# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
## FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
### INGENIERÍA MECÁNICA

"Implementación de un Sistema de Riego para el constante suministro de agua para las gramas del RUPAP".


**AUTORES**

Br. William José Garcia.

Br. Denis José Jirón Reynoza.

**TUTOR**

Ing. Silvio Solórzano Moody.


**Managua, 10 de Diciembre de 2015**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria
Líder en Ciencia y Tecnología

# DECANATURA

**A:** Brs. William José García
Denis José Jirón Reynosa

**DE:** Facultad de Tecnología de la Industria

**FECHA:** Viernes 12 de junio 2015

Por este medio hago constar que su trabajo de Investigación Titulado "**Implementación de un Sistema de Riego para el constante suministro de agua para las gramas del RUPAP"** Para obtener el título de Ingeniero Mecánico, y que contara con el Ing. Silvio Solórzano Moody, Como profesor guía, ha sido aprobado por esta Decanatura por lo que puede proceder a su realización.

Cordialmente,

Ing. Daniel Cuadra Horney
Decano

Facultad de Tecnología de Industria
DECANATURA
F.T.I.
UNI

**C/c Archivo**

Managua, Nicaragua. Apdo. 5595 • Tel.: 2249-6437 • 2248-6879 • 2251 8271 • 2251 8276
Telefax: 2240 1653 • 2249 0942

Managua, 10 de diciembre de 2015.

Ing.
Daniel Cuadra Horney.
Decano Facultad Tecnología de la Industria.
UNI – RUPAP.
Su despacho.

Estimado Ing. Cuadra:

Por medio de la presente me dirijo a usted, con el fin de comunicarle que los Brs: William José García y Denis José Jirón Reynoza, han finalizado la elaboración de su trabajo monográfico titulado: "Implementación de un Sistema de Riego para el constante suministro de agua de las gramas del RUPAP", a través del cual y de su correspondiente defensa optarían al título de Ingeniero Mecánico.

El mencionado trabajo fue realizado llenando los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Ingeniería y los formulados en su protocolo, presentado ante la Facultad de Tecnología de la Industria.

Extiendo la presente a solicitud de las partes interesadas, como requisito para realizar su defensa monográfica.

Sin otra razón, reciba usted mis respetuosos y atentos saludos.

Atentamente,

Ing. Silvio R. Solórzano Moody.
Docente
UNI-RUPAP
Tutor.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria
Líder en Ciencia y Tecnología

# DECANATURA

**A:** Brs. Denis José Jirón Reynosa
William José Garcia

**DE:** Facultad de Tecnología de la Industria

**FECHA** Martes 27 de octubre del 2015

Por este medio hago constar que la solicitud de prórroga para el trabajo de Investigación Titulado **"Implementación de un Sistema de Riego para el constante suministro de agua para las gramas del RUPAP".** Pará obtener el título de Ingeniero Mecánico, y que contara con el Ing. Silvio Solórzano Moody, Como profesor guía ha sido aprobado para el día jueves 10 de Diciembre del 2015.

Cordialmente,

Facultad de Tecnología de Industria
DECANATURA
F.T.I.
U.N.I.

Ing. Daniel Cuadra Horney
Decano

**C/c Archivo**

Managua, Nicaragua. Apdo. 5595 • Tel.: 2249-6437 • 2248-6879 • 2251 8271 • 2251 8276
Telefax: 2240 1653 • 2249 0942

*Agradecimiento.*

*Existen muchas personas a las que deseamos agradecer su información, animo, paciencia y apoyo que generosamente dieron para lograr concluir nuestra monografía.*

*A **Nuestros Queridos Padres** por bridarnos su apoyo incondicional día a día y permitirnos alcanzar nuestras metas.*

*A **Dios** por darnos el don de la sabiduría y la vida en una ambiente saludable y lleno de almas generosas que siempre nos transmitieron su valioso conocimiento.*

*Al **personal de mantenimiento** del recinto por habernos ayudado a obtener los datos necesarios para realizar nuestro estudio.*

*A los **docentes** de la Facultad de Tecnología de la Industria que nos han guiado durante todo el transcurso de nuestra carrera y educado con esfuerzo y entusiasmo.*

***William José García.***

***Denis José Jirón Reynoza.***

## *DEDICATORIA.*

*Doy gracias a Dios por todo lo que me dado en la vida, darme la oportunidad de lograr finalizar mis estudios.*

*Dedico y agradezco a mi madre Maritza García por su apoyo incondicional. A mis hermanos que siempre estuvieron para ayudarme en lo que necesitaba.*

*A todos los que me apoyaron de manera directa e indirecta, que por ellos logre culminar mi tesis.*

***William José García.***

***DEDICATORIA.***

*A Dios que me dio la vida, sabiduría y fuerzas para no darme por vencido, logrando vencer todos los obstaculos y sacrificios que me han llevado a completar esta meta.*

*A mi madre **Madelina Reynosa** por guiarme por el camino del bien, apoyandome y dandome la mejor educación, valores eticos y morales.*

*A mi padre **Miguel Angel Bello** por sus consejos y apoyo incondicional desde el inicio de mi carrera profecional.*

*A todas las personas que de forma indirecta me apoyaron y ayudaron durante tada la carrera.*

***Denis José Jirón Reynosa.***

# ÍNDICE.

## ÍNDICE DE TABLAS.



## ÍNDICE DE FIGURAS.

RESUMEN.

El presente documento es el resultado de un conjunto de pasos que sirvieron como base para la implementación de un sistema de riego para el constante suministro de agua para las gramas del RUPAP.

En este documento se encuentra la información del procedimiento realizado en toda la fase de ejecución del trabajo, así como conceptos básicos y aspectos más relevantes de la implementación del sistema, se describe la selección del tipo de riego, accesorios, tubería y datos del equipo de bombeo instalado.

Se realiza un análisis e interpretación de resultados a través de los cálculos matemáticos que reflejan los datos finales del sistema de riego. De igual forma se presentan los planos que contemplan el esquema de la ubicación de cada uno de los elementos que conforma el sistema de riego.

Además se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron, que serán de mucha utilidad para entender la finalidad de dicha implementación.

# I. INTRODUCCION.

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) es una casa de estudios superiores radicada en la ciudad de Managua, Nicaragua, estatal y autónoma. Es la primera universidad nacional que aglutina en una sola casa de estudios las ingenierías existentes hasta finales del siglo XX en Nicaragua.

Aproximadamente en 2005 inicio el mejoramiento de las áreas verdes del RUPAP, sembrando primeramente grama maní. Este tipo de césped tuvo muchos inconvenientes en su mantenimiento y desarrollo debido a la inadecuada preparación del suelo.

Debido a las dificultades presentadas por la grama maní, en agosto del año 2014 se restableció el mejoramiento del césped sembrando 1200 m² de grama, donde 800 m² son de grama zoysia y 400 m² grama San Agustín.

En el país solo se observan dos estaciones bien definidas, se denominan comúnmente “verano” (estación seca que empieza en noviembre y se extiende hasta finales de abril) e “invierno” (estación lluviosa que se da a inicios de mayo y hasta finales de octubre), en la región pacífica y el norte del país.

La sequía es considerada como un desastre natural, originado por la deficiencia en el régimen de la precipitación en un período extendido de tiempo. Dicha deficiencia ocasiona una escasez de agua para el desarrollo de actividades de grupos o sectores de la población.

# II. OBJETIVOS.

## OBJETIVO GENERAL.

Diseñar un sistema de riego para el constante suministro de agua en las áreas verdes de interés en el Recinto Universitario “Pedro Aráuz Palacios” realizado en el año 2015.

## OBJETIVOS ESPECÌFICOS.

- Evaluar caudal necesario que circularía por el sistema de riego utilizando la bomba ya instalada.
- Seleccionar y diseñar la red de distribución a utilizar en las áreas específicas a irrigar.
- Determinar diámetro y longitud de tubería considerando las pérdidas por fricción.
- Sugerir los accesorios necesarios para el óptimo funcionamiento del sistema.
- Establecer los ciclos de riego.
- Determinar costos de materiales y mano de obra en la implementación del sistema.

## III. JUSTIFICACION.

Este tema fue propuesto por la Institución porque no existe un sistema de riego constante de agua durante el verano y posibles sequías en invierno. La motivación del tema es poder diseñar el sistema de riego por medio de bombeo en beneficio propio del Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios (UNI-RUPAP).

La Universidad Nacional de Ingeniería consta con personal para el mantenimiento de las áreas verdes, uno de los problemas que presenta actualmente en el riego, es que el personal encargado del constante suministro de agua realizado por mangueras deteriora periódicamente la grama debido a que debe mover el aspersor de un lado a otro pisando la grama, de esta manera se deteriora.

Con la presente tesis pretendemos diseñar un sistema de riego, que va a contribuir de manera sobresaliente al óptimo aprovechamiento del agua que se empleará para áreas verdes del Recinto Universitario.

El principal beneficio será sin lugar a dudas la economización del agua y notables ahorros en el mantenimiento. Ello contribuye además a mejorar la calidad de los cultivos regados de manera eficiente.

# IV. MARCO TEORICO.

## 1 PLANO DEL TERRENO.

El Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios (UNI-RUPAP) se encuentra ubicado en la ciudad de Managua en el costado sur de Villa el Progreso, en la foto aérea se da una ubicación exacta de las tres áreas a irrigar como se muestra: el área 1 entre el edificio Julio Padilla y el edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria, el área 2 entre la Facultad de Tecnología de la Construcción y Edificio Ricardo Guevara, el área 3 entre el Departamento de la Facultad de Ciencias y Sistemas (FCYS) y el Edificio Ricardo Guevara.


*Figura 1. Vista aérea del área a irrigar.*

# 2 SISTEMA DE RIEGO.

(Vergara., 2001) “Un sistema de riego es el conjunto de estructuras, que permite determinar qué área pueda ser cultivada aplicándole el agua necesaria a las plantas. Este consta de varios componentes. El conjunto de componentes dependerá, si se trata de riego superficial, por aspersión, o por goteo. Por ejemplo, un embalse no será necesario si existe otra fuente de agua cercana tales como ríos o arroyos de los cuales se capta el agua y estos tienen un caudal suficiente incluso en el período de sequía”.

## 2.1 Características de un sistema de riego.

Un sistema de riego tiene como características; el grupo de bombeo, las tuberías principales con sus hidrantes, los ramales o laterales de riego y los propios emisores. Estos últimos pueden ser tuberías perforadas, difusores fijos o toberas y aspersores.

## 2.2 Clasificación de un sistema de riego.

(Sanchez, 2010) Afirma “Los sistemas de riego se pueden clasificar en tres principales grupos de métodos para irrigar. Los riegos por superficie, los de aspersión y los de riego localizado o micro irrigación”.

### 2.2.1 Sistema de riego por superficie.

(Sanchez, 2010) “Los sistemas de riego por superficie pueden clasificarse en dos grandes grupos: los que cubren completamente la superficie con agua, como es el caso del riego en melgas, o cuando ésta se cubre sólo parcialmente, como es el caso de riego en surcos. Los métodos que incluyen el cubrir toda la superficie del suelo son el riego de inundación de campo a partir de un canal y el riego por melgas.

En el riego por surcos o cubrimiento parcial del suelo, el agua al infiltrarse en el suelo se mueve tanto lateralmente como hacia abajo con el fin de humedecer la zona radicular de las plantas.

- Método de inundación de campo: El método de riego más antiguo es sin duda el de inundación de campo. El agua se aplica directamente al campo a partir de un canal sin más trazo que algunos bordos a nivel para controlar el flujo del agua.
- Método de riego por melgas: Consiste en regar controlando la inundación de la superficie. El campo es dividido en franjas (melgas) mediante bordes paralelos creando un canal ancho de poca profundidad. El agua es introducida en la cabeza superior y progresivamente cubre la superficie completa. Existen principalmente dos tipos de riego por melgas: Abiertas y a nivel o cerradas.
- Método de riego por surcos: Con este método, pequeños canales o surcos son usados para conducir el agua sobre la superficie del suelo en flujos pequeños, individuales y paralelos. Este método es todavía muy común en cultivos en

hileras a través del mundo. Las corrugaciones a pequeños surcos son frecuentemente usados en cultivos de siembra densa. Este método es especialmente bueno para suelos de baja velocidad de infiltración o que sus partículas se dispersan cuando se inundan formando costras duras cuando se secan".

### 2.2.2 Sistema de riego por aspersión.

Los sistemas de riego por aspersión pueden ser clasificados de varias formas, una es de acuerdo al grado de portabilidad (Fry y Gray, 1971) la cual parece ser especialmente útil.

- Sistema de riego por aspersión completamente portátil: Estos sistemas emplean líneas de conducción principales, líneas laterales y aspersores que son todos portátiles.
- Sistema de riego por aspersión semiportátiles: Los sistemas de este tipo cuentan con líneas de conducción principales fijas y laterales con aspersores portátiles.
- Sistema de riego por aspersión fija: Los sistemas fijos de riego por aspersión cuentan con todos sus componentes fijos en una sola posición durante su funcionamiento al irrigar el campo.

### 2.2.3 Sistema de riego por micro irrigación.

(Sanchez, 2010) "A medida que el agua disponible para riego disminuye, los sistemas de riego por micro irrigación o riego localizado, se han hecho más populares; sin embargo no es solamente su eficacia en el uso del agua lo que ha hecho que cada

día más agricultores y profesionales del riego vean a estos métodos de riego como la mejor opción en la mayoría de los cultivos en hileras.

Estos sistemas de riego han evolucionado mucho en las últimas dos décadas y quedan bajo este grupo desde los originales riegos por goteo y posterior surgimiento de los sistemas de riego por micro aspersión hasta los riego por cintilla de goteo hoy ampliamente usados en muchos cultivos por hileras".

- Los sistemas de riego por goteo: Estos sistemas de riego emplean emisores para depositar el agua sólo en la superficie de suelo próxima a la planta. Generalmente aplicando pequeños gastos de agua pero lo suficiente para reponer la humedad del suelo de la zona radicular, esto bajo la condición de riegos muy frecuentes en la zona, casi en base diaria.

- Los sistemas de riego por micro aspersión: Se desarrollaron para mejorar la distribución del agua de riego donde el goteo no garantizaba el cubrir adecuadamente la zona radicular como era el caso de los suelos arenosos. Estos temas de riego son muy populares en riegos de huertos y los emisores pueden ser tipo rociador, los cuales distribuyen el agua siguiendo un patrón de rociado en finas líneas de agua; mientras que los de tipo de riego con dispersor dinámico cuentan con un dispositivo que asperja el agua en una lluvia fina. Ambos tipos de micro aspersor descargan gastos desde 25 a 160 litros por horas (lph) y tienen un alcance

con un radio de mojado frecuentemente no mayor a los 2.5 metros (m).

- Los sistemas de riego por cintilla: Estos sistemas de riego son cada vez más ampliamente usados y representan la respuesta viable del riego por goteo para muchos cultivos estacionales. Las cintillas se clasifican por el espesor de su pared de polietileno que van desde la más ligera de tan sólo 4 mil milésimas de pulgada hasta las más gruesas que son de 20 mil. Sus descargas se miden en litros por hora/metro (lph/m). En estos sistemas de riego de cintilla, la línea lateral y el emisor están integrados en una sola unidad. Sus puntos de goteo a lo largo de la cintilla van desde 10, 20, 30 y 40 centímetros dando así la posibilidad de muy variados usos. Sus descargas fluctúan desde las cintas de bajo flujo de 2.0 lph/m hasta los de alto flujo de hasta 7.0 lph/m.

## 2.3 Selección del sistema de riego.

Como afirma (Sanchez, 2010) “La selección del sistema de riego más adecuado y que mejor se adapte a las condiciones del sitio es un proceso donde se combina la experiencia y el análisis de los siguientes factores: Las condiciones del sitio, los aspectos económicos y la disponibilidad de los materiales y equipos que conforman el sistema de riego”.

A continuación se presentan algunos factores que favorecen la elección de un determinado método de riego.

### 2.3.1 Factores que favorecen al riego por superficie.

Los siguientes factores usualmente favorecen la instalación de un sistema de riego por superficie.

- No se dispone de capital para hacer una inversión inicial en otros tipos de sistemas más sofisticados.
- La mano de obra y el agua son relativamente baratas para operar un sistema de superficie.
- La topografía de la superficie es tal que sólo requiere muy poca preparación adicional para la implementación de un riego por superficie.
- El gasto de agua es relativamente grande; pero sólo se dispone de él por cortos períodos.
- El cultivo tiene requerimientos especiales de agua, tales como el arroz, que necesita para su crecimiento estar cubierto en gran parte por el agua.

### 2.3.2 Factores que favorecen al sistema de riego por aspersión.

Los suelos son muy porosos o variables para obtener una buena distribución por otros métodos.

- Los suelos son muy poco profundos para ser apropiadamente nivelados.
- Los costos de nivelación son excesivos.
- El suelo es fácilmente erosionado.

- El gasto de agua disponible es pequeño, pero puede obtenerse siempre que sea requerido.
- No se dispone de mano de obra capacitada y hábil para manejar un sistema de riego de superficie.
- Solamente se requiere de una irrigación complementaria.
- Una pequeña pero constante aplicación de agua es requerida.

Ventajas adicionales que se adjudican a los sistemas por aspersión:

- La cantidad de agua aplicada es fácilmente medida.
- Existe una mínima interferencia con el resto de las operaciones agrícolas.
- Una alta eficiencia en la aplicación del agua es posible de lograr.
- Los aspersores pueden ser usados para proveer protección contra la congelación y el calor excesivos.

### 2.3.3 Factores que favorecen al sistema de riego por goteo.

Algunos de los factores que favorecen al riego por aspersión también favorecen al de goteo.

- Los suelos son muy porosos y variables para permitir una buena distribución del agua por métodos de superficie.
- Los suelos son muy poco profundos para ser apropiadamente nivelados.
- Los costos de nivelación son excesivos.
- El suelo es fácilmente erosionado.
- El gasto es pequeño, pero disponible cuando se le requiere.

Lo siguiente puede ser agregado a lo anteriormente expuesto:

- El suministro de agua es limitado.
- El costo de la mano de obra es alto.
- El costo del fertilizante es elevado.

# 3 REDES DE DISTRIBUCION.

### 3.1.1 Tuberías en serie.

(Mataix, 1986) "Un sistema de tuberías en serie está formado por un conjunto de tuberías conectadas una a continuación de la otra y que comparten el mismo caudal. Las tuberías pueden o no tener diferente sección transversal".

En el caso de tuberías en serie (Fig.2) se aplican las siguientes ecuaciones:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_{3\ldots} \qquad \text{(Ec.1)}$$

$$h_r = h_{r1} + h_{r2} + h_{r3\ldots} \qquad \text{(Ec.2)}$$

$$v_1 D_1^2 = v_2 D_2^2 = v_3 D_{3\ldots}^2 \qquad \text{(Ec.3)}$$

En efecto:

- El caudal que circula por los tramos 1, 2, 3… de diámetro $D_1$, $D_2$, $D_3$…es el mismo (Ec. 1).
- La pérdida total de carga ($h_r$) es igual a la suma de las pérdidas de cargas parciales (Ec. 2).

- Se cumple la ecuación de continuidad (Ec. 3).

Con las ecuaciones 1-3 junto a otras ecuaciones de pérdidas primarias y secundarias se resuelven los problemas de forma directa, en los cuales el caudal es un dato e *inverso*, donde el caudal es la incógnita.

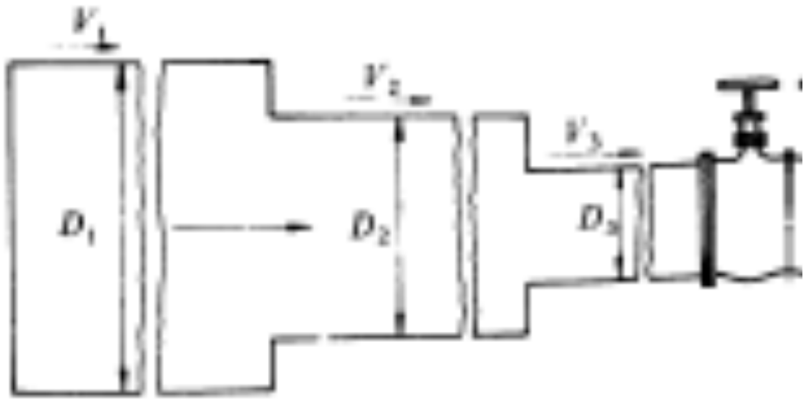



*Figura 2. Tuberías en serie.*

### 3.1.2 Tuberías en paralelo.

(Mataix, 1986) "Un sistema de tuberías en paralelo está formado por un conjunto de tuberías que nacen en un mismo punto inicial y terminan en un único punto final".

Para un sistema general de n tuberías en paralelo (Fig.3) se verifica que:

El caudal total del sistema, es la suma de los caudales individuales de cada una de las tuberías (ecuación de continuidad)

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots \qquad \text{(Ec.4)}$$

La pérdida total de carga del sistema es igual a la pérdida de carga de cada una de las tuberías:

$$h_{r1} = h_{r2} = h_{r3} = \cdots \qquad \text{(Ec.5)}$$

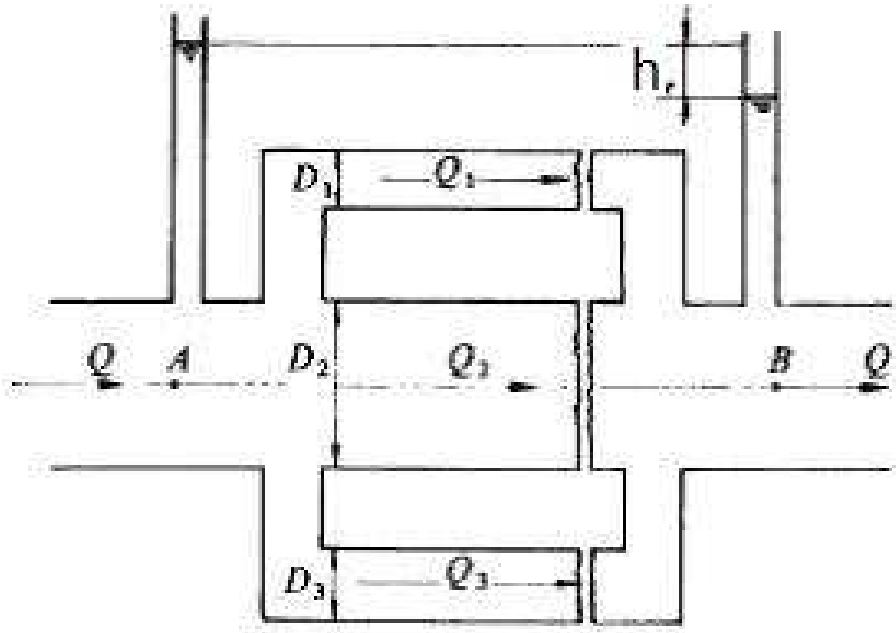



*Figura 3. Conducción compuesta por tuberías en paralelo.*

En efecto:

- El caudal total Q se reparte entre las tuberías (Ec.4)
- La presión al comienzo $P_A$ y al fin $P_B$ de cada rama es la misma para todas las ramas, luego la caída de altura de presión (diferencia de lectura en los tubos piezométricas de la Fig. 3) $h_r$ será igual también en todas las ramas.

### 3.1.3 Tuberías ramificadas.

Se habla de tuberías ramificadas cuando el fluido se lleva de un punto a varios puntos diferentes. Este tipo de red se presenta en la mayoría de los sistemas de distribución de fluido, por ejemplo una red de tuberías de agua en una vivienda.

(Mataix, 1986) “concretemos un ejemplo clásico que no tiene interés meramente académico, pues se presenta con frecuencia en la práctica, a saber: se presenta en la Fig.4. El problema admite múltiple aplicaciones: así el recipiente 1 puede sustituirse por una bomba que dé la misma altura piezométrica $h_1$, y B sería, por ejemplo, la entrada en un edificio, 2 y 3 pueden ser dos lavamanos situados en diferentes pisos del edificio. Otra aplicación sería que el punto 1 fuera la tubería principal de abastecimiento de agua; y entonces 2 y 3 serían dos puntos en dos barriadas donde debería asegurarse una cierta presión y un cierto caudal. Otra aplicación totalmente distinta, pero que conduciría al mismo esquema y a la misma soluciones, sería el sistema de alimentación de combustible de los motores de un avión (punto B en la figura) desde tres depósitos situados uno en el fuselaje y dos en las alas.

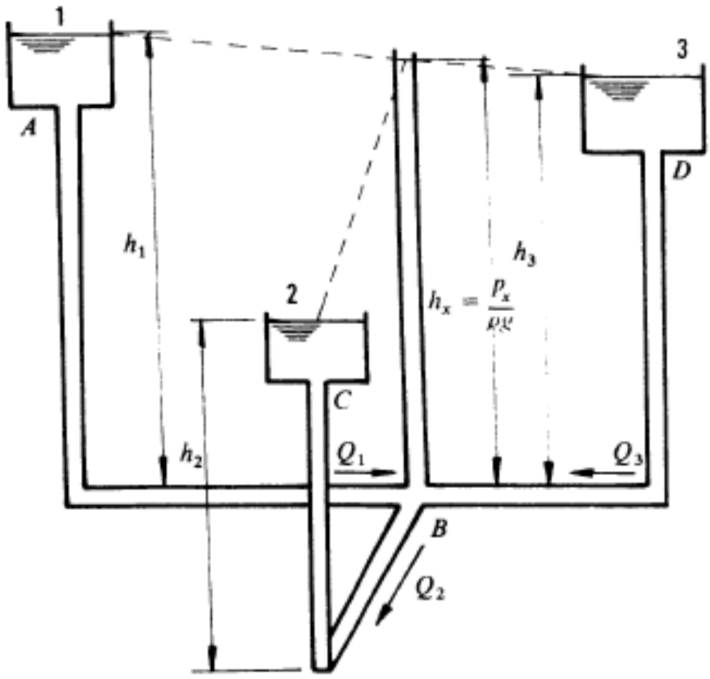



*Figura 4. Tuberías ramificadas.*

Datos: Altura piezométricas $h_1$, $h_2$ y $h_3$.

Incógnitas: dirección de las corrientes y caudales $Q_1$, $Q_2$ y $Q_3$

Supondremos que los conductos que conectan los recipientes son de igual diámetro.

En la Fig.4:

$h_x = \frac{P_x}{\gamma}$ Altura piezométrica en el punto B.

$h_1 + h_2 + h_3$ Altura piezométricas en los puntos 1, 2 y 3.

Despreciando el efecto de la altura de velocidad creada en los conductos de conexión.

$$h_{r1} = h_1 - h_x$$

$$h_{r2} = h_2 - h_x \qquad \text{(Ec.6)}$$

$$h_{r3} = h_3 - h_x$$

Donde $h_{r1}$, $h_{r2}, h_{r3}$ pérdida de carga entre los puntos 1, 2, 3 y B

Elevando al cuadrado la ecuación $Q_i = \alpha_i \sqrt{h_r}$ *(i=1, 2, 3…)*

Donde $\alpha_i$ = función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de cada rama; pero en régimen marcadamente turbulento (caso frecuente en la práctica) las $\alpha_i$ son constantes.

Y si la utilizamos en la Ec.6 tendremos:

$$Q_1^2 = (h_1 - h_x)\alpha_1^2$$

$$Q_2^2 = (h_2 - h_x)\alpha_2^2 \qquad \text{(Ec.7)}$$

$$Q_3^2 = (h_3 - h_x)\alpha_3^2$$

Pueden suceder tres casos:

<u>Primer caso:</u> $h_1 > h_x$; $h_x > h_3$; $h_x > h_2$. Entonces $Q_1$ se dirige de 1 a B y $Q_2$, $Q_3$ de B a 2 y 3. Es decir pasará líquido a 1, a 2 y 3. Así se establece la ecuación:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \qquad \text{(Ec.8)}$$

Las ecuaciones 7 y 8 forman ya un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas $Q_1$, $Q_2$, $Q_3$ y $h_x$ que nos resuelve el problema.

Segundo caso: $h_1 > h_x$; $h_3 > h_x$; $h_x > h_2$. En este caso pasa fluido de 1 y 3 a 2, y la cuarta ecuación será:

$$Q_2 = Q_1 + Q_3$$

Tercer caso: $h_1 > h_x$; $h_2 > h_x$; $h_x = h_3$. Entonces $Q_3 = 0$. El líquido pasa de 1 a 2, 3 queda sin flujo y la cuarta ecuación será:

$$Q_1 = Q_2$$

### 3.1.4 Redes de tuberías.

Las redes de distribución de agua urbanas forman ramificaciones complicadas, que se cierran formando mallas, de manera que el agua en un punto puede venir de dos direcciones distintas, lo que presenta la ventaja de no interrumpir el suministro, aun en el caso de reparaciones. La figura 5 representa un ejemplo de redes de distribución. Su cálculo es laborioso y se hace por el método de las aproximaciones sucesivas introducido por Hardy Cross. (Mataix, 1986)

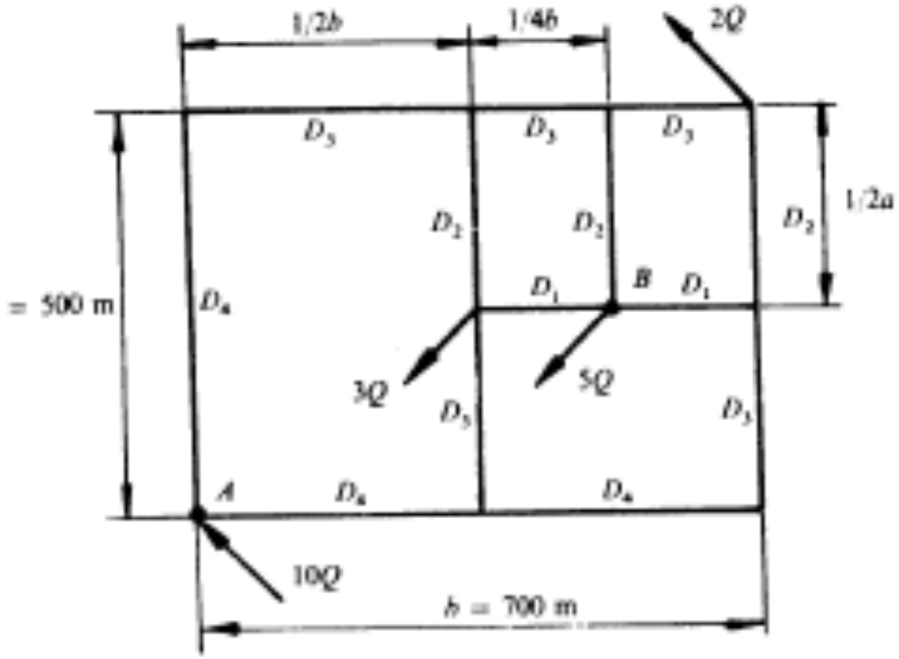



*Figura 5. Redes de tuberías.*

Se ha de cumplir las tres leyes siguientes:

- Ley de la pérdida de carga: en cada tubería se ha de cumplir:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{8}{g\pi^2}\frac{1}{d^2}Q^2$$

$$h_r = \beta Q^2 \qquad \text{(Ec.9)}$$

Donde

$$\beta = \frac{8}{g\pi^2}\frac{\mathrm{k}_t}{d^4}$$

En la práctica $\beta$ se pone constante en todo el cálculo (en realidad $\beta$ depende de $\mathrm{k}_t$ que depende de $f$ y $f$ depende de $R_e$ y de d).

En los problemas de redes de tuberías se suelen despreciar las pérdidas secundarias en los nudos mismos, pero se tiene en cuenta las restantes pérdidas secundarias en forma de longitud equivalente, la ecuación de pérdidas primarias puede ponerse en la siguiente forma:

$$\frac{h_r}{L} = \frac{R_r Q^n}{D^m} \qquad \text{(Ec.10)}$$

Donde:

$$R_r = \frac{8k}{g\pi^2} \quad n = 2 \qquad D = 5$$

$R_r$ es un coeficiente de rozamiento que depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa. En la práctica se utiliza un valor de $k$ medio, con lo cual $R_r$ = cte.

En el cálculo de redes de tuberías o de agua a las temperaturas normales, se pude emplear la fórmula de Hanzen-Williams haciendo $R_r = \frac{10.675}{C^n}$ (unidades SI) n= 1.852 y m=4.8704 el coeficiente C se toma de la Tabla 1:

*Tabla 1. Coeficiente C de la fórmula Hazen-Williams.*

**COEFICIENTE C DE LA FORMULA DE HAZEN-WILLIAMS**

| *Material de la tubería* | *C* |
|---|---|
| Extremadamente lisa; cemento-amianto | 140 |
| Muy lisa; hormigón; fundición nueva | 130 |
| Duelas de madera; nueva de acero soldado | 120 |
| Arcilla vitrificada; nueva de acero roblonado | 110 |
| Tubería vieja de fundición | 100 |
| Tubería vieja de acero roblonado | 95 |
| Tubería vieja en mal estado | 60-80 |

- Ley de nudos: el caudal que entra en un nudo debe igualar a la suma de los caudales que salen del nudo.

$$\sum Q = 0$$

(Si esta ley no se cumple habría en el nudo un consumo o suministro de fluido)

- Ley de las mallas: la suma algebraica de las pérdidas de carga en una malla ha de ser igual a cero:

$$\sum h_r = 0 \qquad \text{(Ec.11)}$$

(Si esta ley no se cumple en el punto de partida utilizado para recorrer la malla, habría dos presiones distintas)

### 3.1.5 MÉTODO DE HARDY CROSS.

- Sobre un croquis de la red se hace una distribución razonable de caudales dibujando con flechas los sentidos estimados.
- Se escribe para la tubería 1 la primera ley:

$$h'_{r1} = \beta_1 Q_1'^2 \qquad \text{(Ec.12)}$$

Donde:

$h'_{r1}$= Pérdida de carga en la tubería 1, primera aproximación.

$\beta_1$= será constante en todo el cálculo.

$Q_1'^2$= caudal en la tubería 1, primera aproximación.

Y se hace lo mismo con las restantes tuberías. Si se utiliza, por ejemplo la Ec.10.

$$\beta = \frac{R}{D^m}$$

- Se escribe la suma de las pérdidas para cada malla en la forma:

$$\sum h'_r = \sum \beta Q'^2 \qquad \text{(Ec. 13)}$$

Donde $\sum h_r$ es una suma algebraica.

Se escoge un sentido como positivo, como por ejemplo, las de las agujas del reloj las pérdidas correspondientes a los caudales cuyo sentido coincide con el elegido serán positivos y las correspondientes a los caudales que circulan en sentido contrario serán negativas.

Normalmente en esta primera aproximación la tercera ley, $\sum h_r = 0$ no se cumplirá.

- Se corrige el caudal de todas las tuberías en un ΔQ, igual para todas, para lograr que se cumpla la tercera ley. Así, por ejemplo, en la primera tubería.

$$Q''_1 = Q'_1 + \Delta Q \qquad \text{(Ec.14)}$$

Donde Q" es el caudal de la primera tubería, segunda aproximación. Por tanto para cada tubería en virtud de la Ec.11 y Ec.14 se tendrá en segunda aproximación.

$$h''_r = \beta Q''^2 = \beta(Q' + \Delta Q)^2 = \beta(Q'^2 + 2Q'\Delta Q)$$

Despreciando el termino en $\Delta Q^2$, y en virtud de la ley de las mallas Ec.11.

$$\sum h''_r = \sum \beta Q''^2 = \sum \beta Q'^2 + 2\Delta Q \sum \beta Q' = 0$$

Habiendo sacado $\Delta Q$ factor común por ser igual para todas las tuberías de lamalla; de donde:

$$\Delta Q = \frac{-\sum \beta Q'^2}{2\sum |\beta Q'|} = -\frac{\sum h_r}{2\sum |\frac{h_r}{Q'}|} \qquad \text{(Ec.15)}$$

Habiendo utilizado la Ec.12

El numerador de (Ec.15) es una suma algebraica y el denominador una suma aritmética. De esta manera si $\Delta Q$ resulta positivo tendrá la corrección el mismo sentido de las agujas del reloj, osea se sumará a Q´ para obtener Q" en cada tubería.

Como las tuberías que pertenecen a la vez a dos anillos distintos en esta segunda corrección reciben dos correcciones independientes, en esta segunda aproximación en general tampoco se verificará la tercera ley. Habrá que hacer una tercera aproximación y así sucesivamente.

Este procedimiento tiene la ventaja de que los errores en los cálculos tienen el mismo efecto que los errores en las suposiciones que se van haciendo y por tanto se corrigen automáticamente en el desarrollo del problema.

# 4 TUBERÍAS DE UN SISTEMA DE RIEGO.

(Vergara., 2001) Plantea "Las tuberías usualmente empleadas en conducciones de agua pueden ser de los siguientes materiales: PVC (policloruro de vinilo), PE (polietileno), fibrocemento, hormigón, fundición, aluminio y acero.

El tipo de tubería más usado en el sistema de riego tecnificado son las de PVC y PE. Teniendo características de mayor resistencia mecánica las de PVC con relación a las de PE. Otra tubería más usada es la de aluminio, debido a su poco peso y su fácil sistema de acople tienen gran aceptación en los sistema de riego por aspersión móvil.

Como los sistemas de riego tecnificados operan a bajas presiones en comparación con otros sistemas. Las tuberías de PVC y PE satisfacen dicha demanda. En contraste a estas ventajas el aluminio

es un material relativamente caro, existiendo en tuberías de PVC sistemas de acople rápidos idénticos al de las tuberías de aluminio siendo estas a un costo más bajos.

Las tuberías de hormigón, fibrocemento, fundición y acero se emplean para conducir grandes caudales y elevadas presiones".

### 4.1.1 Tuberías de PVC.

(Vergara., 2001) "La gama de características y propiedades de los plásticos es probablemente mayor que la existente entre los diferentes metales.

Entre los plásticos más comunes (PVC, ABS, PE, EPOXY), hay grandes diferencias en sus propiedades físicas y químicas, dando lugar esto a diversos tipos y grados para cada plástico. El PVC tiene cuatro tipos, los cuales a su vez pueden tener varios grados, de esta forma el tipo I tiene excelente resistencia a la tracción y buena resistencia química aunque su resistencia al impacto es menor que la del tipo II, este a su vez no tiene buena resistencia a la tracción y a los agentes químicos (corrosión) como el tipo I, pero presenta mayor resistencia al impacto.

De todas estas variables el PVC tipo I, grado I, es el que reúne las características físicas y químicas más adecuadas para la fabricación de tuberías para abastecimiento de agua.

La aceptación de las tuberías de PVC se deben a sus ventajas económicas y técnicas, algunas ventajas son:

- Gran resistencia a la corrosión.
- Alta resistencia química.
- Alta resistencia al envejecimiento.
- Bajo coeficiente de elasticidad.
- Bajo coeficiente de fricción.
- Bajo peso.
- Fácil instalación.
- Gran resistencia al golpe de ariete.

Todos los materiales de PVC tienen ciertas limitaciones los de mayor consideración son:

- La resistencia al impacto se reduce a temperatura cercana o inferior a 0°C
- La tubería PVC tipo I, grado I, no debe quedar expuesta a los rayos solares por periodos prolongados, ya que estos pueden afectar sus propiedades mecánicas.

Además de dividirse en tipos y grados, las tuberías de PVC se dividen en clases, las cuales indican la presión de trabajo máximo y la presión mínima de ruptura."

### 4.1.2 Tuberías de PE.

"El polietileno es un plástico derivado del etileno, al que somete a un proceso de calor y presión que provoca su polimerización. Las tuberías de polietileno se fabrican mediante extrusión.

El enorme impulso de los sistemas de riegos se debe en gran parte al desarrollo de las tuberías de PE, las que presentan dos ventajas respectos a las tuberías de PVC.

- Se pueden instalar al aire libre.
- Es flexible y menos frágil.

También posee sus desventajas:

- Las tuberías de PE son de mayores costos en comparación con las tuberías de PVC, ya que el PE posee menor resistencia a la tracción, para un mismo diámetro y presión nominal se necesita un espesor mayor de tubería implicando más cantidad de material en su fabricación.
- Los accesorios de PE tienen mayores costos que los de PVC por las mismas causas anteriores.
- La presión de trabajo de las tuberías de PE se reduce al aumentar la temperatura.

Comercialmente se fabrican tres tipos de tubos de polietileno:

- Tubo de polietileno de baja densidad, definido por una densidad sin pigmentar igual o inferior a 0.930 kg/m$^3$.
- Tubo de polietileno de media densidad, con densidad sin pigmentar entre 0.931 y 0.940 kg/m$^3$.
- Tubo de polietileno de alta densidad, con densidad sin pigmentar mayor a 0.940 kg/m$^3$.

De los tres tipos, el más utilizado en los sistemas de riego tecnificado son los de baja densidad usado comúnmente en los ramales por su baja densidad" (Vergara., 2001).

### 4.1.3 Tuberías de fibrocemento.

"Los elementos usados en la fabricación de las tuberías de fibrocemento son el cemento portland, asbesto, fibra sintéticas y agua. Las fibras utilizadas poseen gran resistencia a la tracción (4000 a 5000 kg/cm$^2$), gran flexibilidad, resistencia a la corrosión y ataques químicos. Estas tuberías se diseñan para presiones de trabajo correspondientes a la mitad de las presiones de prueba, correspondiendo a 1/3 o 1/4 de las presiones de rupturas finales.

En la mayoría de los casos las tuberías de fibrocemento tienen una durabilidad y vida útil indefinida por ser sus componentes inorgánicos y no metálicos. En el caso de usarse en suelos y aguas agresivas al cemento su durabilidad puede garantizarse con una sencilla protección de base bituminosa." (Vergara., 2001).

## 5 PÉRDIDAS EN CONDUCTOS CERRADOS Y TUBERÍAS.

Los conductos que se utilizan para transportar fluidos son de dos clases:

- Conductos cerrados o tuberías en las cuales el fluido se encuentra bajo presión o depresión.
- Conductos abiertos o canales (acueductos, canales abiertos).

### 5.1.1 Pérdidas primarias y secundarias en las tuberías.

(Mataix, 1986) "Las pérdidas de cargas en las tuberías son de dos clases primarias y secundarias:

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa limite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tiene lugar en flujo uniforme, por tanto principalmente en los tramos de tuberías de sección constante.

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tiene lugar en las transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas, y en toda clase de accesorios de tuberías. Si la conducción es larga (oleoductos, gaseoductos…) las pérdidas secundarias tienen poca importancia, pudiendo a veces despreciarse; o bien se tiene en cuenta al final, sumando un 5 al 10 por 100 de las pérdidas principales halladas. Si la conducción es corta y complicada las pérdidas secundarias pueden jugar un papel preponderante, y pueden incluso a llegar a ser despreciables en comparación con ellas las pérdidas primarias". (Mataix, 1986).

**Pérdidas primarias.**

Supongamos una tubería horizontal de diámetro constante D (Fig. 6) por la que circula un fluido cualquiera, cuya velocidad media en la tubería es $v$. la energía en el punto 2 será igual a la energía en el punto 1 menos la energía perdida (pérdida de carga) entre los puntos 1 y 2, es decir, se cumple la ecuación de Bernoulli con pérdidas, que expresada en alturas equivalentes será.

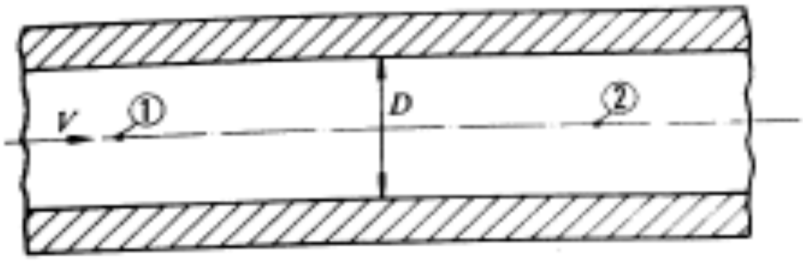



*Figura 6. En una corriente real en tubería horizontal el diámetro constante D, la presión en 2 es menor que la presión en 1.*

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_{r1-2} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \qquad \text{(Ec.16)}$$

En este caso particular del ejemplo:

$Z_1 = Z_2$ (Tubería horizontal), $v_1 = v_2$ (Sección transversal constante), luego:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = h_{r1-2} = h_{rp1-2} \qquad \text{(Ec.17)}$$

Donde:

$h_{rp1-2}$ = Pérdidas primarias entre 1 y 2.

**Pérdidas primarias y secundarias.**

"Considerando el esquema de conducción representado en la Fig. 7 los tramos a - b, d - e, f - g, h - i, j - k y l - m (la figura no está a escala y estos tramos son más largo de la realidad que en el esquema) son tramos rectos de tuberías de sección constante. En todos ellos se originan pérdidas primarias, en los restantes tramos se originan pérdidas secundarias: así F es un filtro, F - a desagüe de un depósito, b - c un codo, c-d un ensanchamiento brusco, e - f un codo, g - h un ensanchamiento brusco, i - j un ensanchamiento brusco, k - l

un medidor de caudal y m - n desagüe de un depósito” (Mataix, 1986).

La ecuación de Bernoulli escrita entre el punto 1 y 2 es la misma (Ec.16) pero el término $h_{r1\text{-}2}$ engloba ahora las pérdidas primarias y secundarias.

En el caso particular del ejemplo:

$P_1 = P_2 = 0$ (Presión atmosférica)

$v_1 = v_2 = 0$ (Depósitos grandes, velocidad de descenso del agua en 1 y de ascenso en 2 despreciables)

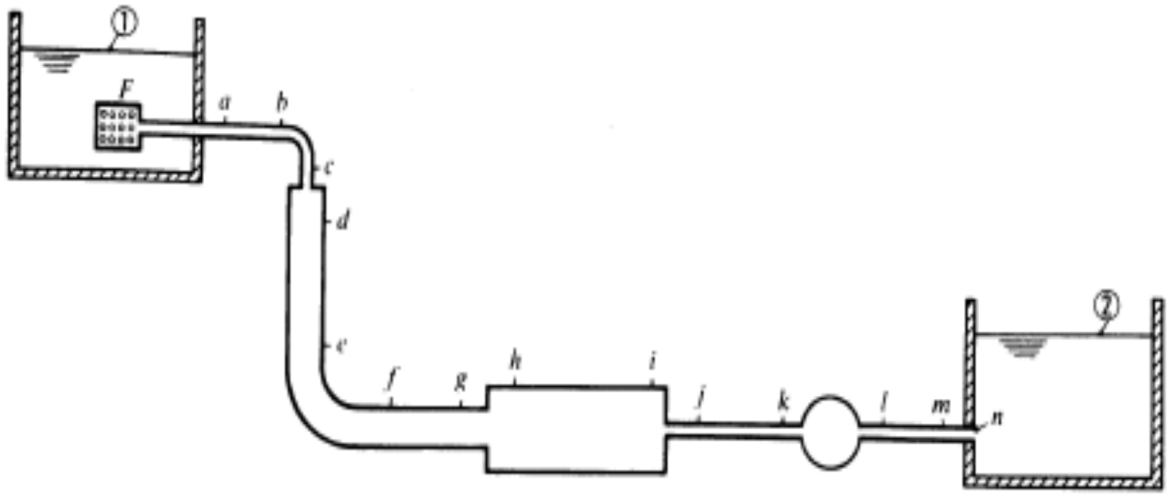



*Figura 7. En la conducción que une los recipientes 1 y 2 hay pérdidas primarias en los tramos rectos a-b, d-e, etc., y perdidas secundarias en las transiciones y accesorios: ensanchamientos bruscos, codos, etc...*

Luego:

$$z_1 - z_2 = h_{r1-2} \qquad \text{(Ec.18)}$$

El término $h_{r1-2}$ de la Ec.18 se puede descomponer así:

$$h_{r1-2} = h_{rp1-2} + h_{rs1-2} \qquad \text{(Ec.19)}$$

Donde:

$h_{rp1-2}$= pérdidas primarias entre 1 y 2.

$h_{rs1-2}$= pérdidas secundarias entre 1 y 2.

El termino $h_{r1-2}$ de la Ec.16 se conocecon el nombre de pérdida de carga.

### 5.1.2 Ecuación general de pérdidas: ecuación de Darcy-Weisbach.

(Mataix, 1986) "Es una ecuación empírica que relaciona la pérdida de carga hidráulica (o pérdida de presión) debido a la fricción a lo largo de una tubería dada con la velocidad media del flujo del fluido. La ecuación obtiene su nombre en honor al francés Henry Darcy y al alemán Julius Weisbach (ingenieros que proporcionaron las mayores aportaciones en el desarrollo de tal ecuación)

Experimentos realizados con tuberías de agua de diámetro constante demostraron que la pérdida de carga era directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de la misma."

$$h_{rp} = f\frac{L}{D}\frac{v^2}{2g} \qquad \text{(Ec.20)}$$

Donde:

$h_{rp}$= pérdida de carga primaria

$f$= factor de fricción.

L= longitud de la tubería

D= diámetro de la tubería

$v$= velocidad media del fluido.

### 5.1.3 Cálculo de coeficiente de pérdidas primarias $f$.

Todos los casos, que pueden presentarse, pueden reducirse a estos cuatros.

- Régimen laminar:
    a) Con tuberías lisas.
    b) Con tuberías rugosas.
- Régimen turbulento:
    a) Con tuberías lisas.
    b) Con tuberías rugosas.

El número de Reynolds ($R_e$) es un parámetro adimensional cuyo valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento.

El número de Reynolds depende de la velocidad del fluido, del diámetro de tubería, o diámetro equivalente si la conducción no es circular, y de la viscosidad cinemática o en su defecto densidad y viscosidad dinámica.

Si $R_e < 2{,}000$, el flujo es laminar.

Si $R_e > 4{,}000$, el flujo es turbulento.

$$R_e = \frac{vD}{V} \qquad \text{(Ec. 21)}$$

El coeficiente $f$

- En general $f = f(Re, \frac{K}{D})$
- En régimen laminar $= f(Re)$. $f$ no es función de la rugosidad relativa (K/D)
- En régimen turbulento con número elevado de Reynolds $f = f(\frac{K}{D})$. $f$ no es función del número e Reynolds.

### 5.1.4 Cálculo de $f$ en régimen laminar: ecuación de Poiseuille.

(Mataix, 1986) nos explica "El efecto de la rugosidad de las tuberías, que se representa a escala macroscópica en la siguiente figura 8, es favorecer el desprendimiento y la turbulencia: como si las rugosidades microscópicamente produjeran un efecto de rozamiento de forma, sin embargo, si el flujo es laminar la corriente es relativamente lenta, la viscosidad relativamente grande y la corriente no es perturbada por las protuberancias del contorno; más aún, si se inicia una turbulencia la viscosidad la destruye." Por lo tanto:

En régimen laminar $f$ no es función de la rugosidad.

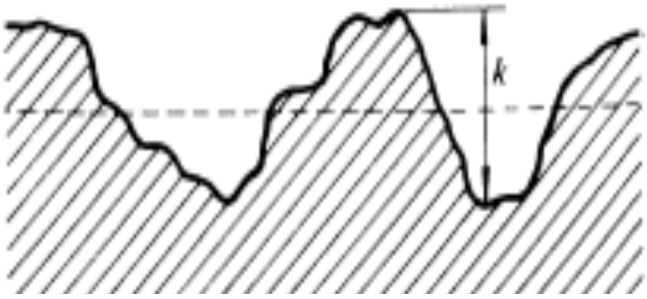



*Figura 8. Una tubería rugosa macroscópicamente presenta este aspecto. En la figura se ve que la rugosidad absoluta k tiene una dimensión lineal.*

En el caso de fluidez suave (Mataix, 1986) afirma (flujo laminar), “el caudal de volumen está dado por la diferencia de presión dividida por la resistencia viscosa. Esta resistencia depende linealmente de la viscosidad y la longitud, pero la dependencia de la cuarta potencia del radio, es exageradamente diferente. La ley de Poiseuille se ha encontrado razonablemente de acuerdo, con experimentos para líquidos uniformes (llamados fluidos Newtonianos) en casos donde no hay apreciables turbulencias”.

ECUACIÓN DE POISEUILLE

$$\Delta P = \frac{32\eta L v}{D^2} \qquad \text{(Ec.22)}$$

$\Delta p =$ Pérdidas de presiones.

$\eta =$ Viscosidad dinámica.

$L =$ Longitud de tubería

D= Diámetro

$v =$Velocidad media

Tres notas importantes:

- La ecuación de Poiseuille demuestra que:
  *La pérdida de carga en régimen laminar en tuberías tanto lisas como rugosas es directamente proporcional a la primera potencia de la velocidad.*
- En la deducción de la ecuación de Poiseuille se ha supuesto que el fluido se mueve ordenadamente en cilindros coaxiales concéntricos es decir que el fluido es laminar. Por tanto la

teoría predice y la experiencia confirma que la ecuación de Poiseuille:

- Para $R_e < 2{,}000$ (número de Reynolds crítico inferior) siempre es válida;
- Para $R_e > 2{,}000$ sólo es válida si el flujo sigue siendo laminar (el número de Reynolds critico superior es indeterminado)

- Si comparamos la siguiente ecuación con la ecuación de Darcy-Weisbach se deduce el valor de $k$ en:

$$h_{rp} = \frac{64}{R_e}\frac{L}{D}\frac{v^2}{2g} \qquad \text{(Ec.23)}$$

Por lo tanto comparándola con la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$f = \frac{64}{R_e} \qquad \text{(Ec.24)}$$

### 5.1.5 Cálculo de $f$ en régimen turbulento y tuberías lisas: fórmula de Blasius.

(Mataix, 1986) "En esta sección investigamos el valor de $f$ en régimen turbulento y tuberías lisas, para diferentes valores de $R_e$. En esta sección hasta $R_e$=100,000 solamente."

Como las tuberías son lisas $f$ no es función de la rugosidad relativa, K/D, ya que esta es nula (K=0), o sea:

$$f = f(R_e) \qquad \text{(Ec.25)}$$

En este caso se aplica

LA ECUACIÓN DE BLASIUS

$$f = \frac{0.316}{{R_e}^{1/4}} \qquad \text{(Ec.26)}$$

### 5.1.6 Cálculo de $f$ en régimen turbulento y tuberías lisas:

"Para régimen turbulento y tuberías lisas: $R_e$ > 100,000 con estudios teóricos, y ajustando los coeficientes experimentales Karman y Prandtl dedujeron:" (Mataix, 1986).

PRIMERA ECUACIÓN DE KARMAN-PRANDTL

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log_{10}\left(R_e\sqrt{f}\right) - 0.8 \qquad \text{(Ec.27)}$$

### 5.1.7 Cálculo de $f$ en régimen turbulento y tuberías rugosas.

- Si el número de Reynolds es bajo ($R_e$ < 2,000, o $R_e$ > 2,000, pero de manera que el flujo sea laminar la rugosidad no influye en la pérdida de carga:

$$f = \mathfrak{f}(R_e)$$

- Si el número de Reynolds es elevado por el contrario, $k$ deja de ser función de Re y se tiene:

$$f = \mathfrak{f}(\frac{K}{D}) \qquad \text{(Ec.28)}$$

- Si el número de Reynolds tiene un valor intermedio se tendrá en general.

$$f = \int\left(R_e, \frac{k}{D}\right) \qquad \text{(Ec.29)}$$

**Diagrama de Moody.**

"El diagrama de Moody es la representación gráfica en escala doblemente logarítmica del factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería, diagrama hecho por Lewis Ferry Moody" (Mataix, 1986).

## 6 PÉRDIDAS SECUNDARIAS

(Mataix, 1986) "Pérdidas secundarias: Se producen en transiciones de la tubería (estrechamiento o expansión) y en toda clase de accesorios (válvulas y codos). En el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías son importantes dos factores:"

*Que la tubería sea lisa o rugosa.
* Que el fluido sea laminar o turbulento.

$$h_{rs} = K\left(\frac{v^2}{2g}\right) \qquad \text{(Ec.30)}$$

Donde:

$h_{rs}$ = pérdida de carga secundaria.

$K$= Coeficiente de resistencia (depende del elemento que produzca la pérdida de carga. Ej. Tubería, codo, válvula, etc...

$v$= velocidad media en la tubería, codos, válvulas. ( $\frac{m}{s}$)

g = aceleración de gravedad. ( $\frac{m}{s^2}$)

**COEFICIENTE DE RESISTENCIA, K.**

(Mataix, 1986) "Las pérdidas de energía son proporcionales a la cabeza de velocidad del fluido al fluir éste: por un codo, un cambio de sección, una válvula u otros accesorios del sistema. Los valores experimentales de pérdida de energía generalmente se reportan en términos de un coeficiente de resistencia, de la siguiente forma:

$$K\frac{v^2}{2g} \qquad \text{(Ec.31)}$$

Coeficiente K de la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias.

El coeficiente depende del tipo de accesorio, el número de Reynolds, de la rugosidad y hasta la configuración de la corriente antes del accesorio. En general, antes y después del accesorio en que se produce la pérdida ha de haber un trozo de tubería recta al menos de 4 a 5D (D- diámetro de la tubería). Para que los valores que se aducen a continuación puedan aplicarse con precisión.

Para $R_e > 1 \times 10^5$ a $2 \times 10^5$ ,$K$ No depende prácticamente del número de Reynolds.

Ahora bien, los problemas prácticos con fluidos de poca viscosidad como el aire y el agua suelen caer en esta región".

**LONGITUD DE TUBERIA EQUIVALENTE.**

"Este método consiste en catalogar las pérdidas secundarias en la forma de la longitud equivalente, es decir la longitud en metros de un trozo de tubería del mismo diámetro que produciría la misma pérdida de carga que el accesorio en cuestión.

Así cada codo, medidor de caudal, válvula, etc., se sustituirá por una longitud de tubería equivalente $L_e$ que luego se aplicará en la ecuación fundamental de las pérdidas primarias en la siguiente forma:

$$h_{\mathrm{r}} = \mathrm{f}\frac{\mathrm{L}+\Sigma\mathrm{L_e}}{\mathrm{D}}\,\frac{v^2}{2\mathrm{g}} \qquad \text{(Ec.32)}$$

Pérdidas por roce totales (Fórmula de las pérdidas primarias y secundarias empleando la longitud equivalente)

Donde:

$h_r$ = Suma total de pérdidas primarias y secundarias.

$f$ = factor de fricción del diagrama de Moody.

L = Longitud total de los tramos rectos de tubería

$\Sigma\ L_e$ = Suma de todas las longitudes equivalentes de los diversos accesorios

$v$ = Velocidad media de la tubería, si la tubería cambia de sección se aplicará la ecuación de continuidad como ya se ha dicho" (Mataix, 1986).

### 6.1.1 Salida brusca y suave de un depósito.

Salida brusca.

(Mataix, 1986) Nos explica que "Los valores de $K$ pueden tomarse de la Fig.9, $K$ Depende de la longitud l de trozo de tubería que penetra en el depósito y del espesor $\delta$ de la tubería.

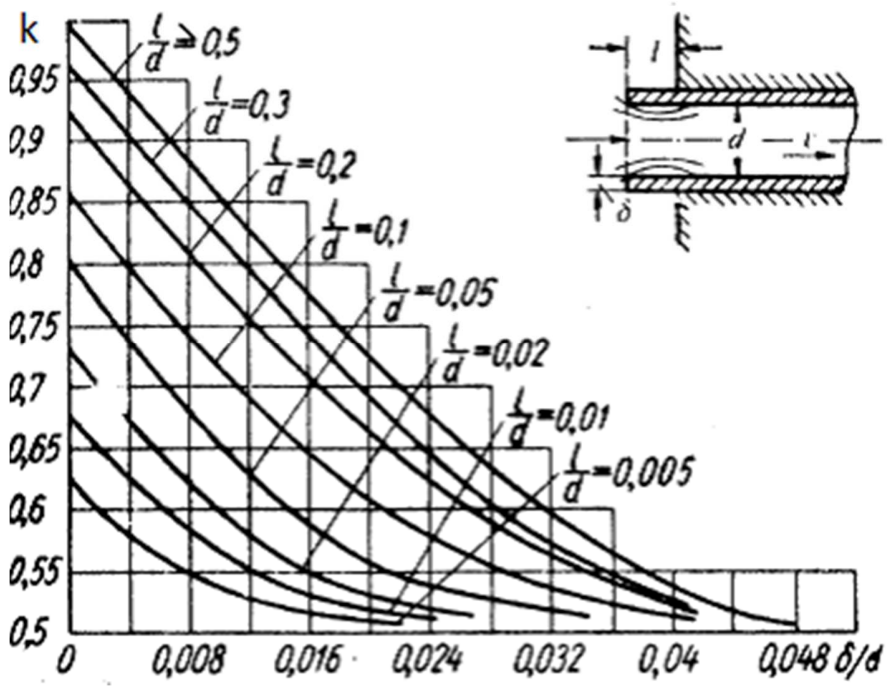



*Figura 9. Coeficiente de rozamiento para la salida brusca de un depósito.*

Salida suave.

En este caso la pérdida es mucho menor (forma más aerodinámica, disminución o anulación de la resistencia de forma).

Los coeficientes $K$ se pueden tomar de la Tabla 2 en relación con la Fig.10.”

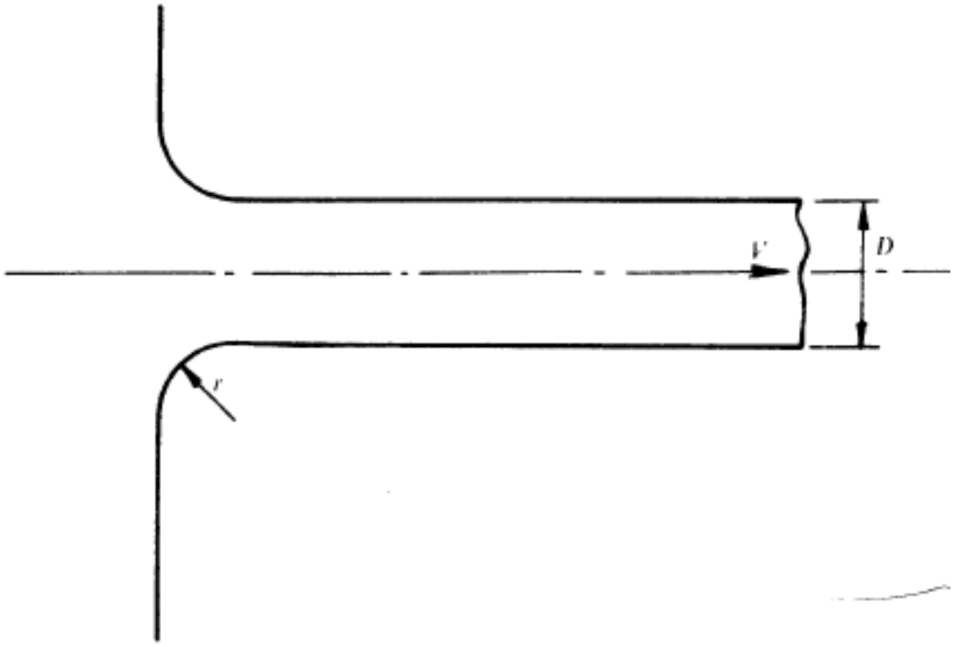



*Figura 10. Salida suave de un depósito.*

*Tabla 2. Los valores del coeficiente de pérdidas k se toman de la tabla según el valor r/D.*

| $r/D$ | 0 | 0,02 | 0,04 | 0,08 | 0,12 | 0,16 | $>0,2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| k | 0,5 | 0,37 | 0,26 | 0,15 | 0,09 | 0,06 | $<0,03$ |

### 6.1.2 ENSANCHAMIENTOS BRUSCOS Y SUAVES.

“La transición en un conducto de sección circular de un diámetro d a otro diámetro mayor D puede realizarse de forma brusca o suavemente mediante un difusor cónico de ángulo $\alpha$.

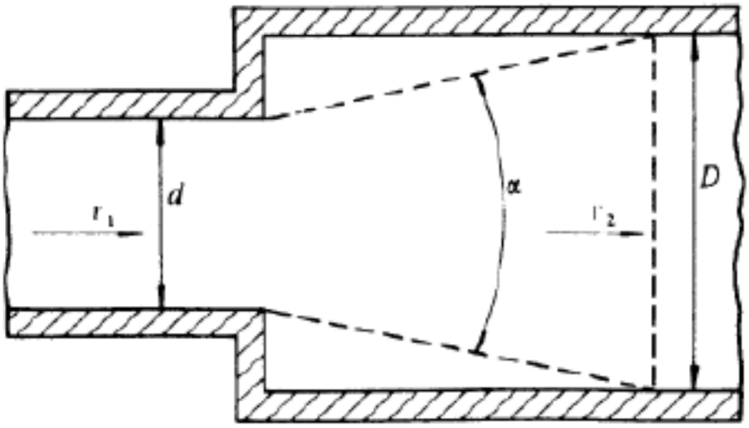



*Figura 11. Ensanchamiento brusco y suave. Los valores de k se toman según el ángulo $\alpha$ de la tabla 3 junto con la Ec.34.*

En este caso la pérdida se calcula utilizando la fórmula:

$$h_{rs} = m\frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = m\,[1 - (\frac{d}{D})^2]^2\,\frac{v^2}{2g} \qquad \text{(Ec.33)}$$

$$m = [1 - (\frac{d}{D})^2]^2 = K \qquad \text{(Ec.34)}$$

El coeficiente m se toma de la siguiente tabla 3:

*Tabla 3. Coeficiente m.*

| $\alpha^0$ | 2.5 | | 5 | 7.5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *M* | 0.18 | | 0.13 | 0.14 | 0.16 | 0.17 | 0.43 | 0.62 | 0.81 |

Si el ensanchamiento es brusco $(\alpha = 180)$, el valor de m es igual a la unidad" (Mataix, 1986).

### 6.1.3 CONTRACIONES BRUSCAS Y SUAVES:

Dependiendo del tipo de tubería la contracción puede ser brusca y suave. Es el caso opuesto al anterior con las Fig.12. Se entenderán fácilmente. De esta última se obtiene los coeficientes $K$.

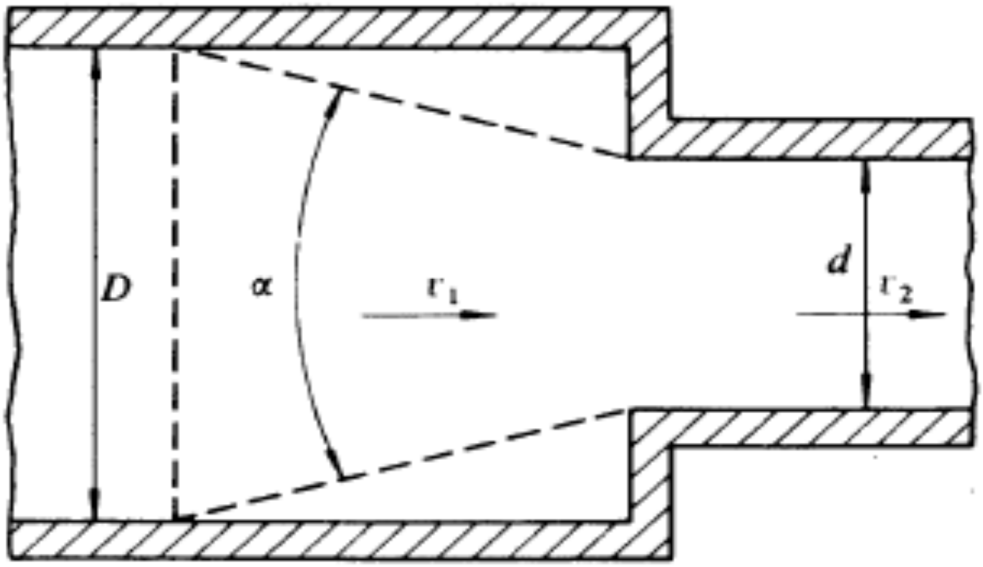



*Figura 12. Contracción brusca y suave. Los valores de k se toman de la figura 13.*

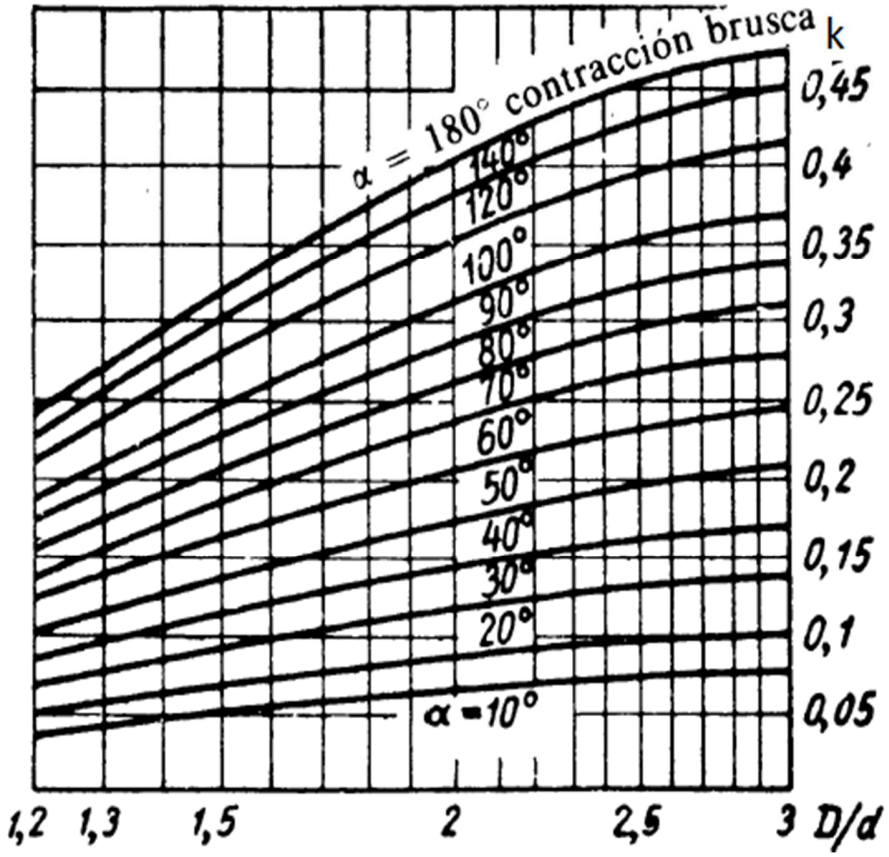



*Figura 13.Valores de k, según la figura 12.*

### 6.1.4 Codos.

Existen diversos tipos de tuberías, las cuales se adaptan a las necesidades de cada industria, pero también existen diversos tipos de accesorios y conexiones especificadas para cada uno. Dentro de esta gama se encuentran los codos para tuberías, tés, válvulas etc.

Los codos para tuberías, son considerados como un accesorio que se instala entre las dos longitudes de un tubo para permitir un cambio de dirección, el cual mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de esta.

En un codo se originan dos tipos de pérdidas:

-Las producidas por la fuerzas centrifugas que originan un flujo secundario que se superpone al flujo principal e intensifica el rozamiento Fig.14b.

-Las producidas por la separación que puede producirse en las zonas r y s Fig.14a.

El flujo secundario se evita por completo con alabes directrices, Cuya forma de perfil aerodinámico se representa en la Fig.14c esta solución es cara y no se emplea más que en caso especiales. (Mataix, 1986).

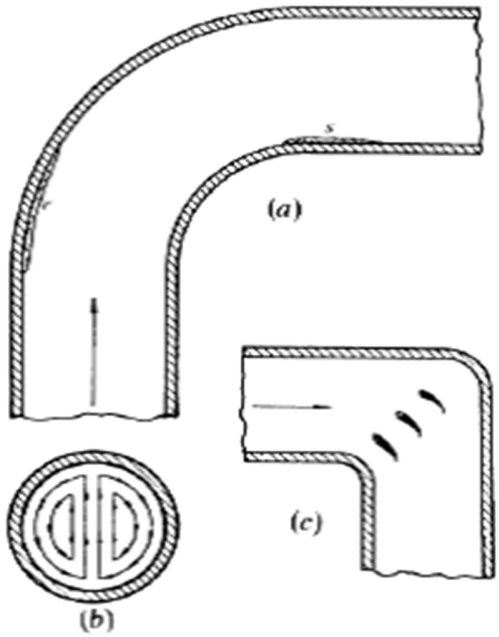



*Figura 14. Pérdidas en codos.*

Los coeficientes $K$ para distintas geometrías de codos se obtienen del cálculo según las figura 15.

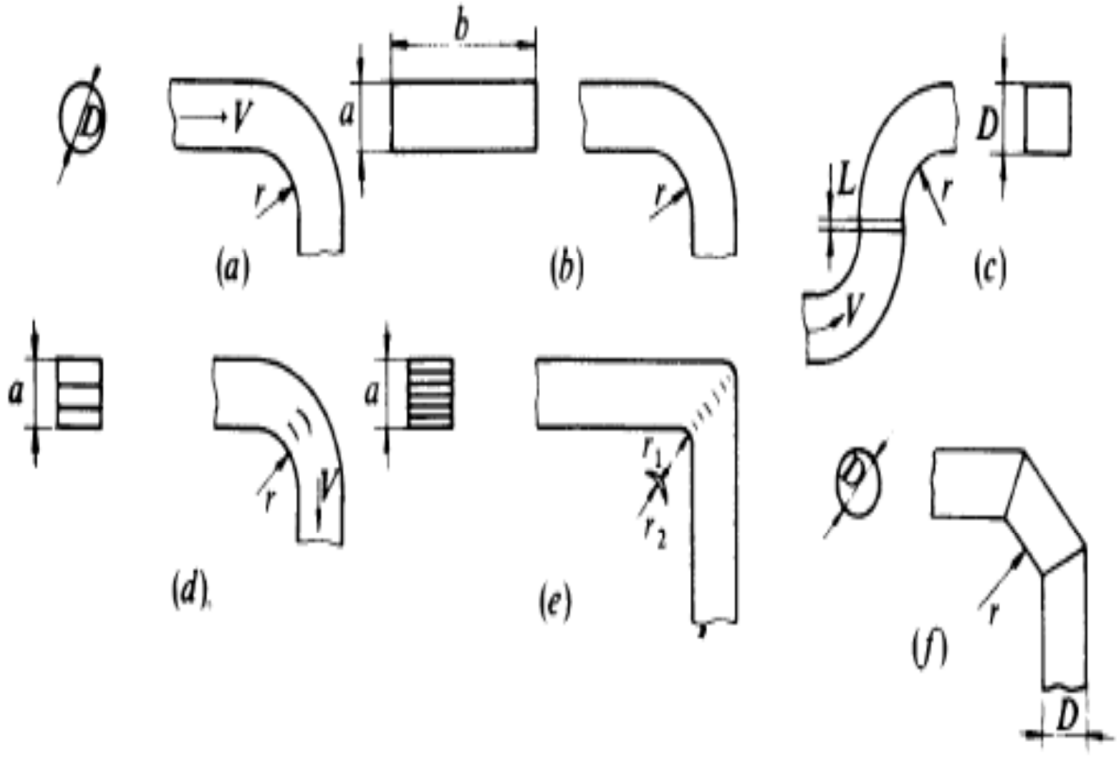



*Figura 15. Geometría de distintos codos para encontrar k mediante fórmulas de las figuras 16, 17, 18 y 19)*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| (a) $\frac{r}{D} = 0$ | 0,25 | 0,5 | 1,0 |
| k = 0,8 | 0,4 | 0,25 | 0,16 |

*Figura 16. Cálculo de coeficiente k, en codo de la forma (a).*

| (b) $\frac{r}{a}$ | $\frac{b}{a} = 1$ | $\frac{b}{a} = 2$ | $\frac{b}{a} = 3$ | $\frac{b}{a} = 4$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | k = 1,0 | k = 0,9 | k = 0,8 | k = 0,73 |
| 0,25 | 0,4 | 0,4 | 0,39 | 0,32 |
| 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,19 | 0,16 |
| 1,0 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,10 |

*Figura 17. Cálculo de coeficiente k, en codo de la forma (b).*

| | | | |
|---|---|---|---|
| (c) | $L = 0$ | $L = D$ | |
| | $k = 0{,}62$ | $k = 0{,}68$ | |
| (d) | N.º de álabes = | 1 | 2 | 3 |
| $\frac{r}{a}$ | = | 0,25 | 0,2 | 0,15 |
| k | = | 0,15 | 0,12 | 0,10 |

*Figura 18.Cálculo de coeficiente k, en codos de las formas (c) y (d).*

| | | | |
|---|---|---|---|
| (e) | $r_1 = \frac{r_2}{2} = \frac{a}{b}$ | $k = 0{,}1$ | |
| (f) | $\frac{r}{D} = 0{,}25$ | 0,5 | 1 |
| | k (codo de 3 piezas) 0,8 | 0,4 | 0,3 |
| | k (codo de 5 piezas) 0,5 | 0,3 | 0,2 |

*Figura 19. Cálculo de coeficiente k, en codos de las formas (e) y (f).*

### 6.1.5 Tes.

(Mataix, 1986) "Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros, etc. Se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería.

Son de dos tipos: de confluencia y de divergencia. Se calculan por separado las pérdidas de energía correspondiente al caudal lateral $Q_l$ y el caudal recto $Q_r$ (Que no cambia de dirección), por las ecuaciones.

$$h_{rl} = K_l \frac{v^2}{2g} \qquad \text{(Ec.35)}$$

$$h_{rr} = K_r \frac{v^2}{2g} \qquad \text{(Ec.36)}$$

Donde:

$h_{rl}$= pérdidas laterales.

$h_{rr}$= pérdidas rectas.

$K_l$= coeficiente de pérdidas laterales.

$K_r$= coeficiente de pérdidas rectas.

$\frac{v^2}{2g}$= energía cinética.

Luego se suman ambas pérdidas, donde:

$v$: Velocidad de la corriente total.

Evidentemente, $Q = Q_r + Q_l$

OTRAS FORMAS DE TES Y COEFICIENTES k PARA CADA FORMA

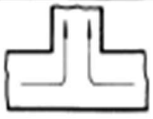
| Figura |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|
| k | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 3.0 | 0.05 |
| Figura |  |  |  |  | |
| k | 0,1 | 0,15 | 2,0 | 3,0 | |

*Figura 20. Se toma k según el caso y se llevará a la Ec.29.*

### 6.1.6 Válvulas.

(Mataix, 1986) “Es un accesorio que se utiliza para regular y controlar el fluido de una tubería. Este proceso puede ser desde cero (válvula totalmente cerrada), hasta de flujo (Válvula totalmente abierta), y pasa por todas las posiciones intermedias, entre estos dos extremos.

El coeficiente $K$ de una válvula depende del tipo de la misma (compuerta, mariposa, etc.), del diseño particular de cada tipo y del grado de apertura dentro de cada válvula.”

#### *6.1.6.1 Válvula de compuerta.*

“Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición, es adecuada generalmente para el control todo-nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total.

El coeficiente $K$ se toma de la Fig.21 que no se necesita explicación” (Mataix, 1986).

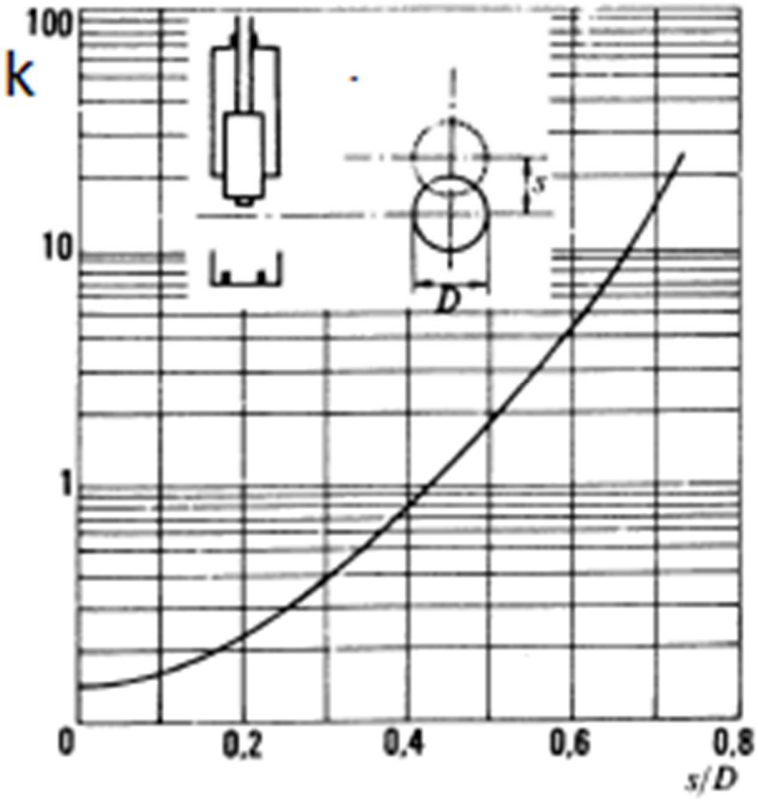



*Figura 21. Coeficiente k de una válvula de compuerta.*

### *6.1.6.2* ***Válvula de mariposa.***

"El cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular. La válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo. Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales, a baja presión "nos afirma (Mataix, 1986).

El coeficiente $K$ se toma de la Fig.22

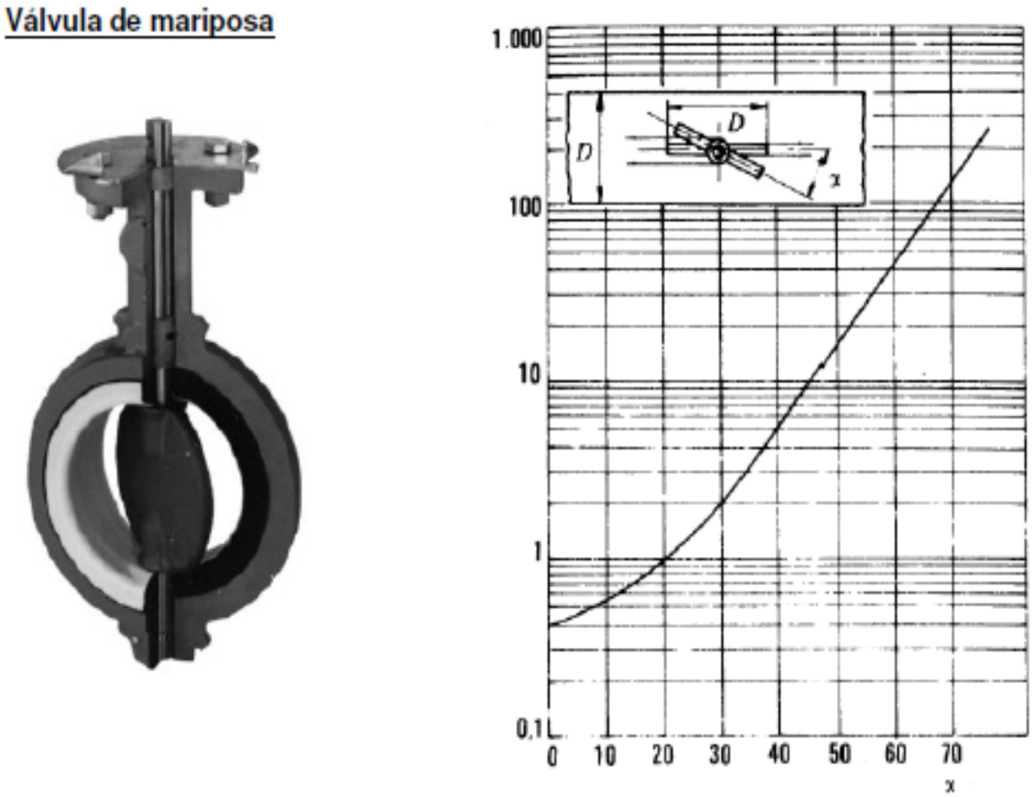



*Figura 22. Coeficiente k de una válvula de mariposa.*

### 6.1.6.3 *Válvula de macho.*

"Posen un dispositivo de cierre u obturador que está formado por una especie de tapón troncocónico el cual gira sobre el eje central. La apertura del obturador se efectúa girando sobre su propio eje, mediante una palanca, hasta hacer coincidir la ventana del mismo con los del cuerpo de la válvula. Su accionamiento suele ser muy rápido ya que al igual que la de mariposa basta un cuarto de vuelta de la palanca para pasar de posición cerrada a abierta y viceversa" (Mataix, 1986).

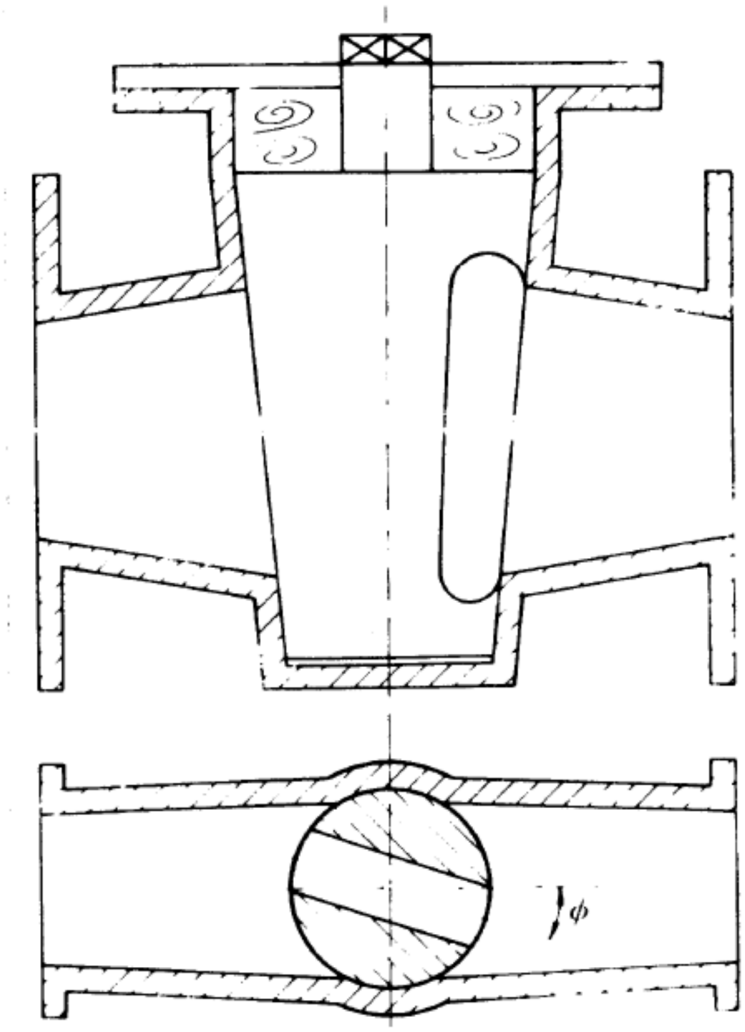



*Figura 23. Válvula de macho, el coeficiente k en función del ángulo $\phi$ que se encuentra en tabla 4.*

*Tabla 4. Coeficiente k, en función del ángulo $\phi$.*

| $\phi$ | $5^0$ | $10^0$ | $15^0$ | $20^0$ | $25^0$ | $30^0$ | $40^0$ | $45^0$ | $50^0$ | $60^0$ | $65^0$ | $70^0$ | $90^0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K$ | 0.05 | 0.29 | 0.75 | 1.56 | 3.10 | 5,47 | 17.3 | 31.2 | 52.6 | 206 | 486 | - | $\infty$ |

### 6.1.6.4 *Válvula de retención de charnela.*

"Utiliza un disco basculante, para cerrar la válvula se necesita solo de una pequeña fuerza de contrapresión. Se utiliza en posición horizontal, a diferencia de otras válvulas la posibilidad de fuga es mayor a bajas presiones que alta." Nos explica (Mataix, 1986).

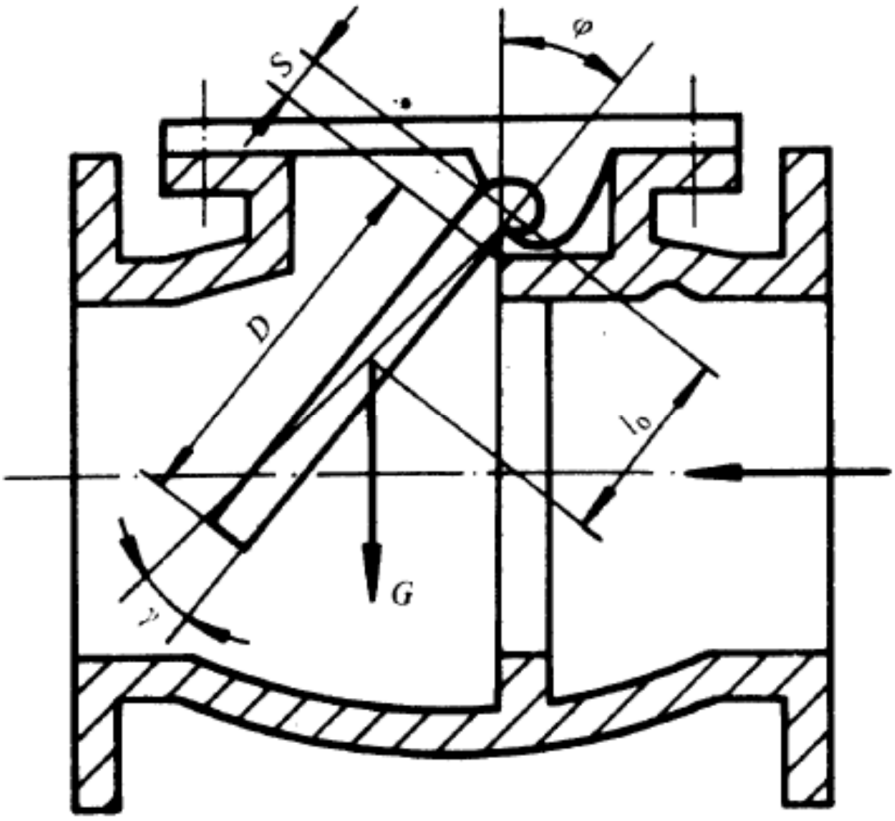



*Figura 24. Válvula de retención, los coeficientes k figuran en la tabla 5.*

*Tabla 5. Coeficiente k en función del ángulo φ*

| $\varphi$ | $5^0$ | $10^0$ | $15^0$ | $20^0$ | $25^0$ | $30^0$ | $40^0$ | $50^0$ | $60^0$ | $65^0$ | $70^0$ | $90^0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K$ | - | 5.25 | 3.10 | 2.40 | 2.10 | 2.0 | 1.85 | 1.80 | 1.55 | 1.2 | - | ∞ |

# 7 EQUIPO DE IMPULSION.

(Martín-Benito., 2005) “El equipo de impulsión juega un papel muy importante en los sistemas de riego, ya que entrega la energía necesaria para que el sistema funcione. Está compuesta de una bomba la mayoría de los casos centrifuga y un motor que la hace trabajar.”

**Motor.**

(Martín-Benito., 2005) “Los motores pueden ser de explosión a gasolina o diésel, y eléctricos. El motor a explosión transforma la energía calorífica producida por la explosión del carburante en energía mecánica; en cambio el motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Esta energía es trasmitida a la bomba por medio de acople y transmisión.

Donde existe tendido de energía eléctrica con la potencia necesaria y donde la bomba está instalada sin necesidad de moverla constantemente se recomienda el uso de motores eléctricos.

El uso de motores eléctricos es necesario en el caso que no exista tendido eléctrico y si existe no tiene la potencia necesaria para el sistema, o que el equipo este en constante rotación por el predio.”

## 7.1.1 Bomba centrífuga.

“Las bombas centrifugas son las más usadas en los sistemas de riego, existen infinidad de modelos, los que dependen de la cantidad de agua a bombear por unidad de tiempo, la presión necesaria para

hacer funcionar el sistema de riego o altura a elevar el agua y las características físicas del terreno donde se instala el equipo.

Todas las bombas presentan una curva de funcionamiento llamada curva característica de funcionamiento, la que se construye de acuerdo a dos variables la altura de impulsión (H) y el caudal (Q). Para cada valor de la altura corresponde un valor del caudal y viceversa. A medida que el caudal aumenta la altura decrece.

Dentro de un mismo modelo de bomba existen varias curvas características, correspondiendo a variaciones de tamaño del modelo de la bomba. Si se requiere un caudal determinado para cierta altura se comienza por analizar la primera curva correspondiente al tamaño más pequeño de la bomba, si el caudal o altura se escapan de la curva se tiene que pasar a la siguiente curva, la que corresponde al tamaño inmediatamente superior.

Si ocurriera que los valores se escapan nuevamente de la curva elegida se debe seguir escalando en la siguiente curva hasta encontrar la que satisfaga las necesidades de bombeo. Si esto no ocurre y se han examinado todas las curvas de un modelo se debe abordar las curvas del modelo siguiente" (Martín-Benito., 2005).

### 7.1.2 Bomba sumergible.

"La función básica de toda bomba sumergible es la de transportar un fluido. De ahí se sigue que las características de funcionamiento y los medios de acción sobre el fluido deben de estar estrechamente relacionados con las características del fluido en cuestión.

Una bomba sumergible, como indica el nombre es una bomba que se sumerge en un líquido. Las bombas sumergibles contienen un impulsor sellado a su carcasa que permite bombear el líquido en el que se encuentran sumergidas hacia el exterior. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de bombeo significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido.

Este tipo de bombas son utilizadas principalmente para el bombeo y extracción de aguas residuales, para extraer el agua de pozos, útiles también para piscinas y estanques.

Ventajas de las bombas sumergibles

- Las bombas sumergibles tienen una gran ventaja sobre las externas: consumen menos electricidad.

- Estas bombas poseen bajo caudal, son compactas y carecen de tuberías de succión.

- En la entrada de agua poseen un compartimiento en el cual se encuentra un material filtrante que evita que la suciedad entre a la bomba.

- La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de bombeo significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido" (Martín-Benito., 2005).

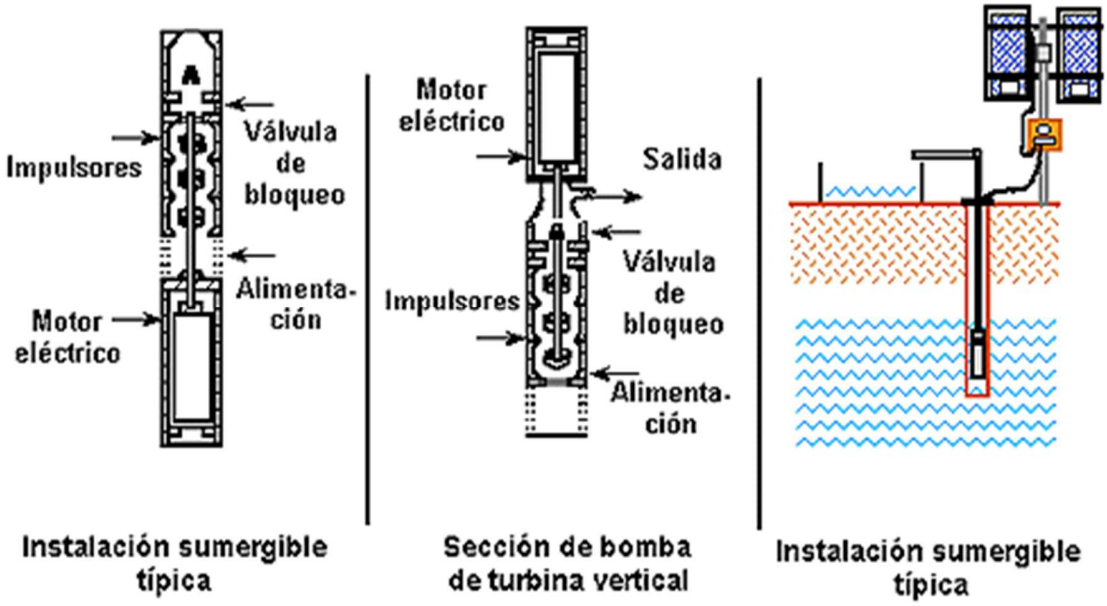



*Figura 25. Bomba sumergible.*

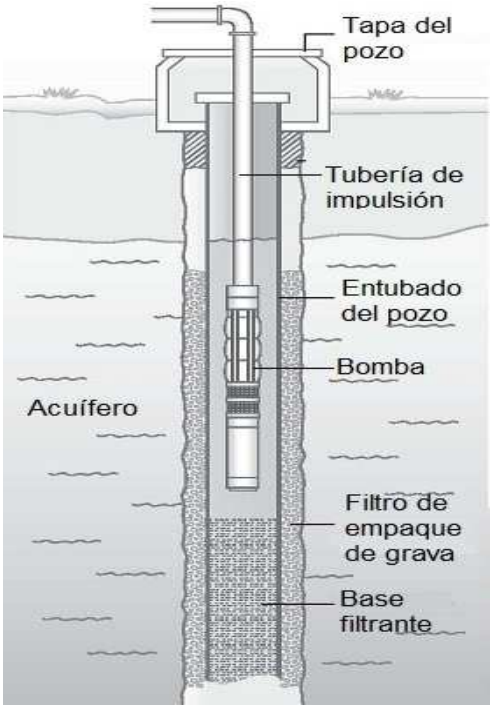



*Figura 26. Componentes de bomba sumergible.*

## 8 TIEMPO DE RIEGO.

La estimación acertada de la cantidad de agua aplicada a una parcela es crítica para cualquier esquema de manejo del riego. Muy a menudo, los agricultores aplican agua para hacer que la parcela y los surcos crezcan vigorosamente. Sin embargo, con frecuencia no tienen una idea precisa de cuánta agua han aplicado. Cuando los agricultores no toman en cuenta la eficiencia de sus sistemas de riego, pueden estar aplicando demasiada o muy poca agua. Muy poca agua ocasiona un estrés hídrico innecesario y puede resultar en reducciones de rendimiento. Demasiada agua puede causar estancamiento del agua, pérdida de nutrientes por excesiva infiltración y puede resultar en una pérdida de la cosecha.

Para calcular el tiempo de riego necesitamos conocer la lámina neta de riego (Ln) que es la cantidad de agua que debe ser aplicada durante el riego con el fin de cubrir el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración

Fórmula:

$$Ln = \frac{(CC-PMP)}{100} * H_r * Dap \qquad \text{(Ec.37)}$$

Donde:

Cc: Capacidad de campo.

PMP: Punto de marchitez permanente.

Dap: Densidad aparente del suelo.

Hr: profundidad radicular.

Con los datos determinados de la lámina neta de riego (Ln) procedemos a calcular lámina bruta de riego (Lb) mediante:

$$Lb = \frac{Ln}{Efa} \qquad \text{(Ec.38)}$$

El tiempo de riego estará determinado mediante:

$$TR = \frac{Lb\ x\ Ah}{Qa\ x\ 3600^{S}/_{h}} \qquad \text{(Ec.39)}$$

Donde:

Lb = Lámina bruta de riego (mm)

Ah = Área de humedecimiento ($m^2$)

$Q_a$ = Gasto del aspersor ($^{l}/_{s}$)

## 8.1 Capacidad de campo (CC).

En un suelo saturado el exceso de agua se elimina por gravedad, es decir, el agua que ocupa una gran parte de los poros cae al subsuelo por su propio peso. A partir del momento de la saturación y al cabo de un tiempo que dura dos o tres días el suelo ha eliminado por gravedad la mayor parte del agua sobrante. Se dice que el suelo se encuentra a capacidad de campo.

Cuando los poros grandes del suelo se llenan de aire, los micro-poros se llenan de agua y cualquier desagüe es lento, en estas condiciones se dice que el suelo está a su capacidad total.

Para calcular la capacidad de campo se necesita las muestras del suelo obteniendo en laboratorios, así podremos calcular la capacidad de campo mediante:

$$CC = [\frac{(Psh+tara)-(Pss+tara)}{(Pss+tara)-P_{tara}}] \qquad \text{(Ec.40)}$$

Donde:

Psh: peso suelo húmedo.

Pss: peso suelo seco

Tara: instrumento de recolección del suelo

## 8.2 Punto de marchitez permanente (PMP).

Representa el índice de humedad del suelo en el cual las plantas no obtienen la suficiente agua para las necesidades de transpiración. A partir de la capacidad de campo, el agua se va perdiendo progresivamente por evaporización y absorbido por las plantas, hasta que llega un momento en que las plantas ya no pueden absorber más agua y se marchitan. Se dice que el suelo ha alcanzado el punto de marchitamiento.

Obteniendo La capacidad de campo podremos calcular el punto de marchitez permanente mediante:

$$PMP = \frac{CC}{1.84} \qquad \text{(Ec.41)}$$

Donde:

Pmp: punto de marchitez permanente.

Cc: capacidad de campo.

# 9 COSTOS DE MATERIALES.

(Vergara., 2001) “Un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de implantar un sistema de riego, es el control del costo. Inicialmente puede parecer que un sistema de riego es muy costoso, que sin duda lo es, pero no debemos quedarnos en este dato cuantitativo fijándonos solo en los costos de materiales, mano de obra o puramente costos de operaciones.

La inversión inicial corresponde a la cantidad de dinero desembolsada para la adquisición de equipamiento, mobiliario, vehículo, etc. Y la construcción de obras físicas. Se realiza en el tiempo inicial del proyecto, llamado tiempo cero. Para nuestro caso correspondería a la compra de cañería, emisores, accesorios, etc. Tomando en cuenta los materiales más económicos y funcionamiento óptimo del sistema.”

# V. ANALISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

## Medida de presión de trabajo de la bomba.

Para el cálculo de presión utilizamos un manómetro de A/A de 200 PSI de ¼” donde acoplamos un reductor hembra-macho con rosca de 3/8” x ¼” que a su vez acoplamos a un conector hembra fija unida con una manguera tramada ½”.


*Figura 27.Medición de presión en la salida de la bomba.*

Primero medimos la presión en el punto 1 (Fig.28) donde está ubicada la bomba en el costado oeste de las aulas tipo UNAM, con el sistema en funcionamiento y poniendo en marcha la bomba nos mostró una lectura manométrica de 200 kpa o bien 29 PSI. Esta presión es la presión de trabajo de dicha bomba.

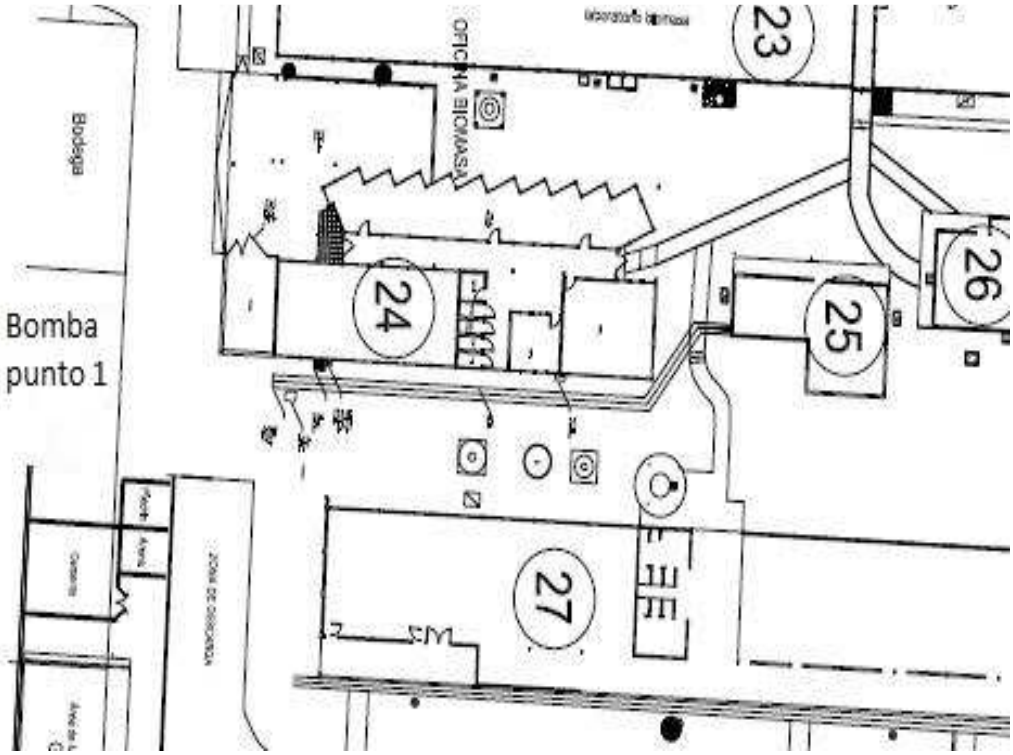



*Figura 28. Punto 1; costado oeste de aulas tipo UNAM, actualmente taller de madera INFIL.*

**Cálculo de caudal.**

Para calcular el caudal (Q) debido a que no poseemos datos específicos de la bomba sumergible instalada, lo calculamos mediante un barril plástico con capacidad de 220 litros. El cálculo lo realizamos mediante el "método del barril" en la parte sur-este del edificio Marlon Zelaya (punto 2).

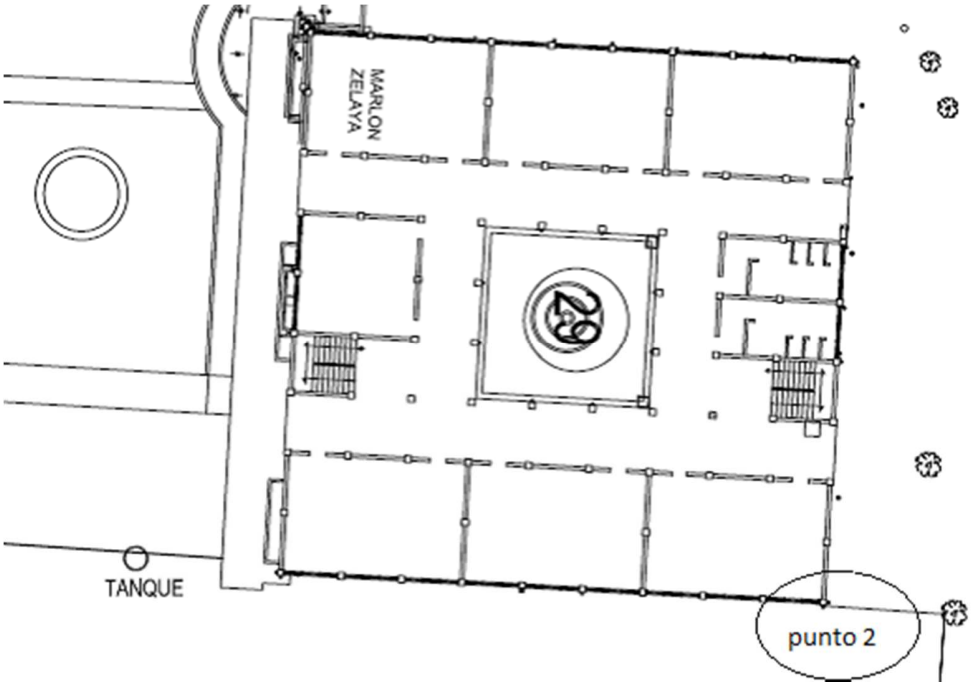



*Figura 29. Punto 2, Costado noreste de edificio Marlon Zelaya.*

Acoplamos una manguera en la tubería de salida de $1\frac{1}{2}$ pulgadas y con la ayuda de un cronómetro calculamos el tiempo de llenado a una caída de presión de 175 kpa o 25.38 PSI.

*Figura 30. Cálculo de caudal (Método del Barril).*

$$Q = \frac{v}{t}$$

Barril: 220 litros de agua.

Tiempo de llenado: 126 segundos.

Q: caudal.

$$Q = \frac{220}{126}\ {}^{lts}/_{seg}$$

$$Q = 1.7460\ \frac{lts}{seg}$$ O bien 0.001746 $m^3$ / seg

Podemos asumir que la bomba en base al caudal y profundidad del pozo en catálogos de productos Franklin Electric (Anexos figura I y figura II) puede ser:

Bomba sumergible modelo 35FA2S4-PE

Serie: alta capacidad.

Potencia: 3 HP.

Flujo: 30 GPM

Carga: 84 m

**Selección de sistema de riego.**

Según inciso 2.3 y 2.3.2. Las condiciones del sitio, los aspectos económicos y la disponibilidad de los materiales y equipos que conforman el sistema de riego son unos de los factores que tomamos en cuenta en la selección del sistema, por consiguiente, seleccionamos un Sistema de riego por aspersión fijo.

Los factores que nos basamos en la selección del sistema de riego por aspersor son:

- Se adapta mejor al tipo de cultivo en nuestro caso la grama Zoysia y grama San Agustin que ocupa toda el área del terreno.
- Se adapta mejor a terrenos planos y semi planos, por otro lado es más conveniente para áreas de forma irregular que es nuestro caso.
- Se requiere una pequeña pero constante aplicación de agua.
- La cantidad de agua es fácilmente medida.
- Es posible lograr una alta eficiencia en la aplicación del agua.

**Selección de aspersor y tobera.**

Para seleccionar un aspersor hay que asegurarse principalmente de que el mismo reparta perfectamente el agua sobre el suelo, la elección adecuada dependerá de lo siguiente:

- Del volumen de agua a suministrar en cada posición.
- De la presión disponible en el sistema.

- De la naturaleza del suelo y de la planta, así como, de la velocidad del viento.

Según la presión de trabajo de los aspersores se clasifican en:

- Baja presión ( < 250 kpa o 36 psi)
- Media presión (250-400 kpa 0 36-58 psi)
- Alta presión ( > 400 kpa o 58 psi)

Para la selección del aspersor hemos seleccionado un aspersor de baja presión marca Hunter Pro-Spray de K-Rain de presión regulada entre 20 y 60 PSI modelo N°. 78006 emergente 15 cm compatible con todas las toberas roscadas hembras.

*Figura 31. Toberas reemplazables.*


*Figura 32. Partes del aspersor.*

La bomba nos genera una presión de trabajo de 175 kpa o $25.38\ {}^{lbf}/_{in^2}$ (psi) por lo tanto seleccionamos este tipo de aspersor debido a que puede ser regulada su fuerza de empuje, entonces, se podrá ajustar en base a los requerimientos y funcionamientos del sistema, a diferencia de otros aspersores que su funcionamiento no es regulado y trabajan con un rango único de presión.

Los aspersores pro-spray son compatibles con todas las toberas ya sean tipo ajustables, tipo inúndacion, tipo chorro, tipo sector fijo o tipo radio corto. En este diseño utilizamos toberas tipo ajustables debido a las formas y variaciones de las áreas a irrigar,por su fácil ajuste de circuferencia que va de 0° a 360° y por su radio de cobertura debido

a que presentamos distintos tamaños en las área (ver anexos: plano de sectores).


*Figura 33. Toberas ajustables.*

**Selección de diámetro de tubería.**

Según nuestro inciso 4.1.1 (Tuberías de PVC) se podrá instalar tuberías y accesorios de PVC por sus grandes ventajas: peso ligero, facilidad de instalación, resistencia a la corrosión, a los productos químicos, por su bajo costo y comercialización.

En el diagrama I de Anexos, nos muestra las recomendaciones de tamaños de tuberías en dependencia del flujo volumétrico. Para un flujo de 27.67 gal/min nos muestra una tubería de 1”, sin embargo debido al número de aspersores y el consumo por sector seleccionamos una tubería de 1 ½ pulgadas.

**Cálculo de área en AutoCAD.**

Para calcular el área utilizamos el programa AutoCAD 2013 donde dibujamos el perímetro (una poli línea cerrada) para esto utilizamos el comando poli línea, teniendo en cuenta que debemos tener un sector totalmente cerrado, luego de seleccionar el sector y cerrarlo editamos el comando list y nos muestra el área, perímetro y centroíde, cabe mencionar que este procedimiento lo hicimos para cada uno de los sectores.

**Número de aspersores por sectores.**

El número de aspersor estará en dependencia al sector a irrigar, en sectores pequeños irregulares (forma geométrica) se seleccionan toberas en relación al tamaño (Anexos plano de sectores) y mediante el espaciamiento entre aspersor que es uno de los aspectos fundamentales del diseño.

En el Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios, las condiciones de vientos son inferior a 2 m/s por lo tanto se dispone de un espaciamiento de hasta 80% del diámetro efectivo. Este espaciamiento permitirá el solape de riego (cuando un aspersor cubre cierta parte de otro aspersor) y asegurará la distribución uniforme de agua.

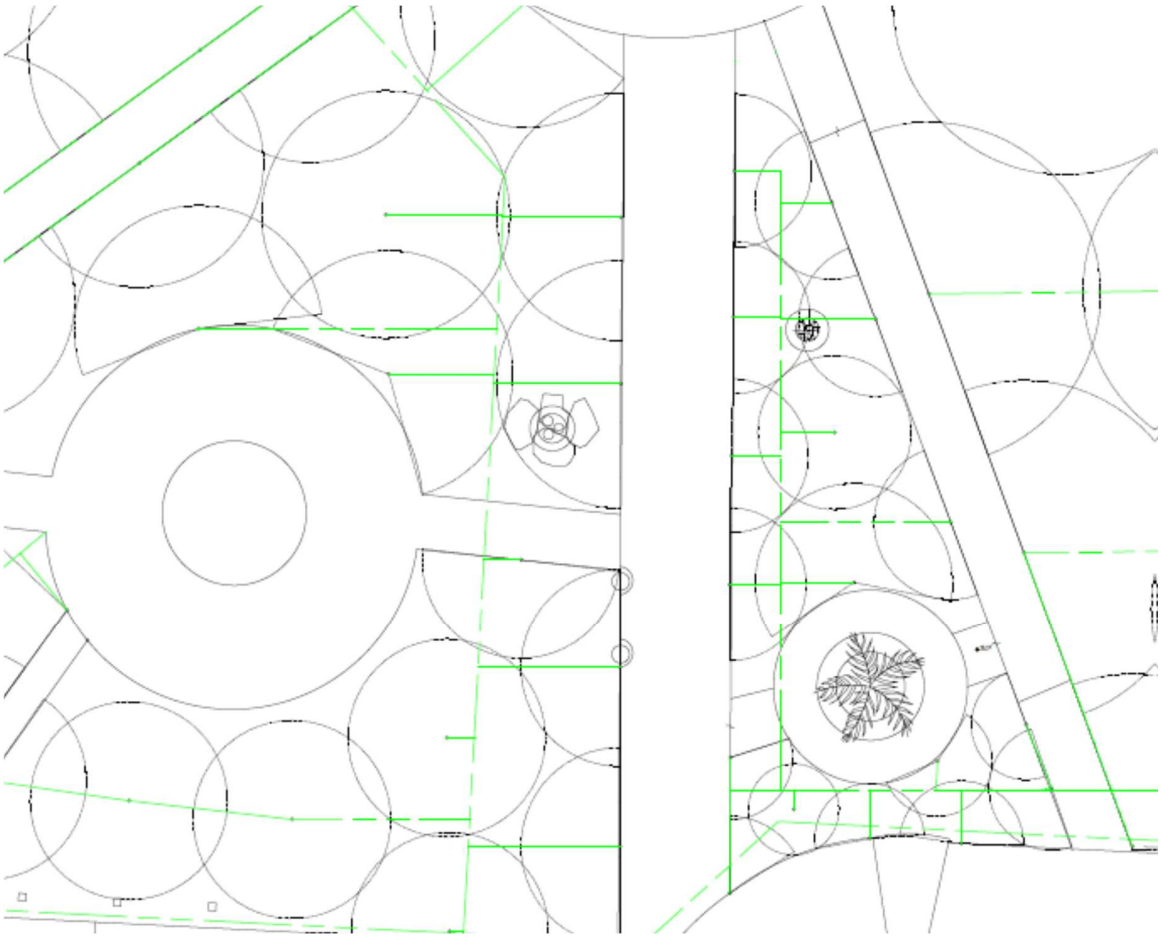


*Figura 34. Ejemplo del espaciamiento entre aspersor (cada aspersor debe cubrir en un 80% del diámetro efectivo)*

En la tabla 6 mostramos los sectores de cada uno de las áreas a irrigar (Anexos plano de sectores), el número de aspersores y el consumo de cada sector en litros/minutos. (El consumo de cada tobera lo mostramos en Anexos, tablas IV, tabla V, y tabla VI).

*Tabla 6. Sectores y gastos de aspersores.*

| Sectores | $m^2$ | Número de aspersor. | Ángulo de tobera | Tipo de tobera | Consumo L/mint | TOTAL L/mint |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 455.61 | 3 | 180° | 17 A | 6.16 | 18.48 |
| | | 4 | 360° | 17 A | 12.32 | 49.28 |
| 2 | 64.53 | 2 | 360° | 6 A | 2.94 | 5.88 |
| | | 7 | 180° | 6 A | 1.47 | 10.29 |
| 3 | 24.51 | 1 | 360° | 4 A | 2.94 | 2.94 |
| | | 5 | 180° | 4 A | 1.47 | 7.35 |
| | | 1 | 90° | 4 A | 0.74 | 0.74 |
| 4 | 176.95 | 1 | 360° | 10 A | 5.03 | 5.03 |
| | | 5 | 180° | 10 A | 2.52 | 12.6 |
| | | 3 | 240° | 10 A | 3.35 | 10.05 |
| 5 | 161.83 | 3 | 180° | 17 A | 6.16 | 18.48 |
| | | 2 | 90° | 17 A | 3.08 | 6.16 |
| | | 1 | 240° | 17 A | 8.21 | 8.21 |
| 6 | 140.37 | 3 | 360° | 10 A | 5.03 | 15.09 |
| | | 5 | 180° | 10 A | 2.52 | 12.6 |
| 7 | 84.67 | 3 | 90° | 17 A | 3.08 | 9.24 |

*Continúa tabla 6*

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 180° | 10 A | 2.52 | 2.52 |
| | | 2 | 90° | 10 A | 1.26 | 2.52 |
| | | 1 | 240° | 10 A | 3.35 | 3.35 |
| 8 | 69.85 | 2 | 360° | 6 A | 2.94 | 5.88 |
| | | 5 | 180° | 6 A | 1.47 | 7.35 |
| | | 1 | 270° | 6 A | 2.21 | 2.21 |
| 9 | 85.20 | 1 | 360° | 10 A | 5.03 | 5.03 |
| | | 2 | 90° | 10 A | 1.26 | 2.52 |
| | | 3 | 180° | 10 A | 2.52 | 7.56 |
| 10 | 74.99 | 3 | 360° | 6 A | 2.94 | 8.82 |
| | | 3 | 180° | 6 A | 1.47 | 4.41 |
| | | 1 | 90° | 6 A | 0.74 | 0.74 |
| 11 | 58.57 | 5 | 180° | 6 A | 1.47 | 7.35 |
| | | 1 | 90° | 6 A | 0.74 | 0.74 |
| | | 1 | 180° | 10 A | 2.52 | 2.52 |
| | | 1 | 90° | 10 A | 1.26 | 1.26 |
| 12 | 559.32 | 3 | 360° | 17 A | 12.32 | 36.96 |
| | | 5 | 180° | 17 A | 6.16 | 30.08 |
| | | 2 | 90° | 17 A | 3.08 | 6.16 |

*Continúa tabla 6*

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 270° | 17 A | 9.24 | 9.24 |
| | | 1 | 360° | 10 A | 5.03 | 5.03 |
| | | 2 | 180° | 10 A | 2.52 | 5.04 |
| | | 3 | 240° | 10 A | 3.35 | 10.05 |
| 13 | 85.66 | 4 | 360° | 8 A | 2.99 | 11.96 |
| 14 | 24.50 | 1 | 360° | 6 A | 2.94 | 2.94 |
| | | 1 | 90° | 8 A | 0.75 | 0.75 |
| 15 | 77.50 | 1 | 360° | 6 A | 2.94 | 5.88 |
| | | 7 | 360° | 4 A | 2.19 | 15.33 |
| 16 | 28.32 | 2 | 360° | 6 A | 2.94 | 5.88 |
| 17 | 23.98 | 1 | 360° | 6 A | 2.94 | 2.94 |
| 18 | 184.25 | 7 | 360° | 8 A | 3.73 | 26.11 |
| | | 4 | 360° | 4 A | 2.19 | 8.76 |
| | | 4 | 180° | 4 A | 1.37 | 5.48 |
| 19 | 59.87 | 3 | 360° | 6 A | 2.94 | 8.82 |
| | | 1 | 360° | 4 A | 2.19 | 2.19 |
| 20 | 194.35 | 3 | 360° | 15 A | 12.32 | 36.96 |
| | | 1 | 360° | 8 A | 3.73 | 3.73 |
| | | 1 | 240° | 8 A | 2.49 | 2.49 |

La sumatoria del consumo de todas las áreas nos reflejó que todo el sistema nos consumiría:

499.98 lts/min o bien 0.008333 $m^3$ / seg

Por lo tanto, al comparar el caudal que nos genera la bomba (104.76 lts/min o 0.001746 $m^3$ / seg) podemos afirmar que no es suficiente para poder irrigar toda las áreas de una sola vez, por lo que el sistema será irrigado en seis zonas, una zona a la vez en un tiempo determinado.

*Tabla 7. Zonas de riego.*

| **Zonas de riego** | **Sectores** | **Consumo (lts/min)** |
|---|---|---|
| 1 | 1, 2, 3. | 94.96 |
| 2 | 4, 5, 6. | 88.22 |
| 3 | 7,8, 9, 10, 11. | 74.02 |
| 4 | 12. | 102.56 |
| 5 | 13, 14, 16, 17, 19, 20. | 78.66 |
| 6 | 15,18. | 61.56 |

**Tiempo de riego.**

Para poder calcular lámina neta (Ln) consultamos datos de laboratorio de la Facultad de Tecnología de la Construcción en los laboratorios de Edafología (UNI-RUPAP) donde por medio de pruebas hechas en los suelos del costado este del salón de usos múltiples “Areitos” ( sector 12, anexos plano de sectores) realizada por estudiantes en el año 2012 obtuvimos:


*Figura 35. Sector 12, recolección de muestras para análisis de capacidad de campo y densidad aparente.*

*Tabla 8. Resultados de análisis de suelo (Densidad aparente).*

| DENSIDAD APARENTE. | | | |
|---|---|---|---|
| Tara | Peso tara (gr) | Peso tara + Muestra (gr) | Peso suelo seco + tara (gr) |
| $M_{1DA}$ | 148.6 | 258.9 | 229.5 |
| $M_{2DA}$ | 147.3 | 313.6 | 266.2 |
| $M_{3DA}$ | 147.2 | 241.7 | 208.5 |

*Tabla 9. Resultado de análisis de suelo (Capacidad de campo).*

| Capacidad de campo | | | |
|---|---|---|---|
| Tara | Peso tara (gr) | Peso tara + suelo húmedo (gr) | Peso tara + suelo seco (gr) |
| $M_{1CC}$ | 50.00 | 99.826 | 81.60 |
| $M_{2CC}$ | 50.20 | 92.158 | 77.90 |

<u>Densidad aparente.</u>

Relación entre el peso seco del suelo y el volumen que ocupa.

$$Da = \frac{Pss}{Vc}$$

Donde:

Pss: peso suelo seco.

Vc: volumen de cilindro.

Las siguientes muestras son obtenidas para el cálculo de la densidad aparente, las muestras $M_{1DA}$, $M_{2DA}$ y $M_{3DA}$ son datos obtenidos de la misma tierra por lo tanto se realizan tres pruebas distintas a la misma muestra.

Muestra 1 (Densidad aparente)

$$M_{1DA} = \frac{229.5\ \mathrm{gr} - 148.6\ \mathrm{gr}}{\left(\frac{\pi(4\mathrm{cm})^2}{4}\right) * 8\mathrm{cm}} = 0.80\ \mathrm{gr/cm^3}$$

Muestra 2 (Densidad aparente)

$$M_{2DA} = \frac{266.2\ \text{gr} - 147.3\ \text{gr}}{\left(\frac{\pi(4\text{cm})^2}{4}\right) * 8\text{cm}} = 1.18\ \text{gr/cm}^3$$

Muestra 3 (Densidad aparente)

$$M_{3DA} = \frac{208.5\ \text{gr} - 147.2\ \text{gr}}{\left(\frac{\pi(4\text{cm})^2}{4}\right) * 8\text{cm}} = 0.61\ \text{gr/cm}^3$$

Una vez obtenido la densidad aparente de las tres muestras procedemos a calcular la media o promedio:

Densidad aparente promedio: 0.863 gr/cm$^3$

<u>Capacidad de campo.</u>

Al determinar la capacidad de campo debemos obtenerla de las dos muestras ($M_{1CC}$ y $M_{2CC}$) obteniendo un porcentaje:

$$CC = [\frac{(Psh + tara) - (Pss + tara)}{(Pss + tara) - P_{tara}}$$

$$CC_1 = \left[\frac{(99.826gr) - (81.6gr)}{(81.6gr) - 50gr}\right] * 100 = 57.68\%$$

$$CC_2 = \left[\frac{(92.158gr) - (77.9gr)}{(77.9gr) - 50.2gr}\right] * 100 = 51.47\%$$

Ahora determinamos la capacidad de campo promedio:

Capacidad de campo promedio: 54.575%

<u>Punto de marchitez permanente:</u>

$$PMP = \frac{cc_{promedio}}{1.84}$$

$$PMP = \frac{54.58\%}{1.84} = 29.66\%$$

Entonces procedemos a calcular:

Lámina neta (Ln):

$$Ln = \frac{(54.575 - 29.66)\%}{100} * 200mm * 0.863\, {}^{gr}/_{cm^3} =$$

$$Ln = 43\ mm$$

Nota: las unidades de la densidad aparente no se toman en cuenta en la fórmula.

Lámina bruta (Lb): para encontrar lámina bruta seleccionamos una eficiencia de aplicación del 80% debido a que los aspersores serán nuevos y con los datos de lámina neta se procede a calcular lámina bruta de riego.

$$\mathrm{Lb} = \frac{43\ \mathrm{mm}}{0.80} = 53.75\ \mathrm{mm}$$

Tiempo de riego (Tr): como el aspersor presenta un gasto de 0.2053 lts/seg en el caso de la tobera 17 A, y un espaciamiento de 4.7m x 4.7m la cual genera un área de humedecimiento de 22.09 $m^2$ podemos calcular el tiempo de riego:

$$TR = \frac{53.75\ mm * 22.09m^2}{0.2053\ {}^{l}/_{s} * 3600\ {}^{s}/_{h}} = 1.6\ horas$$

1 hora = 60 minutos

$$0.6\ hora * \frac{60\ minutos}{1\ hora} = 36\ minutos$$

En resumen, se debe mantener en funcionamiento el sistema por 1 hora y 36 minutos a fin de garantizar la aplicación de agua que el césped requiere para su óptimo desarrollo.

**Cálculo de pérdidas primarias (por fricción, tramo de tubería galvanizada)**

Tramo de tubería de 2” ya instalada (Anexos plano 3)

$D_{int} = 52.5\ mm$

$A_{transversal} = 2.168\ x\ 10^{-3}$

Al tener el valor de la sección transversal (Anexos tabla IX), procedemos a calcular la velocidad del fluido:

$Q = 1.7460\ \frac{lts}{seg}$ ; 0.00176 $m^3/seg$

$v = \frac{0.001746\ m^3/seg}{2.168x10^{-3}m^2}$= 0.8 $m/seg$

De la tabla III, la viscosidad cinemática del agua a 25° C es 8.94x10$^{-7}$ m$^2$/s, procedemos a calcular Número de Reynolds (Ec.21) según.

$$R_e = \frac{(0.8\ {}^{m}/_{seg})(0.0525m)}{8.94x10^{-7}\ {}^{m^2}/_{seg}}$$

$$R_e = 46{,}979.87$$

Sabiendo, “si Re < 2,000 flujo laminar y si Re > 4,000 flujo turbulento” (Mott) mostramos las ecuaciones correspondientes para este tipo de flujo, en este caso es turbulento, donde aplicaremos la fórmula de BLASIUS (Ec. 26). Para el cálculo de coeficiente de fricción.

$$f = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$$

$$f = \frac{0.316}{(46{,}979.87)^{1/4}}$$

$$f = 0.022$$

Con el valor del factor de fricción $f$ podemos encontrar el valor de pérdidas primarias según inciso 5.1.2 (Ec.20).

$$h_{rp} = 0.022.\frac{91.5m}{0.0525m}.\frac{(0.8m/seg)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})}$$

$$h_{rp} = 1.32m$$

**Cálculo de pérdidas secundarias (por accesorios).**

Tubería galvanizada.

En la salida de la bomba tenemos un reductor 2” a 1 ½”, una válvula de compuerta de chorro, dos Te, una válvula check y un codo 90°. El factor k de cada accesorio está dado por la tabla IIA, IIB, IIC, y IID de los Anexos.

$$K = \left(\frac{L}{D}\right) f$$

- Válvula de compuerta K=8ft

  K= 8(0.019)= 0.152

- Válvula check K= 600ft

  K= 600(0.019)= 11.4

- Dos Te K= 60 ft

  K= 60 (0.019)= 1.14

- Reductor de 2” galvanizada a 1 ½” PVC por contracción brusca, K= 0.28 (Ver diagrama II de Anexos).

Relación de diámetros D/d;

2” / 1 ½”=1.33

$\alpha = 180°$ , K=0.28

- Codo 90°

  K=30(0.019)]= 0.57

Ahora utilizando la ecuación 30 del inciso 6 (pérdidas secundarias) y sumando los coeficientes, sustituimos valores agregándola a la ecuación.

$$h_{rs} = \frac{v^2}{2g}(\Sigma K)$$

$$h_{rs} = \frac{\left(0.8\,{}^{m}/_{seg}\right)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})} x(0.152 + 11.4 + 1.14 + 0.28 + 0.57)$$

$$h_{rs} = 0.47m$$

**Cálculo de pérdidas primarias y secundarias en tramo de tubería PVC por cada zona de riego.**

<u>Zona 1.</u> L=327m

$$h_{rp} = 0.02.\frac{327m}{0.04368m}.\frac{(1.17m/seg)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})}$$

$$h_{rp} = 10.47m$$

Pérdidas secundarias.

Las pérdidas por accesorios en tuberías de PVC del sistema, k es un factor obtenido de la tabla II (Anexos). Obteniendo así la pérdida por cada uno de los accesorios, una vez obtenido este factor lo multiplicaremos por la cantidad de accesorio.

Codo 90°= 23(0.9) = 20.7

Reductor= 23(0.47)= 10.81

Te= 19(1.8)= 34.2

$$h_{rs} = \frac{\left(1.17\,{}^{m}/_{seg}\right)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})} x(20.7 + 10.81 + 34.2)$$

$$h_{rs} = 4.6\,m$$

Por lo tanto:

$$\sum h_{rp} = 1.32m + 10.47m = 11.79m$$

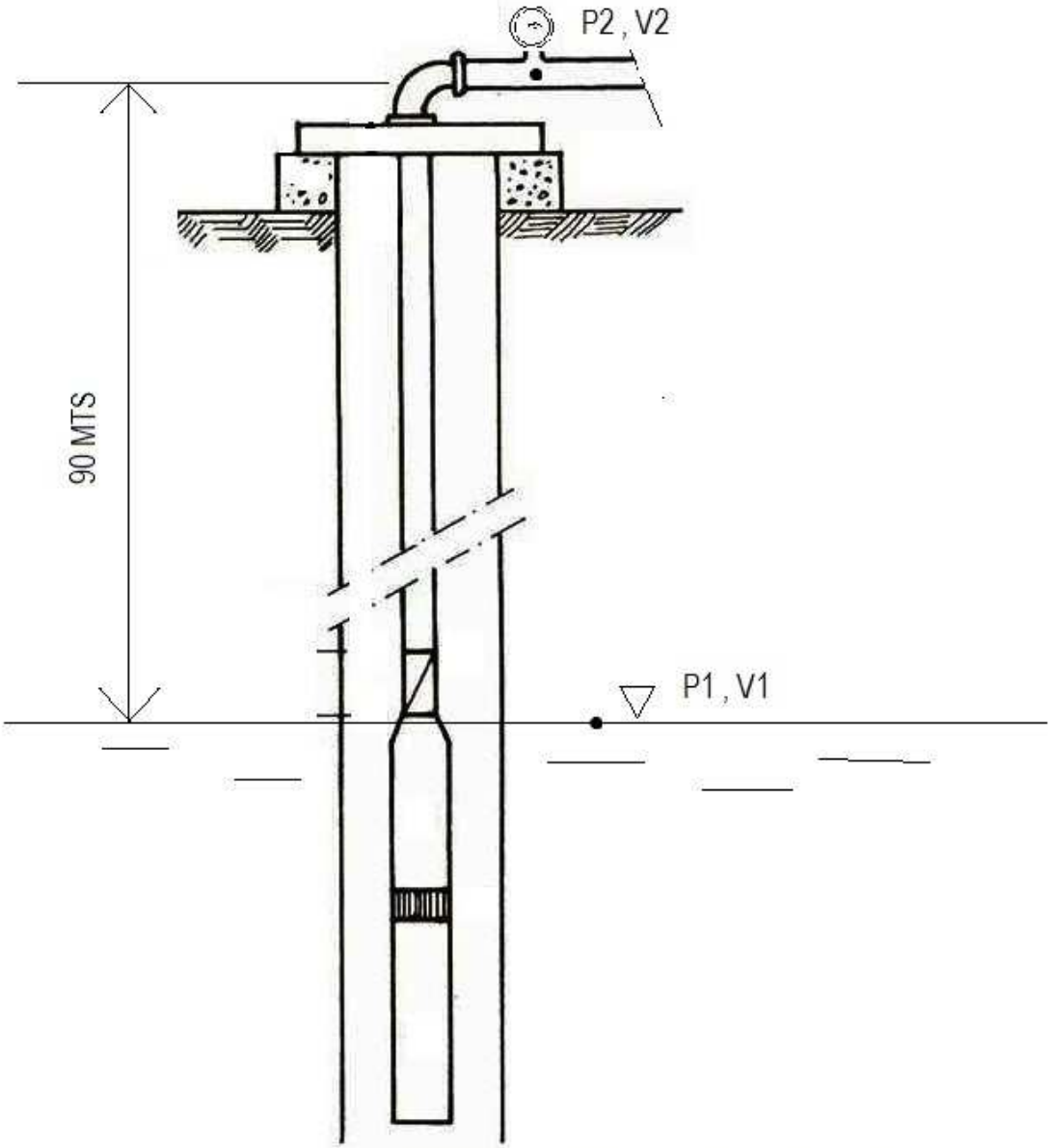
$$\sum h_{rs} = 0.47m + 4.6m = 8.07m$$

Pérdidas totales:

$$\sum h_{r\,total} = 11.79m + 8.07 = 16.89m$$

Cálculo de $h_B$ carga dinamica de la bomba:

$$\cancel{\frac{P_1}{\gamma}}^{0} + \cancel{z_1}^{0} + \cancel{\frac{v_1^2}{2g}}^{0} + h_B - h_r = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$




***Instalación pozo con bomba sumergible***

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} + h_B - h_r = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$h_B = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_r$$

$$h_B = \frac{(20{,}444.54)\,{}^{kgf}/_{m^2}}{1000\ {}^{kgf}/_{m^3}} + 90m + \frac{\left(0.8\,{}^{m}/_{seg}\right)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})} + 16.86m$$

$$h_B = 127.34m$$

Cálculo de potenciade la bomba:

$P_a$= potencia de la bomba en kW.

$$P_{a=}\, h_B * \gamma * Q$$

$$P_a = 127.34\ m * 1000\ {}^{kgf}/_{m^3} * 0.001746\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$P_a = 222.34\ {}^{kgf.m}/_{seg}$$

$1\,{}^{kgf.m}/_{seg}$ = 9.8 Watt

$P_a = 2{,}178.94\ Watt.$

$P_a = 2.18\ KW$

$P_a = 2.93\ HP$

Zona 2. L=407m

$$h_{rp} = 0.02.\frac{407m}{0.04368m}.\frac{(1.17m/seg)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})}$$

$$h_{rp} = 13m$$

Pérdidas secundarias.

Las pérdidas por accesorios en tuberías de PVC del sistema, k es un factor obtenido de la tabla II (Anexos). Obteniendo así la pérdida por cada uno de los accesorios, una vez obtenido este factor lo multiplicaremos por la cantidad de accesorio.

Codo 90°= 25(0.9) = 22.5

Reductor= 23(0.47)= 10.81

Te= 21(1.8)= 37.8

$$h_{rs} = \frac{\left(1.17\,{}^{m}/_{seg}\right)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})}x(22.5 + 10.81 + 37.8)$$

$$h_{rs} = 4.97\ m$$

Por lo tanto:

$$\sum h_{rp} = 1.32m + 13m = 14.32m$$

$$\sum h_{rs} = 0.47m + 4.97m = 5.44m$$

Pérdidas totales:

$$\sum h_{r\,total} = 14.32m + 5.44 = 19.76m$$

Cálculo de $h_B$ carga dinamica de la bomba:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} + h_B - h_r = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$h_B = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_r$$

$$h_B = \frac{(20{,}444.54)\,{}^{kgf}/_{m^2}}{1000\ {}^{kgf}/_{m^3}} + 90m + \frac{\left({}^{0.8\,m}/_{seg}\right)^2}{2\left({}^{9.8\,m}/_{seg^2}\right)} + 19.76m$$

$$h_B = 130.25m$$

Cálculo de potenciade la bomba:

$P_a$= potencia de la bomba en kW.

$$P_{a=}\, h_B * \gamma * Q$$

$$P_a = 130.25\,m * 1000\ {}^{kgf}/_{m^3} * 0.001746\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$P_a = 227.42 \ {}^{kgf.m}/_{seg}$$

$P_a = 2.99 \ HP$

<u>Zona 3.</u> L=417m

$$h_{rp} = 0.02.\frac{417m}{0.04368m}.\frac{(1.17m/seg)^2}{2(9.8 \ {}^{m}/_{seg^2})}$$

$$h_{rp} = 13.35m$$

Pérdidas secundarias.

Las pérdidas por accesorios en tuberías de PVC del sistema, k es un factor obtenido de la tabla II (Anexos). Obteniendo así la pérdida por cada uno de los accesorios, una vez obtenido este factor lo multiplicaremos por la cantidad de accesorio.

Codo 90°= 44(0.9) = 39.6

Reductor= 36(0.47)= 16.92

Te= 18(1.8)= 32.4

$$h_{rs} = \frac{\left(1.17 \ {}^{m}/_{seg}\right)^2}{2(9.8 \ {}^{m}/_{seg^2})} x(39.6 + 16.92 + 32.4)$$

$$h_{rs} = 6.22\ m$$

Por lo tanto:

$$\sum h_{rp} = 1.32m + 13.35m = 14.67m$$

$$\sum h_{rs} = 0.47m + 6.22m = 6.69m$$

Pérdidas totales:

$$\sum h_{r\ total} = 14.67m + 6.69m = 21.36m$$

Cálculo de $h_B$ carga dinamica de la bomba:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} + h_B - h_r = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$h_B = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_r$$

$$h_B = \frac{(20{,}444.54)\ {}^{kgf}/_{m^2}}{1000\ {}^{kgf}/_{m^3}} + 90m + \frac{(0.8\ {}^{m}/_{seg})^2}{2(9.8\ {}^{m}/_{seg^2})} + 21.36m$$

$$h_B = 131.85m$$

Cálculo de potenciade la bomba:

$P_a$= potencia de la bomba en kW.

$$P_{a=} h_B * \gamma * Q$$

$$P_a = 131.85m * 1000 \ {}^{kgf}/_{m^3} * 0.001746 \ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$P_a = 230.2 \ {}^{kgf.m}/_{seg}$$

$P_a = 3 \ HP$

<u>Zona 4.</u> L=417m

$$h_{rp} = 0.02.\frac{417m}{0.04368m}.\frac{(1.17m/seg)^2}{2(9.8 \ {}^{m}/_{seg^2})}$$

$$h_{rp} = 13.35m$$

Pérdidas secundarias.

Las pérdidas por accesorios en tuberías de PVC del sistema, k es un factor obtenido de la tabla II (Anexos). Obteniendo así la pérdida por cada uno de los accesorios, una vez obtenido este factor lo multiplicaremos por la cantidad de accesorio.

Codo 90°= 22(0.9) = 19.8

Reductor= 17(0.47)= 7.99

Te= 13(1.8)= 23.4

Codo 45°= 4(0.42)=1.68

$$h_{rs} = \frac{\left(1.17\,{}^{m}/_{seg}\right)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})} x(23.4 + 1.68 + 19.8 + 7.99)$$

$$h_{rs} = 3.69\ m$$

Por lo tanto:

$$\sum h_{rp} = 1.32m + 13.35m = 14.67m$$

$$\sum h_{rs} = 0.47m + 3.69m = 4.16m$$

Pérdidas totales:

$$\sum h_{r\ total} = 14.67m + 4.16 = 18.83m$$

Cálculo de $h_B$ carga dinamica de la bomba:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} + h_B - h_r = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$h_B = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_r$$

$$h_B = \frac{(20{,}444.54)\ {}^{kgf}/_{m^2}}{1000\ {}^{kgf}/_{m^3}} + 90m + \frac{(0.8\ {}^{m}/_{seg})^2}{2(9.8\ {}^{m}/_{seg^2})} + 18.83m$$

$$h_B = 129.32m$$

Cálculo de potenciade la bomba:

$P_a$= potencia de la bomba en kW.

$$P_{a=}\ h_B * \gamma * Q$$

$$P_a = 129.32\ m * 1000\ {}^{kgf}/_{m^3} * 0.001746\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$P_a = 225.78\ {}^{kgf.m}/_{seg}$$

$P_a = 2.97\ HP$

<u>Zona 5.</u> L=421m

$$h_{rp} = 0.02.\frac{421m}{0.04368m}.\frac{(1.17m/seg)^2}{2(9.8\ {}^{m}/_{seg^2})}$$

$$h_{rp} = 13.48m$$

Pérdidas secundarias.

Las pérdidas por accesorios en tuberías de PVC del sistema, k es un factor obtenido de la tabla II (Anexos). Obteniendo así la pérdida por cada uno de los accesorios, una vez obtenido este factor lo multiplicaremos por la cantidad de accesorio.

Codo 90°= 21(0.9) =18.9

Reductor= 18(0.47)= 8.46

Te= 15(1.8)= 27

Codo 45°= 2(0.42)=0.84

$$h_{rs} = \frac{\left(1.17\,{}^{m}/_{seg}\right)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})} x(18.9 + 8.46 + 27 + 0.84)$$

$$h_{rs} = 3.0\ m$$

Por lo tanto:

$$\sum h_{rp} = 1.32m + 13.48m = 14.8m$$

$$\sum h_{rs} = 0.47m + 3.9m = 4.37m$$

Pérdidas totales:

$$\sum h_{r\ total} = 14.8m + 4.37m = 19.17m$$

Cálculo de $h_B$ carga dinamica de la bomba:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} + h_B - h_r = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$h_B = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_r$$

$$h_B = \frac{(20{,}444.54)\,{}^{kgf}/_{m^2}}{1000\ {}^{kgf}/_{m^3}} + 90m + \frac{(0.8\,{}^{m}/_{seg})^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})} + 19.17m$$

$$h_B = 129.69m$$

Cálculo de potenciade la bomba:

$P_a$= potencia de la bomba en kW.

$$P_{a=}\, h_B * \gamma * Q$$

$$P_a = 129.69\ m * 1000\ {}^{kgf}/_{m^3} * 0.001746\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$P_a = 226.44\ {}^{kgf.m}/_{seg}$$

$$P_a = 2.98\ HP$$

<u>Zona 6.</u> L=435m

$$h_{rp} = 0.02.\frac{434m}{0.04368m}.\frac{(1.17m/seg)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})}$$

$$h_{rp} = 13.93m$$

Pérdidas secundarias.

Las pérdidas por accesorios en tuberías de PVC del sistema, k es un factor obtenido de la tabla II (Anexos). Obteniendo así la pérdida por cada uno de los accesorios, una vez obtenido este factor lo multiplicaremos por la cantidad de accesorio.

Codo 90°= 27(0.9) = 24.3

Reductor= 24(0.47)= 11.28

Te= 15(1.8)= 27

Codo 45°= 13(0.42)=5.46

$$h_{rs} = \frac{\left(1.17\,{}^{m}/_{seg}\right)^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})} x(24.3 + 11.28 + 27 + 5.46)$$

$$h_{rs} = 4.55\ m$$

Por lo tanto:

$$\sum h_{rp} = 1.32m + 13.93m = 15.25m$$

$$\sum h_{rs} = 0.47m + 4.55m = 5.02m$$

Pérdidas totales:

$$\sum h_{r\,total} = 15.25m + 5.02m = 20.27m$$

Cálculo de $h_B$ carga dinamica de la bomba:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} + h_B - h_r = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$h_B = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_r$$

$$h_B = \frac{(20{,}444.54)\,{}^{kgf}/_{m^2}}{1000\ {}^{kgf}/_{m^3}} + 90m + \frac{(0.8\,{}^{m}/_{seg})^2}{2(9.8\,{}^{m}/_{seg^2})} + 20.27m$$

$$h_B = 130m$$

Cálculo de potenciade la bomba:

$P_a$= potencia de la bomba en kW.

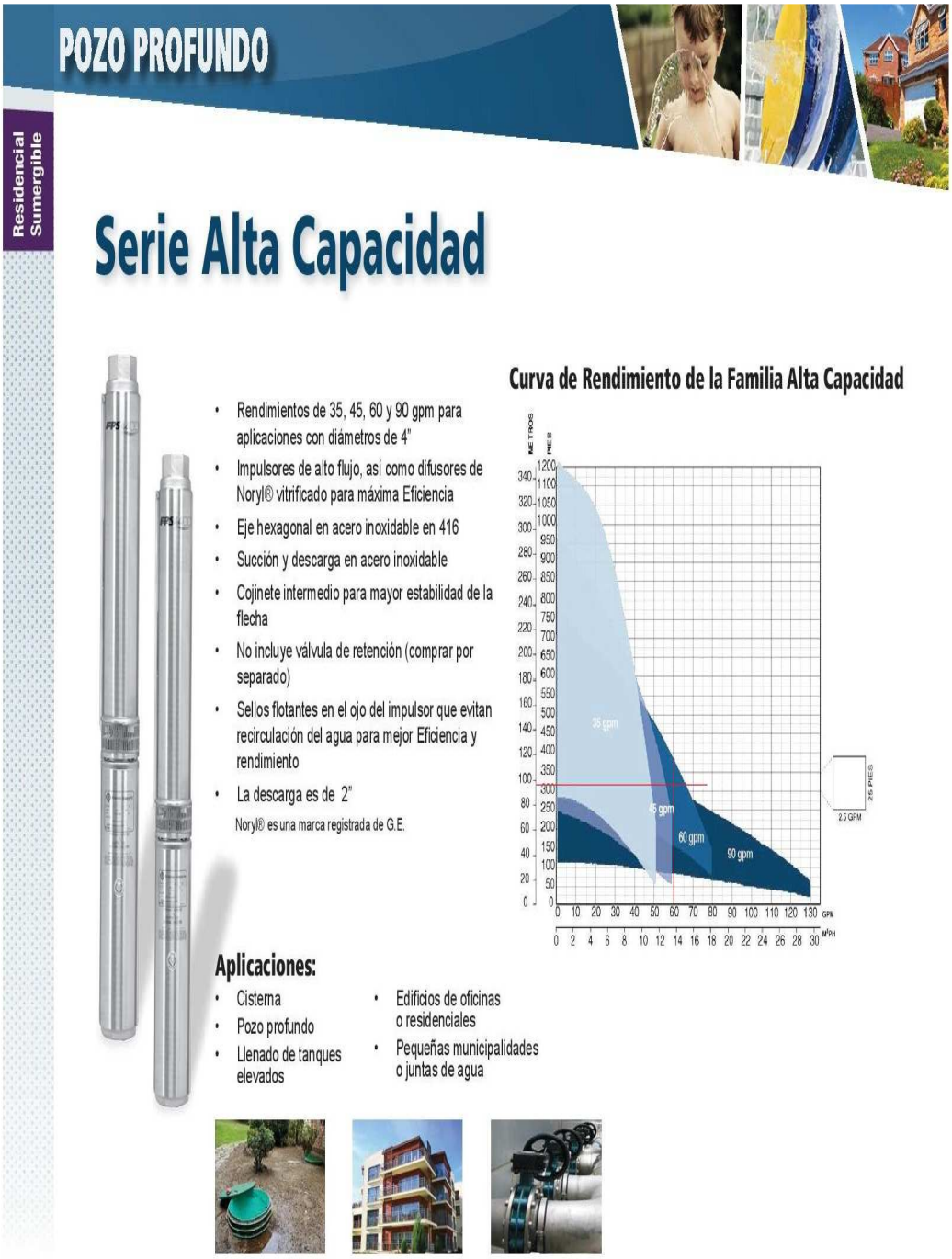
$$P_{a=}\, h_B * \gamma * Q$$

$$P_a = 130\,m * 1000\ {}^{kgf}/_{m^3} * 0.001746\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$P_a = 228.29\ {}^{kgf.m}/_{seg}$$

$$P_a = 3\ HP$$

## Selección de bomba.



POZO PROFUNDO

Residencial Sumergible

# Serie Alta Capacidad

- Rendimientos de 35, 45, 60 y 90 gpm para aplicaciones con diámetros de 4"
- Impulsores de alto flujo, así como difusores de Noryl® vitrificado para máxima Eficiencia
- Eje hexagonal en acero inoxidable en 416
- Succión y descarga en acero inoxidable
- Cojinete intermedio para mayor estabilidad de la flecha
- No incluye válvula de retención (comprar por separado)
- Sellos flotantes en el ojo del impulsor que evitan recirculación del agua para mejor Eficiencia y rendimiento
- La descarga es de 2"

Noryl® es una marca registrada de G.E.

**Curva de Rendimiento de la Familia Alta Capacidad**



**Aplicaciones:**

- Cisterna
- Pozo profundo
- Llenado de tanques elevados
- Edificios de oficinas o residenciales
- Pequeñas municipalidades o juntas de agua

16

# POZO PROFUNDO

Residencial Sumergible

# Serie Alta Capacidad

## Tabla de Rendimiento

| | | Flujo (Caudal) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LPM | 55 | 75 | 115 | 150 | 190 | 230 | 265 | 300 | 340 | 380 | 415 | | |
| | GPM | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | | Sólo Bomba |
| GPM | HP | Carga en Metros | | | | | | | | | | | Modelo Bomba | No. de Parte |
| 35 | 2 | 79 | 76 | 59 | 39 | - | - | - | - | - | - | - | 35FA2S4-PE | 93613510 |
| | 3 | 109 | 105 | 84 | 58 | - | - | - | - | - | - | - | 35FA3S4-PE | 93613514 |
| | 5 | 179 | 167 | 137 | 91 | - | - | - | - | - | - | - | 35FA5S4-PE | 93613522 |
| | 7,5 | 273 | 259 | 213 | 140 | - | - | - | - | - | - | - | 35FA7S4-PE | 93613534 |
| | 10 | 342 | 327 | 270 | 181 | - | - | - | - | - | - | - | 35FA10S4-PE | 93613542 |
| 45 | 2 | 67 | 62 | 55 | 46 | 30 | - | - | - | - | - | - | 45FA2S4-PE | 93614508 |
| | 3 | 88 | 84 | 73 | 58 | 43 | - | - | - | - | - | - | 45FA3S4-PE | 93614511 |
| | 5 | 210 | 148 | 128 | 102 | 69 | - | - | - | - | - | - | 45FA5S4-PE | 93614518 |
| | 7,5 | - | 198 | 168 | 136 | 91 | - | - | - | - | - | - | 45FA7S4-PE | 93614526 |
| | 10 | - | 248 | 219 | 183 | 135 | - | - | - | - | - | - | 45FA10S4-PE | 93614531 |
| 60 | 3 | - | 70 | 67 | 60 | 53 | 41 | 30 | - | - | - | - | 60FA3S4-PE | 93616008 |
| | 5 | - | 113 | 104 | 94 | 83 | 67 | 46 | - | - | - | - | 60FA5S4-PE | 93616013 |
| | 7,5 | - | 145 | 133 | 120 | 102 | 84 | 56 | - | - | - | - | 60FA7S4-PE | 93616017 |
| | 10 | - | 201 | 183 | 163 | 137 | 107 | 76 | - | - | - | - | 60FA10S4-PE | 93616024 |
| 90 | 3 | - | - | 47 | 45 | 41 | 38 | 35 | 30 | 26 | 23 | 20 | 90FA3S4-PE | 93619007 |
| | 5 | - | - | 82 | 76 | 69 | 64 | 58 | 53 | 46 | 38 | 32 | 90FA5S4-PE | 93619012 |
| | 7,5 | - | - | 117 | 110 | 101 | 91 | 84 | 75 | 64 | 53 | 43 | 90FA7S4-PE | 93619019 |
| | 10 | - | - | 155 | 147 | 139 | 128 | 116 | 104 | 88 | 61 | 48 | 90FA10S4-PE | 93619020 |

## Desglose de Modelo:

35 FA 2 S 4 - PE

- PE — Configuración de la Bomba*
- 4 — Pulgadas
- S — Acero Inoxidable
- 2 — Hp
- FA — Serie
- 35 — Galonaje

* Configuración de la bomba: Cambia dependiendo del motor con el que se seleccione la bomba.
- Si es bomba sola se pone PE (Pump End).
- Si es motor de 2 hilos se pone 2W y el Voltaje del mismo, ya sea 115 ó 230.
- Si es motor de 3 hilos se pone 3W y el Voltaje del mismo, ya sea 115 ó 230.

**Costos.**

Los costos de instalación del sistema estarán detallados en la tabla 11 y respaldados en las proformas de los Anexos. (Tabla VII y VIII).

*Tabla 10. Costos de materiales.*

| **Accesorio.** | **Cantidad.** | **Precio ($).** | **Total ($).** |
|---|---|---|---|
| Reductos 1 ½ a ½ | 144 | 0.30 | 43.2 |
| Codo liso PVC 90° | 114 | 0.34 | 38.76 |
| Codo liso PVC 45° | 13 | 0.47 | 6.11 |
| T lisa de PVC | 133 | 0.42 | 55.86 |
| Unión lisa PVC | 30 | 0.19 | 5.7 |
| Tubo PVC 43.68mm | 5.21 | 170 | 885.7 |
| Aspersor K-rain | 144 | 18 | 2,592 |
| | | Total | 3,627.33 |

Todos los accesorios detallados en la tabla anterior son para tuberías de 1 ½ pulgadas dándonos un gasto total de $ 3,627.33 dólares americanos, estos costos solo son en materiales y accesorios que necesita el sistema no aplica en mano de obra e instalación.

**Estimación costo mano de obra.**

La estimación de costos de mano de obra para la instalación del sistema no estará reflejada ya que la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP) tiene un personal capacitado en área de mantenimiento para ejecutar dicho proyecto.

# VI. CONCLUSIONES.

Una vez realizado los cálculos de “Implementación de un sistema de riego para el constante suministro de agua para las gramas del RUPAP” se procede con las breves conclusiones:

- Se realizó el cálculo de caudal mediante el método del barril utilizando la misma bomba dando como resultado 27.67466 GPM.
- Con la ayuda del programa Autocad 2013 diseñamos red de distribución en las áreas a irrigar simbolizando tubería, radios de aspersores y accesorios en general (Anexos planos).
- Seleccionamos tuberías PVC de 1 ½ pulgadas con una longitud total de 1,002 metros en todo el sistema, tomando en cuenta su bajo coeficiente de fricción y el gasto de los aspersores.
- Seleccionamos accesorios de PVC como codos, tés, válvulas, uniones, etc. por su bajo coeficiente de fricción (menor pérdida de rozamiento), costos y alta resistencia al envejecimiento.
- Establecimos ciclos de riego divididos en 6 zonas y en un tiempo de 1 hora y 36 minutos por cada zona, cada zona tendrá una válvula que será accionada por los empleados de recinto manualmente.

- Los costos totales de materiales serán de $3,627.33, lo que es relativamente económico en su implementación. La mano de obra será ejecutada por el personal de mantenimiento (UNI–RUPAP).

# VII. RECOMENDACIONES.

- Debido al bajo caudal que genera la bomba instalada en el recinto Pedro Aráuz Palacios (UNI-RUPAP), sugerimos cambiar la bomba recomendando una Bomba sumergible marca Franklin Electric de 5 HP modelo 60FA5S4-PE, descarga 4” en la serie de 60 GPM.
- Se puede automatizar el sistema cambiando válvulas de cierre manual por electroválvulas accionadas por un control automático que se encargara de activar cada sector.
- Un aspecto fundamental en el diseño es la velocidad del flujo volumétrico que viene determinado por el caudal y el diámetro de la tubería. Se sugiere no sobrepasar o reducir el diámetro de tubería para que todos los aspersores trabajen con eficiencia.
- Se recomienda usar accesorios, válvulas, tubería del mismo material para que haya una mejor abrasión a la hora de hacer las conexiones, así se evitaran las filtraciones en el sistema.
- Sugerimos realizar los ciclos de riego durante la noche, ya que de día hay mayor pérdidas de agua por evaporización, así se tendría una deficiencia a la hora de regar el césped.
- Podemos sugerir dar una capacitación técnica a los trabajadores del recinto universitario (UNI-RUPAP) en el manejo e instalación de los aspersores Hunter.

# VIII. BIBLIOGRAFÍA


Crame. (s.f.). *flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.* McGRAW-HILL.

Ignacio García Casillas, G. B. (2009). *Sistema de Riego por aspersón y Goteo.* Mexico: Trillas.

Malladas, E. C. (s.f.). *Calculo de Redes Malladas*. Recuperado el Abril de 2015, de http://cidta.usal.es/Cursos/redes/modulos/Libros/unidad%204/malladas.PDF

Martín-Benito., J. M. (2005). *El riegopor aspersion y su tecnología.* (Tercera edición ed.). Ediciones Mundi-Prensa.

Mataix, C. (1986). *Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas* (Segunda ed.). Ediciones del Castillo SA.

Mott, r. L. (s.f.). *Mecanica de Fluidos Aplicada.* PEARSON.

Sanchez, R. (Domingo de Febrero de 2010). *El Bulon*. Recuperado el Lunes de Enero de 2015, de http://elbulon.blogspot.com/2012/02/clasificacion-y-seleccion-de-los.html

Vergara., L. G. (2001). *Manual de Diseño de Sistema de Riego Tecnificado.* Talca.

# ANEXOS

**TABLA I.**

## Tuberías Presión PAVCO

### RDE 21 PVC

Presión de Trabajo a 23°C: 200 PSI

| Diámetro Nominal | | Referencia | Peso | Diámetro Exterior Promedio | | Espesor de Pared Mínimo | | Diámetro Interior Promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | pulg. | | g/m | mm | pulg. | mm | pulg. | mm |
| 26 | 3/4 | 2900237 | 189 | 26.7 | 1.05 | 1.52 | 0.06 | 23.63 |
| 33 | 1 | 2900220 | 252 | 33.4 | 1.31 | 1.60 | 0.06 | 30.20 |
| 42 | 1.1/4 | 2900225 | 395 | 42.2 | 1.66 | 2.01 | 0.08 | 38.14 |
| 48 | 1.1/2 | 2902450 | 514 | 48.3 | 1.90 | 2.29 | 0.09 | 43.68 |
| 60 | 2 | 2902453 | 811 | 60.3 | 2.37 | 2.87 | 0.11 | 54.58 |
| 73 | 2.1/2 | 2900230 | 1185 | 73.0 | 2.87 | 3.48 | 0.14 | 66.07 |
| 88 | 3 | 2900233 | 1761 | 88.9 | 3.50 | 4.24 | 0.17 | 80.42 |
| 114 | 4 | 2900240 | 2904 | 114.3 | 4.50 | 5.44 | 0.21 | 103.42 |
| 168 | 6 | 2904616 | 5835 | 168.3 | 6.62 | 8.03 | 0.32 | 152.22 |

Fuente: Catálogo “TUBERIAS PAVCO”.

RDE: relación diámetro espesor.

**TABLA II.**

Coeficientes de pérdida de carga K para singularidades

| Accesorio | Coeficiente K |
|---|---|
| Codo 90° | 0.90 |
| Válvula de pie | 2.50 |
| Llave de compuerta abierta 25% | 24.00 |
| Llave de compuerta abierta 50% | 5.60 |
| Llave de compuerta abierta 75% | 1.15 |
| Llave de compuerta abierta 100% | 0.19 |
| Válvula de globo abierta | 10.00 |
| Válvula de no retorno | 2.50 |
| Contracción brusca: $\phi$ entrada/$\phi$ salida = 0.25 | 0.42 |
| $\phi$ entrada/$\phi$ salida = 0.50 | 0.32 |
| $\phi$ entrada/$\phi$ salida = 0.75 | 0.19 |
| Expansión brusca: $\phi$ entrada/$\phi$ salida = 0.25 | 0.92 |
| $\phi$ entrada/$\phi$ salida = 0.50 | 0.56 |
| $\phi$ entrada/$\phi$ salida = 0.75 | 0.19 |
| Tee | 1.80 |
| Codo 45° | 0.42 |
| Codo cuadrado | 1.80 |

Fuente: Hidráulica de tubería,

https://fisica.wikispaces.com/file/view/Hidr%C3%A1ulica+de+Tuber%C3%ADas+1.pdf

## TABLA IIA.

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 1 de 4)
Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

("K" está basado en el uso de las tuberías cuyos números de cédula se dan en la página 2-10

FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS, DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA

| Diámetro Nominal | mm | 15 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 65, 80 | 100 | 125 | 150 | 200,250 | 300400 | 450-600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | pulg | ½ | ¾ | 1 | 1¼ | 1½ | 2 | 2½, 3 | 4 | 5 | 6 | 8: 10 | 12-16 | 18-24 |
| Factor de fricción ($f_T$) | | .027 | .025 | .023 | .022 | .021 | .019 | .018 | .017 | .016 | .015 | .014 | .013 | .012 |

## TABLA IIB.

# ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL


Si $\theta < 45°$ . . . . . $K_2$ = Fórmula 1

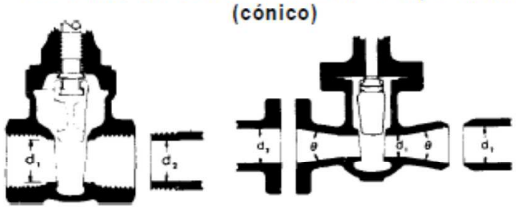
$45° < \theta < 180°$ . . . . $K_2$ = Fórmula 2

Fuente: Crame. (s.f.). *flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.* McGRAW-HILL

## TABLA IIC.

**A-24 TABLA DEL FACTOR "K" (página 2 de 4)**
**Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios**

### VÁLVULAS DE COMPUERTA
De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



Si: $\beta = 1, \theta = 0$ . . . . . $K_1 = 8 f_T$

$\beta < 1$ y $\theta < 45°$. . . . . $K_2$ = Fórmula 5

$\beta < 1$ y $45° < \theta < 180°$ . . . . $K_2$ = Fórmula 6

### VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE

$K = 100 f_T$ $K = 50 f_T$

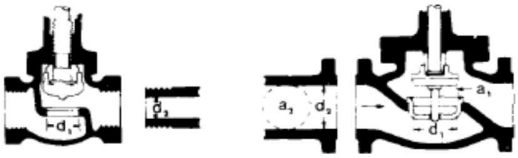
Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

(m/seg) = $45 \sqrt{V}$ = $75\sqrt{V}$

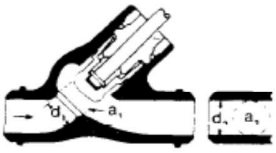
(pie/seg) = $35 \sqrt{V}$ = $60 \sqrt{V}$

U/L Registradas = $120 \sqrt{V}$ = $100 \sqrt{V}$

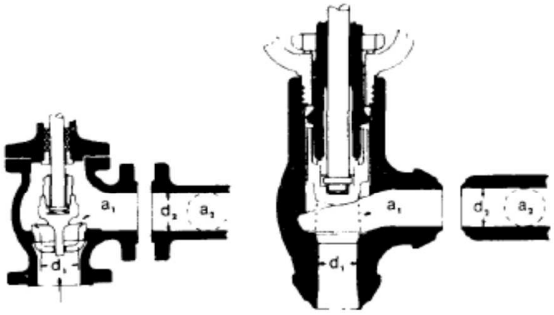
### VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES



Si: $\beta = 1$ $K_1 = 340 f_T$



Si: $\beta = 1 \ldots K_1 = 55 f_T$

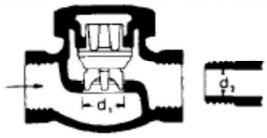


Si: $\beta = 1 \ldots K_1 = 150 f_T$ Si: $\beta = 1 \ldots K_1 = 55 f_T$

Todas las válvulas de globo y angulares con asiento reducido o de mariposa

Si: $\beta < 1 \ldots K_2$ = Fórmula 7

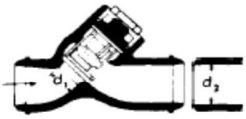
### VALVULAS DE RETENCIÓN DE OBTURADOR ASCENDENTE



Si: $\beta = 1 \ldots K_1 = 600 f_T$

$\beta < 1 \ldots K_2$ = Fórmula 7

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $50 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $40 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg

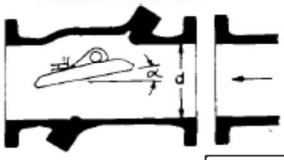


Si: $\beta = 1 \ldots K_1 = 55 f_T$

$\beta < 1 \ldots K_2$ = Fórmula 7

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $170 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $140 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg

### VALVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO BASCULANTE



| Pasos | $\alpha = 5°$ | $\alpha = 15$ |
|---|---|---|
| 50 mm (2") a 200 mm (8") $K$ = | $40 f_T$ | $120 f_T$ |
| 250 mm (10") a 350 mm (14") $K$ = | $30 f_T$ | $90 f_T$ |
| 400 mm (16") a 1200 mm (48") $K$ = | $20 f_T$ | $60 f_T$ |
| Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador = m/seg | $100 \sqrt{V}$ | $40 \sqrt{V}$ |
| pie/seg | $80 \sqrt{V}$ | $30 \sqrt{V}$ |

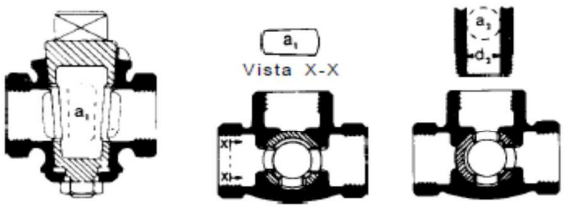
Fuente: Crame. (s.f.). *flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.* McGRAW-HILL

## TABLA IID.

### A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 4 de 4)
**Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios**

#### VÁLVULAS DE MACHO Y LLAVES

Paso directo — tres entradas




Si: $\beta = 1$, $K_1 = 18 f_T$ — Si: $\beta = 1$, $K_1 = 30 f_T$ — Si: $\beta = 1$, $K_r = 90 f_T$

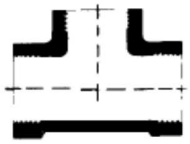
Si: $\beta < 1$ $K_2$ = Fórmula 6

#### CODOS ESTÁNDAR

90° — 45°

$K = 30 f_T$ — $K = 16 f_T$

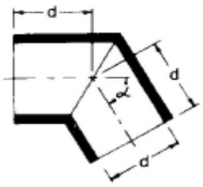
#### CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"



Flujo directo . . . . . $K = 20 f_T$

Flujo desviado a 90° . . $K = 60 f_T$

#### CURVAS EN ESCUADRA 0 FALSA ESCUADRA



| α | K |
|---|---|
| 0° | $2 f_T$ |
| 15° | $4 f_T$ |
| 30° | $8 f_T$ |
| 45° | $15 f_T$ |
| 60° | $25 f_T$ |
| 75° | $40 f_T$ |
| 90° | $60 f_T$ |

#### CURVAS Y CODOS DE 90" CON BRIDAS 0 CON EXTREMOS PARA SOLDAR A TOPE

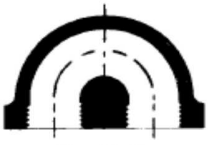
| r/d | K | r/d | K |
|---|---|---|---|
| 1 | $20 f_T$ | 8 | $24 f_T$ |
| 1.5 | $14 f_T$ | 10 | $30 f_T$ |
| 2 | $12 f_T$ | 12 | $34 f_T$ |
| 3 | $12 f_T$ | 14 | $38 f_T$ |
| 4 | $14 f_T$ | 16 | $42 f_T$ |
| 6 | $17 f_T$ | 20 | $50 f_T$ |

El coeficiente de resistencia $K_B$, para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

$$K_B = (n-1)\left(0.25\,\pi f_T \frac{r}{d} + 0.5\,K\right) + K$$

$n$ = número de curvas de 90°
$K$ = coeficiente de resistencia para una curva de 90° (según tabla)

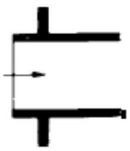
#### CURVAS DE 180" DE RADIO CORTO



$K = 50 f_T$

#### ENTRADAS DE TUBERÍA

Con resalte hacia el interior — A tope



$K = 0.78$

| r/d | K |
|---|---|
| 0.00* | 0.5 |
| 0.02 | 0.28 |
| 0.04 | 0.24 |
| 0.06 | 0.15 |
| 0.10 | 0.09 |
| 0.15 y más | 0.04 |

*de cantos vivos

Véanse los valores de K en la tabla

#### SALIDAS DE TUBERÍA

Con resalte — De cantos vivos — Redondeada

$K = 1.0$ — $K = 1.0$ — $K = 1.0$

Fuente: Crame. (s.f.). *flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.* McGRAW-HILL

**TABLA III.**

| TEMPERATURA ( °C ) | Peso específico $\gamma$ ( $N / m^3$ ) | Densidad $\rho$ ( $kg / m^3$ ) | Viscosidad dinámica $\mu$ ( Pa –s ) | Viscosidad cinemática $\nu$ ( $m^2 / s$ ) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 9810 | 1000 | $1,75 \times 10^{-3}$ | $1,75 \times 10^{-6}$ |
| 5 | 9810 | 1000 | $1,52 \times 10^{-3}$ | $1,52 \times 10^{-6}$ |
| 10 | 9810 | 1000 | $1,30 \times 10^{-3}$ | $1,30 \times 10^{-6}$ |
| 15 | 9810 | 1000 | $1,15 \times 10^{-3}$ | $1,15 \times 10^{-6}$ |
| 20 | 9790 | 998 | $1,02 \times 10^{-3}$ | $1,02 \times 10^{-7}$ |
| 25 | 9780 | 997 | $8,91 \times 10^{-4}$ | $8,94 \times 10^{-7}$ |
| 30 | 9770 | 996 | $8,00 \times 10^{-4}$ | $8,03 \times 10^{-7}$ |
| 35 | 9750 | 994 | $7,18 \times 10^{-4}$ | $7,22 \times 10^{-7}$ |
| 40 | 9730 | 992 | $6,51 \times 10^{-4}$ | $6,56 \times 10^{-7}$ |
| 45 | 9710 | 990 | $5,94 \times 10^{-4}$ | $6,00 \times 10^{-7}$ |
| 50 | 9690 | 988 | $5,41 \times 10^{-4}$ | $5,48 \times 10^{-7}$ |
| 55 | 9670 | 986 | $4,98 \times 10^{-4}$ | $5,05 \times 10^{-7}$ |
| 60 | 9650 | 984 | $4,60 \times 10^{-4}$ | $4,67 \times 10^{-7}$ |
| 65 | 9620 | 981 | $4,31 \times 10^{-4}$ | $4,39 \times 10^{-7}$ |
| 70 | 9590 | 978 | $4,02 \times 10^{-4}$ | $4,11 \times 10^{-7}$ |
| 75 | 9560 | 975 | $3,73 \times 10^{-4}$ | $3,83 \times 10^{-7}$ |
| 80 | 9530 | 971 | $3,50 \times 10^{-4}$ | $3,60 \times 10^{-7}$ |
| 85 | 9500 | 968 | $3,30 \times 10^{-4}$ | $3,41 \times 10^{-7}$ |
| 90 | 9470 | 965 | $3,11 \times 10^{-4}$ | $3,22 \times 10^{-7}$ |
| 95 | 9440 | 962 | $2,92 \times 10^{-4}$ | $3,04 \times 10^{-7}$ |
| 100 | 9400 | 958 | $2,82 \times 10^{-4}$ | $2,94 \times 10^{-7}$ |

Fuente: Viscosidad dinámica y cinemática del agua.
http://www.monografias.com/trabajos90/analisis-experimental/analisis-experimental.shtml

## TABLA IV.

**TOBERAS AJUSTABLES PRO** TOBERAS DE ARCO FIJO PRO TOBERAS INUNDADORES

**DATOS DE RENDIMIENTO DE LAS TOBERAS AJUSTABLES PRO**

| | | | 4A Verde Claro: 1,2 m radio, Ajustable de 0° a 360°, Trayectoria: 0° | | | | | 6A Azul Claro: 1,8 m radio, Ajustable de 0° a 360°, Trayectoria: 0° | | | | | 8A Marrón: 2,4 m radio, Ajustable de 0° a 360°, Trayectoria: 0° | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sector | Presión | | Radio | Caudal | | Pluv. mm/hr | | Radio | Caudal | | Pluv. mm/hr | | Radio | Caudal | | Pluv. mm/hr | |
| | bar | kPa | m | m³/hr | l/min | ■ | ▲ | m | m³/hr | l/min | ■ | ▲ | m | m³/hr | l/min | ■ | ▲ |
| 45° | 1,0 | 100 | 0,9 | 0,02 | 0,27 | 162 | 187 | 1,5 | 0,02 | 0,37 | 79 | 91 | 1,7 | 0,02 | 0,37 | 62 | 72 |
| | 1,5 | 150 | 0,9 | 0,02 | 0,34 | 202 | 234 | 1,5 | 0,03 | 0,46 | 98 | 113 | 2,1 | 0,03 | 0,47 | 51 | 59 |
| | 2,0 | 200 | 1,2 | 0,02 | 0,40 | 133 | 154 | 1,8 | 0,03 | 0,54 | 80 | 92 | 2,4 | 0,03 | 0,55 | 46 | 53 |
| | **2,1** | **210** | **1,2** | **0,02** | **0,41** | **137** | **158** | **1,8** | **0,03** | **0,55** | **82** | **95** | **2,7** | **0,03** | **0,56** | **37** | **43** |
| | 2,5 | 250 | 1,2 | 0,03 | 0,45 | 151 | 174 | 1,8 | 0,04 | 0,61 | 90 | 104 | 2,8 | 0,04 | 0,62 | 38 | 44 |
| 90° | 1,0 | 100 | 0,9 | 0,03 | 0,55 | 162 | 187 | 1,5 | 0,04 | 0,74 | 79 | 91 | 1,7 | 0,04 | 0,75 | 62 | 72 |
| | 1,5 | 150 | 0,9 | 0,04 | 0,68 | 202 | 234 | 1,5 | 0,06 | 0,92 | 98 | 113 | 2,1 | 0,06 | 0,93 | 51 | 59 |
| | 2,0 | 200 | 1,2 | 0,05 | 0,80 | 133 | 154 | 1,8 | 0,06 | 1,08 | 80 | 92 | 2,4 | 0,07 | 1,09 | 46 | 53 |
| | **2,1** | **210** | **1,2** | **0,05** | **0,82** | **137** | **158** | **1,8** | **0,07** | **1,11** | **82** | **95** | **2,7** | **0,07** | **1,12** | **37** | **43** |
| | 2,5 | 250 | 1,2 | 0,05 | 0,9 | 151 | 174 | 1,8 | 0,07 | 1,22 | 90 | 104 | 2,8 | 0,07 | 1,24 | 38 | 44 |
| 120° | 1,0 | 100 | 0,9 | 0,04 | 0,73 | 162 | 187 | 1,5 | 0,06 | 0,98 | 79 | 91 | 1,7 | 0,06 | 1,00 | 62 | 72 |
| | 1,5 | 150 | 0,9 | 0,05 | 0,91 | 202 | 234 | 1,5 | 0,07 | 1,23 | 98 | 113 | 2,1 | 0,07 | 1,24 | 51 | 59 |
| | 2,0 | 200 | 1,2 | 0,06 | 1,07 | 133 | 154 | 1,8 | 0,09 | 1,44 | 80 | 92 | 2,4 | 0,09 | 1,46 | 46 | 53 |
| | **2,1** | **210** | **1,2** | **0,07** | **1,10** | **137** | **158** | **1,8** | **0,09** | **1,48** | **82** | **95** | **2,7** | **0,09** | **1,50** | **37** | **43** |
| | 2,5 | 250 | 1,2 | 0,07 | 1,21 | 151 | 174 | 1,8 | 0,10 | 1,62 | 90 | 104 | 2,8 | 0,10 | 1,65 | 38 | 44 |
| 180° | 1,0 | 100 | 0,9 | 0,07 | 1,09 | 162 | 187 | 1,5 | 0,09 | 1,47 | 79 | 91 | 1,7 | 0,09 | 1,49 | 62 | 72 |
| | 1,5 | 150 | 0,9 | 0,08 | 1,37 | 202 | 234 | 1,5 | 0,11 | 1,84 | 98 | 113 | 2,1 | 0,11 | 1,87 | 51 | 59 |
| | 2,0 | 200 | 1,2 | 0,10 | 1,60 | 133 | 154 | 1,8 | 0,13 | 2,16 | 80 | 92 | 2,4 | 0,13 | 2,19 | 46 | 53 |
| | **2,1** | **210** | **1,2** | **0,10** | **1,64** | **137** | **158** | **1,8** | **0,13** | **2,21** | **82** | **95** | **2,7** | **0,13** | **2,25** | **37** | **43** |
| | 2,5 | 250 | 1,2 | 0,11 | 1,81 | 151 | 174 | 1,8 | 0,15 | 2,44 | 90 | 104 | 2,8 | 0,15 | 2,47 | 38 | 44 |
| 240° | 1,0 | 100 | 0,9 | 0,09 | 1,46 | 162 | 187 | 1,5 | 0,12 | 1,96 | 79 | 91 | 1,7 | 0,12 | 1,99 | 62 | 72 |
| | 1,5 | 150 | 0,9 | 0,11 | 1,82 | 202 | 234 | 1,5 | 0,15 | 2,45 | 98 | 113 | 2,1 | 0,15 | 2,49 | 51 | 59 |
| | 2,0 | 200 | 1,2 | 0,13 | 2,13 | 133 | 154 | 1,8 | 0,17 | 2,87 | 80 | 92 | 2,4 | 0,17 | 2,92 | 46 | 53 |
| | **2,1** | **210** | **1,2** | **0,13** | **2,19** | **137** | **158** | **1,8** | **0,18** | **2,95** | **82** | **95** | **2,7** | **0,18** | **2,99** | **37** | **43** |
| | 2,5 | 250 | 1,2 | 0,14 | 2,41 | 151 | 174 | 1,8 | 0,19 | 3,25 | 90 | 104 | 2,8 | 0,20 | 3,30 | 38 | 44 |
| 270° | 1,0 | 100 | 0,9 | 0,10 | 1,64 | 162 | 187 | 1,2 | 0,13 | 2,21 | 123 | 142 | 1,7 | 0,13 | 2,24 | 62 | 72 |
| | 1,5 | 150 | 0,9 | 0,12 | 2,05 | 202 | 234 | 1,5 | 0,17 | 2,76 | 98 | 113 | 2,1 | 0,17 | 2,80 | 51 | 59 |
| | 2,0 | 200 | 1,2 | 0,14 | 2,40 | 133 | 154 | 1,8 | 0,19 | 3,23 | 80 | 92 | 2,4 | 0,20 | 3,28 | 46 | 53 |
| | **2,1** | **210** | **1,2** | **0,15** | **2,47** | **137** | **158** | **1,8** | **0,20** | **3,32** | **82** | **95** | **2,7** | **0,20** | **3,37** | **37** | **43** |
| | 2,5 | 250 | 1,2 | 0,16 | 2,71 | 151 | 174 | 1,8 | 0,22 | 3,66 | 90 | 104 | 2,8 | 0,22 | 3,71 | 38 | 44 |
| 360° | 1,0 | 100 | 0,9 | 0,13 | 2,19 | 162 | 187 | 1,2 | 0,18 | 2,94 | 123 | 142 | 1,7 | 0,18 | 2,99 | 62 | 72 |
| | 1,5 | 150 | 0,9 | 0,16 | 2,73 | 202 | 234 | 1,5 | 0,22 | 3,68 | 98 | 113 | 2,1 | 0,22 | 3,73 | 51 | 59 |
| | 2,0 | 200 | 1,2 | 0,19 | 3,20 | 133 | 154 | 1,8 | 0,26 | 4,31 | 80 | 92 | 2,4 | 0,26 | 4,37 | 46 | 53 |
| | **2,1** | **210** | **1,2** | **0,20** | **3,29** | **137** | **158** | **1,8** | **0,27** | **4,43** | **82** | **95** | **2,7** | **0,27** | **4,49** | **37** | **43** |
| | 2,5 | 250 | 1,2 | 0,22 | 3,62 | 151 | 174 | 1,8 | 0,29 | 4,87 | 90 | 104 | 2,8 | 0,30 | 4,94 | 38 | 44 |

**Nota** = el rendimiento óptimo de las toberas está indicado en negrita.

Fuente**:** Catálogo de productos Hunter.

## TABLA V.

**TOBERAS AJUSTABLES PRO** TOBERAS DE ARCO FIJO PRO TOBERAS INUNDADORES

**DATOS DE RENDIMIENTO DE LAS TOBERAS AJUSTABLES PRO**

| | | 10A | 3,0 m radio<br>Ajustable de 0° a 360°<br>Trayectoria: 15° | | | | | 12A | 3,7 m radio<br>Ajustable de 0° a 360°<br>Trayectoria: 28° | | | | | 15A | 4,6 m radio<br>Ajustable de 0° a 360°<br>Trayectoria: 28° | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Rojo | | | | | | Verde | | | | | | Negro | | | | | |
| Sector | Presión | Radio | Caudal | | Pluv. mm/hr | | | Radio | Caudal | | Pluv. mm/hr | | | Radio | Caudal | | Pluv. mm/hr | | |
| | bar kPa | m | m³/hr | l/min | ■ | ▲ | | m | m³/hr | l/min | ■ | ▲ | | m | m³/hr | l/min | ■ | ▲ | |
| 45° | 1,0 100 | 2,1 | 0,04 | 0,63 | 68 | 79 | | 2,7 | 0,05 | 0,81 | 53 | 61 | | 3,4 | 0,07 | 1,19 | 50 | 57 | |
| | 1,5 150 | 2,4 | 0,05 | 0,79 | 66 | 76 | | 3,2 | 0,06 | 1,01 | 47 | 55 | | 3,9 | 0,09 | 1,49 | 47 | 54 | |
| | 2,0 200 | 3,0 | 0,06 | 0,92 | 49 | 57 | | 3,7 | 0,07 | 1,18 | 42 | 48 | | 4,6 | 0,10 | 1,75 | 40 | 46 | |
| | **2,1 210** | **3,3** | **0,06** | **0,95** | **42** | **48** | | **4,0** | **0,07** | **1,22** | **36** | **42** | | **4,9** | **0,11** | **1,80** | **36** | **41** | |
| | 2,5 250 | 3,5 | 0,06 | 1,04 | 41 | 47 | | 4,2 | 0,08 | 1,34 | 36 | 42 | | 5,2 | 0,12 | 1,98 | 35 | 40 | |
| 90° | 1,0 100 | 2,1 | 0,08 | 1,26 | 68 | 79 | | 2,7 | 0,10 | 1,62 | 53 | 61 | | 3,4 | 0,14 | 2,39 | 50 | 57 | |
| | 1,5 150 | 2,4 | 0,09 | 1,57 | 66 | 76 | | 3,2 | 0,12 | 2,02 | 47 | 55 | | 3,9 | 0,18 | 2,98 | 47 | 54 | |
| | 2,0 200 | 3,0 | 0,11 | 1,84 | 49 | 57 | | 3,7 | 0,14 | 2,37 | 42 | 48 | | 4,6 | 0,21 | 3,50 | 40 | 46 | |
| | **2,1 210** | **3,3** | **0,11** | **1,89** | **42** | **48** | | **4,0** | **0,15** | **2,43** | **36** | **42** | | **4,9** | **0,22** | **3,59** | **36** | **41** | |
| | 2,5 250 | 3,5 | 0,12 | 2,08 | 41 | 47 | | 4,2 | 0,16 | 2,68 | 36 | 42 | | 5,2 | 0,24 | 3,95 | 35 | 40 | |
| 120° | 1,0 100 | 2,1 | 0,10 | 1,68 | 68 | 79 | | 2,7 | 0,13 | 2,16 | 53 | 61 | | 3,4 | 0,19 | 3,18 | 50 | 57 | |
| | 1,5 150 | 2,4 | 0,13 | 2,10 | 66 | 76 | | 3,2 | 0,16 | 2,70 | 47 | 55 | | 3,9 | 0,24 | 3,98 | 47 | 54 | |
| | 2,0 200 | 3,0 | 0,15 | 2,46 | 49 | 57 | | 3,7 | 0,19 | 3,16 | 42 | 48 | | 4,6 | 0,28 | 4,66 | 40 | 46 | |
| | **2,1 210** | **3,3** | **0,15** | **2,52** | **42** | **48** | | **4,0** | **0,19** | **3,24** | **36** | **42** | | **4,9** | **0,29** | **4,79** | **36** | **41** | |
| | 2,5 250 | 3,5 | 0,17 | 2,78 | 41 | 47 | | 4,2 | 0,21 | 3,57 | 36 | 42 | | 5,2 | 0,32 | 5,27 | 35 | 40 | |
| 180° | 1,0 100 | 2,1 | 0,15 | 2,52 | 68 | 79 | | 2,7 | 0,19 | 3,23 | 53 | 61 | | 3,4 | 0,29 | 4,77 | 50 | 57 | |
| | 1,5 150 | 2,4 | 0,19 | 3,14 | 66 | 76 | | 3,2 | 0,24 | 4,04 | 47 | 55 | | 3,9 | 0,36 | 5,97 | 47 | 54 | |
| | 2,0 200 | 3,0 | 0,22 | 3,68 | 49 | 57 | | 3,7 | 0,28 | 4,74 | 42 | 48 | | 4,6 | 0,42 | 6,99 | 40 | 46 | |
| | **2,1 210** | **3,3** | **0,23** | **3,78** | **42** | **48** | | **4,0** | **0,29** | **4,86** | **36** | **42** | | **4,9** | **0,43** | **7,18** | **36** | **41** | |
| | 2,5 250 | 3,5 | 0,25 | 4,16 | 41 | 47 | | 4,2 | 0,32 | 5,35 | 36 | 42 | | 5,2 | 0,47 | 7,90 | 35 | 40 | |
| 240° | 1,0 100 | 2,1 | 0,20 | 3,35 | 68 | 79 | | 2,7 | 0,26 | 4,31 | 53 | 61 | | 3,4 | 0,38 | 6,37 | 50 | 57 | |
| | 1,5 150 | 2,4 | 0,25 | 4,19 | 66 | 76 | | 3,2 | 0,32 | 5,39 | 47 | 55 | | 3,9 | 0,48 | 7,96 | 47 | 54 | |
| | 2,0 200 | 3,0 | 0,29 | 4,91 | 49 | 57 | | 3,7 | 0,38 | 6,31 | 42 | 48 | | 4,6 | 0,56 | 9,32 | 40 | 46 | |
| | **2,1 210** | **3,3** | **0,30** | **5,04** | **42** | **48** | | **4,0** | **0,39** | **6,49** | **36** | **42** | | **4,9** | **0,57** | **9,57** | **36** | **41** | |
| | 2,5 250 | 3,5 | 0,33 | 5,55 | 41 | 47 | | 4,2 | 0,43 | 7,14 | 36 | 42 | | 5,2 | 0,63 | 10,54 | 35 | 40 | |
| 270° | 1,0 100 | 2,1 | 0,23 | 3,77 | 68 | 79 | | 2,7 | 0,29 | 4,85 | 53 | 61 | | 3,4 | 0,43 | 7,16 | 50 | 57 | |
| | 1,5 150 | 2,4 | 0,28 | 4,72 | 66 | 76 | | 3,2 | 0,36 | 6,06 | 47 | 55 | | 3,9 | 0,54 | 8,95 | 47 | 54 | |
| | 2,0 200 | 3,0 | 0,33 | 5,52 | 49 | 57 | | 3,7 | 0,43 | 7,10 | 42 | 48 | | 4,6 | 0,63 | 10,49 | 40 | 46 | |
| | **2,1 210** | **3,3** | **0,34** | **5,68** | **42** | **48** | | **4,0** | **0,44** | **7,30** | **36** | **42** | | **4,9** | **0,65** | **10,77** | **36** | **41** | |
| | 2,5 250 | 3,5 | 0,37 | 6,25 | 41 | 47 | | 4,2 | 0,48 | 8,03 | 36 | 42 | | 5,2 | 0,71 | 11,86 | 35 | 40 | |
| 360° | 1,0 100 | 2,1 | 0,30 | 5,03 | 68 | 79 | | 2,7 | 0,39 | 6,47 | 53 | 61 | | 3,4 | 0,57 | 9,55 | 50 | 57 | |
| | 1,5 150 | 2,4 | 0,38 | 6,29 | 66 | 76 | | 3,2 | 0,49 | 8,09 | 47 | 55 | | 3,9 | 0,72 | 11,94 | 47 | 54 | |
| | 2,0 200 | 3,0 | 0,44 | 7,37 | 49 | 57 | | 3,7 | 0,57 | 9,47 | 42 | 48 | | 4,6 | 0,84 | 13,98 | 40 | 46 | |
| | **2,1 210** | **3,3** | **0,45** | **7,57** | **42** | **48** | | **4,0** | **0,58** | **9,73** | **36** | **42** | | **4,9** | **0,86** | **14,36** | **36** | **41** | |
| | 2,5 250 | 3,5 | 0,50 | 8,33 | 41 | 47 | | 4,2 | 0,64 | 10,71 | 36 | 42 | | 5,2 | 0,95 | 15,81 | 35 | 40 | |

**Nota** = el rendimiento óptimo de las toberas está indicado en negrita.

Fuente**:** Catálogo de productos Hunter.

## TABLA VI.

**TOBERAS AJUSTABLES PRO** TOBERAS DE ARCO FIJO PRO TOBERAS INUNDADORES

### DATOS DE RENDIMIENTO DE LAS TOBERAS AJUSTABLES PRO

**17A** ● Gris

5,2 m radio
Ajustable de 0° a 360°
Trayectoria: 28°

| Sector | Presión bar | Presión kPa | Radio m | Caudal m³/hr | Caudal l/min | Pluv. mm/hr ■ | Pluv. mm/hr ▲ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 45° | 1,0 | 100 | 4,7 | 0,09 | 1,54 | 33 | 39 |
| | 1,5 | 150 | 4,9 | 0,12 | 1,93 | 38 | 44 |
| | 2,0 | 200 | 5,2 | 0,14 | 2,26 | 40 | 46 |
| | **2,1** | **210** | **5,5** | **0,14** | **2,32** | **37** | **42** |
| | 2,5 | 250 | 5,7 | 0,15 | 2,55 | 38 | 43 |
| 90° | 1,0 | 100 | 4,7 | 0,18 | 3,08 | 33 | 39 |
| | 1,5 | 150 | 4,9 | 0,23 | 3,85 | 38 | 44 |
| | 2,0 | 200 | 5,2 | 0,27 | 4,51 | 40 | 46 |
| | **2,1** | **210** | **5,5** | **0,28** | **4,63** | **37** | **42** |
| | 2,5 | 250 | 5,7 | 0,31 | 5,10 | 38 | 43 |
| 120° | 1,0 | 100 | 4,7 | 0,25 | 4,11 | 33 | 39 |
| | 1,5 | 150 | 4,9 | 0,31 | 5,13 | 38 | 44 |
| | 2,0 | 200 | 5,2 | 0,36 | 6,01 | 40 | 46 |
| | **2,1** | **210** | **5,5** | **0,37** | **6,18** | **37** | **42** |
| | 2,5 | 250 | 5,7 | 0,41 | 6,80 | 38 | 43 |
| 180° | 1,0 | 100 | 4,7 | 0,37 | 6,16 | 33 | 39 |
| | 1,5 | 150 | 4,9 | 0,46 | 7,70 | 38 | 44 |
| | 2,0 | 200 | 5,2 | 0,54 | 9,02 | 40 | 46 |
| | **2,1** | **210** | **5,5** | **0,56** | **9,27** | **37** | **42** |
| | 2,5 | 250 | 5,7 | 0,61 | 10,20 | 38 | 43 |
| 240° | 1,0 | 100 | 4,7 | 0,49 | 8,21 | 33 | 39 |
| | 1,5 | 150 | 4,9 | 0,62 | 10,27 | 38 | 44 |
| | 2,0 | 200 | 5,2 | 0,72 | 12,03 | 40 | 46 |
| | **2,1** | **210** | **5,5** | **0,74** | **12,35** | **37** | **42** |
| | 2,5 | 250 | 5,7 | 0,82 | 13,60 | 38 | 43 |
| 270° | 1,0 | 100 | 4,7 | 0,55 | 9,24 | 33 | 39 |
| | 1,5 | 150 | 4,9 | 0,69 | 11,55 | 38 | 44 |
| | 2,0 | 200 | 5,2 | 0,81 | 13,53 | 40 | 46 |
| | **2,1** | **210** | **5,5** | **0,83** | **13,90** | **37** | **42** |
| | 2,5 | 250 | 5,7 | 0,92 | 15,30 | 38 | 43 |
| 360° | 1,0 | 100 | 4,7 | 0,74 | 12,32 | 33 | 39 |
| | 1,5 | 150 | 4,9 | 0,92 | 15,40 | 38 | 44 |
| | 2,0 | 200 | 5,2 | 1,08 | 18,04 | 40 | 46 |
| | **2,1** | **210** | **5,5** | **1,11** | **18,53** | **37** | **42** |
| | 2,5 | 250 | 5,7 | 1,22 | 20,40 | 38 | 43 |

**Nota** = el rendimiento óptimo de las toberas está indicado en negrita.

**Toberas Ajustables Pro**

Fuente**:** Catálogo de productos Hunter.

## TABLA VII.

Durman®
an Aliaxis company

**PROFORMA 055**

RUC: J0310000005460
PBX:(505)22331254 #Fax (505)22709777
Semaforos de Enel Central 200 Mts al Oeste.

CLIENTE: DENIS JOSE REYNOSA
ATENCION:
PROYECTO:
DIRECCION: MANAGUA.
MAIL:

FECHA: 29/09/2015
TELEFONO:
FAX:
CEL:

| ITEM | CANTIDAD | COD. SAP | DESCRIPCION | P.UNIT $ | TIEMPO ENTREGA | P. TOTAL $ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 2005879 | CODO LISO PVC PRES 38MM (1 1/2")X90 BL | 0.34 | inmediato | 0.34 |
| 2 | 1 | 2005891 | TE LISA PVC PRES 38MM (1 1/2") BL | 0.42 | inmediato | 0.42 |
| 3 | 1 | 2005835 | UNION LISA PVC PRES 38MM(1 1/2") BL | 0.19 | inmediato | 0.19 |
| 4 | 1 | 2005932 | CODO LISO PVC PRES 38MM ( 1 1/2")X45 BL | 0.47 | inmediato | 0.47 |
| 5 | 1 | 2005851 | RED LI PVC PRES 38MM(11/2")X12MM(1/2")BL | 0.30 | inmediato | 0.30 |
| 6 | 1 | 9004374 | LLAVE BOLA PVC C/R PRES 38MM (1 1/2") BL | 3.03 | inmediato | 3.03 |
| 7 | 1 | 2005274 | TUBO PVC 38MM(1 1/2")X6M SDR26 CC GR | 5.21 | inmediato | 5.21 |
| ********** ULTIMA LINEA ********** | | | | | | |
| | | | | | SUB TOTAL $ | |
| | | | | | IVA | |
| | | | | | TOTAL $ | |

**Notas:**

1- npo de entrega:
2- gar de entrega: Nuestras bodegas.
3- rma de pago: Contado.
4- dez de la oferta: 08 Días
5- bservaciones Somos Exentos del:
**2% de IR**
**1% de la Alcaldia**
Favor realizar los cheques a nombre de: **DURMAN ESQUIVEL INDUSTRIAL DE NICARAGUA,S.A**

| TRANSFERENCIAS BANCARIAS | |
|---|---|
| BAC (C$) | 149 - 12549 - 2 |
| BAC (U$) | 154 - 11807 - 2 |
| BANCENTRO (C$) | 260200275 |

Terminada la vigencia estipulada en la presente cotización, los precios son sujetos a reconfirmación al momento de autorizar por orden de compra y/o la misma oferta podrá invalidarse automaticamente si los precios internacionales varian
No se aceptan devoluciones.

Hablemos
Ing. Walter Solorzano
Asesor Tecnico de Riego
Cel.: (505) 83966799

Email: wquerrero@aliaxis-la.com

El cliente en forma expresa manifiesta conocer y aceptar las condiciones expuestas en esta proforma:
Durman

## Tabla VIII.

**TECNORIEGOS, S.A.**

| | |
|---|---|
| PARA: DENIS JIRON<br>ATTN: EL MISMO. | FECHA: 21-jul-15<br>PROFORMA<br>FAX: 2250-6169 |
| DE: ING. ZENELIA BLANCO.<br>TECNORIEGOS, S.A<br>MANAGUA, NIC<br>Email: operaciones@tecnoriegossa.com | TEL: 2249-3221<br>CEL: 8396 0472 |
| REFERENCIA | |

| ÍTEM # | CANT. | DESCRIPCIÓN | PRECIO UNIT. U$ | PRECIO TOTAL U$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | ASPERSOR K - RAIN<br>*ULTIMA LINEA* | 18.00 | 18.00 |
| | | | *SUB TOTAL US$* | 18.00 |
| | | | *IMPUESTO US$* | |
| | | | *PRECIO TOTAL US$* | 18.00 |

*ELABORAR CHEQUE A NOMBRE DE : TECNORIEGOS, S.A*

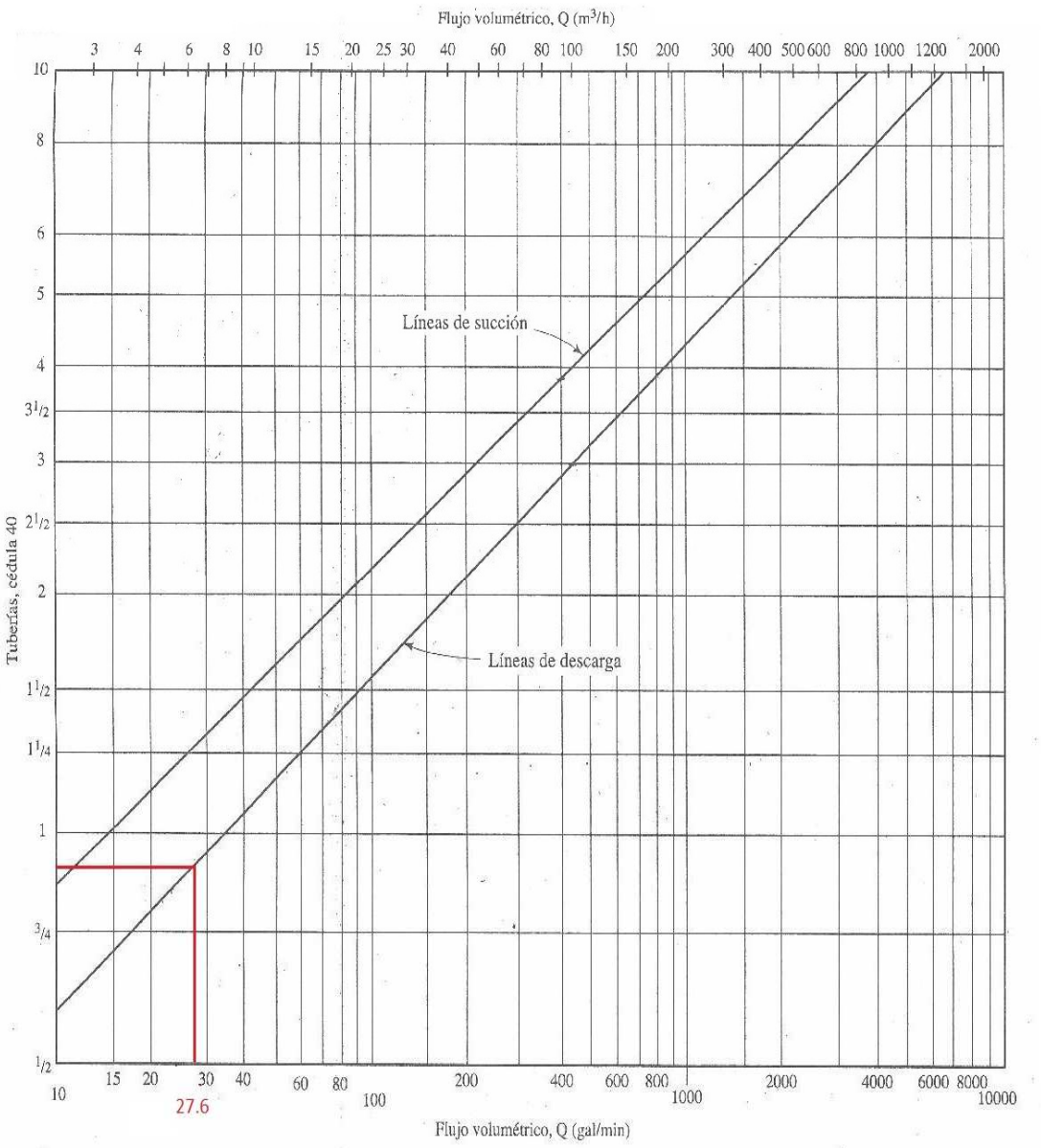
| | |
|---|---|
| *FORMA DE PAGO:* | *CONTADO* |
| *TIEMPO DE ENTREGA:* | *INMEDIATA* |
| *VALIDEZ DE LA OFERTA:* | *15 DIAS* |
| *OBSERVACIONES DE LA OFERTA:* | |

**Tabla IX.**

| Tamaño nominal de la tubería (pulgadas) | Diámetro exterior | | Grosor de la pared | | Diámetro interior | | | Área de flujo | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (pulg) | (mm) | (pulg) | (mm) | (pulg) | (pie) | (mm) | ($pie^2$) | ($m^2$) |
| 1/8 | 0.405 | 10.3 | 0.068 | 1.73 | 0.269 | 0.0224 | 6.8 | 0.000 394 | $3.660 \times 10^{-5}$ |
| 1/4 | 0.540 | 13.7 | 0.088 | 2.24 | 0.364 | 0.0303 | 9.2 | 0.000 723 | $6.717 \times 10^{-5}$ |
| 3/8 | 0.675 | 17.1 | 0.091 | 2.31 | 0.493 | 0.0411 | 12.5 | 0.001 33 | $1.236 \times 10^{-4}$ |
| 1/2 | 0.840 | 21.3 | 0.109 | 2.77 | 0.622 | 0.0518 | 15.8 | 0.002 11 | $1.960 \times 10^{-4}$ |
| 3/4 | 1.050 | 26.7 | 0.113 | 2.87 | 0.824 | 0.0687 | 20.9 | 0.003 70 | $3.437 \times 10^{-4}$ |
| 1 | 1.315 | 33.4 | 0.133 | 3.38 | 1.049 | 0.0874 | 26.6 | 0.006 00 | $5.574 \times 10^{-4}$ |
| 1 1/4 | 1.660 | 42.2 | 0.140 | 3.56 | 1.380 | 0.1150 | 35.1 | 0.010 39 | $9.653 \times 10^{-4}$ |
| 1 1/2 | 1.900 | 48.3 | 0.145 | 3.68 | 1.610 | 0.1342 | 40.9 | 0.014 14 | $1.314 \times 10^{-3}$ |
| 2 | 2.375 | 60.3 | 0.154 | 3.91 | 2.067 | 0.1723 | 52.5 | 0.023 33 | $2.168 \times 10^{-3}$ |
| 2 1/2 | 2.875 | 73.0 | 0.203 | 5.16 | 2.469 | 0.2058 | 62.7 | 0.033 26 | $3.090 \times 10^{-3}$ |
| 3 | 3.500 | 88.9 | 0.216 | 5.49 | 3.068 | 0.2557 | 77.9 | 0.051 32 | $4.768 \times 10^{-3}$ |
| 3 1/2 | 4.000 | 101.6 | 0.226 | 5.74 | 3.548 | 0.2957 | 90.1 | 0.068 68 | $6.381 \times 10^{-3}$ |
| 4 | 4.500 | 114.3 | 0.237 | 6.02 | 4.026 | 0.3355 | 102.3 | 0.088 40 | $8.213 \times 10^{-3}$ |
| 5 | 5.563 | 141.3 | 0.258 | 6.55 | 5.047 | 0.4206 | 128.2 | 0.139 0 | $1.291 \times 10^{-2}$ |
| 6 | 6.625 | 168.3 | 0.280 | 7.11 | 6.065 | 0.5054 | 154.1 | 0.200 6 | $1.864 \times 10^{-2}$ |
| 8 | 8.625 | 219.1 | 0.322 | 8.18 | 7.981 | 0.6651 | 202.7 | 0.347 2 | $3.226 \times 10^{-2}$ |
| 10 | 10.750 | 273.1 | 0.365 | 9.27 | 10.020 | 0.8350 | 254.5 | 0.547 9 | $5.090 \times 10^{-2}$ |
| 12 | 12.750 | 323.9 | 0.406 | 10.31 | 11.938 | 0.9948 | 303.2 | 0.777 1 | $7.219 \times 10^{-2}$ |
| 14 | 14.000 | 355.6 | 0.437 | 11.10 | 13.126 | 1.094 | 333.4 | 0.939 6 | $8.729 \times 10^{-2}$ |
| 16 | 16.000 | 406.4 | 0.500 | 12.70 | 15.000 | 1.250 | 381.0 | 1.227 | 0.1140 |
| 18 | 18.000 | 457.2 | 0.562 | 14.27 | 16.876 | 1.406 | 428.7 | 1.553 | 0.1443 |
| 20 | 20.000 | 508.0 | 0.593 | 15.06 | 18.814 | 1.568 | 477.9 | 1.931 | 0.1794 |
| 24 | 24.000 | 609.6 | 0.687 | 17.45 | 22.626 | 1.886 | 574.7 | 2.792 | 0.2594 |

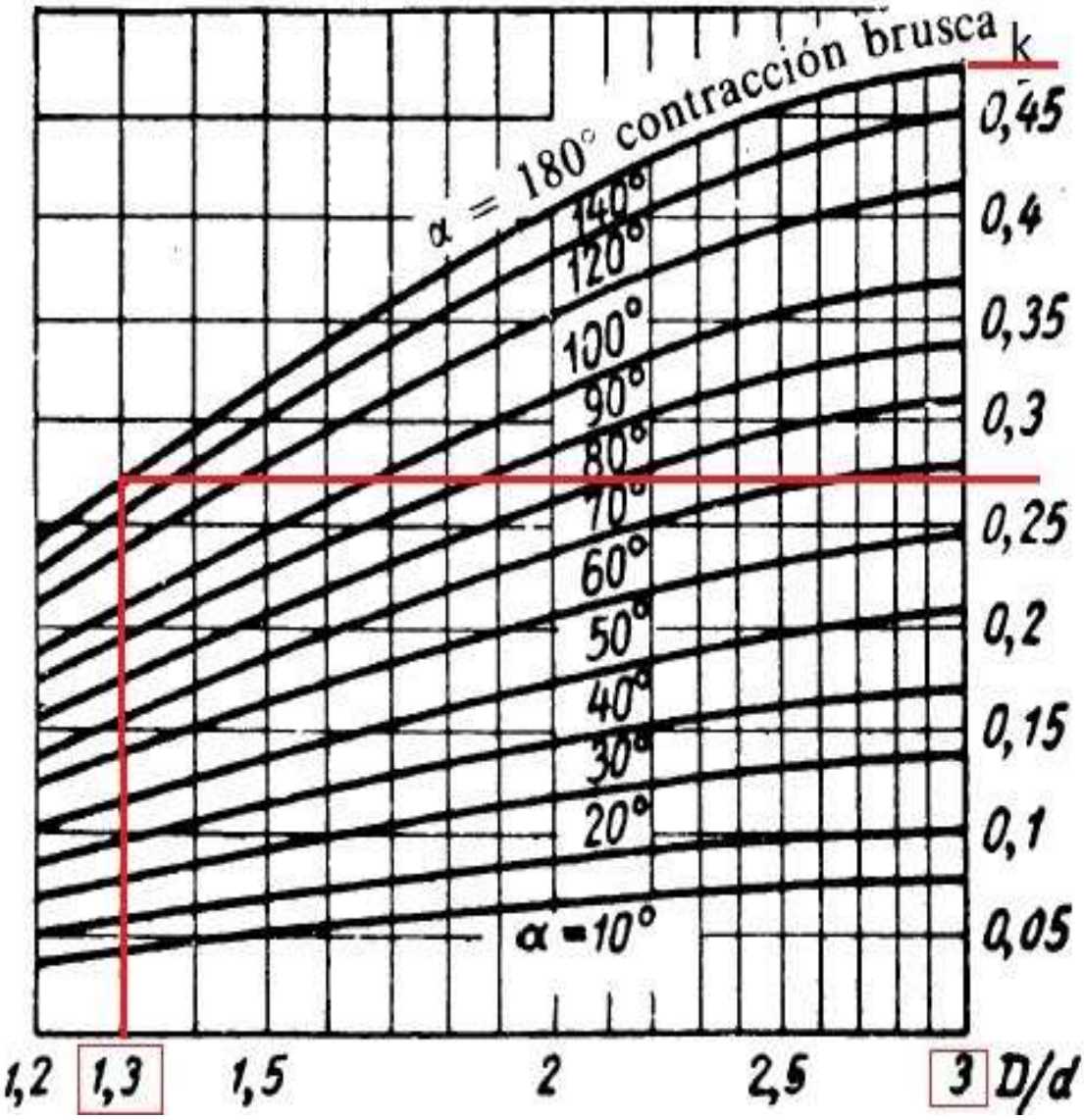
Fuente: Mott, r. L. (s.f.). *Mecanica de Fluidos Aplicada.* PEARSON.

## Diagrama I.




Fuente: Mott, r. L. (s.f.). *Mecanica de Fluidos Aplicada.* PEARSON.

**Diagrama II.**

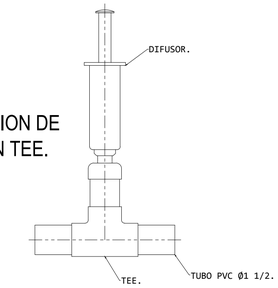



Fuente: Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y maquinas hidraulicas* (Segunda ed.). Ediciones del Castillo SA.

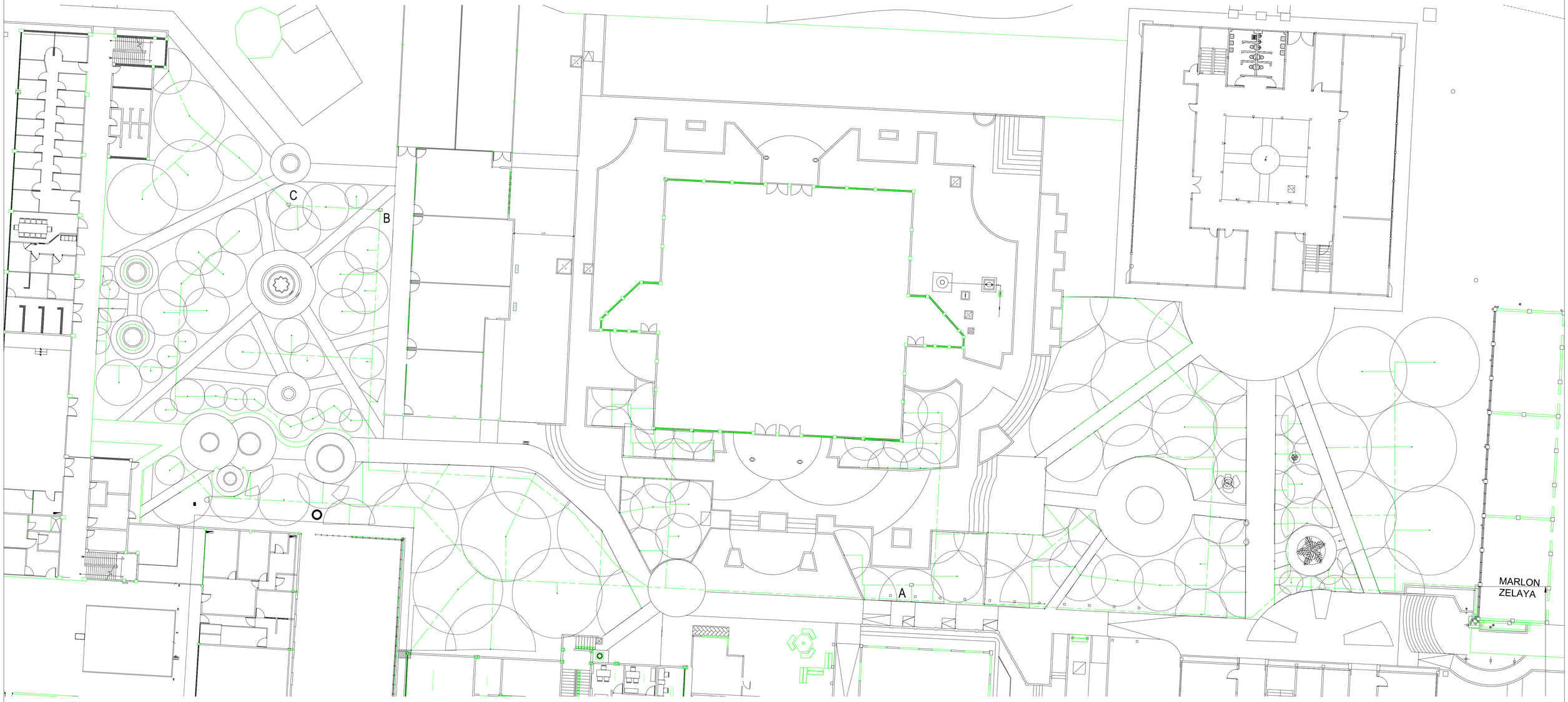
**PLANOS.**


| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 / 1 | SISTEMA DE RIEGO RUPAP. | | | UNI |
| DIBUJADO POR: DENIS JOSE JIRON REYNOSA. | FIRMA. | FECHA. 30/11/15 | | GRUPO. |
| REVISADO POR: | | FECHA. 30/11/15 | | ESCALA 1:100 |

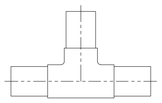
DETALLE TIPICO DE CONEXION DE ASPERSOR A TUBERIA EN TEE.
ESCALA 1:5



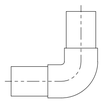

DETALLE TIPICO DE CONEXION DE ASPERSOR A TUBERIA EN CODO.
ESCALA 1:5

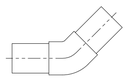




DETALLE A
ESCALA 1:5



DETALLE B
ESCALA 1:5





DETALLE C
ESCALA 1:5

LINEA DE TUBERIA.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 / 1 | DISTRUBUCION DE TALLER. | | | UNI |
| DIBUJADO POR: | FIRMA. | FECHA. 15/05/15 | | GRUPO 5M1-MEC. |
| REVISADO POR: | | FECHA. 15/05/15 | | ESCALA 1:100 |