa
        - Pistón
        - Miembro flexible
        - Tornillo
      - Rotor Múltiple
        - Engrane
        - Lóbulos
        - Balancines
        - Tornillos
  - Dinámicas
    - Centífugas
      - Flujo Radial
      - Flujo Mixto
        - Simple succión
        - Doble succión
          - Autocebantes
          - Cebadas p/medios externos
          - Unipaso
            - Imp. Abierto
            - Imp. Semiabierto
          - Multipaso
            - Imp. Cerrado
      - Flujo Axial
        - Simple succión
          - Unipaso
            - Imp. Abierto
          - Multipaso
            - Imp. Cerrado
    - Periféricas
      - Unipaso
      - Multipaso
        - Autocebantes
        - Cebadas p / medios externos
    - Especiales
      - Electromagnéticas

La clasificación anterior, nos permite apreciar la gran diversidad de tipos que existen y si a ello agregamos materiales de construcción, tamaños diferentes para manejo de gastos y presiones sumamente variables y los diferentes líquidos a manejar, etc., entenderemos la importancia de este tipo de maquinaria.

Dentro de ésta clasificación los tipos de bombas más comúnmente utilizadas son las llamadas Centrífugas, Rotatorias y Reciprocantes, y en ellas concentraremos éste estudio.

Bombas Centrífugas.

Si tenemos un cubo lleno de agua atado al extremo de una cuerda, y lo ponemos a girar, el agua contenida en el cubo permanecerá ahí, pegándose al extremo del cubo con una fuerza originada por la velocidad rotacional. Esa es la fuerza centrífuga, y es la base del principio de operación de las bombas centrífugas.

Imaginando un impulsor en reposo dentro del agua. Si dicho impulsor se pone a girar, el agua saldrá impulsada por entre los álabes del mismo. A medida que el agua es arrojada fuera de los álabes, más agua llega al centro del impulsor, por ser ésta la zona de menor presión; por ello es ahí donde generalmente se coloca la solución.

Al continuar girando el impulsor, más agua es expulsada y más agua llega al centro del impulsor, manteniéndose así un flujo continuo, sin variaciones de presión; estas son las características principales de las bombas centrífugas. Si el impulsor se coloca dentro de un envolvente o carcaza, el flujo es dirigido hacia donde es requerido, para lograr de ésta manera el objetivo deseado.

Algunas de la características de estas bombas son las siguientes:

- Descarga de flujo continuo, sin pulsaciones.
- Puede bombear todo tipo de líquidos, sucios abrasivos, con sólidos, etc.
- Altura de succión máxima del orden de 4.5 metros de columna de agua.
- Rangos de presión de descarga hasta de 150 kg/cm^2.
- Rangos de volúmenes a manejar hasta de 20,000 m^3/hr.

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga, pues es el componente que imprima la velocidad al fluido; consiste en un cierto número de aspas o álabes curveados con una forma tal que permite un flujo continuo del fluido a través de ella. El diseño de los impulsores se hace en función del fluido a bombear, pudiendo ser abiertos, semicerrados y cerrados.

La carcaza de una bomba centrífuga, también con la posibilidad de ser de diferentes diseños, tiene la función de hacer la conversión de energía cinética o de velocidad que se imparte al fluido por el impulsor, en energía de presión o potencial. Existen dos tipos básicos de carcazas: de tipo espiral y de tipo difusor. En las carcazas de tipo espiral, el impulsor descarga el fluido en un área que se expande gradualmente, disminuyendo así la velocidad para irse convirtiendo en energía de presión.

La carcaza de tipo difusor, se basa en unas guías estacionarias con una trayectoria definida, que va ampliando el área desde el impulsor hacia la propia carcaza, haciendo también la conversión de energía cinética (velocidad) a energía potencial en el flujo (presión). Este tipo de carcaza es más utilizado en bombas de varias etapas.

Si la combinación de carga (presión que se tiene que vencer con la bomba) que se requiere es mayor de la que se puede desarrollar con un solo impulsor, se puede hacer una combinación de ellos, con el flujo enserie donde el primer impulsor descarga a la succión del segundo, y así sucesivamente; en éstos casos el gasto se mantiene constante a lo largo de los distintos impulsores, pero la presión va adicionándose de impulsor en impulsor. Estas bombas se conocen como multietapas o de varias etapas.
A diferencia de otros tipos de bombas, las centrífugas, operando a velocidad constante proporcionan un flujo desde 0 hasta su valor máximo, en función de la carga, diseño propio y condiciones de succión.

Existen curvas características, típicas, de bombas centrífugas, donde se puede interrelacionar la presión de descarga (carga), capacidad, potencia requerida y eficiencia de operación de la bomba.

La presión requerida del sistema se obtiene de la combinación de la carga estática más la presión diferencial del sistema. La curva de pérdidas de fricción es la suma de las pérdidas producidas en tuberías, conexiones y válvulas. Ya que la carga por fricción varía en proporción cuadrática al flujo, la curva característica es generalmente una parábola. Analizando en forma sobrepuesta las curvas de capacidad - carga de la bomba con la carga del sistema, se obtienen los puntos de capacidad y carga en las cuales la bomba podrá operar para ese sistema en particular.
Bombas Rotatorias.

Las bombas rotatorias, en sus diferentes variedades, se consideran de desplazamiento positivo, pues su principio de operación está basado en un transporte directo del fluido de un lugar a otro.

Los elementos rotatorios de la bomba crean una disminución de presión en el lado de succión, permitiendo así que una fuerza externa (en ocasiones la presión atmosférica) empuje al fluido hacia el interior de una cavidad; una vez llena ésta, los elementos rotatorios, en su propia rotación, arrastran o llevan el fluido que quedó atrapado en la mencionada cavidad, formada por la parte rotatoria de la bomba y la carcaza (estacionaria), siendo empujado hacia la descarga, forzándose a salir. El fluido así es prácticamente desplazado de la entrada hacia la salida en un movimiento físico de traslación.

Los tipos de bombas rotatorias más comunes son las llamadas de engranes, tanto externos como internos, bombas de lóbulos y bombas de tornillo. Algunas de las características de las bombas rotatorias son las siguientes:

- Producen flujo continuo, sin pulsaciones.
- Su capacidad de succión es de 0.65 atmósferas (6.5 m de col. de agua).
- Su capacidad de flujo es generalmente de bajo rango.
- Su rango de presión de descarga es medio, del orden de 20 kg/cm^2 máximo.

Por sus características de operación, la capacidad de manejo de flujo en una bomba rotatoria, está en función de su tamaño y velocidad de rotación.

Pueden usarse para líquidos con cualquier índice de viscosidad, pero son bombas sensibles a la presencia de abrasivos, por la gran fricción que hay entre los engranes o lóbulos y el fluido. En particular su rango de fluidos más adecuado, son los de alta viscosidad como grasas, mezclas, pinturas, etc. También, por su adecuado control de volúmenes en función de la velocidad, son adecuadas para usarse como bombas dosificadoras de productos que deben ser medidos con precisión.

De los diferentes tipos de bombas rotatorias, las más conocidas y simples son las llamadas de engranes. Otra variedad, son las llamadas de tornillo, que pueden tener 1, 2 o hasta 3 tornillos, dependiendo de la capacidad y presión requerida. Existen modificaciones como las llamadas de “cavidad viajera", consistente en un rotor con forma de tornillo helicoidal, mientras que el estator tiene un espiral doble opuesto al espiral del rotor. Los espacios entre rotor y estator atrapan el material, y en cada revolución lo mueven continuamente hacia la descarga.

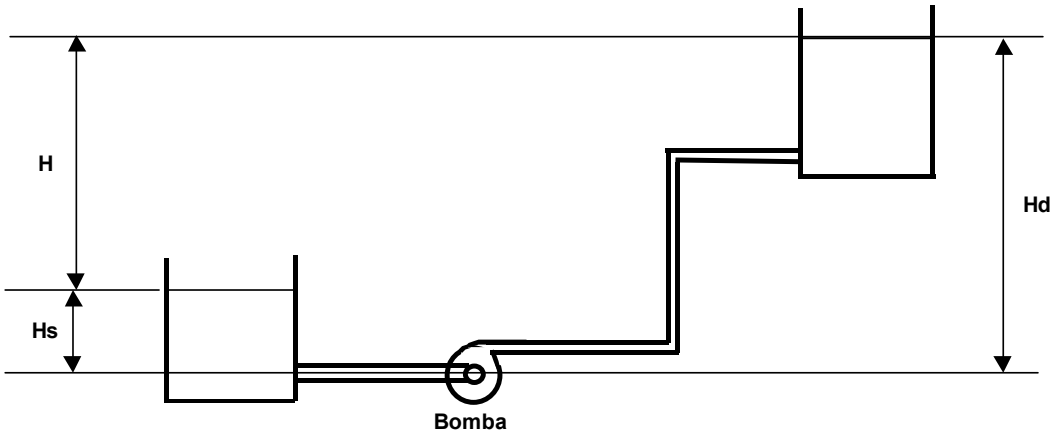
Bombas Reciprocantes.

Como su nombre lo indica, producen el bombeo de fluidos con base a un movimiento reciprocante de uno o varios pistones, siendo por ello también bombas de desplazamiento positivo.

La bomba reciprocante tiene la particularidad de producir un flujo pulsante en función del movimiento de su(s) pistón(es). Su capacidad máxima de succión recomendada es de 0.65 atmósferas (6.5 metros de columna de agua) (aunque teóricamente pueden succionar a 1 atmósfera), y pueden construirse para trabajar a presiones hasta de 1,000 kg/cm^2.

Por sus características, su aplicación es amplia donde se requieren altas presiones, o volúmenes controlados de fluido, por lo que se usan mucho en líquidos de alta viscosidad y en el campo de medición y dosificación. Las bombas reciprocantes no hacen succión en los fluidos a manejarse. Al avanzar el pistón se hace una reducción de presión en la cámara de succión, requiriéndose de una fuerza externa (generalmente la presión atmosférica) que empuja el fluido a la cámara.

La capacidad o flujo a manejarse por la bomba está en función de la velocidad, y existe una interrelación entre la temperatura y la viscosidad del fluido, que afectan también la capacidad en el manejo del fluido.



La eficiencia varía dependiendo del tamaño, diseño y su aplicación. Dado que el suministro del líquido es función del barrido del pistón en el cilindro (carrera), y el número de carreras realizadas en una unidad de tiempo, pero como se descarga un volumen real menor al teórico por deficiencias en el llenado del cilindro, en operación real de las válvulas, fugas en el pistón, la eficiencia volumétrica se define como la relación que existe entre la descarga real y la descarga ideal (desplazamiento del pistón) siendo del orden del 95%.

2. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

La variación de la "Carga" con respecto a la "Capacidad", a la velocidad constante, representa la "Característica de una Bomba". Un juego completo de características de bombas, también incluye eficiencia y curvas de potencia requerida (BHP). Las variables que intervienen en el comportamiento de la curva característica de una bomba se describen a continuación.

Capacidad: Se refiere al volumen del fluido bombeado por unidad de tiempo. También llamado "gasto", y se expresa en litros por minuto, metros cúbicos por minuto, galones por minuto, o unidades equivalentes. Algunos factores de conversión útiles son los siguientes:

1 ft^3/seg	*= 448.8 gpm*
1'000,000 galones/día	*= 694.4 gpm*
1,000 barriles por día	*= 29.2 gpm*
1 litro por segundo	*= 15.95 gpm*

Presión de Descarga, Presión de Succión y Carga Total: En un sistema típico de bombeo, se involucran tres términos diferentes de presión, que deben identificarse claramente, estos son: Presión de descarga, Presión de succión y Presión o Carga Total, de donde:

Pt = Pd –(Ps), *Ps puede ser negativa o positiva.*

En el arreglo típico de la siguiente figura se muestra la manera de identificar los tres diferentes términos de presión, relacionados con la posición de la bomba. La presión de descarga se refiere a la altura a la cual puede ser bombeado un fluido, expresándose en unidades de longitud de columna de agua (o en kg/cm^2 o Psig). La presión de succión se refiere a la altura desde la cual el fluido puede ser succionado por la bomba, pudiendo ser presión de succión positiva o negativa, dependiendo de la posición relativa de la bomba con el nivel el fluido. La presión total se refiere a la diferencia entre la Presión de descarga y la Presión de succión. En una bomba centrífuga, la carga total dinámica se expresa así:

$$H = Hd - Hs + (Vd)2 / {}^2g - (Vs)2 / {}^2g$$

Hd = Carga a la salida o descarga de la bomba, medida en la tobera de descarga, expresada en pies de columna referida a la línea de centros de la flecha de la bomba.

Hs = Carga de succión, expresada en pies de columna, también referida a la línea de centros de la flecha de la bomba.

Vd = Velocidad del flujo de descarga de la bomba.

Vs = Velocidad del flujo de succión de la bomba.

Los últimos dos términos representan la diferencia de energía cinética o carga de velocidad entre toberas de succión y descarga.

NPSH (Carga Neta Positiva de Succión): NPSH (iniciales para Net Positive Suction Head), en español conocida como la carga neta positiva de succión, se define como la lectura de presión, medida en pies o metros de columna de líquido, tomada de la boquilla de succión, referida a la línea de centro de la bomba, menos la presión de vapor del líquido correspondiente a la temperatura del líquido, más la carga de velocidad en el mismo punto. Es la carga estática que recibe la bomba en la succión menos las pérdidas en la propia tubería de succión.

NPSH = {(Ps – Pvp) * 2.31 / densidad relativa} + hs - hfs

Ps = Presión de succión en pies.
Pvp = Presión de vapor del fluido, en Psi.
hs = Carga estática en pies.
hfs = pérdidas por fricción a la succión en pies.
Una bomba no puede operar adecuadamente si no tiene un mínimo de NPSH especificado, para cada diseño y condiciones de operación.

$$NPSH = Patm \pm hs - hfs - [(Vs)^2 / 2g]$$

Eficiencias de la Bomba: El grado de perfección mecánico o hidráulico de una bomba es juzgado por su eficiencia bruta, definida como sigue:

*Eficiencia = (Salida de la Bomba) / BHP = QgH / (550 * BHP) = (gpm * H) / (3960 * BHP)*

Donde: Q = Capacidad o gasto en ft^3 / seg
g = Peso específico del líquido = 62.4 lb/ft^3
BHP = Potencia recibida por la flecha de la bomba.

Curvas Características y Leyes de Afinidad: La carga, capacidad y potencia requerida de una bomba varían con la velocidad de tal manea que las curvas de desempeño retienen sus características. Esta variación se le conoce como "Leyes de Afinidad". Aplicable en cualquier punto de la curva Carga v.s. Capacidad, estas leyes establecen que:

- Cuando la velocidad se cambia, la capacidad (flujo), varía directamente con la velocidad.
- La carga varía directamente con el cuadrado de la velocidad.
- La potencia BHP varía directamente con el cubo de la velocidad.

$$Q_1 / Q_2 = n_1 / n_2;\ H_1 / H_2 = (n_1 / n_2)^2;\ (BHP)_1 / (BHP)_2 = (n_1 / n_2)^3$$

Bombas Geométricamente Similares: Cuando dos bombas, geométricamente similares se operan a la misma velocidad rotacional, la capacidad varía directamente con el cubo de la relación de diámetros de los impulsores. La carga es proporcional al cuadrado de la misma relación y la potencia requerida varía con la quinta potencia de esa relación.

$$Q_2 / Q_1 = (D_2 / D_1)^3$$
$$H_2 / H_1 = (D_2 / D_1)^2$$

$(BHP)_2 / (BHP)_1 = (D_2 / D_1)^5$

Reducción del Diámetro del Impulsor: Si se conserva la velocidad rotacional constante de una bomba, se puede reducir capacidad y carga de la bomba, al reducir el diámetro el impulsor. La reducción sigue, en una forma aproximada las leyes de afinidad.

- La capacidad se reduce en forma directamente proporcional a la relación de diámetros.
- La carga decrece en función cuadrática a la relación de diámetros.
- La potencia se reduce en función cúbica de la relación de diámetros.
- La eficiencia normalmente se reduce con una reducción apreciable de diámetros.

3. TIPOS DE PÉRDIDAS DE LAS BOMBAS

Toda la carga de una bomba centrífuga se genera en el impulsor. El resto de las partes no contribuyen a la creación de presión, sin embargo contribuyen a pérdidas que son inevitables, hidráulicas, mecánicas y fugas. Todas las pérdidas de carga entre los puntos de succión y descarga, constituyen las pérdidas hidráulicas.

Eh = H / Hi = (Hi – pérdidas hidráulicas) / Hi

La capacidad disponible de una bomba de descarga, es menor que el flujo que pasa a través del impulsor, debido a la recirculación interna que ocurre por los claros entre el impulsor y la carcaza. La relación entre los dos es la llamada eficiencia volumétrica.

Q / Qi = Q / (Q + QL) = ev; QL recirculación interna, ev eficiencia volumétrica.

Las pérdidas mecánicas incluyen la pérdida de energía en baleros o chumaceras; sellos o estoperos y fricción del impulsor con el fluido. La eficiencia mecánica es la relación que existe entre la potencia entregada al impulsor y convertida a carga de la bomba, con respecto a la potencia entregada en la flecha.

Em = (BHP – pérdidas mecánicas) / BHP

La eficiencia Total de la Bomba es: ***e = eh * ev * em***

Las pérdidas en bombas pueden ocurrir en uno o varios de los siguientes lugares:

- Fugas internas entre el impulsor y la carcaza, principalmente en el ojo del impulsor.
- Fugas internas en pasos adyacentes de bombas multietapas.
- Fugas por los estoperos.
- Fugas a través de dispositivos internos para balancear empuje axial.
- Fugas a través de bujes de alivio, cuando se usan para reducir la presión en estoperos.
- Fugas a través de álabes del impulsor en impulsores abiertos.
- Fugas a través de chumaceras y estoperos, para efectos de enfriamiento.

Pérdidas por fricción ene l disco del impulsor. Es la pérdida mecánica más importante de una bomba centrífuga. Se reduce cuando se utilizan impulsores pulidos, y las paredes de la carcaza con acabado superficial suave.

Pérdidas mecánicas por fricción en chumaceras y estoperos. Las pérdidas en estoperos dependen del arreglo, tamaño y lubricación empleada. Las pérdidas en chumaceras dependen del tipo de resistencia al empuje axial usado, así como de la carga axial recibida. En bombas pequeñas esta pérdidas pueden ser del orden de 2 a 3% de la potencia manejada por la bomba; en las bombas multietapas de alta velocidad, no exceden de 1%.

Cavitación: El término cavitación, se refiere a ciertas condiciones dentro de la bomba, cuando debido a una pérdida de presión localizada, el fluido manejado hierve en ese punto, formando burbujas o cavidades llenas de vapor. Esas cavidades desaparecen cuando las burbujas llegan a regiones de la bomba con mayor presión. La cavitación puede ocurrir a lo largo de partes estacionarias de la carcaza o sobre el impulsor. La reducción de la presión absoluta por debajo de la presión del fluido puede ser generalizada en la bomba, o solamente local. Cuando la reducción es generalizada, puede ser resultado de:

- Un incremento en la altura de succión.
- Un decremento en la presión atmosférica.
- Un decremento en la presión absoluta del sistema cuando se está bombeando de un recipiente. Obstrucciones en la succión que provocan incremento en las pérdidas.
- Un incremento en la temperatura del fluido en la succión.

Cuando la reducción es local:

- Un incremento en la velocidad.
- Al resultado de cambios de velocidad en el flujo, distorsiones en el mismo, cuando hay un cambio repentino en la dirección el flujo.

La cavitación se nota por ruido y vibración, una disminución en la carga y capacidad de la bomba, así como en la eficiencia y produce erosión, en los álabes de los impulsores.

SELECCIÓN ADECUADA DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

Para seleccionar una bomba centrifuga se determina el siguiente procedimiento: Calculo de las condicionantes de operación, Selección teórica de la bomba y Trazo de la curva de operación.

Para comprender este procedimiento así como los diferentes conceptos involucrados se realizara el siguiente ejemplo del cual se presenta un esquema.

CÁLCULO DE CONDICIONANTES DE OPERACIÓN

CALCULAR LA CARGA MANOMÉTRICA

s = SUCCIÓN **d = DESCARGA**

$$H_{MAN} = H_{ESTATICA\ TOTAL} + hf_s + hf_d + Vp^2/2g$$

$H_{ESTATICA\ TOTAL}$ = Carga de fricción estática.
hf_s = Carga de fricción dinámica en la succión.
hf_d = Carga de fricción dinámica en la descarga.
$Vp_2/2g$ = Carga de velocidad

CÁLCULO CARGA ESTÁTICA TOTAL

$H_{ESTATICA\ TOTAL}$ = hs + hd
$H_{ESTATICA\ TOTAL}$ = 2.5 m + 13.5 m

$H_{ESTATICA\ TOTAL}$ = 16 m

CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LA SUCCIÓN

h_{fs} = (Caída de presión por cada 100 Ft de Tubería) * (L_{EQT})

CÁLCULO DE LA LEQT (Pérdidas en longitud equivalente de tubería)

ACCESORIO	CANTIDAD	L/D TABLA 1	L TABLA 2	LEQ
COLADOR CON VALVULA DE PIE DE 3 PULG	1	75	19 FT	19 FT
CODOS A 90 RL	2	20	5 FT	10 FT
TRAMOS RECTOS DE TUBERIA 3 PULG. DE DIAM.			8 MTS	26.24 FT
		LEQT		55.24 FT

LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL = LEQT = 55.24 FT

CÁLCULO DE LA CAIDA DE PRESIÓN EN LA SUCCIÓN POR CADA 100 FT DE TUBERÍA.

De la tabla de flujo de agua en tuberías obtenemos este datos conociendo el Flujo y el diámetro de la tubería.

Diámetro de Tubería = 3 Pulg.
Flujo en la tubería = 150 GPM

Caída de presión PSI / 100 Ft = 2.24 PSI / 100 Ft

Por lo que la carga de fricción resultante en la succión equivale:

h_{fs} = (2.24 PSI / 100 Ft) * (55.24 Ft)
h_{fs} = 1.23 PSI
h_{fs} = (1.23 PSI) * (2.31 Ft H_2O / PSI) * (1M / 3.28 Ft)

h_{fs} = 0.87 M H_2O

CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LA DESCARGA

h_{fd} = (Caída de presión por cada 100 Ft de Tubería) * (L_{EQT}) = h_{fd1}
+ Pérdidas Adicionales Entradas o Salidas h_{fd2}

CÁLCULO DE LA LEQT (Pérdidas en longitud equivalente de tubería)

ACCESORIO	CANTIDAD	L/D TABLA 1	L TABLA 2	LEQ
VALVULA DE RETENCION 2 ½ PULG	1	135	28 Ft	28 Ft
VALVULA COMPUERTA T.A	1	13	5.2 Ft	5.2 Ft
CODOS A 90 RL	5	20	4.2 Ft	21 Ft
TRAMOS RECTOS DE TUBERIA 2 ½ PULG. DE DIAM.			33.5 MTS	109.88 Ft

LEQT	164.08 Ft

LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL = LEQT = 164.08 Ft

CÁLCULO DE LA CAIDA DE PRESIÓN EN LA DESCARGA POR CADA 100 FT DE TUBERÍA.

De la tabla de flujo de agua en tuberías obtenemos este datos conociendo el Flujo y el diámetro de la tubería.

Diámetro de Tubería = 2 ½ Pulg.
Flujo en la tubería = 150 GPM