

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISION DE INGENIERIA**



Evaluación de un dosificador de fertilizantes

POR:

WILBER ONORIO PEREZ MIGUEL

TESIS.

**Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:**

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Mayo del 2001.

**UNIVERSIDAD AUTONÓMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERIA**

Evaluación de un dosificador de fertilizantes

POR:

WILBER ONORIO PEREZ MIGUEL

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de: Ingeniero Agrónomo en irrigación.

APROBADA

El presidente del jurado

**DR. Felipe de Jesús ortega Rivera
Asesor principal**

**MC. Manuel Gonzáles Molina
Asesor**

**MC. Gregorio Briones Sánchez
Asesor**

El coordinador de la división de ingeniería.

ING. Jesús R. Valenzuela García.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. mayo del 2001.

DEDICATORIA

A DIOS NUESTRO SEÑOR:

Por haberme dado la oportunidad de existir, y la facultad de ser, un ente con capacidad de raciocinio y sin dificultades físicas para desarrollarme en todos los ámbitos. Otra vez gracias, señor.

CON PROFUNDO AMOR A MIS PADRES:

Sr. Esteban Pérez López.

Sra. Margarita Miguel Velásquez.

A mis padres, personas a quien les debo todo lo que ahora tengo, por que han luchado incansablemente para alcanzar las metas que sean fijado que trabajaron juntos partiendo de la nada. Por todo sus esfuerzos, sacrificios de estar sus hijos antes que ellos y todos sus consejos, este titulo es para ustedes. Y muchas gracias por ser mis padres.

A MIS HERMANOS:

Juan, Florydalma, Gloria E., Yesenia, Jorge L., Vladimir.

A todos ellos también dedico este titulo por su apoyo incondicional y confianza que depositaron en mi y además por todo su cariño que extrañe en todo el tiempo de ausencia, a todos ustedes muchas gracias.

A MIS ABUELOS:

Maria C.

Jerónima.

Mariano. (+)

Pablo. (+)

Gracias por toda su comprensión, consejos y ese gran amor que siempre nos han brindado.

A MIS SOBRINAS:

Karen E., Lady L., Andrea G., Eylen E.

A ellas que por su inocencia e inteligencia llenaron de alegría nuestra casa haciendo sentir a sus padres y abuelos orgullosos de ellas.

A MIS AMIGOS:

Jorge A, Rigoberto, Sra. Emperatriz y a todos los ex-compañeros de trabajo.

Gracias por su amistad y ayuda moral que siempre existió.

A MIS COMPAÑEROS DE LA GENERACIÓN XC DE IRRIGACIÓN:

Alexis De los santos Cueto

Omar Moreno Aquino

Jorge Elí Muños Ramírez

Joaquín Sánchez Gutiérrez.

Lidia Y, Justino G., Joaquín M., Arturo, José Ignacio, Miguel, Juan, Javier, Aristeo, Jesús, Felipe, Vicente, Juan R.

Gracias por esa gran amistad incondicional y por el apoyo moral que siempre me mostraron en los tiempos buenos así como en los malos.

A MIS COMPAÑEROS DE CUARTO:

Octavio Martínez Urbina, Alexis Rosas Trinidad, Weyler Ordóñez

Gracias por saber vivir en comunidad con los demás.

A MI NOVIA:

A ti, Mithzi Allende Sarmiento por todos esas palabras de apoyo que me diste, y que las llevo en mente siempre, a ti también te dedico este titulo y gracias por compartir conmigo tu tiempo y tu amor.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Felipe de Jesús Ortega rivera. Por la revisión, aportaciones y sugerencias para la buena presentación de este trabajo, así como su orientación en todo el trabajo de campo. Y por su valiosa amistad que me ofreció durante mi formación profesional.

A el ING. Juan F. Martínez Avalos. Por concederme desinteresadamente gran parte de su valioso tiempo en el asesoramiento y supervisión del presente trabajo; así como su amistad incondicional que siempre me ha demostrado dentro y fuera de la Universidad reconociendo su capacidad profesional y reiterándole mis más sinceros agradecimientos

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron en mi formación profesional, en la realización de esta tesis y que involuntariamente han que dado omitidas, pero no olvidadas.

A la **UAAAN**, por brindarme la oportunidad de ocupar sus aulas, laboratorios y demás comodidades que sirvieron para desarrollarme como estudiante y así poder cumplir con uno de los objetivos propuestos, con la colaboración de los docentes que transmitieron sus conocimientos, para poder enfrentar la vida profesional. **A mi Alma Mater** mil gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Págs.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE DE CONTENIDO	4
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE CUADROS	8
I. INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN SOCIOECONOMICA	2
JUSTIFICACIÓN CIENTIFICA	3
OBJETIVO	4
HIPOTESIS	4
II REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Definición de fluido.....	5
2.1.1. Fluidos newtonianos.....	7
2.1.1.1. Viscosidad.....	8
2.2. Efecto de la temperatura en la viscosidad.....	8
2.2.1. Efecto de la presión en la viscosidad.....	9
2.3.0. Densidad y peso específico.....	9
2.4.0. Presión.....	10
2.4.1. Presión en los fluidos.....	11
2.4.2. Unidades de presión.....	12
2.4.3. Medición en el escurrimiento de fluidos.....	13
2.5.0. Manómetros.....	15
2.5.1. Vacío.....	15
2.6.0. Energía de presión.....	16
2.6.1. Energía de fricción o rozamiento.....	16
2.6.2. Número de Reynolds	18
2.6.3. Cavitación.....	19

2.7.0. Medición de flujo en canales abiertos.....	21
2.7.1 Vertedores.....	22
2.8.0 Dosificadores existentes en el mercado.....	25
2.8.2 Sistema de fertilización.....	27
2.8.3. Inyector de orificio.....	28
2.8.4. Inyector venturi.....	28
2.8.5. Vénturi con bomba.....	29
2.8.6. Bomba inyectora.....	28
2.8.7. precios de la marca fertic.....	30
2.8.0. Importancia de fertilizar.....	31
3.0.0. Solubilidad y compatibilidad.....	33
3.1.0. Solubilidad de los fertilizantes.....	33
3.1.1. Condición de los fertilizantes secos.....	34
3.1.2 Efecto fresco con mezclar.....	36
3.1.3. Compatibilidad de los fertilizantes.....	37
3.1.4. La prueba de la jarra.....	38
3.1.5. Reglas básicas de mezclado.....	39
3.2.1 Solubilidad del fósforo.....	41
3.2.2. Potasio.....	45
3.2.3. Calcio.....	45
3.2.4. Micronutrientes.....	46
3.5.4. Corrosión.....	49
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
3.1. Características del área de estudio.....	51
3.1.1 Localización de sitio experimental.....	51
3.1.2 Clima.....	51
3.1.3 Material utilizado.....	52
3.1.4. Metodología.....	52
3.1.5 Experimentos evaluados.....	57
3.2.0 Distribución de los experimentos en campo.....	59
3.3.0 Variables evaluadas.....	59

3.3.1 Presiones negativas.....	59
3.3.2. Descripción del aparato a evaluar.....	59
3.4.Materiales.....	61
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
V CONCLUSION.....	85
VII. BIBLIOGRAFIA.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Fig. 1 Tubo piezometrico	14
Fig.2 Muestra de una vista lateral de un vertedero en operación.....	23
Fig.3 Geometria de ranura para vertedores.....	23
Fig.4 Sección del dosificador venturi.....	27
Fig. 5 inyector de diafragma.....	60
Fig. 6Inyectorde diafragma	61
Fig. 4.1.Línea piezometrica en función de $d/D = 0.6$	66
Fig. 4.2 Relación del gasto inyectado con la presión de vacío, Manómetro 9 Y10.....	68
Fig. 4.3 Relación del gasto inyectado con la presión de vacío. Manómetros 8,9 y 10.....	69
Fig. 4.4 Relación del gasto inyectado con la presión de vacío. Manómetros 7,8,9 y 10.....	70
Fig. 4.5 Relación del gasto inyectado con la perdida de carga.....	71
Fig 4.6 Relación del gasto inyectado con el gasto con que opera el sistema.....	73
Fig. 4.7 Datos para la construcción de las curvas de log de reynolds gasto inyectado (q_i) en lpm,.....	74
Fig 4.8 Relación del gasto inyectado con vacío.....	76
Fig. 4.9 Relación del gasto inyectado con la presión de vacío.....	77
Fig 5.0 Relación del gasto inyectado con la presión de vacío.....	78
Fig.5.1 relación del gasto inyectado con la perdida de carga.....	79
Fig. 5.2 relación del gasto inyectado con el Log de reynolds.	80
Fig. 5.3 relación del gasto inyectado con la presión de vacío	81

Fig. 5.4 relación del gasto inyectado con la perdida de carga	82
Fig. 5.5 relación del gasto inyectado con gasto del sistema	83
Fig. 5.6 relación del gasto inyectado con el Log de reynolds	84
Fig. 5.7 Relación de $\frac{q}{Q}$ en función del numero de reynolds.	85

ÍNDICE DE CUADROS

	Págs.
Cuadro 4.1 Datos para la construcción de la línea piezometrica, de la tubería de 2.0, 2.5 y 3.0 pulgadas, con relación $\frac{d}{D} = 0.6$	65
Cuadro 4.2. Datos para la construcción de la línea piezometrica, de la tubería de 2.0, 2.5 y 3.0 pulgadas, con relación $\frac{d}{D} = 0.6$	67
Cuadro 4.3. Datos para construir curvas de succión.....	68
Cuadro 4.4. Datos para la construcción de las curvas de succión	69
Cuadro 4.5. tos para la construcción de las curvas de Delta H.....	70
Cuadro 4.6 Datos para la construcción de las curvas de gastos, del sistema y el inyectado.	72
Cuadro 4.7 Datos para la construcción de las curvas de log de reynolds gasto inyectado (q_i) en lpm,	73
Cuadro 4.8 Datos para la construcción de la curva de succión del piezómetro 10 en la tubería de 2.5 pulgadas	75
Cuadro 4.9 Datos para construir a curva de succión	76

Cuadro 5 Datos para construir a curva de delta H	77
Cuadro 5.1 Datos para construir las curvas de gasto	78
Cuadro 5.2 Datos para la construcción de la grafica de reynolds.	79
Cuadro 5.3 Datos para la construcción de la grafica de reynolds.	80
Cuadro 5.4 Datos para la construcción de las curvas de delta H	81
Cuadro 5.5 Datos para construir las curvas de gasto del sistema contra gasto inyectado.	82

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

	Págs.
Cuadro A1. Información climatológica mensual, promedio de la Estación de Buenavista, Saltillo, Coah. UAAAN 2000.....	56
Cuadro A2. Índice de área foliar (m ² hoja m ⁻²) de plantas, observados en el campo, del maíz. UAAAN 2000.....	56
Cuadro A3. Contenido de humedad en base volumen para el Tratamiento 1 en el estrato de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo. UAAAN 2000.....	57
Cuadro A4. Contenido de humedad en base volumen para el Tratamiento 2 en el estrato de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo. UAAAN 2000.....	58
Cuadro A5. Contenido de humedad en base volumen para el Tratamiento 3 en el estrato de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo. UAAAN 2000.....	59
Cuadro A6. Acumulación de materia seca (kg ha ⁻¹) en tallo en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.....	59
Cuadro A7. Acumulación de materia seca (kg ha ⁻¹) en hoja en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.....	60
Cuadro A8. Acumulación de materia seca (kg ha ⁻¹) en mazorca en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.....	60
Cuadro A9. Acumulación de materia seca total (kg ha ⁻¹) en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.....	61
Cuadro A10. Análisis de varianza para el peso seco en la hoja, para los muestreos realizados durante el ciclo del maíz híbrido AN-447. UAAAN 2000.....	62

Cuadro A11. Análisis de varianza para el peso seco en tallo, para los muestreos realizados durante el ciclo del maíz híbrido AN-447. UAAAN 2000.....	62
Cuadro A12. Análisis de varianza para el peso seco en mazorca, para los muestreos realizados durante el ciclo del maíz híbrido AN-447. UAAAN 2000.....	63

1. _ INTRODUCCIÓN

La vida en la tierra (y probablemente en todos los planetas inhabitados posibles) actualmente el único con vida, mientras que constantemente este sumergido en líquido (generalmente aire o agua).

Los líquidos son deformables a un fragmento ilimitado, y a la producción en tiempo a las fuerzas muy pequeñas del disturbio. Por lo tanto, sus movimientos son con frecuencia muy complejos, y las configuraciones de fluidos o directamente uniformes del flujo pueden producir campos del flujo con las soluciones no triviales que visualizan dinámicas muy complicadas. A pesar del hecho de que las ecuaciones que gobiernan son generalmente bien conocidas, la mayoría de los flujos no puede ser solucionados directamente por el cálculo de la fuerza bruta, y requiere una colaboración cercana entre la teoría y el experimento. Este esfuerzo, junto con el uso cada vez más eficaz de simulaciones numéricas cuidadosamente-seleccionadas.

El progreso en entender y predecir la hidráulica siguiendo exactamente esta mezcla del experimento y del descubrimiento empírico, junto con modelos simples y no-simples del flujo.

Se entiende por fluido un estado de la materia en el que la forma de los cuerpos no es constante, sino que se adapta a la del recipiente que los contiene. La materia fluida puede ser traspasada de un recipiente a otro, es decir, tiene la capacidad de fluir. Los líquidos y los gases corresponden a dos

tipos diferentes de fluidos. Los primeros tienen un volumen constante que no puede mortificarse apreciablemente por compresión. Se dice por ello que son fluidos incompresibles. Los segundos no tienen un volumen propio, sino que ocupan el del recipiente que los contiene; son fluidos compresibles porque, a diferencia de los líquidos, sí pueden ser comprimidos.

Justificación socioeconómica

Debido a la situación que atraviesa el país en el ámbito nacional, todos los mexicanos y principalmente quienes viven y trabajan en el sector oficial, tienen el deber de economizar al máximo los recursos disponibles y encontrar tecnología propia, haciendo uso de material e infraestructura de buena calidad y que se ajuste a las condiciones económicas de la gran mayoría de los de los agricultores.

Actualmente en el medio rural existen comunidades, donde uno de sus problemas, es el bajo rendimiento en ton/ha. Debido a que el suelo es deficiente en cuanto a contenido de nutrientes y no fertilizan por que los inyectores de fertilizantes existentes en el mercado son en la mayoría de los casos inaccesibles económicamente, es aquí donde el inyector de diafragma ayudaría grandemente a solucionar este problema dado que en la mayoría de estos lugares los recursos económicos son escasos, y todo aquello que ahorre dinero y sea de utilidad es preciso desarrollarlo. Este trabajo se planeo desde su principio en desarrollar un inyector de fertilizantes con la mayor economía posible, la mayoría de los materiales utilizados en su construcción son

relativamente baratos, tubos, tuerca unión y el diafragma de plástico. Fue el material con que se estructuro este material.

El inyector de diafragma es un dispositivo que se usa para dosificar fertilizantes, pesticidas, agroquímicos, etc. Utilizando la energía hidráulica que el diafragma genera, no requiere de energía eléctrica o calorífica. Esto lo hace muy económico.

Justificación científica.

Desde el punto de vista científico un inyector de fertilizantes de diafragma se justifica al analizar la mecánica de fluidos, principalmente el fenómeno de vacío, está bien sabido que este fenómeno se produce al reducir el área de la sección transversal esto hace que aumente la velocidad del fluido y reduciendo la presión hasta por debajo de cero, logrando con esto una ganancia en la energía, y la cual se utiliza para inyectar el fertilizante, ya que la energía no se crea ni se destruye, sino solo se transforma.

OBJETIVO:

- Evaluar un medidor de flujo, como dosificador de fertilizantes.
- Obtener un dosificador de alta eficiencia y bajo costo.

HIPOTESIS:

A mayor gasto que pase por el diafragma, mayor velocidad y entonces se generara presiones menores a la atmosférica, existiendo succión, la cual la utilizaremos para inyectar fertilizante.

II.-REVISION DE LITERATURA

2.1. Definición de fluido.

Se define fluido como una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte, por tanto, en ausencia de este, no habrá deformación. Los fluidos pueden clasificarse de manera general de acuerdo con la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la relación de deformación.

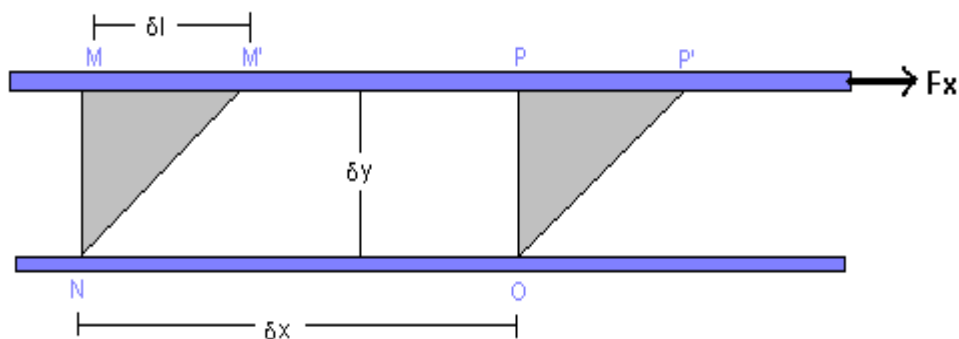
Consideremos un elemento de fluido entre dos placas paralelas infinitas. La placa superior se mueve a una velocidad constante, du , bajo la influencia de una fuerza aplicada constante, dF_x . El esfuerzo de corte t_{yx} aplicado al elemento de fluido está dado por:

$$\tau_{yx} = \lim_{\delta A_y \rightarrow 0} \frac{\delta F_x}{\delta A_y} = \delta F_x / \delta A_y \quad (1)$$

donde dA_y es el área del elemento de fluido en contacto con la placa. Durante el intervalo de tiempo dt el elemento de fluido se deforma de la posición MNOP a la posición M'NOP'. La relación de deformación del fluido está dada por:

$$\text{relación de deformación} = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \delta \alpha / \delta t = d\alpha / dt \quad (2)$$

Deformación de un elemento de fluido



Para calcular el esfuerzo de corte τ_{yx} , es deseable expresar $d\alpha/dt$ en términos de cantidades medibles fácilmente. Esto puede hacerse sin dificultades. La distancia δl entre los puntos M y M' es

$$\delta l = \delta u \cdot \delta t \quad (3)$$

o de manera alternativa para ángulos pequeños,

$$\delta l = \delta y \cdot \delta \alpha \quad (4)$$

Igualando estas dos expresiones para δl obtenemos:

$$\delta \alpha / \delta t = \delta u / \delta y \quad (5)$$

Tomando el límite de ambos lados de la igualdad, obtenemos

$$d\alpha/dt = du/dy \quad (6)$$

Por lo tanto el elemento de fluido de la figura cuando se somete a un esfuerzo e corte, experimenta una relación de deformación (relación de corte) dada por du/dy . Los fluidos en que los esfuerzos de corte es directamente proporcional a la tasa de deformación son *fluidos newtonianos*. El término no

newtoniano se utiliza para clasificar todos los fluidos en los cuales el esfuerzo de corte no es directamente proporcional a la relación de corte.

2.1.1. Fluidos newtonianos.

Los fluidos más comunes tales como el agua, el aire y la gasolina son newtonianos en condiciones normales. Si el fluido de la figura anterior es newtoniano entonces:

$$\tau_{yx} \propto du/dy \quad (7)$$

Si consideramos la deformación de dos fluidos newtonianos diferentes, digamos glicerina y agua podemos darnos cuenta de que se deformarán a diferentes proporciones ante la acción del mismo esfuerzo de corte aplicado. La glicerina presenta una resistencia mucho mayor a la deformación que el agua y por ello podemos decir que es mucho más viscosa. La constante de proporcionalidad de la ecuación (7) es la **viscosidad absoluta** (dinámica), μ . Así, en términos de las coordenadas de la figura, la ley de viscosidad de Newton está dada para un flujo unidimensional por:

$$\tau_{yx} = \mu \cdot (du/dy) \quad (8)$$

Las dimensiones de la viscosidad dinámica son $[Ft/L^2]$ o en forma equivalente $[M/Lt]$. En el sistema métrico, la unidad básica de viscosidad se denomina **poise** (poise = g/cm*s).

En la mecánica de fluidos a menudo surge la relación entre la viscosidad absoluta y la densidad. Esta relación recibe el nombre de viscosidad cinemática y se representa mediante el símbolo ν . Las dimensiones de ν son $[L^2 / t]$. La unidad para ν es un stoke (stoke = cm^2/s).

2.1.2. Viscosidad.

La viscosidad es una medida de la fricción interna del fluido, esto es, la resistencia a la deformación. El mecanismo de la viscosidad en gases se entiende razonablemente bien, pero la teoría se ha desarrollado muy poco para los líquidos. Podemos obtener mayor información acerca de la naturaleza física del flujo viscoso analizando este mecanismo brevemente.

La viscosidad de un fluido newtoniano está determinado por el estado del material. De tal modo $\mu = \mu(T, p)$. La temperatura es la variable más importante por lo que la consideraremos primero. Se dispone de excelentes ecuaciones empíricas para la viscosidad como una función de la temperatura.

2.2. Efecto de la temperatura en la viscosidad (en líquidos).

No es posible estimar teóricamente las viscosidades para líquidos con exactitud. El fenómeno de la transferencia de momento por medio de colisiones moleculares parece oscurecerse en líquidos por efecto de los campos de fuerza que interactúan entre las moléculas líquidas apiñadas y muy cercanas unas a otras.

Las viscosidades de líquidos son afectadas drásticamente por la temperatura. Esta dependencia de la temperatura absoluta se representa bien mediante la ecuación empírica:

$$\mu = A \cdot \exp(B/T)$$

En resumen: en gases el aumento de temperatura provoca un aumento en la viscosidad mientras que en los líquidos un aumento de la temperatura disminuye la viscosidad.

2.2.1. Efectos de la presión en la viscosidad (en líquidos).

Las viscosidades de la mayoría de los líquidos no son afectadas por presiones moderadas pero se han encontrado grandes incrementos a presiones sumamente elevadas. Por ejemplo la viscosidad del agua a 10.000 atm es el doble que a 1 atm. Compuestos de mayor complejidad muestran un aumento en la viscosidad de varios ordenes de magnitud sobre el mismo intervalo de temperatura.

2.3.0. Densidad y peso específico.

La densidad está relacionada con el grado de acumulación de materia (un cuerpo compacto es, por lo general, más denso que otro más disperso), pero también lo está con el peso. Así, un cuerpo pequeño que es mucho más pesado que otro más grande es también mucho más denso. Esto es debido a la

relación $P = m \cdot g$ existente entre masa y peso. No obstante, para referirse al peso por unidad de volumen la física ha introducido el concepto de peso específico **pe** que se define como el cociente entre el peso P de un cuerpo y su volumen

El peso específico representa la fuerza con que la Tierra atrae a un volumen unidad de la misma sustancia considerada.

La relación entre peso específico y densidad es la misma que la existente entre peso y masa. En efecto:

siendo g la aceleración de la gravedad.

La unidad del peso específico en el SI es el N/m^3 .

2.4.0 Presión.

Cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo deformable, los efectos que provoca dependen no sólo de su intensidad, sino también de cómo esté repartida sobre la superficie del cuerpo. Así, un golpe de martillo sobre un clavo bien afilado hace que penetre más en la pared de lo que lo haría otro clavo sin punta que recibiera el mismo impacto. Un individuo situado de puntillas sobre una capa de nieve blanda se hunde, en tanto que otro de igual peso que calce raquetas, al repartir la fuerza sobre una mayor superficie, puede caminar sin dificultad.

El cociente entre la intensidad F de la fuerza aplicada perpendicularmente sobre una superficie dada y el área S de dicha superficie se denomina presión:

La presión representa la intensidad de la fuerza que se ejerce sobre cada unidad de área de la superficie considerada. Cuanto mayor sea la fuerza que actúa sobre una superficie dada, mayor será la presión, y cuanto menor sea la superficie para una fuerza dada, mayor será entonces la presión resultante.

2.4.1 La presión en los fluidos

El concepto de presión es muy general y por ello puede emplearse siempre que exista una fuerza actuando sobre una superficie. Sin embargo, su empleo resulta especialmente útil cuando el cuerpo o sistema sobre el que se ejercen las fuerzas es deformable. Los fluidos no tienen forma propia y constituyen el principal ejemplo de aquellos casos en los que es más adecuado utilizar el concepto de presión que el de fuerza.

Cuando un fluido está contenido en un recipiente, ejerce una fuerza sobre sus paredes y, por tanto, puede hablarse también de presión. Si el fluido está en equilibrio las fuerzas sobre las paredes son perpendiculares a cada porción de superficie del recipiente, ya que de no serlo existirían componentes paralelas que provocarían el desplazamiento de la masa de fluido en contra de la hipótesis de equilibrio. La orientación de la superficie determina la dirección de la fuerza de presión, por lo que el cociente de ambas, que es precisamente

la presión, resulta independiente de la dirección; se trata entonces de una magnitud escalar.

2.4.2. Unidades depresión.

En el SI la unidad de presión es el pascal, se representa por Pa y se define como la presión correspondiente a una fuerza de un newton de intensidad actuando perpendicularmente sobre una superficie plana de un metro cuadrado. 1 Pa equivale, por tanto, a 1 N/m².

Existen, no obstante, otras unidades de presión que sin corresponder a ningún sistema de unidades en particular han sido consagradas por el uso y se siguen usando en la actualidad junto con el pascal. Entre ellas se encuentran la atmósfera y el bar.

La atmósfera (atm) se define como la presión que a 0 °C ejercería el peso de una columna de mercurio de 76 cm de altura y 1 cm² de sección sobre su base.

Es posible calcular su equivalencia en N/m² sabiendo que la densidad del mercurio es igual a $13,6 \cdot 10^3$ kg/m³ y recurriendo a las siguientes relaciones entre magnitudes:

$$\text{Peso (N)} = \text{masa (kg)} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$$

Masa = volumen · densidad Como el volumen del cilindro que forma la columna es igual a la superficie de la base por la altura, se tendrá:

es decir: $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

El bar es realmente un múltiple del pascal y equivale a 10^5 N/m^2 . En meteorología se emplea con frecuencia el milibar (mb) o milésima parte del bar ·

$1 \text{ mb} = 10^2 \text{ Pa}$.

$1 \text{ atm} = 1013 \text{ mb}$

2.4.3. Medición de la presión en el escurrimiento de fluidos.

Los manómetros pueden ser utilizados para medir la presión de los fluidos en movimiento a través de conductos cerrados. La fig. (1) muestra un tubo de piezómetro abierto insertado a través de la red lateral de una tubería ordinaria en la que fluye un líquido a presión, el líquido en la columna, arriba de la pared del tubo, está en reposo y su altura mide la presión en su base. Puede advertirse que la presión en un punto en la corriente en movimiento, directamente debajo de la columna, está medida por la altura de la columna piezométrica arriba de ese punto.

Cuando se inserta un piezómetro en la pared de un conducto, deben tomarse ciertas precauciones si sus indicaciones van a ser seguras. El orificio para inserción debe perforarse normal a la superficie interior de la pared, y ninguna parte del tubo insertado debe proyectarse mas allá de esa superficie. Cualquier rebaba causada por la perforación debe quitarse y la superficie de la pared inmediatamente aguas arriba del tubo debe ser lisa, por que de otra forma la turbulencia y remolinos producidos por las irregularidades disminuirán la presión en la abertura y por lo tanto también la altura de la columna

piezometrica. Si el orificio no se taladra normal a la superficie, la columna será muy alta o muy baja, dependiendo de la dirección de la oblicuidad. Estos hechos pertinentes fueron primero probados por Irma F. Mills. En 1878. como el resultado de mas de mil observaciones. Probablemente la investigación mas completa sobre piezómetros fue la de Allen y Hooper en 1928. ellos emplearon varios métodos de construcción y dieron recomendaciones especificas sobre detalles. Para tuberías pequeñas recomendaron orificios de 1/8 plg. De diámetro, y para tuberías mas grandes, orificios de 1/4 de plg. También recomendaron redondear la orilla interior de la abertura del orificio usando un radio de una cuarta parte de la abertura, para no alterar la presión del piezómetro.

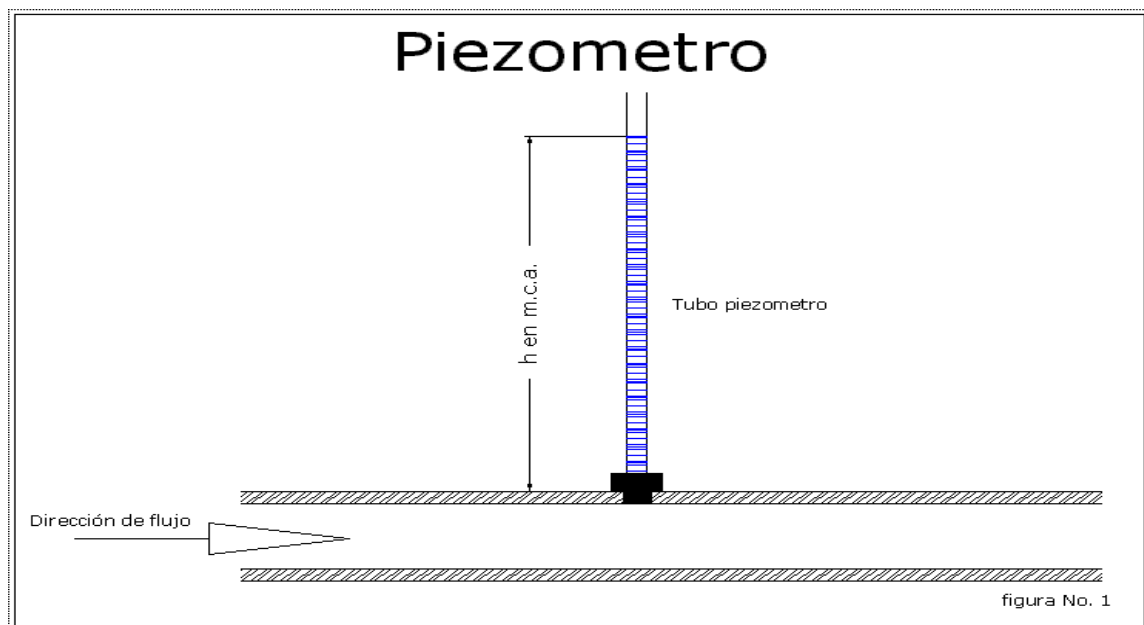


Figura 1 tubo piezometrico.

2.5.0. Manómetros.

Un **manómetro** es un aparato que sirve para medir la presión de los líquidos contenidos en recipientes cerrados. Existen, básicamente, dos tipos de manómetros: los de líquidos y los metálicos.

Los manómetros de líquidos emplean, por lo general, mercurio que llena un tubo en forma de J. El tubo puede estar abierto por ambas ramas o abierto por una sola. En ambos casos la presión se mide conectando al recipiente que contiene el líquido el tubo por su rama inferior y abierta y determinando el desnivel h de la columna de mercurio entre ambas ramas. Si el manómetro es de tubo abierto entonces es necesario tomar en cuenta la presión atmosférica p_0 en la ecuación $p = p_0 \pm g h$. Si es de tubo cerrado, la presión vendrá dada directamente por $p = g h$. Los manómetros de este segundo tipo permiten, por sus características, la medida de presiones elevadas.

En los manómetros metálicos la presión del líquido da lugar a deformaciones en una cavidad o tubo metálico. Estas deformaciones se transmiten a través de un sistema mecánico a una aguja que marca directamente la presión del líquido sobre una escala graduada.

2.5.1. Vacío.

Nunca se ha obtenido un vacío perfecto, o sea, un espacio sin materia alguna, ni en estado sólido, ni líquido ni gaseoso; sin embargo, no es difícil obtener un espacio que contenga diminutas cantidades de materia. Un espacio

en contacto con un líquido, si no contiene ninguna otra sustancia, tendrá siempre vapor de ese líquido. En un vacío perfecto no puede haber presión.

En la práctica la palabra vacío se utiliza a menudo en relación con cualquier espacio que tenga una presión menor que la atmosférica y el término cantidad de vacío se refiere a la cantidad en que la presión es menor que la atmosférica que prevalece. La cantidad de vacío se suele expresar en pulgadas de columna de mercurio o en libras por pulgada cuadrada, medidas con la presión atmosférica como base.

2.6.0. Energía de presión.

En algunos sistemas de transporte la presión puede cambiar de una posición a otra del sistema. Tales cambios pueden incluirse en las necesidades de energía como:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho}$$

Donde se introduce a la densidad del líquido para dar consistencia a las unidades de energía (J/Kg). Obsérvese que la densidad del líquido no depende del tipo del sistema en que se analice.

2.6.1. energía de fricción o rozamiento

La pérdida de presión debida al rozamiento a lo largo de una tubería recta se presenta en la Ecuación de Fanny. La energía de rozamiento o energía necesaria para vencer el rozamiento sería:

$$E_f = \frac{\Delta P_f}{\rho}$$

Cuando se trata de una tubería recta.

Otros componentes del sistema de tubería también contribuirán a la pérdida de energía debida al rozamiento. Por ejemplo un estrechamiento brusco en la sección de la tubería puede evaluarse como:

$$\frac{\Delta P_f}{\rho} = K_f \frac{V^2}{2}$$

Siendo:

$$K_f = 0,4 \left(1,25 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right) \quad \text{Si}$$

$$\frac{D_2^2}{D_1^2} < 0,71:$$

$$K_f = 0,75 \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right) \quad \text{Si}$$

$$\frac{D_2^2}{D_1^2} > 0,71:$$

De manera similar, un aumento brusco en la sección de la tubería contribuirá a la pérdida de energía debida al rozamiento. Estas pérdidas pueden estimarse como:

$$\frac{\Delta P_f}{\rho} = \frac{V_1^2}{2} \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \right]^2$$

Donde los parámetros que tienen los subíndices 1 se localizan aguas arriba de la expansión. Todos los accesorios como codos, "tes", y válvulas contribuirán a

las pérdidas debida al rozamiento. La contribución al rozamiento de cada una de estas piezas pueden expresarse como una longitud equivalente de tubería recta, L_e y sumarse a la longitud real de la tubería. La longitud equivalente de un accesorio puede calcularse seleccionando el valor correspondiente de L_e/D y conociendo el diámetro de la tubería.

2.6.2 numero de reynolds.

El comportamiento de un fluido, particularmente con respecto a las pérdidas de energía, depende bastante si el flujo es laminar o turbulento. Por esta razón deseamos tener medios para predecir el tipo de flujo sin tener necesidad de observarlo. En efecto, la observación directa es imposible para fluidos que se encuentran en conductos opacos. Se puede demostrar experimentalmente y verificar analíticamente que el carácter del flujo en un conducto redondo depende de cuatro variables: la densidad del fluido, ρ , la viscosidad del fluido, μ , el diámetro del conducto, D , y la velocidad promedio del flujo, v . Osborne Reynolds, fue el primero en demostrar que el flujo laminar o turbulento puede ser predicho si se conoce la magnitud del número adimensional, conocido ahora como el número de Reynolds, (NR).

Los flujos que tienen número de Reynolds grande, típicamente debido a una alta velocidad o a una baja viscosidad, o ambas, tienden a ser turbulentos. Aquellos fluidos que poseen una alta viscosidad y/o que se mueven a bajas

velocidades tendrán un número de Reynolds pequeño y tenderán a ser laminares.

Para calcular el número de Reynolds en conductos con secciones transversales no circulares, canales abiertos y para el flujo de fluidos alrededor de cuerpos inmersos, la fórmula toma una forma diferente.

Para aplicaciones prácticas en flujos de conductos, tenemos que si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2000, el flujo será laminar. Tenemos también que si el número de Reynolds es mayor que 4000, se puede suponer que el flujo es turbulento. En el intervalo de número de Reynolds comprendido entre 2000 y 4000, es imposible predecir qué tipo de flujo existe; por consiguiente, este intervalo se conoce como región crítica. Las aplicaciones típicas que se encuentran bien colocadas en el intervalo de los flujos laminares o en el intervalo de los flujos turbulentos, de modo que la existencia de esta región de incertidumbre no ocasione gran dificultad.

Si $NR < 2000$, el flujo es laminar.

Si $NR > 4000$, el flujo es turbulento.

2.6.3. Cavitación.

Si se aumenta el caudal que pasa por un venturi, con presión constante o decreciente a la entrada del aforador, la presión de la garganta será menor que

la atmosférica y puede llevarse hasta cerca del cero de la escala absoluta. Si el caudal se aumenta mas halla de un valor que origine gran vacío sobrevendrá la cavitación. Se interrumpirá entonces la continuidad de la corriente y se formaran cavidades dentro del liquido cerca de la garganta. Las cavidades aumentan de tamaño y se cierran muy rápidamente, produciendo sacudidas violentas dentro de la tubería que representa grandes perdida, por lo que representa un incremento grande en la potencia necesaria para el bombeo. Generalmente se originan daños considerables a las superficies metálicas de la región de cavitación.

La cavitación es un fenómeno (exclusivo de los líquidos) producido por la baja que sufre la presión debida a los efectos dinámicos de un líquido al escurrir, siguiendo fronteras curvas, o alrededor de cuerpos sumergidos, consiste en un cambio rápido y explosivo de la fase líquida a vapor, al ocurrir en algún punto, baja de la presión, hasta un valor critico o por debajo de el. Por lo común la presión critica es igual o ligeramente inferior a la de evaporación. Inicialmente, en virtud del citado fenómeno se presentan cavidades de vapor de agua que crece rápidamente, viaja con el flujo y se colapsa al entrar a regiones de mayor presión. Este fenómeno ocurre cerca o en contacto de una pared sólida las fuerzas ejercidas por el líquido al empujar sobre las cavidades crean presiones muy grandes y localizadas que causan deterioro a la superficie, pues se acompaña al fenómeno un golpeteo y fuertes vibraciones. Es el caso de las turbinas hidráulicas de reacción en las que produce cavitación en el rodete al trabajar con fuertes cargas de succión.

En un sistema hidráulica la protección contra la cavitación se puede lograr mediante un buen diseño a fin de evitar en lo posible presiones muy bajas. En otros casos también se puede usar pequeñas cantidades de aire inyectadas en la zona, en la que se produzca el fenómeno. Estudios recientes indican que también es útil la protección catódica.

Cuando el fluido es un líquido tal como el agua, no es necesario considerar la compresibilidad, puesto que los líquidos son sólo ligeramente compresible. Sin embargo podemos considerar el fenómeno de la cavitación. Con forme un líquido fluye sobre un cuerpo, la presión estática disminuye. Si la presión es suficientemente baja, el líquido vaporiza, formando burbujas, puesto que la región de baja presión es generalmente pequeña, las burbujas saltan agitadamente cuando abandonan esta región. Cuando la colisión de burbujas de vapor se presentan cerca de la superficie del cuerpo, ocurre una erosión rápida o picado. La cavitación tiene otros efectos adversos cuando se presenta cerca de superficies de control de botes o impulsores. Las burbujas del agua disminuyen las fuerzas ejercidas en timones y paletas de control y reducen el empuje y el funcionamiento de los impulsores.

2.7.0. Medición de flujo en canales abiertos (Vertedores).

Dos dispositivos ampliamente utilizados en la medición de flujo en canales abiertos son los vertedores y los resbaladores. Cada uno de ellos provoca que cambie la corriente, lo cual a su vez cambia el nivel de la superficie

del flujo. El nivel de la superficie resultante en relación con alguna característica del dispositivo está relacionada con la cantidad de flujo. Grandes valores de velocidad de flujo de volumen se pueden medir con vertederos y resbaladores.

2.7.1. vertederos.

Un vertedero es una barrera o presa colocada en el canal para que el fluido se mantenga detrás del vertedero y después caiga a través de una ranura cortada en la cara del vertedero. Dos geometrías de ranuras son las rectangulares y la triangular. La fig. (2) muestra una vista lateral de un vertedero en operación. Las vistas frontales que muestran diferentes geometrías se despliegan en la fig. (3) la descarga sobre el vertedero depende de las dimensiones de la ranura y de la cabeza H del fluido. La fig. (2) muestra que la superficie del fluido está curvada conforme pasa sobre la cresta del vertedero. Con la finalidad de asegurar mediciones consistentes, el valor de H deberá ser diferencia entre la altura de la cresta H_c y la altura total de la superficie del líquido H_t , con H_t medida hacia arriba de la placa del vertedero donde el perfil de la superficie no se encuentre afectado. Normalmente, esta distancia hacia arriba es aproximadamente seis veces la cabeza H máxima esperada.

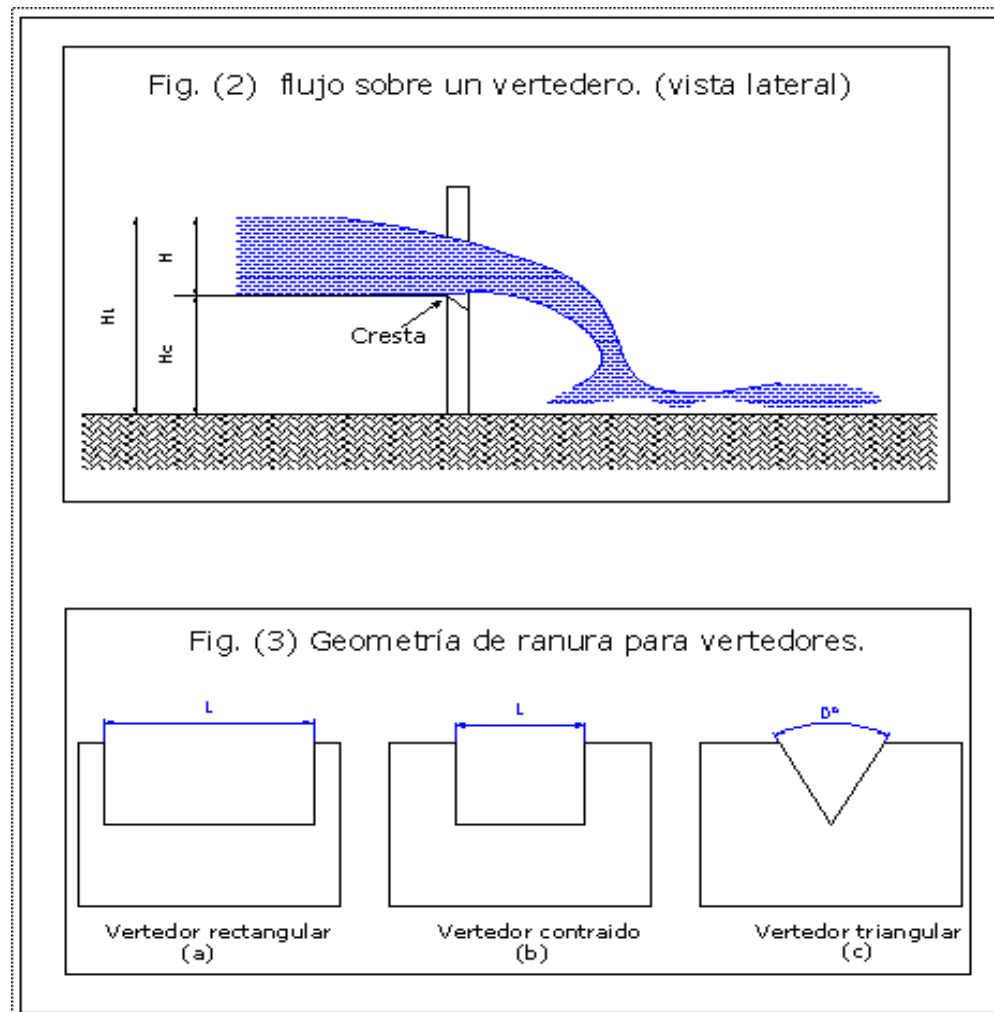


Figura 2 geometría de ranura para vertedores.

La ecuación teórica de descarga sobre un vertedero de ranura rectangular es:

$$Q = \frac{2}{3} L \sqrt{2gH^3} \text{-----(1)}$$

Donde L es longitud de la cresta entre los lados de la ranura y H es la cabeza sobre la cresta. L y H se mide en pies, entonces Q está en pies cúbicos por segundos. (pies³/s).

La descarga real es diferente del valor teórico por varias razones; por lo tanto, se han desarrollado relaciones mas precisas y fáciles de usar, la mayoría de las formulas toman la forma:

$$Q = CLH^{3/2} \text{-----}(2)$$

Donde **C** es el coeficiente de descarga L la longitud efectiva de la cresta y H es la cabeza arriba de la cresta del vertedero. Para el vertedero rectangular de ancho completo de la fig. 3.8.2 (a), puede utilizarse la siguiente ecuación:

$$Q = (3.27 + 0.40H / H_c)LH^{3/2} \text{-----}(3)$$

Las dos contracciones en el vertedero contraído en la fig. 3.8.2 (b) provoca que se curve la corriente de los lados, disminuyendo la longitud efectiva de la cresta. La descarga de este tipo de vertedero puede calcularse de:

$$Q = (3.27 + 0.40H / H_c)(L - 0.2H)H^{3/2} \text{-----}(4)$$

El vertedero triangular se utiliza principalmente para velocidades de flujo bajas, puesto que la ranura en **V** provoca una cabeza **H** mas grande que la que se puede obtener con la ranura rectangular. El angula de la ranura V es un factor en la ecuación de descarga. Los ángulos desde 35 hasta 120° son satisfactorios, pero los angulos de 60 y 90° son utilizados con mucha frecuencia. La ecuación teórica para un vertedor triangula es:

$$Q = \frac{8}{15}C\sqrt{2g\tan(\theta/2)}H^{5/2} \text{-----}(5)$$

Donde θ es el ángulo incluido total entre los lados de la ranura. Una reducción adicional de esta ecuación da,

$$Q = 4.28C \tan(\theta/2) H^{5/2} \text{-----(6)}$$

El valor de C es de alguna forma dependiente de la cabeza H , pero en valor nominal es de 0.58. utilizando esto y los valores comunes de 60 y 90° para θ , obtenemos,

$$Q = 1.43H^{5/2} \quad (\text{ranura a } 60^\circ)$$

$$Q = 2.48H^{5/2} \quad (\text{ranura a } 90^\circ)$$

2.8.0. Dosificadores existentes en el mercado.

2.8.1. Dosificador de fertilizantes venturi.

El principio del contador venturi establecido por primera vez en 1797 por el italiano J.B. Venturi fue aplicado por Herschel a la medición del gasto en tuberías, en 1887. la figura (4) representa un contador venturi. Consiste en una parte contraída que se inserta entre dos bridas de una tubería para acelerar el agua y reducir la presión estática. Las proporciones de los medidores venturi empleados actualmente son casi los originales dadas por Harschel y que aparecen en la figura.

Comenzando en la brida de aguas arriba, hay primero una corta porción cilíndrica, continuación de la tubería, labrada a maquina interiormente o de

vaciado muy liso de manera que su diámetro pueda determinarse con exactitud. En esta parte hay un agujero que atraviesa la pared, o bien varios que penetran en un anillo piezométrico, de manera que pueda hacerse una conexión para medir la presión estática del líquido antes de entrar al estrechamiento. Después de esta recta inicial, se encuentra el cono de entrada de 21 grados de ángulo total, que conduce una garganta cilíndrica rectificada a máquina con precisión y con uno o varios agujeros laterales para suprimir la presión estática en la garganta. La transición del cono de entrada a la garganta recta está redondeada con una suave curva tangencial para evitar la resistencia producida por la arista viva e impedir la posible separación del líquido a la alta velocidad de la pared, dejando de llenar completamente, en consecuencia, la garganta. El diámetro de ésta está comprendida generalmente entre la mitad y la cuarta parte del de la entrada o de la tubería, y en dicha garganta hay por lo general una junta, un agujero para la mano, para facilitar la inspección del estado de la misma y de los agujeros laterales y permitir la medición exacta del diámetro de la garganta. El extremo de la garganta conduce, por otra curva suave, al cono de salida o difusor, con ángulo total de unos cinco a siete grados. (ver figura 4)

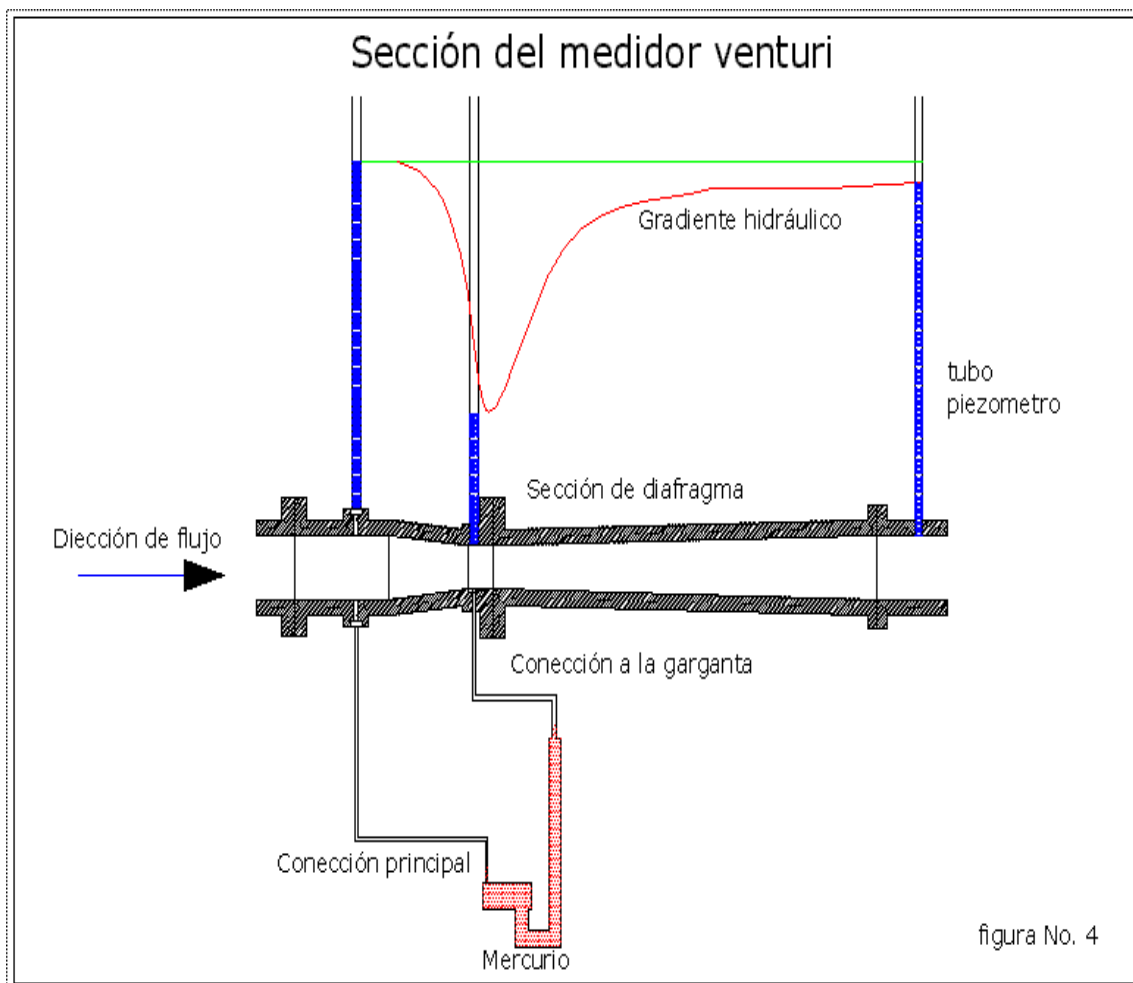


Figura 4 sección de un dosificador venturi.

2.8.2. Sistema de fertilización

Los equipos de fertirrigación con venturis sin programadores, presentan la ventaja de no necesitar energía eléctrica o combustible para su funcionamiento, e introducen fertilizante en la red de riego.

La solución de venturi se produce debido a la alta presión que se origina a la entrada y a la baja presión a la salida y es necesario que se produzca una diferencia de presión mínimo de 5 m. C. a. Para que tenga lugar a la succión.

Al igual que el medidor de agua, por medio de orificio. El paso del fluido a través del orificio, cuya área es constante y menor que la sección transversal del conducto cerrado, se realiza con un aumento apreciable de la velocidad (energía cinética) a expensa de una disminución de la presión estática (caída de presión). Y aprovechando esta caída de presión, introducimos fertilizante sin utilizar combustible o energía eléctrica.

2.8.3. Inyector de orificio.

Se denomina así a un equipo de fértilirriego que consta de un tanque de solución fertilizadora, dispositivo de carga constante, válvula de flotador, dispositivo de inyección y accesorios.

El tanque alimenta al depósito de carga constante por medio de una manguera y tiene una válvula de cierre y apertura, la válvula del flotador abre cuando se descarga solución fertilizadora aguas abajo por el inyector de orificio y permite el paso del líquido del tanque al depósito de carga constante. Cuando sale un gasto menor al de la válvula del flotador, éste regula el gasto para igualarlo haciendo que la carga hidráulica sea constante. Al permanecer la carga constante, el gasto del inyector de orificio permanece también constante.

2.8.4. Inyector Vénturi.

Reciben este nombre los inyectores de soluciones fertilizadoras que funcionan por succión generada por un estrechamiento y ampliación del área

de paso del flujo en una tubería, y se pueden hacer funcionar de dos formas: a) por presión diferencial por generada por la válvula y b) por presión generada por bomba centrífuga.

2.8.5. Vénturi con bomba.

En este caso se usa la bomba centrífuga para generar para generar una diferencia presiones entre dos puntos de la tubería principal del sistema de riego, que permite la inyección de la solución fertilizadora. La succión de la bomba se instala en la tubería principal y la descarga se conecta al fertilizador Vénturi , de manera que al funcionar, bobea un gasto adecuado para que pase por el cuerpo del vénturi, generando la succión de la solución fertilizadora que se incorpora a la tubería y es conducida hasta la tubería principal para ser distribuida en el sistema de riego.

2.8.6. Bomba inyectora.

Las bombas inyectoras de fertilizantes funcionan con energía eléctrica o con energía hidráulica. Generalmente son bombas de pistón que operan con una cámara de bombeo que se llena de solución fertilizadora al desplazarse el pistón hacia fuera de la cámara transportándolo hacia el sistema de riego al impulsarla el pistón o embolo hacia dentro de la cámara.

Las bombas fertilizadoras usan cualquiera de las dos formas de energía para inyectar la solución dentro de la tubería, en un punto donde la presión es menor que la generada por la bomba fertilizadora de manera que la solución pueda entrar en el sistema. La presión que genera la bomba debe ser mayor que la tubería; entre mayor sea la diferencia de presiones, mayor será el caudal inyectado en la tubería.

2.8.7.. Bombas inyectoras de fertilizantes. (Bombas que requieren energía para inyectar fertilizante)

Multi fertic			
Modelo	Gasto LPH	Presión (bars)	Precio.
60MF2-050/3	50	15	808.00
60MF2-100/3	100	15	955.00
60MF2-200/3	200	8	1028.00
60MF2-300/3	300	5	1103.00
60MF2-500/3	500	3.5	1450.00
Modulo adicional de inyección.			
Modelo	Gasto LPH	Presión (bars)	Precio.
60MI-050	50	15	334.00
60MI-100	100	15	480.00
60MI-200	200	8	550.00
60MI-300	300	5	629.00
60MI-500	500	3.5	976.00
Bomba hidráulica inyectora (FERTIC)			
Modelo	Gasto LPH	Presión (bars)	Precio
60FER	De 0 a 500	1-12	815.00
Ecofertic.			

Modelo	Gasto LPH	Presión (bars)	Precio
60ECO	De 0 a 250	1.5-8	492.00
Fertirrigación.			
Modelo	Gasto m ³ /h	Presión (bars)	Precio
60CON 2	-	-	1230.00

2.8.0. Importancia de fertilizar.

Las plantas requieren de elementos nutritivos para mantener un crecimiento sano.

Estos elementos son absorbidos en las proximidades de las raíces siendo la aplicación de fertilizantes al suelo la principal fuente de abastecimiento de nutrientes, sin embargo, existen muchas variables por las cuales los elementos nutritivos pueden no estar disponibles para las plantas, y esto reduce su eficiencia.

Por esto la nutrición es la mejor herramienta del agricultor para completar la nutrición de sus cultivos, así como para corregir deficiencias nutricionales de los mismos.

Se ha comprobado que la fertilización es un método que proporciona una rápida y eficaz asimilación de los nutrientes, por lo que es posible corregir una deficiencia observada en poco tiempo. Esto es particularmente importante cuando la planta pasa por una etapa crítica en su desarrollo, en la cual la exigencia inmediata de elementos nutritivos es real.

Los cultivos para ser productivos no solo requieren de nutrientes en grandes cantidades, sino también de algunos otros elementos que les son necesarios en pequeñas dosis, a estos se les denomina micro nutrientes o elementos menores, y aún cuando se necesitan por gramos, son de vital importancia para las plantas porque actúan en momentos claves de su ciclo de vida como en la reproducción, la respiración, la formación de semillas, etc.

Al igual que los demás seres vivos las plantas requieren para su supervivencia elementos esenciales, tales como un grupo que no es mineral entre ellos el carbono, oxígeno e hidrógeno, que se encuentran en la atmósfera y el agua. El otro grupo de elementos llamados minerales, son suplidos por el suelo y se dividen en tres grupos: primarios, secundarios y menores o micro elementos.

Los elementos primarios corresponden al Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Los secundarios son el Calcio, Magnesio y el Azufre. Los menores son principalmente el Cobre, Zinc, Manganeso, Molibdeno, Boro, Hierro y Cobalto.

Los elementos primarios por lo general son los que las plantas utilizan en mayor cantidad y son los más deficitarios, razón por la cual para restituirlos se deben hacer aplicaciones de fertilizantes. Las deficiencias de elementos secundarios y micro elementos ocurren con menos frecuencia, debido a que son utilizados en menor cantidad por las plantas.

También se debe recordar que las plantas no absorben los nutrientes en forma indiscriminada, por el contrario lo hacen en forma selectiva, lo cual es

muy importante de considerar a la hora de establecer un programa de fertilización.

3.0.0. Solubilidad y compatibilidad.

- La solubilidad de los fertilizantes y pureza debe ser considerada cuando se usen fertilizantes sólidos para preparar soluciones de fertilizantes.
- Los agricultores deben considerar la compatibilidad con otros fertilizantes, el agua de riego, y el material del hardware de riego cuando se combinen fertilizantes.
- Varios factores pueden inhibir apropiadamente la mezcla de una solución, mezclas inapropiadas pueden conducir a inconsistencias, incorrectas concentraciones de nutrientes y/o taponamiento del sistema de riego.
- Ciertamente los fertilizantes sólidos refrescaran el agua o solución del fertilizante cuando se agreguen a la solución, así retardaran o retrasaran su solubilidad.
- Deberán ser dadas las consideraciones especiales a el producto usado y la calidad del agua de riego cuando se inyecten materiales fosforados.

3.1.0 Solubilidad de los fertilizantes.

La solubilidad de varios fertilizantes deberá ser considerada cuando son usados para su inyección en los sistemas de riego. La tabla 10.1 provee información útil para algunos de los más comunes fertilizantes inyectados y minerales agrícolas. Los datos dados en la columna del extremo derecho de la

tabla 10.1 muestran las cantidades de varios materiales fertilizantes que pueden ser disueltos cuando algunos materiales dados son disueltos por si mismos. La combinación de algunos materiales con otros pueden, de hecho, decrecer su solubilidad de los materiales involucrados. Ahí también serían instancias cuando la combinación de materiales no tengan efecto entre si.

3.1.1 Condición de los fertilizantes secos.

La mayoría de los fertilizantes secos son fabricados por revestimiento con un acondicionador especial para mantener la humedad de estar absorbida por el fertilizante granulado. Tres comunes condiciones son aplicadas a los fertilizantes comerciales incluyendo: ATTAPULGITE arcilla, DIATOMACEOUS tierra, y sílice hidratado. Para evitar tener esos materiales creando problemas de taponamiento, es mejor preparar una pequeña cantidad de la mezcla para observar si ese agente de revestimiento se asienta en el fondo del contenedor, si forma una espuma en la superficie o si permanece en suspensión. El acondicionador deberá rápidamente asentarse en el fondo del contenedor. Si lo hace, el lote completo puede ser hecho. Después de que el acondicionador se asienta, el líquido claro transparente puede ser drenado, bombeado, o sifoneado de alto de la porción sin perturbar los sedimentos del fondo que contienen el acondicionador. Este procedimiento prevendrá la inyección de materiales que puedan causar taponamiento. Algunos fertilizantes distribuyen transportan que causaran espuma para formarse en la superficie, facilitando el removimiento de los acondicionadores desnatando.

Tabla 1. Información de solubilidad de varios fertilizantes compuestos comúnmente usados para preparar soluciones de fertilizantes y/o para aplicaciones a través del agua de riego. (Asociación de fertilizadores de California, 1980).

		Grado	Forma	Temp. °F	Solubilidad gr/100 ml	Solubilidad libras/galón
Fertilizantes nitrogenados	Nitrato del amonio	34-0-0	NH ₄ NO ₃	32	18.3	9.87
	Amonio Polisulfato	20-0-0	NH ₄ S _x		alta	alta
	Sulfato del amonio	21-0-0	(NH ₄) ₄ SO ₄	32	70.6	5.89
	Amonio Thiosulfate	12-0-0	(NH ₄) ₄ S ₂ O ₃		v. alta	v. alta
	Amoníaco anhidro	82-0-0	NH ₃	59	38.0	3.17
	Amoníaco de Aqua	20-0-0	NH ₃ H ₂ O/NH ₄ OH		alta	Alta
	Nitrato del calcio	15.5-0-0	Ca(NO ₃) ₂	62	121.2	10.11
	Urea	46-0-0	CO(NH ₂) ₂		100.0	8.34
	Urea ácido sulfúrico	28-0-0	CO(NH ₂) ₂ ·H ₂ SO ₄		alta	Alta
	Nitrato de Amonio de urea	32-0-0	CO(NH ₂) ₂ NH ₄ NO ₃		alta	Alta
Fosfatos	Fosfato de amonio	8-24-0	NH ₄ H ₂ PO ₄		moderada	moderada
	Amonio polifosfato	10-34-0	(NH ₄) ₅ P ₃ O ₁₀ y otros		alta	Alta
	Amonio polifosfato	11-37-0	(NH ₄) ₇ P ₅ O ₁₆ y otros		alta	alta
	Ácido fosfórico, verde	0-52-0	H ₃ PO ₄		45.7	alta
	Ácido fosfórico, blanco	0-54-0	H ₃ PO ₄		45.7	alta
Potasicos	Cloruro de potasio	0-0-60	KCl	68	34.7	2.89
	Nitrato de potasio	13-0-44	KNO ₃	32	13.3	1.10
	Sulfato de potasio	0-0-50	K ₂ SO ₄	77	12	1.00
	Thiosulfate de potasio	0-0-25-17S	K ₂ S ₂ O ₃		150	12.5
	Potasio fosfato monobásico	0-52-34	KH ₂ PO ₄		33	2.75
Micro nutrientes	Bórax	11% B	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	32	2.10	0.17
	Ácido bórico	17.5% B	H ₃ BO ₃	86	6.35	0.53
	Solubor	20% B	Na ₂ B ₈ O ₁₃ ·4H ₂ O	86	22.0	1.84
	Sulfato de cobre*	25% Cu	CuSO ₄ ·5H ₂ O	32	31.6	2.63
	Cloruro cúprico *		CuCl ₂	32	71.0	5.93
	Sulfato de calcio	23% Ca	CaSO ₄ ·2H ₂ O		0.241	0.02
	Sulfato férrico *	20% Fe	FeSO ₄ ·7H ₂ O*1		15.65	1.31
	Sulfato de magnesio	9.67% Mg	MgSO ₄ ·7H ₂ O	68	71.0	5.93
	Sulfato del manganeso*	27% Mn	MnSO ₄ ·4H ₂ O	32	105.3	8.79
	Molibdato de amonio	54% Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O		43.0	3.59
	Molibdato de sodio	39% Mo	Na ₂ Mo ₄	44.3		3.70
	Sulfato de zinc	36% Zn	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	68	96.5	8.05
	Quelato de zinc	5-14% Zn	DTPA y EDTA		v. sol.	v. sol.
	Quelato de manganeso	5-12% Mn	DTPA y EDTA		v. sol.	v. sol.
	Quelato férrico	4-14% Fe	DTPA, HOEDTA y EDDHA		v. sol.	v. sol.
	Quelato de cobre	5-14% Cu	DTPA y EDTA		v. sol.	v. sol.
	Zinc lignosulfonatado	6%n	Lignosulfonato		v. sol.	v. sol.
	Manganeso lignosulfonatado	5-14% Mn	Lignosulfonato		v. sol.	v. sol.
	Fierro lignosulfonatado	6% Fe	Lignosulfonato		v. sol.	v. sol.
	Cobre lignosulfonatado	6% Cu	Lignosulfonato		v. sol.	v. sol.
Sulfato de calcio		CaS ₅ +Ca ₂ S ₃ ·5H ₂ O		alta	alta	
Ácido sulfúrico	95%	H ₂ SO ₄		v. alta	v. alta	

*acidificado

Debe ser mantenido en mente que cuando se usen fertilizantes secos como fuentes de ingredientes, solo el 100% de los materiales fertilizantes solubles en agua deberán ser usados para preparar soluciones fertilizadoras. Varios productos de fertilizantes secos usados para hacer soluciones fertilizadoras son comercializadas con o sin un acondicionador protector. Siempre que sea posible, deberá ser comprada la forma del producto “GRADO DE LA SOLUCIÓN” para evitar tener problemas con la distribución del acondicionador y el taponamiento potencial que pueden causar. Es más si el 100% si el fertilizante seco soluble en agua no esta disponible en la forma “GRADO DE LA SOLUCIÓN” (p.e., nitrato de amonio con un contenido de nitrógeno de 33.5% a 34%), es mejor sustituir la forma líquida de ese fertilizante, si es posible (p.e., NA-20 en lugar de el nitrato de amonio seco)

3.1.2. Efecto fresco con mezclar.

La mayoría de los fertilizantes nitrogenados sólidos secos absorberán calor cuando son mezclados. Esto resultara en un líquido muy frío lo cual puede causar que el agua de la atmósfera se condense por fuera del tanque mezclador. Esta temperatura fría no deberá plantear un problema para la inyección en el agua de riego. La temperatura fría de la solución deberá mezclarse con un volumen considerablemente grande de agua que resultara en una agua fertilizante de riego tratada de casi la misma temperatura como el agua bombeada del pozo, canal de riego, o depósito.

El problema real del “efecto fresco” es que la solubilidad total del fertilizante es normalmente es menor cuando la solución es muy fría. Consecuentemente, puede ser difícil disolver tanto fertilizante como es esperado. En este caso, será necesario calentar la solución para permitir a la mezcla soportar por varias horas o por recirculación continua de la mezcla hasta que todo el fertilizante sea disuelto. Esto permitirá a la cantidad deseada de fertilizante ser mezclada en la solución. Si la temperatura ambiente es lo suficientemente baja para impedir la solución de la mezcla por calentamiento, puede ser mejor preparar una solución fertilizante de baja concentración. Por ejemplo, en climas calientes es posible hacer una solución 2-0-8 usando nitrato de potasio. En climas fríos, una 2-0-8 es difícil preparar, así el análisis de la solución debe ser reducido a 1-0-4. Esto no representa problema debido a que la solución puede ser aplicada a el doble de la tasa proyectada de 2-0-8, de este modo se lleva a cabo el mismo nivel de aplicación de nutrientes como originalmente se tenía proyectado.

Los productos fertilizante secos que significativamente disminuyen la temperatura del agua en que están siendo disueltos, son urea, nitrato del amonio, y nitrato de potasio.

3.1.3. Compatibilidad de los fertilizantes

Debe ser notado que los problemas de compatibilidad pueden ocurrir solo cuando los fertilizantes líquidos son combinados, si o no los fertilizantes líquidos estuvieron originalmente en forma de líquido, o fueron preparados de materiales solubles secos.

Cuando se preparan soluciones de fertilizantes de varias fuentes de ingredientes, uno debe considerar lo siguiente:

1. La seguridad implicada en la elaboración de las soluciones.
2. Los efectos de la solución fertilizante líquida entre si cuando se agregan a el mismo tanque.
3. La reacción de los fertilizantes líquidos en el sistema de riego
4. El tipo de sistema de riego y su susceptibilidad al taponamiento u otros problemas.

Si hay alguna pregunta acerca de la seguridad de elaboración de una mezcla o de la compatibilidad de los ingredientes, sería prudente consultar a distribuidores de fertilizantes o al asesor de la finca. Una buena regla es: CUANDO ESTE EN DUDA, DESCÁRTELO!.

3.1.4. La prueba de la jarra.

Una “prueba de jarra” involucra poner algo de la solución de fertilizante en una jarra de agua de riego, y vigilar por algunos precipitados o MILKINESS que puede ocurrir en una o dos horas. Si ocurre nebulosidad, hay una oportunidad que la inyección de ese químico causara taponamiento a la tubería o de los emisores. Si diferentes soluciones de fertilizantes serán inyectadas simultáneamente en el sistema de riego, mezclar las dos en una jarra. Cuando la prueba de compatibilidad o aceptabilidad de cualquier solución fertilizante o combinación de soluciones, usar la tasa de dilución aproximada que debe ser esperada cuando el producto es inyectado en el sistema de riego. Por ejemplo,

asumir una solución fertilizante que será inyectada a una tasa de 300 GPH en un sistema de riego que entrega 1200 GPM a el campo. La tasa de dilución deberá ser 1:2400. Un (1) mililitro de la solución del fertilizante agregado a 2400 mililitros de agua deberá ser la misma como la tasa de inyección proyectada. Esté seguro de llevar protección y lentes de seguridad al realizar cualquier prueba de jarra

NOTA: Es mejor hacer una pequeña cantidad de la solución para probar la compatibilidad antes de preparar grandes lotes o una solución fertilizante. Antes de la inyección la solución del fertilizante en el sistema de riego uno deberá siempre realizar una prueba de jarra.

3.1.5. Reglas básicas de mezclado.

Algunas reglas básicas de compatibilidad para mezclar, incluyen lo siguiente:

1. Siempre llene el contenedor de la mezcla con un 50 a un 75% del agua requerida para ser usada en la mezcla.
2. Siempre agregue los materiales fertilizantes líquidos al agua en el recipiente mezclando antes de agregar fertilizantes secos solubles. El fluido adicional proporciona algo de calor en caso de que los fertilizantes secos tengan la característica de hacer las soluciones frías.
3. Siempre agregue los ingredientes secos lentamente con agitación o circulación para prevenir la formación de grandes, pedazos de lenta insolubilidad o solubilidad.
4. Siempre ponga ácido en el agua, no agua en el ácido.

5. Cuando el agua cloro con gas cloro, siempre agregue cloro al agua, y no al revés.
6. Nunca mezcle un ácido o fertilizante ácido con cloro, si el cloro está en forma de gas o líquido tal como hipoclorito de sodio. Se formará un gas tóxico de cloro. Nunca almacene ácidos y cloro en el mismo lugar.
7. No intente mezclar cualquiera: amoníaco anhidro o amoníaco directamente con cualquier tipo de ácido. La reacción es violenta e inmediata.
8. No intente mezclar soluciones de fertilizantes concentrados directamente con otros fertilizantes en solución concentrados
9. No mezcle un compuesto que contenga sulfato con otro compuesto que contenga calcio. El resultado puede ser una mezcla de yeso insoluble. Por ejemplo, inyectando ambos: nitrato de calcio y sulfato de amonio en la misma agua de riego causara la formación de sulfato de calcio (yeso) –el sulfato de calcio tiene muy baja solubilidad. Aunque el nitrato de calcio es muy soluble y el sulfato de amonio tiene buena solubilidad, crean problemas cuando son mezclados juntos en el mismo contenedor o cuando se vierten juntos de tanques mezcladores separados. Los cristales de yeso formados y tapan los emisores o filtros.
10. Siempre verifique con el proveedor de químicos la información acerca de la insolubilidad e incompatibilidad.
11. Sea sumamente precavido sobre mezclar fertilizantes sulfúrico urea con la mayoría de los otros compuestos. La urea sulfúrico es incompatible con muchos compuestos.

12. Ya que las soluciones fertilizantes son aplicadas en muy pequeñas dosificaciones, y si son inyectados lugares separados, muchos de los problemas de incompatibilidad tenderán a desaparecer. La prueba de la jarra es esencial cuando llegan a decidir si las soluciones pueden ser inyectadas simultáneamente en el sistema de riego.
13. No mezcle fertilizantes conteniendo fósforo con otros fertilizantes conteniendo calcio sin primero realizar la prueba de la jarra.
14. El agua extremadamente dura (conteniendo relativamente grandes cantidades de calcio y magnesio) se combinarán con compuestos de fosfato, polifosfato neutro o sulfato para formar sustancias insolubles.

3.2.1 Solubilidad del fósforo.

Todos los fertilizantes comerciales contienen un porcentaje de garantía de P_2O_5 en la etiqueta así como la solubilidad en el agua y la solubilidad CITRATE del fósforo. Esto indica que bajo condiciones de laboratorio, una cantidad segura de fósforo puede disolverse en el agua y en el CITRATE de amonio (solución similar al jugo de naranja con amoniaco agregado en casa). El Citrato soluble en fósforo es considerado ser disponible para los cultivos durante la temporada de crecimiento incluso aunque no sea inmediatamente soluble en agua.

La mayoría de los fertilizantes fosforados secos comercializados por lo general las aplicaciones no pueden ser inyectadas en el agua de riego debido a que son demasiado insolubles. Toda la calidad del fertilizante fosfato de amonio

y todos los fertilizantes de superfosfato son demasiado bajos en solubilidad para ser de valor en la fertirrigación.

El fosfato monoamónico (MAP) 12-61-0, el fosfato diamónico (DAP) 21-53-0, el fosfato monobásico de potasio 0-52-34, el ácido fosfórico, y la urea fosfato, el polifosfato de amonio líquido 10-34-0, y la cadena larga de polifosfato representada por varios solubles en agua o el agua MISCIBLE fertilizantes fosfatados, no obstante, pueden todavía problemas de precipitación cuando son inyectados a altas tasas de aplicación en el agua de riego dura.

Muchos agricultores quienes inyectan fósforo a través del sistema de goteo o microirrigación deben de usar formas ácidas de fertilizantes fosforados en lugar de formas neutras. Algunos agricultores usan exclusivamente ácido fosfórico, o en combinación con otros productos fertilizantes. El ácido fosfórico no solo provee fósforo y la reducción del pH del agua de riego; también ayuda a mantener los emisores limpios del crecimiento bacterial. El ácido fosfórico blanco pocas impurezas comparado con el ácido fosfórico verde. El ácido fosfórico blanco debe ser la forma preferida cuando se inyecte en sistemas de riego por goteo, pero la disponibilidad en el mercado y su considerablemente alto costo comparado con el ácido verde, limita su uso a muy específicas situaciones. Algunos agricultores han reportado problemas de taponamiento en los emisores con el uso de ácido fosfórico verde, pero el taponamiento es más asociado con las tasas de inyección demasiado bajas para desplazar el efecto bufer de el calcio y el magnesio contenidos en el agua de riego. La inyección del ácido fosfórico será efectiva solo con tal de que el pH del agua fertirrigada permanezca muy baja. Así como el pH aumenta (debido a la disolución con el

agua de riego) el fosfato se precipita con el calcio y el magnesio. Algunos agricultores complementan las inyecciones de ácido fosfórico con la urea ácida para asegurar que el pH del agua de riego permanezca bajo (3.0 o más bajo).

Precaución debe ser empleada con cualquiera de esas prácticas porque valores de pH bajos (por debajo de 5.5) puede incrementar la corrosión de los metales del sistema, incrementar la toxicidad de ciertos micronutrientes o dañar la rizósfera de la planta.

Los productos de fosfato de urea son realmente excelentes fertilizantes, aunque su disponibilidad en el mercado no es particularmente extensiva. Tienen un suficiente bajo pH para prevenir la precipitación del calcio y el magnesio. Pueden también retardar la precipitación del P en suelos altamente calcáreos los cuales mejoran su disponibilidad en el suelo (Purdy, 1994).

Como se mencionó previamente, el fósforo reacciona con muchas otras combinaciones para crear precipitados insolubles. Esas reacciones deben ser consideradas cuando se estén combinando fertilizantes fosforados con otros fertilizantes. Las siguientes son reglas generales con respecto a la compatibilidad del fósforo:

1. El fósforo y el calcio, cuando están juntos en solución, forman di y tricalcio de fosfato los cuales son fosfatos insolubles. Esas formas de fosfatos pueden taponar las líneas de riego. El calcio puede venir en cualquiera: el agua de riego o los fertilizantes.
2. El fósforo, el nitrógeno amonio, y el magnesio, cuando están en solución juntos, algunas veces pueden formar fosfatos de magnesio o fosfatos de

magnesio amonio, los cuales son insolubles y taponan las líneas. El magnesio puede venir en cualquiera: el agua de riego o otros fertilizantes.

3. El fósforo y el hierro, cuando están juntos en solución, puede formar formas de fosfatos de hierro los cuales son insolubles. Sin embargo, la mayoría de las aguas contienen sólo bajos niveles de hierro, y esto es raramente un problema. Controlando (disminuyendo) el pH del agua de riego o usando grandes cadenas lineales de meta o polifosfatos pueden reducir el problema de la precipitación de los fosfatos de hierro.
4. Para los productos de amonio y el orto/polifosfato (10-34-0 y 11-37-0) y los fosfatos de mono/diamonio (12-61-0 y 21-53-0), la calidad del agua de riego debe ser conocido antes de intentar inyectar estos fertilizantes. Esos materiales fosforados reaccionan en agua dura para formar precipitados los cuales causan taponamiento. Consecuentemente, la dureza del agua debe ser determinada antes de inyectar esos productos. Combinando calcio y magnesio debe permanecer por debajo de 50 ppm y el bicarbonato debe permanecer en menos de 150 ppm. La concentración de calcio y magnesio puede ser tan alta como 75 ppm si la concentración del bicarbonato es tan baja como 100 ppm con una fuente neutra de fósforo (Pudrí, 1994).

3.2.2 Potasio.

Todo los fertilizantes de potasio son solubles en agua. El sulfato de potasio (K_2SO_4) puede correrse a través de varias yeso máquinas de inyección

por si mismos, pero puede formar una sustancia polvorienta si esta es corrida junto con el yeso en aguas altas en calcio.

El tiosulfato de potasio (TKS) es compatible con las soluciones de urea y el polifosfato de amonio en cualquier relación. El tiosulfato de potasio no debe ser mezclado con ácidos o fertilizantes acidificantes. Cuando son mezcladas con solución UAN, la prueba de la jarra es recomendada antes de mezclar grandes cantidades. Bajo ciertas proporciones de mezcla, particularmente cuando es usada una cantidad insuficiente de agua en la mezcla, el potasio en el KTS puede combinarse con nitratos en la mezcla para formar cristales de nitrato de potasio. Si esto pasa, agregue más agua y/o calentar la solución puede producir que se disuelvan los cristales en la solución.

3.2.3. Calcio.

Los fertilizante que contienen calcio deben ser drenadas de todos los tanques, bombas, filtros, y tuberías máxime para inyectar cualquier fertilizante fosforado, nitrato de urea amonio, o urea sulfúrica. Las líneas de riego deben ser drenadas para remover todos los productos fertilizantes incompatibles antes de que un fertilizante conteniendo calcio sea inyectado. El calcio no debe ser inyectado con cualquier forma de fertilizante sulfatado. Esta combinación crea yeso insoluble.

3.2.4. Micronutrientes.

Varias formas de Micronutrientes metales son relativamente insolubles, y por lo tanto no son usados para propósitos de fertirrigación. Estos incluyen el carbonato, óxido, o hidróxido formas de zinc, manganeso, cobre y hierro. Esos productos relativamente baratos pueden ser asperjados e incorporados en el suelo. Sin embargo, constituyen a largo plazo una fuente de Micronutrientes y suministrara solo a un bajo nivel de nutrientes por varios años.

La forma del sulfato de cobre, fierro, manganeso y zinc es la más común y normalmente menos cara fuente de Micronutrientes. Estos sulfatos metal son solubles en el agua y son fácilmente inyectados en el agua de riego. Sin embargo, usando esos materiales para la fertirrigación no es muy exitoso en aliviar una deficiencia de un micronutriente cuando es aplicado a través de aspersión, surcos, y melgas. La razón es que el ion metal tiene una fuerte carga eléctrica (2^+) y llega ser atraída a los sitios de intercambio catiónico de las partículas de arcilla o de la materia orgánica donde tiende a situarse cerca de la superficie del suelo. Consecuentemente, los Micronutrientes normalmente no alcanzan la mayoría de la rizósfera de la planta. Con el goteo enterrado, los sulfatos pueden ser efectivos.

El pH del suelo controla la disponibilidad de las formas de sulfato de magnesio, fierro, cobre, y zinc. Aunque el sulfato de manganeso, sulfato de fierro, y sulfato de cobre son suficientemente solubles para preparar soluciones

para su inyección en los sistemas de goteo, si el pH del suelo es alto (p.e. pH 7.4 o mas alto) el manganeso, fierro, y cobre son cambiados a formas pequeñas e indisponibles o no se obtendrá beneficio de su uso. Si la solución del sulfato metal es acidificado, de cualquier manera, la disponibilidad de los micronutrientes pueden ser prolongados por el suelo. El zinc es poco susceptible a los efectos del pH del suelo, y por lo tanto el sulfato de zinc puede ser una fuente muy efectiva de este micronutriente. Algunos de los micronutrientes metal pueden ser muy disponibles como las formas del cloruro o el nitrato. Esas formas son muy solubles y caras. Pueden usarse fácilmente para fertirrigar, pero como las formas de sulfato, los ion metal se acumularan en la superficie del suelo en lugar de moverse a través del suelo. Las formas de compuestos de cloruro son muchos más corrosivas y el procedimiento especial de manejo debe ser usado con esos materiales cuando están concentrados en solución.

Los micronutrientes deben ser aplicados en aplicaciones foliares para complementar inyectados los micronutrientes en el sistema de riego. Las mezclas comúnmente inyectadas son de tipo quelatos (EDTA, DTPA, EDDHA (fierro, solamente) o complejos ligosulfonato de metales micronutrientes) o soluciones de sulfato de metales inorgánicos. Los metales tipo quelatados de el EDTA, DTPA, y EDDHA no son compatibles con ácidos o mezclas de fertilizantes acidificados. Los lignosulfonatos estan limitados compatiblemente con los ácidos o mezclas de fertilizantes acidificados. Los sulfanos inorgánicos de metal son usualmente no compatibles con mezclas de fertilizantes neutros, pero son compatibles con ácidos y fertilizantes acidificados sobre 1.5% de

contenido de metal de la mezcla en un peso a base peso. Otra vez, una pequeña cantidad de micronutrientes/macronutrientes mezclados debe ser hecha para determinar la compatibilidad. Una vez que la compatibilidad es asegurada, los micronutrientes, los micronutrientes pueden ser aplicados acorde a las necesidades del cultivo. Los agricultores contactados por el IRTC han mencionado no problemas con propiamente la formulación de mezclas.

Ha habido un problema con mezclar cierto quelatos de zinc con CAN-17 y guardar esta mezcla toda la noche. La variación en los procesos de formulación de elaboración de los quelatos EDTA zinc parecen estar asociados con la incompatibilidad. El problema es que hay una formación de compuestos insolubles que se sedimentan el fondo de el tanque. Debido a que todas las marcas de quelatos de EDTA zinc no son incompatibles con CAN-17, la prueba de la jarra es el método apropiado para determinar la compatibilidad. Sin embargo, la inyección separada y simultáneamente de CAN-17 y los quelatos de zinc, no resultan en problemas de precipitación. Esto es debido a la gran disolución que ocurre. El problema solo se eleva cuando la incompatibilidad de las marcas de quelatos de EDTA zinc son almacenados juntos con CAN-17. Si los agricultores desean inyectar CAN-17 y quelatos de zinc como una mezcla, deben hacerlo tan inmediatamente después de recibir el producto (Dickinson, 1995). Cuando los agricultores ordenan una mezcla de EDTA/CAN-17 de su distribuidor de fertilizantes debe requerir la mezcla del CAN-17 y el quelato de zinc ser preparada con solo unas pocas horas antes de entregar y entonces usar la mezcla rápidamente.

3.2.5. Corrosión.

Los fertilizantes y otro químicos inyectados pueden ser corrosivos al equipo de riego. Algún trabajo clásico fue hecho por Martín (1953) con seis metales inmersos en ocho diferentes soluciones de fertilizantes por cuatro días. La tabla 10.1 muestra los resultados de este trabajo. Además se agrega un cuadro más completo a cerca de la resistencia de diferentes materiales a diferentes químicos en la tabla 10.2.

Tabla 10.1 corrosión relativa de varios metales (Martín, 1953)

Clase de metal	Nitrato de calcio	Nitrato de sodio	AN-20	Sulfato de amonio	Urea	Fosfato ácido	Fosfato diamonio	Mezcla* 17-17-0
Fierro galvanizado	2	1	4	3	1	4	1	2
Hoja de aluminio	No	2	1	1	No	2	2	1
Acero inoxidable	No	No	No	No	No	1	No	No
Fosfo-cobre	1	No	3	3	No	2	4	4
Cobre amarillo	1	No	3	2	No	2	4	4
PH*	5.6	8.6	5.9	5.0	7.6	0.4	8.0	7.3

No, ninguna; 1, ligera; 2, moderada; 3, considerable; 4, severa.

La solución fue hecha por disolución de 100 lbs de material en 100 galones de agua

***mezcla de sulfato de amonio, fosfato diamonico, y sulfato de potasio.**

**de la solución fertilizadora.

La tabla de arriba indica que el nitrato de amonio, el ácido fosfórico, y el sulfato de amonio son todos bastante corrosivos. Los aspersores y soportes

hechos con bronce o cobre son corroídos por el fosfato, particularmente en presencia de amonio (Viets et al., 1967).

El cobre es muy corrosivo al aluminio en incluso pequeñas dosis, y los compuestos de cobre (tales como el sulfato de cobre) deben ser evitados con todo el equipo de aluminio. Debe tenerse cuidado para no usar inadvertidamente sulfato de cobre tratado en depósitos o agua de canal.

Hay varios grados de acero inoxidable, el más común de los cuales es el No. 304. El acero inoxidable no. 304 es generalmente un inadecuado material para tanques fertilizantes debido a la corrosión. El No. 316 es requerido para tanques de fertilización, y debe ser considerado por muchos diseños de filtros.

III.- MATERIALES Y METODOS

3.1. Características del Área de Estudio.

3.1.1. Localización del Sitio Experimental.

La presente investigación se llevó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, municipio de Saltillo, Coahuila y cuyas coordenadas geográficas son 25° 21'20" de Latitud Norte y 101° 01'30" de Longitud Oeste y a una altitud media sobre el nivel del mar de 1743 m. En el laboratorio de hidráulica del departamento de riego y drenaje y en el área conocida como Jardín Hidráulico, administrada por dicho departamento.

3.1.2. Clima.

De acuerdo al sistema de Köppen modificado por E. García (1964), el clima de la región comprendida para Buenavista, Saltillo, Coah., es representado por Bso K(x') (e); donde los términos significan:

Bso.- Es el más seco de los BS, con un coeficiente de P/T (22.9).

K.- Templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18°, la del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente de 18°C.

x'.- Régimen de lluvia intermedio entre verano e invierno.

La precipitación media anual es de 345 milímetros.

Los meses lluviosos en el año son de junio a septiembre, siendo el más lluvioso el mes de junio.

3.1.3. Material utilizado.

Dos depósitos de agua de 1,000 y 30,000 litros.

1.5 m. De tubería de 1”

1.0 m. De tubería de 1.5”

3.0 m. De tubería de 2”

dos tanques amortiguadores con vertedor triangular, con capacidad de 20 y 100 litros por segundo. Respectivamente.

6 diafragmas

7 piezómetro

2 manómetros de presión

1 tubo de fierro de 4” de diámetro y 4 m. De longitud

1 tubo de fierro de 6” de diámetro y 4 m. De longitud

1 tubo de fierro de 8” de diámetro y 4 m. De longitud

1 tubo de fierro 10” de diámetro y 4 m. De longitud

1 tubo de fierro de 12” de diámetro y 4 m. De longitud.

3.1.4. Metodología.

Al nivel de laboratorio en el canal de pendiente variable se instalara la estructura para pruebas de succión con el diafragma.

Con el objetivo de visualizar el fenómeno de cavitación y visualizar también con los piezómetros la zona crítica de succión. La zona que tiene mayor succión.

En el jardín hidráulico se muestra también el dispositivo para medir en cada uno de los puntos seleccionados las presiones positivas y negativas con la finalidad de construir la línea piezométrica antes y después del diafragma, todo esto con la finalidad de encontrar la zona crítica de mayor succión y después pasar a la siguiente fase de succión de fertilizantes a la línea de riego.

Parámetros a evaluar: gasto, velocidad, área de diafragma, presiones positivas y negativas, número de Reynolds, número de Froud y el tener la gráfica de dependencia de éstas variables, de tal manera con los resultados obtenidos pueden ser de aplicación universal (Modelos Hidráulicos).

Se define varios conceptos que son útiles al desarrollar una técnica experimental.

Prototipo

Obra, maquina, fenómeno o sistema natural que se desea estudiar. A las variables relacionadas con él se les añade el subíndice p.

Modelo

Representación de un prototipo, para lo cual debe utilizarse condiciones de similitud o semejanza. A estas variables se les asigna el subíndice, m.

Escala

Relación que existe entre una magnitud del prototipo y su correspondiente en el modelo. Se representa con el símbolo de la variable tratada, a la cual se añade el subíndice, e.

Distorsión

Cuando dos o mas magnitudes semejantes se relacionan con dos o mas escalas diferentes se dice que existe distorsión. Generalmente se dice que un

modelo es distorsionado cuando se utilizan dos escalas para relacionar sus dimensiones geométricas, es decir, se tiene una de longitudes verticales, L_{v_e} , y otra para horizontales, L_{h_e} .

También se entiende como distorsión (se designa con la letra Ω) la relación de L_{h_e}/L_{v_e} y se expresa como:

$$\Omega = \frac{L_{h_e}}{L_{v_e}}$$

Punto homólogo

Al tratar con modelo y prototipo, se denomina puntos homólogos aquellos que tienen correspondencia geométrica, por tanto, partes homólogas son aquellas formadas por puntos homólogos.

Condiciones de semejanza

Si los resultados obtenidos en un modelo se desean transferir a un prototipo es necesario que los sistemas de flujo sean hidráulicamente similares; por tanto para que un modelo represente un fenómeno, debe cumplir tres condiciones de similitud o semejanza con su prototipo que son: la geometría, cinemática y dinámica.

Similitud o semejanza geométrica

La semejanza geométrica implica, de modo estricto, que se cumpla con la relación entre dimensiones homólogas, entre prototipo y modelo sean iguales. Así mismo deben ser iguales todos los ángulos homólogos, ésta última condición es especialmente importante en estudios de maquinaria hidráulica, ya

que dos máquinas, aunque sean idénticas no cumplen las condiciones de similitud geométrica si no tienen los álabes del distribuidor en la misma posición.

En otras palabras un modelo y un prototipo son geoméricamente similares sí y solo sí todas las dimensiones del cuerpo en la dirección de cada uno de los tres ejes coordenados, se relacionan mediante la misma escala de longitudes.

Lo anterior significa que el modelo y prototipo son idénticos en forma y únicamente difieren en tamaño. Por tanto, cualquier longitud del prototipo se puede obtener multiplicando su longitud homóloga en el modelo por un valor fijo que es la escala de longitudes o líneas.

$$L_p = L_e * L_m$$

Donde L_p , es una longitud en el prototipo; L_m , su longitud homóloga en el modelo y L_e , la escala de longitudes.

Similitud o semejanza cinemática.

Los movimientos en modelo y prototipo tienen similitud cinemática si partículas homólogas llegan a puntos homólogos en tiempos homólogos. Esto significa que las curvas e distribución de velocidades en secciones homólogos deben ser geoméricamente semejantes, independiente del plano de referencia escogido.

Por tanto, la similitud cinemática obliga a que modelo y prototipo tengan una escala de líneas y también de velocidades.

$$V_e = \frac{V_p}{V_m}$$

$$t_e = \frac{t_p}{t_m}$$

donde V_e es la escala de velocidades y t_e es la escala de tiempo.ii

Se cumple la semejanza dinámica si las fuerzas ejercidas por el fluido en puntos homólogos del modelo y prototipo están relacionados entre si mediante un valor fijo, que se denomina escala de fuerza, F_e .

Leyes de semejanza.

Sea mencionado que existe semejanza dinámica entre un prototipo y su modelo cuando las fuerzas que se generan en el interior del fluido en puntos homólogos están relacionados entre si, y tal relación es única y constante para todas las fuerzas.

Para que todo ello suceda, el modelo debe tener el mismo tamaño del prototipo. Sin embargo, en un escurrimiento en particular no todas las fuerzas son igualmente importantes; aún mas algunas pueden llegar a ser despreciables. Cuando esto ocurre la similitud dinámica se alcanza con un razonable grado de precisión, aún en modelos de diferentes tamaños que el prototipo y generalmente más reducidos.

Condición de reynolds.

Cuando un escurrimiento, la viscosidad del líquido gobierna o interviene en forma preponderante en el fenómeno por estudiar entre el prototipo y su modelo relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas viscosas .

La condición de reynolds, la debe cumplir modelos donde se estudien, por ejemplo, el empuje y sustentación de cueros y flujos laminares y de transición en tuberías.

3.1.5. Experimentos Evaluados.

El estudio consiste en evaluar la perdida de presiones generadas por el diafragma, durante el paso de diferentes gastos dados, a través de la red de tuberías conectadas en serie, el diámetro del diafragma variara cuatro veces, aun diámetro de tubería constante, esto con la finalidad de detectar la zona de mayor presión negativa posible, y poder recomendar a que distancia del diafragma se ubicara el tubo para la succión del fertilizante. Con diferentes diámetros de diafragmas y tuberías constantes se harán pruebas de succión de un volumen dado, a diferentes gastos. Esto con la finalidad de observar el menor tiempo posible de succión.

El cambio de diámetros de diafragma se realiza con el objetivo de observar la perdida de presión que existe al aumentar la velocidad con el paso del gasto por el orificio. someter a la perdida de presiones es para así evaluar su efecto de las distancias del diafragma al manómetro, en relación con el tiempo que succiona un volumen dado. En esta investigación los tratamientos son:

Experimento 1. La tubería esta conectada en serie su diámetro nominal es de dos pulgadas a la cual se le insertó por medio de una tuerca unión diafragmas de diámetros menores que el de la tubería con una relación de $\frac{d}{D}$.

Experimento 2. La tubería esta conectada en serie su diámetro nominal es de 2.5 pulg, a la cual se le insertó por medio de una tuerca unión diafragmas de diámetros menores que el de la tubería con una relación de $\frac{d}{D}$.

Experimento 3. La tubería esta conectada en serie su diámetro nominal es de 3 pulgadas a la cual se le insertó por medio de una tuerca unión diafragmas de diámetros menores que el de la tubería con una relación de $\frac{d}{D}$.

Todos los experimentos se hicieron con la finalidad de observar tiempos de succión y la línea piezometrica del sistema.

A los tres tratamientos se les toma lecturas de presiones con manómetros, tubos piezómetros y vacuómetros para el tramo de presiones negativas.

Cuadro 3.2. presenta los tratamientos a evaluar:

Diámetro de tubería	Diámetro de diafragma			
	En pulgadas.			
2"	1.2"	1"	0.826"	-
2.5"	1.5"	1.26"	1"	-
3"	1.771"	1.496"	1.2"	-

3.2.0. Distribución de los experimentos en campo.

Con la finalidad de avanzar en la investigación se realizaron pruebas en el laboratorio de hidráulica, para facilitar el procedimiento se instaló el experimento uno y se tomaron las lecturas correspondientes, y se desmontó para poder instalar los demás tratamientos y tomar las lecturas correspondientes.

3.3. Variables Evaluadas.

3.3.1. Presiones negativas.

Para determinar la zona de mayor presión negativa se realizaron varias tomas de lecturas con la finalidad de encontrar la zona con menor presión interior que la atmosférica y por consiguiente con menor tiempo de succión de un volumen dado.

3.3.2. Descripción del aparato a evaluar.

El medidor de Orificio es un elemento más simple, consiste en un agujero cortado en el centro de una placa intercalada en la tubería. El paso del fluido a través del orificio, cuya área es constante y menor que la sección transversal del conducto cerrado, se realiza con un aumento apreciable de la velocidad (energía cinética) a expensas de una disminución de la presión estática (caída de presión). Por esta razón se le clasifica como un medidor de área constante y caída de presión variable.

En la red de tubería (tubos galvanizados)conectado en serie, ubicado en el laboratorio de hidráulica del departamento de riego y drenaje, se instaló un

diafragma de plástico con diámetro menor al de la tubería, juntado por una tuerca unión, a la tubería se le hicieron perforaciones y se conectaron niples de tres octavos de pulgada, a dichos niples se le roscaron coples rápidos para insertar los manómetros o vacuómetros en su defecto, para tomar lecturas de presiones positivas y negativas.

Las perforaciones se hicieron, dos antes del diafragma, para conocer la presión con la que entra y después del diafragma se instalaron diez mas, para observar la pérdida de presión que existe al pasar el gasto por la contracción del diafragma y así poder construir la línea piezométrica.(ver figura 5 y6)

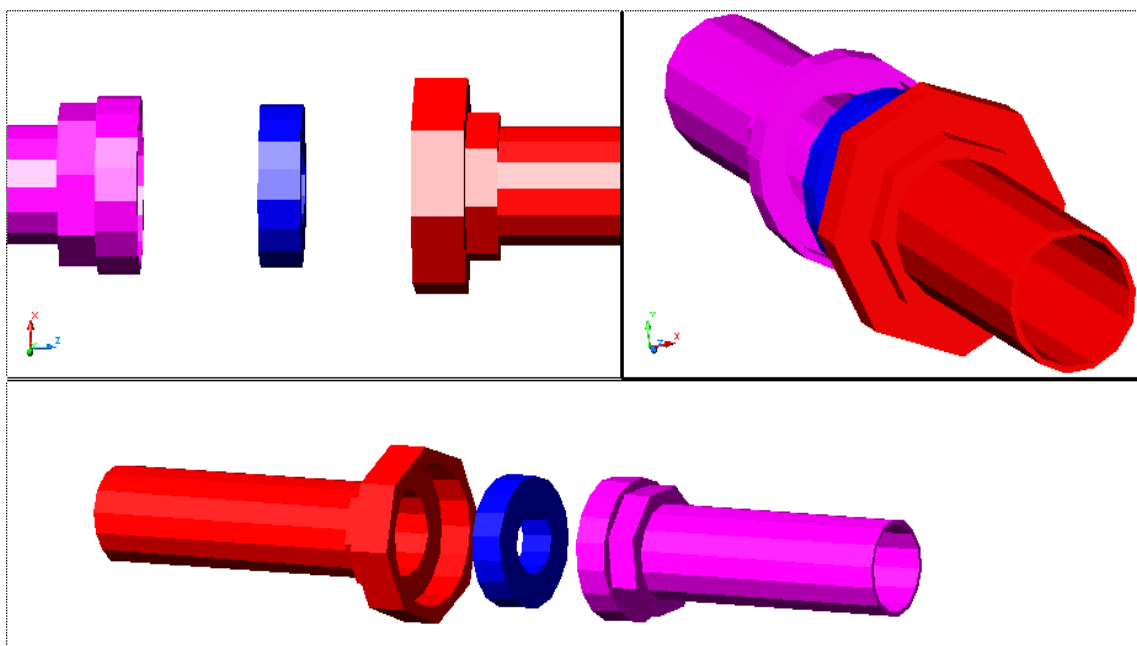
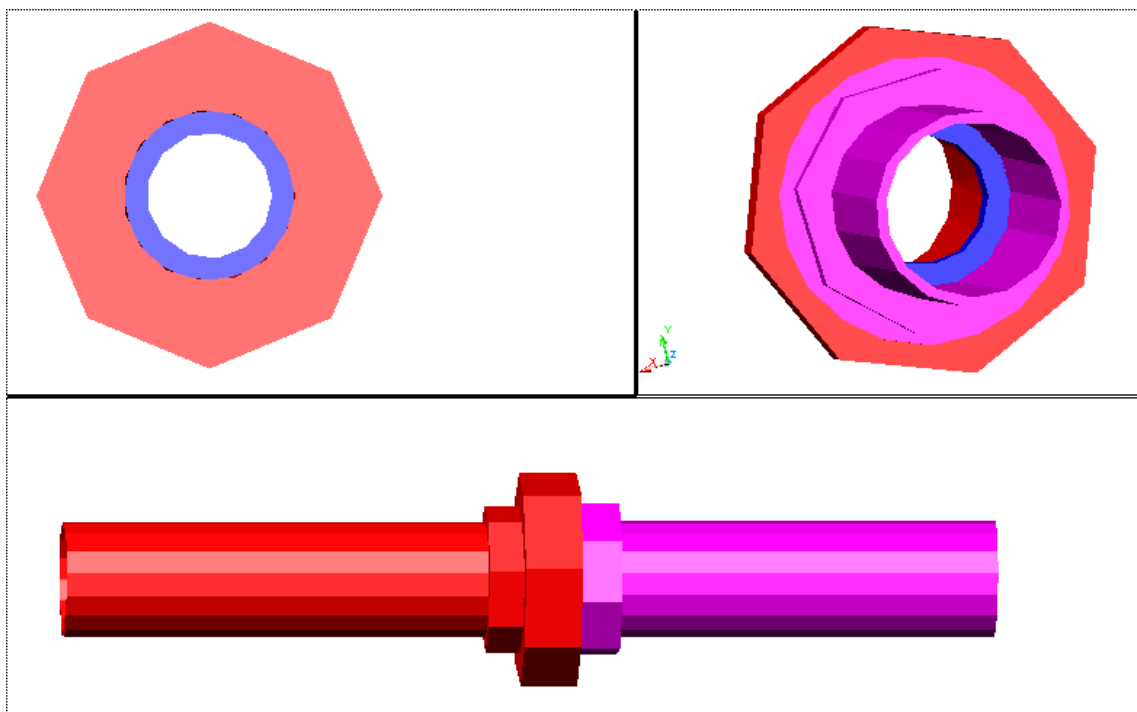


Figura 5 inyector de diafragma



3.4. Materiales.

En la elaboración del trabajo se realizaron diferentes actividades, para las cuales nos sirvió de apoyo el siguiente material:

Material eléctrico.

Un motor que se utilizó para suministrar energía a la bomba, el motor cuenta con las siguientes características: Marca ASEA, Tipo MRT (112s)-4, RPM 1730, Volts 440/220, Amp. 4.7/9.4, T° ambiente MAX. 40° C.

Bomba.

La bomba que se utilizó para alimentar el sistema cuenta con las siguientes características: modelo 3BKY3, serie 891210, Hp 3, RPM 1725. Dicha bomba es centrífuga de tipo voluta.

aforador.

Se utilizó un aforador de tipo molinete, para conocer el gasto aproximado que pasa por el conducto, este aforador no es muy exacto para investigación, por lo tanto también se aforo en el canal de pendiente variable, con un vertedor triangular. Las del aforador de tipo molinete son las siguientes: Marca Rain bird, las unidades son galones por minuto, rango de 0-250 GPM, y es de tipo molinete como ya antes se menciono.

Canal de pendiente variable.

Se utilizó el canal de pendiente variable con la finalidad de obtener mayor precisión en el aforo, al instalarle un vertedor triangular, y una lamina perforada que sirvió como resistencia al flujo. Las lecturas se tomaron a un costado con una regla graduada, con respecto al eje cero.

Vertedor triangular.

En esta investigación se utilizó un vertedor triangular, que se instaló en el canal de pendiente variable, para conocer el gasto del sistema, cuyas

características son: vertedor triangular, de 90° en la ranura y 17 cm. De altura con respecto del eje cero.

Contenedor de agua.

Se utilizó un contenedor para almacenar agua y suministrarlo al sistema, las dimensiones del contenedor son las siguientes: 1.09 m. de ancho * 1.48 m. de largo * 0.93 m. de profundidad. Con una capacidad de 1500 l.

tubería.

Se utilizó tubería galvanizada instalada en serie, se utilizaron diámetros distintos para cada tratamiento. Y tubería de polietileno para comunicar el canal de pendiente variable y el contenedor.

Accesorios.

Se utilizaron accesorios para el armado de la instalación los cuales son los siguientes: tees, codos de 90 y 45°, tuercas unión, coples, niples, ampliación y reducción campana, válvulas una de compuerta y una globo.

manómetro.

Se utilizaron manómetro de bourdon, para medir las presiones antes y después del diafragma, y en la zona de presiones negativas se utilizó un vacuómetro para detectar la zona de mayor presión negativa.

Taladro.

Utilizado para perforar, la pared y poder colocar soportes que detienen la tubería durante todo el experimento.

Cinta métrica.

Utilizadas para medir distancias de los tramos de tubería altura del nivel referencial, y en algunas pruebas altura de columna de agua en los tubos piezométricos.

Llaves stilson .

Se utilizaron para realizar la instalación del sistema, aflojar y apretar tuercas unión, codos, tees, cople, niples, reducciones y ampliaciones campana.

Herramientas.

Se utilizaron herramientas en general, como seguetas, desarmadores, escuadra, cinta teflón, perica,

IV. -RESULTADOS Y DISCUSION

Para la presentación y discusión de los resultados obtenidos mediante la presente investigación, el orden a considerar será el análisis de la línea piezometrica, succión en el manómetro más negativo, para los diferentes diafragmas y gastos, el gasto inyectado a gastos dados, pérdidas de carga y Log de Reynolds contra gasto inyectado y gasto inyectado entre gasto del sistema.

Líneas piezometricas, para las tubería de 2.0, 2.5 y 3.0 pulg. Con relación de $\frac{d}{D}=0.6$

Piezómetros	Gasto 4.92 lps	Gasto 5.86 lps	Gasto 8.831 lps
1	0.61		
2	0.665	0.4	1
3	0.73	0.4	1
4	0.795	0.4	1
5	0.715	0.4	1
6	0.615	0.4	0.8
7	0.42	0.4	0.6
8	-0.328	-0.328	-0.328
9	-0.789	-0.789	-0.657
10	-1.315	-1.31	-0.986
11	4.5	4	2.3
12	4.5	4	2.3

Cuadro 4.1 Datos para la construcción de la línea piezometrica, de la tubería de 2.0, 2.5 y 3.0 pulgadas, con relación $\frac{d}{D} = 0.6$

Al reducir el diámetro en un conducto cerrado existe un aumento en la velocidad originando una baja en la presión hasta por debajo de cero, al salir de

la reducción el agua se encuentra en un estado de ebullición en frío, es decir, el líquido esta siendo conducido en un sistema bifásico, agua y aire, esta se termina cuando llega a la zona de cavitación, esta zona se encuentra en la parte de la tubería en que se inicia la recuperación de la presión perdida.

Con este fenómeno se demuestra que la energía no se crea ni se destruye sino solo se transforma, la energía que se transforma la utilizamos para inyectar fertilizante a la red de riego.

Se observo que la línea piezometrica pasa hasta por debajo de la escala de cero en los manómetros 8, 9 y 10 siendo el 10 de mayor carga negativa, por encontrarse mas cerca del diafragma, el 8 y 9 aún son negativos, y en cuanto mas reduzcamos el diámetro interior del diafragma se harán mas negativos incluso el manómetro 7. aunque el de mayor succión será el que se encuentre mas cercano al diafragma. (ver figura 4.1)

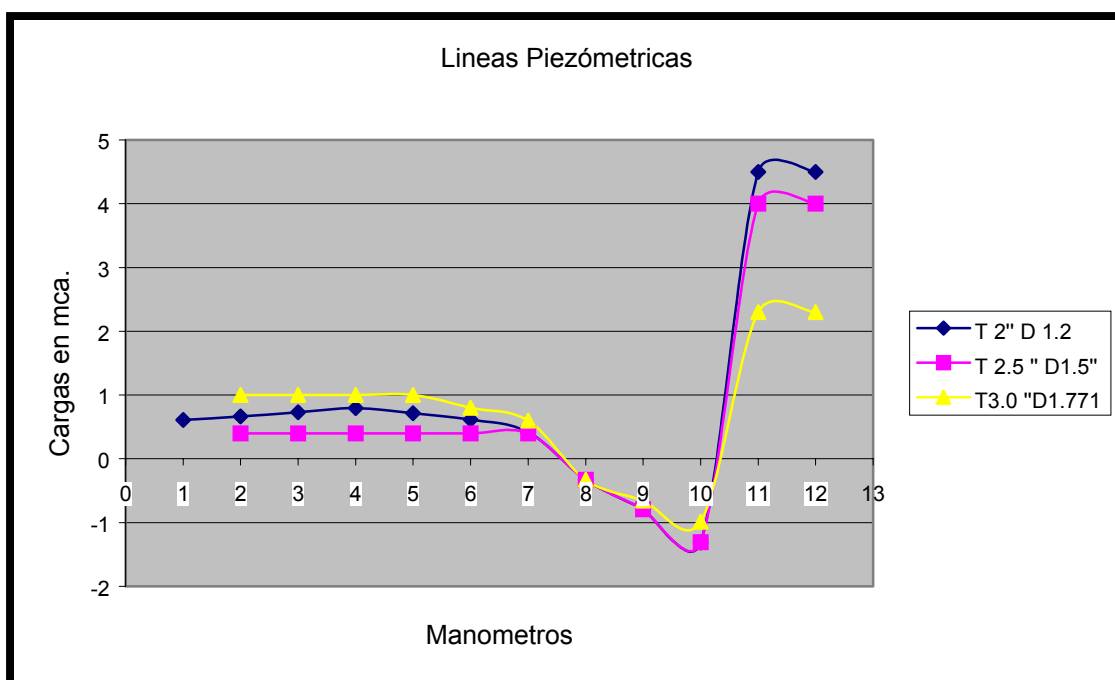


Figura 4.1 Línea piezometrica en función de $\frac{d}{D} = 0.6$

Succión, tubería de 2.0 pulg. Diaf. 1.2 pulg. Con relación de $\frac{d}{D} = 0.6$

Carga mca	Q=3.154	Carga mca	Q=3.785	Carga mca	Q=4.92
-0.246	0.32	-0.42763	0.364	-0.789	0.588
-0.411	0.46	-0.822	0.8794	-1.315	0.964

Cuadro 4.2 Datos para la construcción de la grafica de succión para el manómetro No. 10 en la tubería de 2.0 pulg. Y diafragma de 1.2 pulg.

Al aumentarle el gasto que pase por el diafragma aumenta la velocidad creando una reducción en la presión originando una succión, esta succión será mayor en cuanto más aumentemos el gasto y el piezómetro se encuentre cerca del diafragma, si reducimos el diámetro interior del diafragma aumentaremos velocidad, por lo tanto numero de reynolds también y por consecuencia el gasto inyectado Será mayor, pero existe también un incremento en la perdida de carga como se vera con las graficas de succión con diámetros de diafragma mas adelante.

En esta grafica se observa que cuanto mayor fue el gasto la presión de vacío fue más negativa y por lo tanto mayor la succión. (Ver figura 4.2)

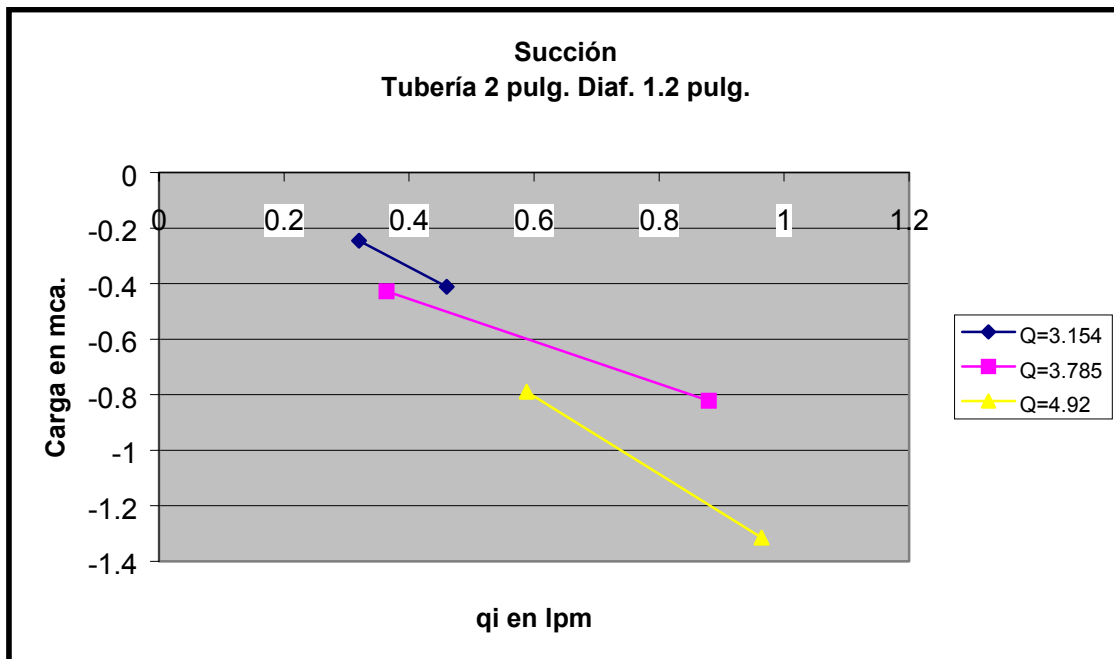


Figura 4.2 Relación del gasto inyectado con la presión de vacío, Manómetro 9 Y10

Succión en manómetros 8, 9 y 10 en la tubería de 2.0 pulgadas con relación de $\frac{d}{D} = 0.5$

Carga		Carga mca		Carga mca	
mca	Q=3.028	Q=3.552	Q=3.785	Q=3.028	Q=3.552
-0.328	0.463	-0.41	0.613	-0.657	0.753
-0.657	0.833	-0.822	1	-1.151	1.156
-1.151	1	-1.282	1.183	-1.71	1.366

Cuadro 4.3 Datos para construir curvas de succión.

En la siguiente gráfica de succión se hizo solo en la tubería de dos pulgadas para comprobar la capacidad de succión. Y se determinó que por el diámetro del diafragma succiona solo en los manómetros 9 y 10 siendo el 10 de mayor succión. De la misma forma que el manómetro anterior, a mayor gasto,

mayor presión de vacío por lo tanto mayor succión, aunque no mayor que el manómetro 10. (ver figura 4.3)

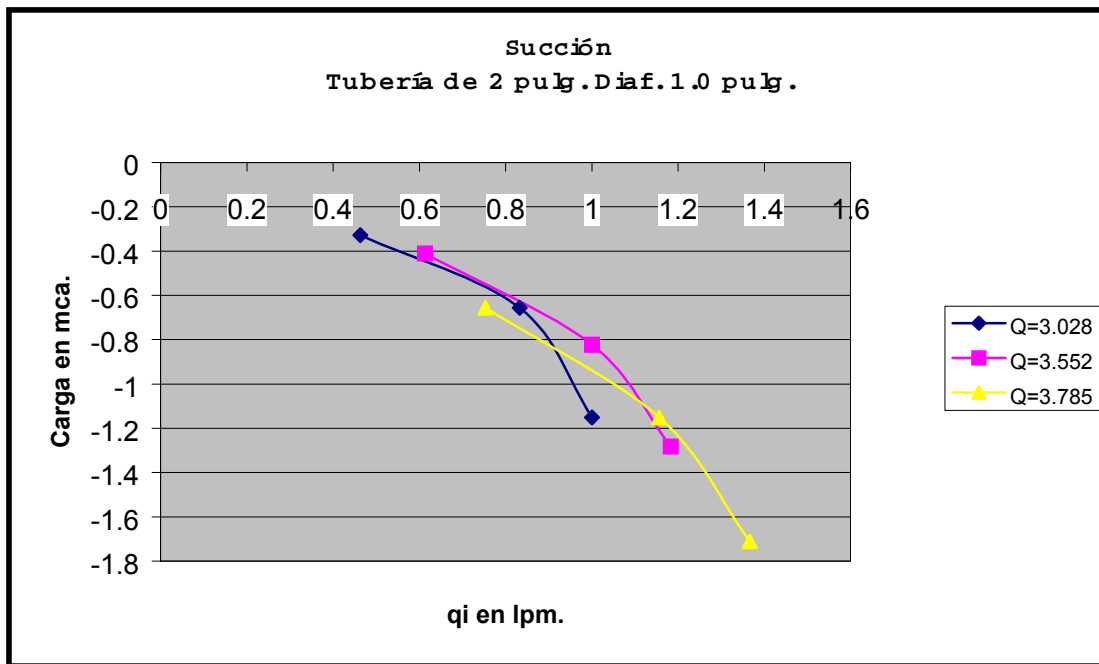


Figura 4.3 Relación del gasto inyectado con la presión de vacío. Manómetros 8,9 y 10

Succión en manómetros 7, 8, 9 y 10 en la tubería de 2.0 pulgadas con relación de $\frac{d}{D} = 0.4$

Carga mca	Q=1.892	Carga mca	Q=2.207	Carga mca	Q=2.838
-0.164	0.13	-0.328	0.31	-0.394	0.43
-0.328	0.683	-0.493	0.836	-0.986	1
-0.657	0.943	-0.855	1	-1.282	1.213
-0.822	1.01	-1.151	1.086	-1.71	1.41

Cuadro 4.4 Datos para la construcción de las curvas de succión

Al aumentar el gasto y con el diámetro menor del diafragma de relación 0.4 aumenta la velocidad del flujo en el diafragma formando una vena líquida y haciendo que la carga de vacío se incremente, y provoca que hasta el

manómetro 7 marque presiones negativas y por consiguiente succiona aunque es relativamente bajo en comparación con los manómetros más cercanos al diafragma. (ver figura 4.4)

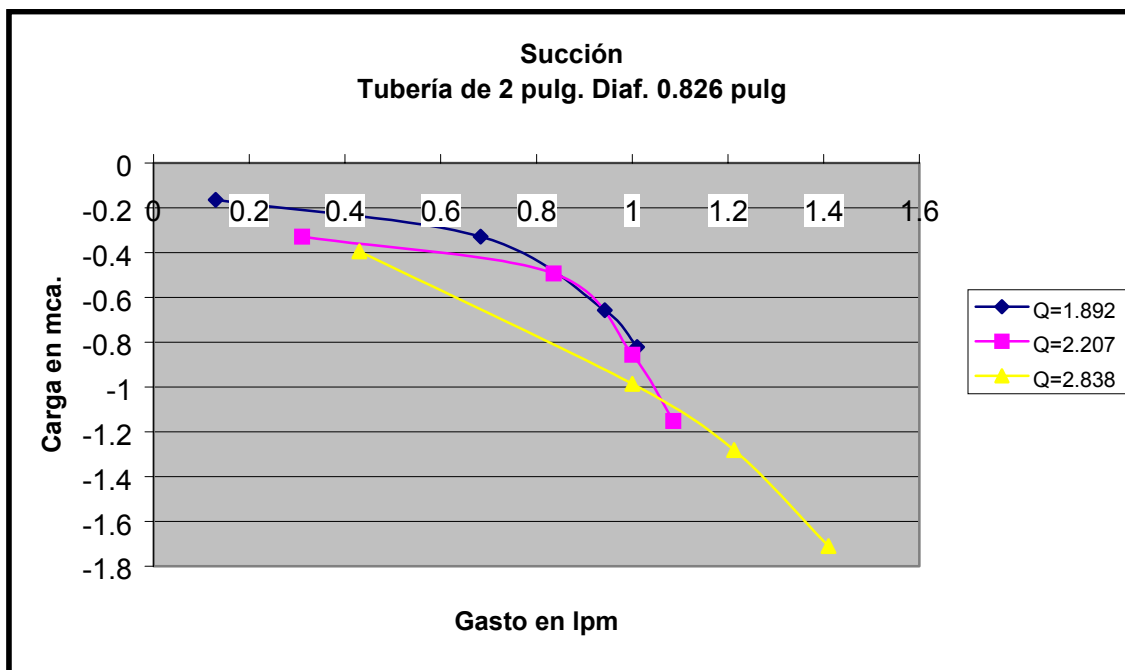


Figura 4.4 Relación del gasto inyectado con la presión de vacío. Manómetros 7,8,9 y 10

Delta H, en la tubería de 2.0 pulgadas para los tres diafragmas de relación 0.6, 0.5 y 0.4 respectivamente.

Diaf. 1.2 pulg		Diaf 1.0 pulg.		Diaf. 0.826 pulg.	
M11-M4	qi en lpm.	man 11-ma4	qi en lpm.	M11-M4	qi lpm M 10
3.705	0.964	5.53	1.366	7.745	1.41
2.65	0.8794	4.735	1.183	5.05	1.086
1.485	0.46	3.415	1	3.88	1.01

Cuadro 4.5tos para la construcción de las curvas de Delta H.

Las pérdidas de carga que se presentan en el sistema depende del gasto y de la reducción que tiene el diafragma, cuando existen pérdidas por el gasto quiere decir que a mayor gasto existen mas pérdidas de carga por la fricción

que tiene la frontera del líquido con las paredes del conducto, y por otro lado existen pérdidas por la disminución del diafragma, este opone mucha resistencia al paso del flujo, originando pérdidas considerables, al retener el flujo y solo permitiendo pasar una vena líquida por el orificio del diafragma, y a medida que reducimos el diámetro interior incrementamos pérdidas de carga, aunque también aumentamos la velocidad y reducimos la presión, logrando con ello una mayor succión en el manómetro más negativo, entonces recomendamos que con el diafragma de 0.6, es decir el más grande) podemos inyectar la misma cantidad que inyectamos con el diafragma más chico (de relación 0.4) pero con la ventaja que tendremos menos pérdidas de carga, debido a que opone menos resistencia al paso del flujo.

Las pérdidas fueron tomadas desde un piezómetro antes de pasar por el diafragma y después se tomaron las lecturas en el manómetro cuatro, en donde el flujo inicia su recuperación, y la diferencia entre el manómetro 11 y el 4 es la pérdida de carga que existe para ese diafragma y diámetro de tubería.

La gráfica nos muestra que entre más pérdida de carga existe un mayor gasto de succión. (ver figura 4.5)

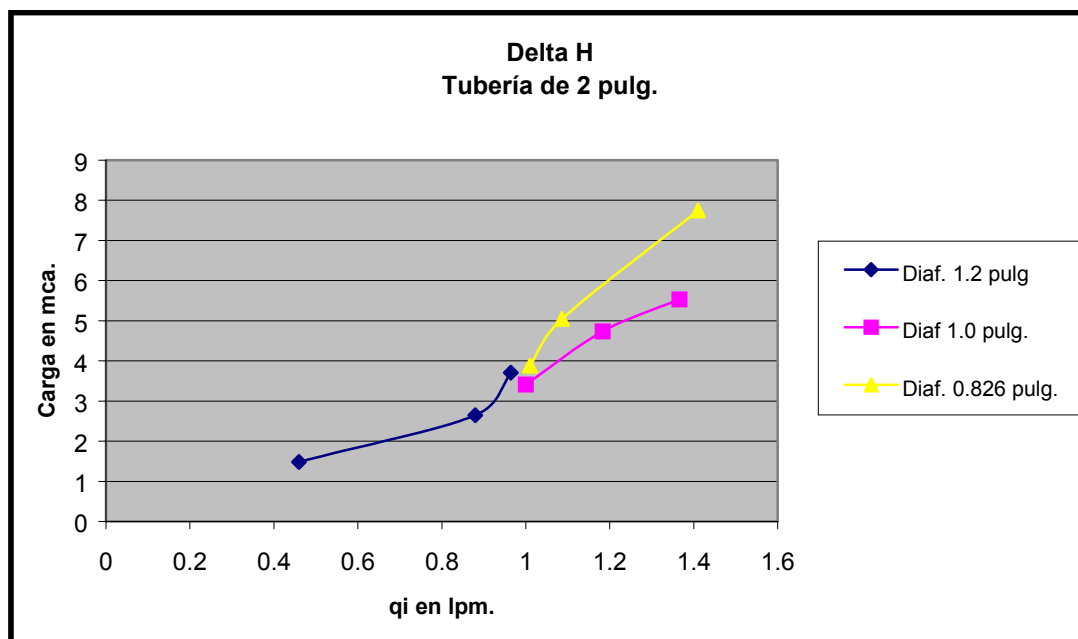


Figura 4.5 Relación del gasto inyectado con la pérdida de carga

Gastos, en la tubería de 2.0 pulgadas para los tres diafragmas de relación 0.6, 0.5 y 0.4 respectivamente.

Diaf. 1.771		Diaf. 1.496		Diaf. 1.2	
Q sistema	qi en lpm.	Q sistema	qi en lpm.	Q sistema	qi en lpm.
8.831	1.16	8.2	1.27	5.992	1.226
7.57	1.1	6.308	0.59	4.415	1
5.046	0.33	5.046	0.42	3.785	0.6

Cuadro 4.6 Datos para la construcción de las curvas de gastos, del sistema y el inyectado.

Al conducir un caudal muy grande en un conducto cerrado y mas aún cuando reducimos la sección transversal de conducto, la velocidad adquiere un incremento involucrando con esto un aumento en el numero de Reynolds y reduce la presión hasta por debajo de cero y s ahí donde donde puede introducir fertilizante líquido en la red de riego, por lo tanto, La relación que existe entre el gasto con que opera el sistema y el gasto inyectado es que a mayor gasto existe mayor succión.(ver figura 4.6)

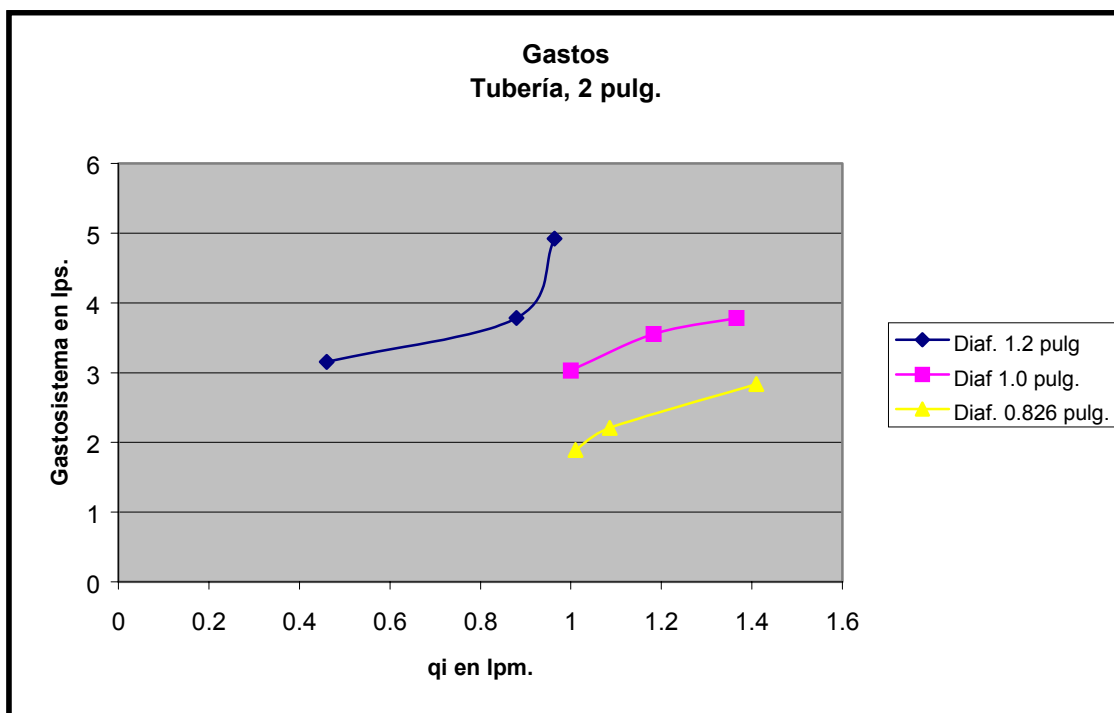


Figura 4.6 Relación del gasto inyectado con el gasto con que opera el sistema.

Relación del gasto inyectado con él log. Del numero de reynolds, para tubería de 2.0 pulg. Diaf. De 1.2, 1.0, 0.826 pulgadas.

Diaf. 1.2 pulg		Diaf 1.0 pulg.		Diaf. 0.826 pulg.	
Log Re	qi en lpm.	log Re	Q i. Man. 10	Log Re.	qi lpm M 10
5.234	0.964	6.276	1.366	5.828	1.41
5.095	0.8794	6.248	1.183	5.719	1.086
4.846	0.46	6.179	1	5.652	1.01

Cuadro 4.7 Datos para la construcción de las curvas de log de reynolds gasto inyectado (qi) en lpm,

La palabra turbulencia significa azar, y se define por las siguientes características:

mezcla del líquido o él entre cruzamiento de las de las líneas de flujo. (con las mezclas del líquido desaparecen las capas)

existe pulsación de la velocidad locales y esto implica a la velocidad media del flujo y al gasto como también existe pulsación.

Por lo tanto a medida que aumentamos el gasto el número de Reynolds aumenta, es decir la velocidad tiene más variación en la zona de vacío del sistema, aumentando el gasto de inyección. (ver figura 4.7)

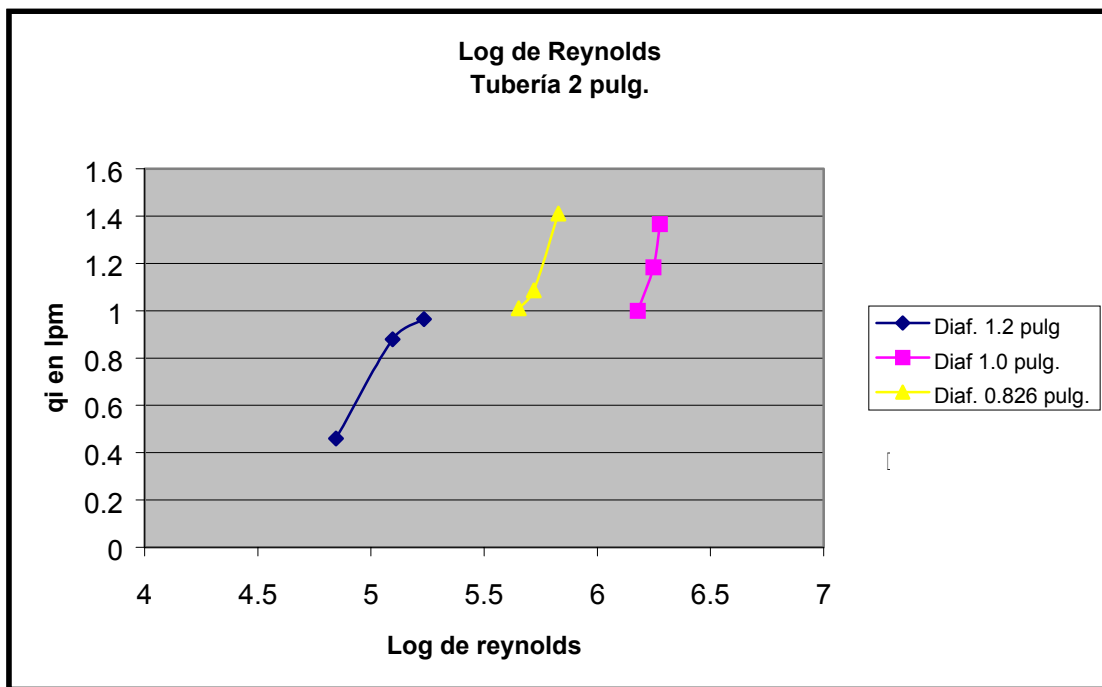


Figura 4.7 Relación del gasto inyectado con el log de Reynolds.

Para la tubería de 2.5 pulgadas se utilizaron diafragmas de la misma relación que el experimento anterior de $\frac{d}{D} = 0.6, 0.5$ Y 0.4 respectivamente y se graficaron las curvas de succión solo en el piezómetro mas negativo, ya que en el experimento anterior se demostró que los demás piezómetros que marcan vacío, succionan menos que el manómetro que se encuentra mas cerca del diafragma, por lo tanto para las tuberías de 2.5 y 3.0 pulgadas se tienen graficas del piezómetro numero 10 a continuación se muestran las graficas de la tubería de 2.5 pulgadas.

La relación que tienen es $\frac{d}{D} = 0.6$ diafragma de mayor diámetro, $\frac{d}{D} = 0.5$ diámetro medio y el menor es de $\frac{d}{D} = 0.4$

Succión, tubería de 2.5 pulg. Con relación de $\frac{d}{D} = 0.6$

Qs en lps.	qi en man 10	H M 10mca
7.57	1.53	-2.7
6.3	1.2	-1.84
5.86	1.05	-1.31
5.04	0.81	-0.65
3.46	0.61	-0.39

Cuadro 4.8 Datos para la construcción de la curva de succión del piezómetro 10 en la tubería de 2.5 pulgadas.

La succión en este piezómetro de la misma relación que el diámetro anterior se comporta de la misma manera, succionando aceptablemente y con menores pérdidas de carga que los diámetros menores. (ver figura 4.8)

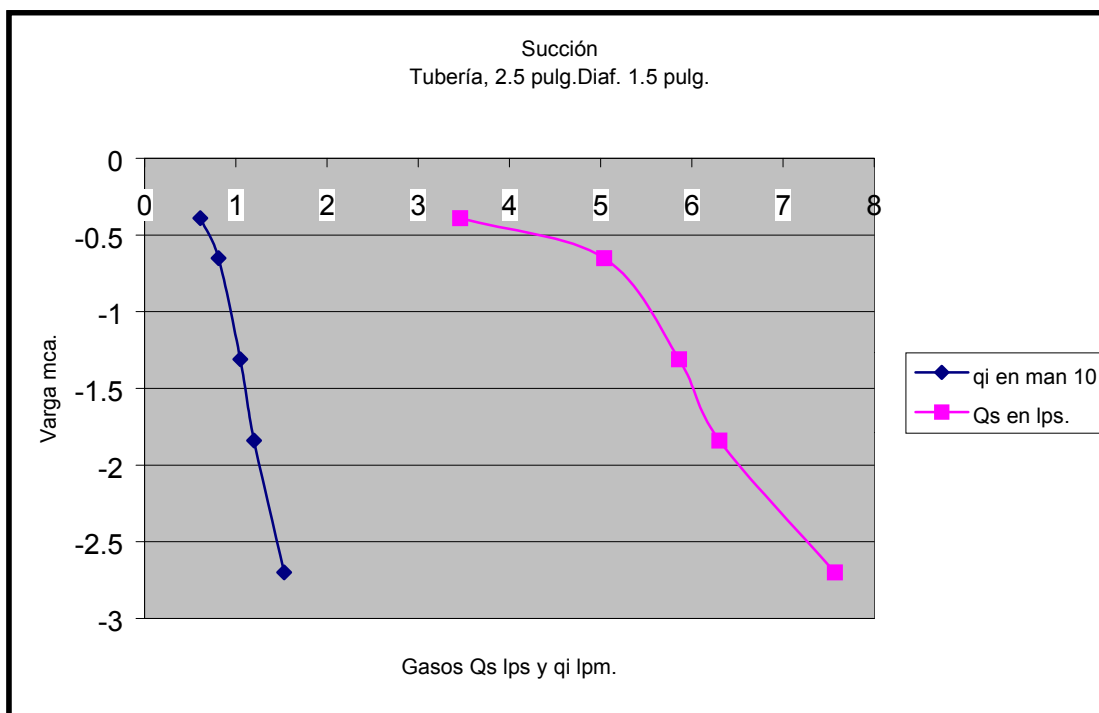


Figura 4.8 Relación del gasto inyectado con vacío.

Succión, tubería de 2.5 pulg. Con relación de $\frac{d}{D} = 0.5$

Qs en lps.	qi man9 lpm	H man 9mca	Qs en lps.	qi man9 lpm	H man 9mca
6.939	1.436	-2.763	3.785	1.16	-0.822
5.677	1.176	-1.71	3.154	0.861	-0.657
4.415	0.666	-1.151	2.523	0.728	-0.493

Cuadro 4.9 Datos para construir a curva de succión

La succión con esta relación es mayor gasto inyectado que el anterior, pero la desventaja que presenta en comparación con el diafragma anterior es que presenta mas pérdidas de carga por ser de menor diámetro. (ver figura 4.9)

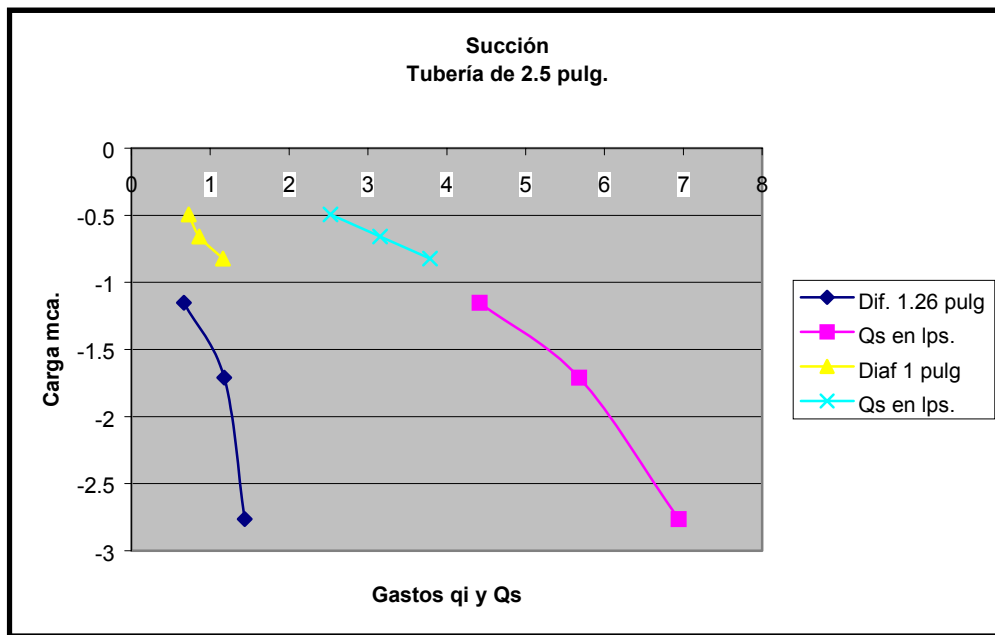


Figura 4.9 Relación del gasto inyectado con la presión de vacío.

Delta H, en la tubería de 2.5 pulgadas para los tres diafragmas de relación 0.6, 0.5 y 0.4 respectivamente.

Diaf. 1.5pulg.	Diaf. 1.26pulg.		Diaf. 1 pulg.			
	qi en man 10	M11-M6 D h	qi man9 lpm	M10-M4 D h	qi man9 lpm	M10-M4 D h
1.53	3		6.7		1.16	6.11
1.12	2.3	1.436	4		0.861	4.38
1.05	1.4	1.176	2.6		0.728	2.71
0.81	1.3	0.666				
0.61	0.4					

Cuadro 5 Datos para construir a curva de delta H

En la siguiente figura a medida que aumenta el gasto a inyectar también se incrementa la pérdida de carga así vemos que a medida que se reduce el diámetro del diafragma también aumenta fuertemente la pérdida de carga de las relaciones d/D la más recomendable sin duda alguna es la relación de

$\frac{d}{D} = 0.6$ pues es la que tiene menos pérdida de carga pero inyecta la misma cantidad de gasto.

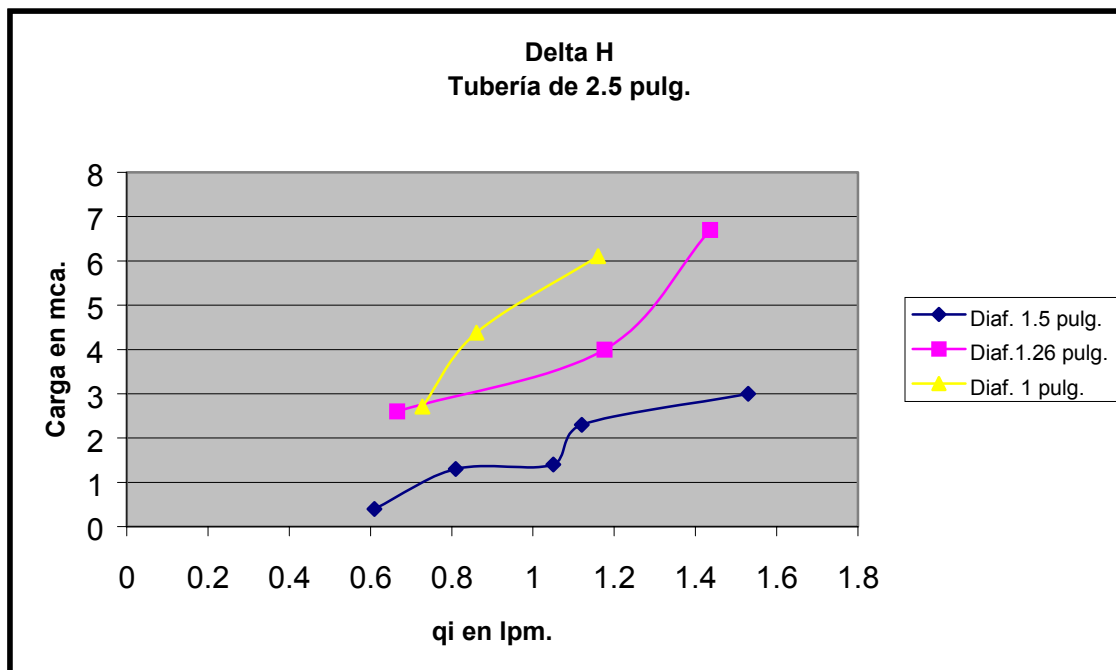


Figura 5 Relación del gasto inyectado con la presión de vacío

Gastos, en la tubería de 2.5 pulgadas para los tres diafragmas de relación 0.6, 0.5 y 0.4 respectivamente.

Diaf. 1.5 pulg.		Diaf. 1.26 pulg.		Diaf. 1 pulg.	
Qs en lps.	qi en man 10	Qs en lps.	qi man10 lpm	Qs en lps.	qi man10 lpm
7.57	1.53	6.939	1.436	3.785	1.16
6.3	1.12	5.677	1.176	3.154	0.861
5.86	1.05	4.415	0.666	2.523	0.728
5.04	0.81				
3.46	0.61				

Cuadro 5.1 Datos para construir las curvas de gasto

Al conducir un caudal muy grande en un conducto cerrado y mas aún cuando reducimos la sección transversal de conducto, la velocidad adquiere un incremento involucrando con esto un aumento en el numero de Reynolds y reduce la presión hasta por debajo de cero y s ahí donde donde puede

introducir fertilizante líquido en la red de riego, por lo tanto, La relación que existe entre el gasto con que opera el sistema y el gasto inyectado es que a mayor gasto existe mayor succión.(ver figura 5.1)

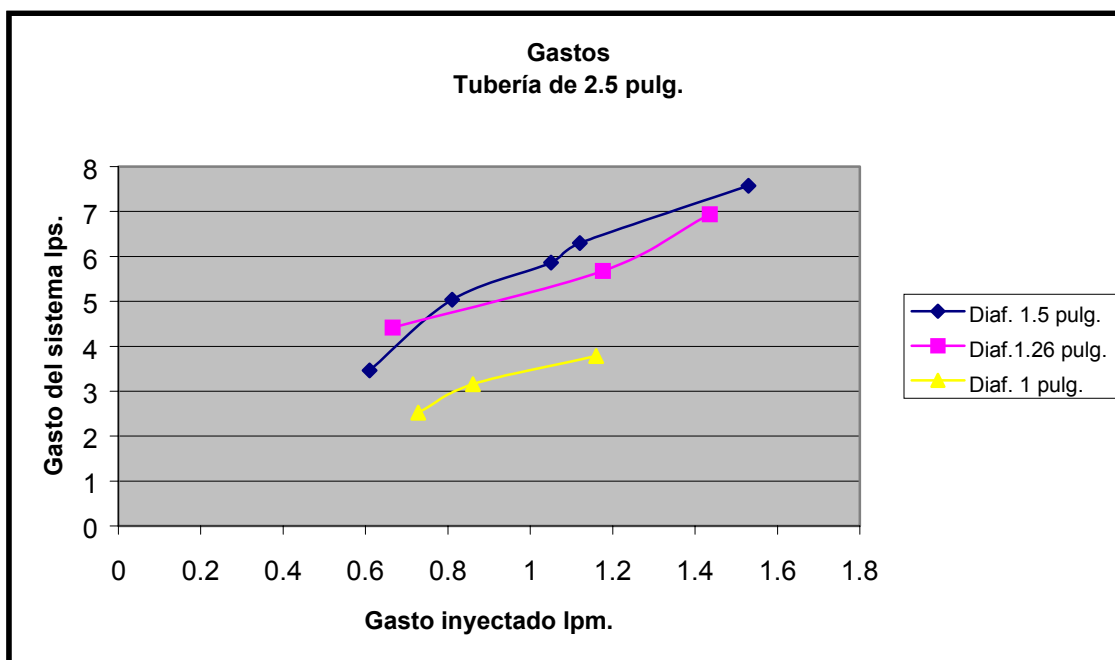


Figura 5.1 relación del gasto inyectado con la pérdida de carga

Relación del gasto inyectado con él log. Del numero de reynolds, para tubería de 2. pulg. Diaf. De 1.2, 1.0, 0.826 pulgadas.

Diaf 1.5 pulg.		Diaf.1.26		Diaf. 1 pulg.	
Log RE	qi en man 10	qi man9 lpm	log deNo.Re	qi man9 lpm	log del N.Re
5.4013	1.53	1.436	5.829	1.16	6.2751
5.3216	1.12	1.176	5.7418	0.861	6.1959
5.2901	1.05	0.666	5.6326	0.728	6.0989
5.2247	0.81				
5.0613	0.61				

Cuadro 5.2 Datos para la construcción de la grafica de reynolds.

A medida que aumentamos gasto el numero de reynolds aumenta, es decir la velocidad tiene mas variación en la zona de vacío del sistema, aumentando el gasto de inyección. (ver figura 5.2)

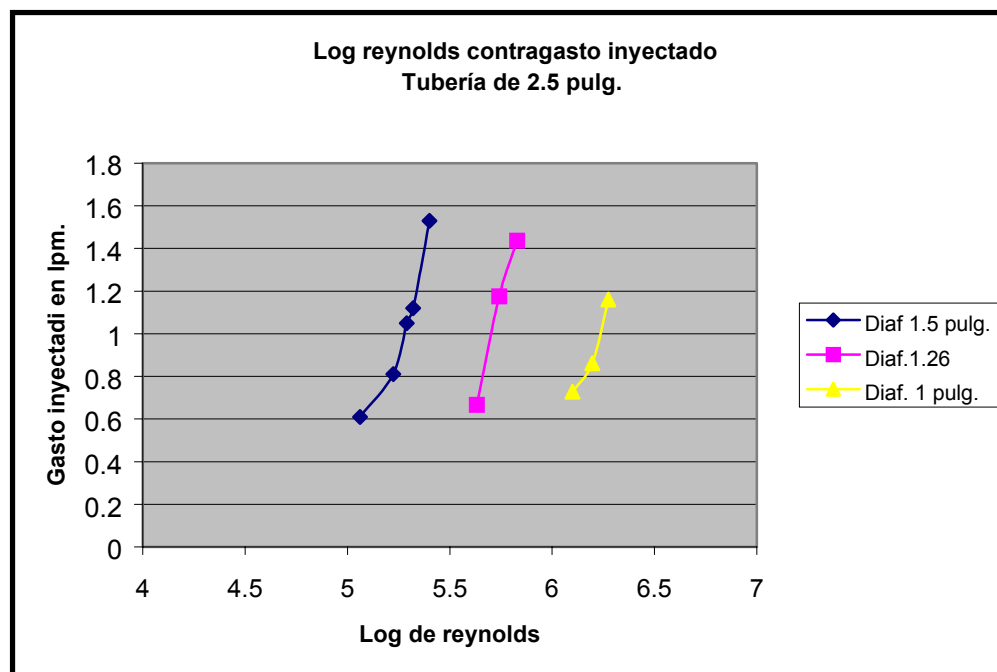


Figura 5.2 relación del gasto inyectado con el Log de reynolds.

Para la tubería de tres pulgadas se utilizaron las mismas relaciones de diafragma que son: 0.6; 0.5 y 0.4 por lo tanto las graficas se comportaron de la misma forma para la succión, gastos, pérdidas de carga y log de reynolds contra gasto inyectado a continuación se presentan las graficas de succión en tubería de tres pulgadas con una relación de diámetros de 0.6

Diaf. 1.771		Diaf. 1.496		Diaf.1.2	
Man 9 (-)	qi en lpm.	Man 9 (-)	qi en lpm.	Man 9 (-)	qi en lpm.
-0.986	1.16	-1.578	1.27	-0.986	1.226
-0.657	1.1	-0.394	0.59	-0.394	1
-0.263	0.33	-0.263	0.42	-0.328	0.6

Cuadro 5.3 Datos para la construcción de la grafica de reynolds.

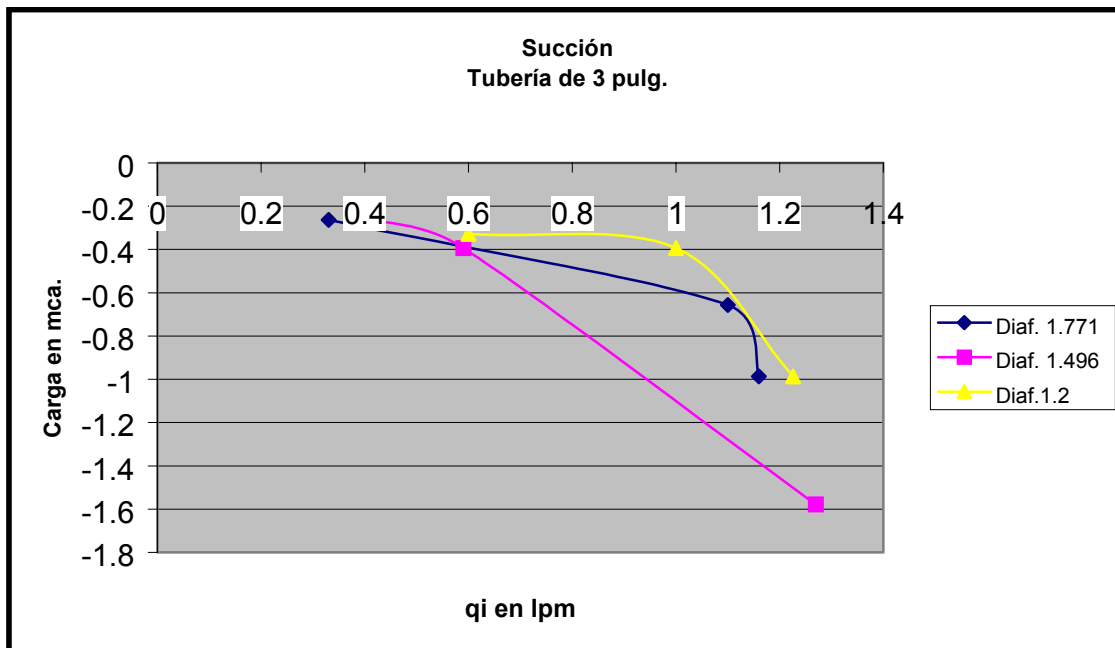


Figura 5.3 relación del gasto inyectado con presión de vacío.

Diaf. 1.771		Diaf. 1.496		Diaf.1.2	
M10-M6	qi en lpm.	M10-M6	qi en lpm.	M10-M6	qi en lpm.
1.7	1.16	4.7	1.27	6.5	1.226
1.2	1.1	2.9	0.59	3.3	1
0.6	0.33	1.9	0.42	2.49	0.6

Cuadro 5.4 Datos para la construcción de las curvas de delta H

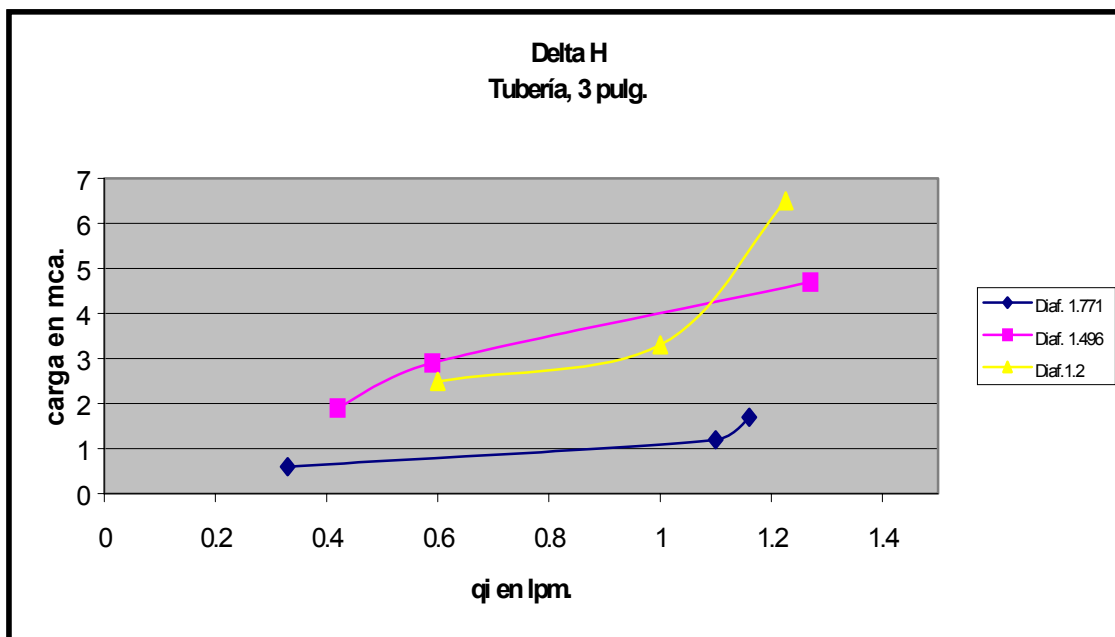


Figura 5.4 relación del gasto inyectado con la pérdida de carga

Diaf. 1.771		Diaf. 1.496		Diaf.1.2	
Q sistema	qi en lpm.	Q sistema	qi en lpm.	Q sistema	qi en lpm.
8.831	1.16	8.2	1.27	5.992	1.226
7.57	1.1	6.308	0.59	4.415	1
5.046	0.33	5.046	0.42	3.785	0.6

Cuadro 5.5 Datos para construir las curvas de gasto del sistema contra gasto inyectado.

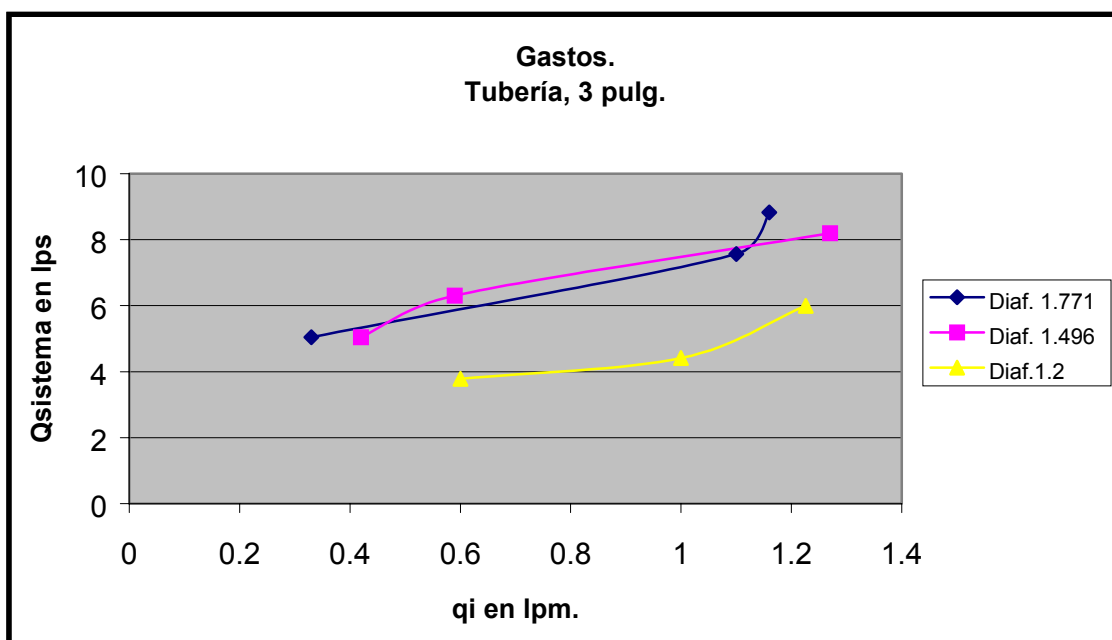


Figura 5.5 relación del gasto inyectado con gasto del sistema.

Diaf. 1.771		Diaf. 1.496		Diaf.1.2	
log RE.	qi en lpm.	log RE.	qi en lpm.	log RE.	qi en lpm.
6.39451813	1.16	6.43589451	1.27	6.40923003	1.226
6.32760413	1.1	6.32197234	0.59	6.27658894	1
6.15145549	0.33	6.22502791	0.42	6.20972411	0.6

Cuadro 5.6 Datos para construir las curvas de reynolds con relación al gasto inyectado.

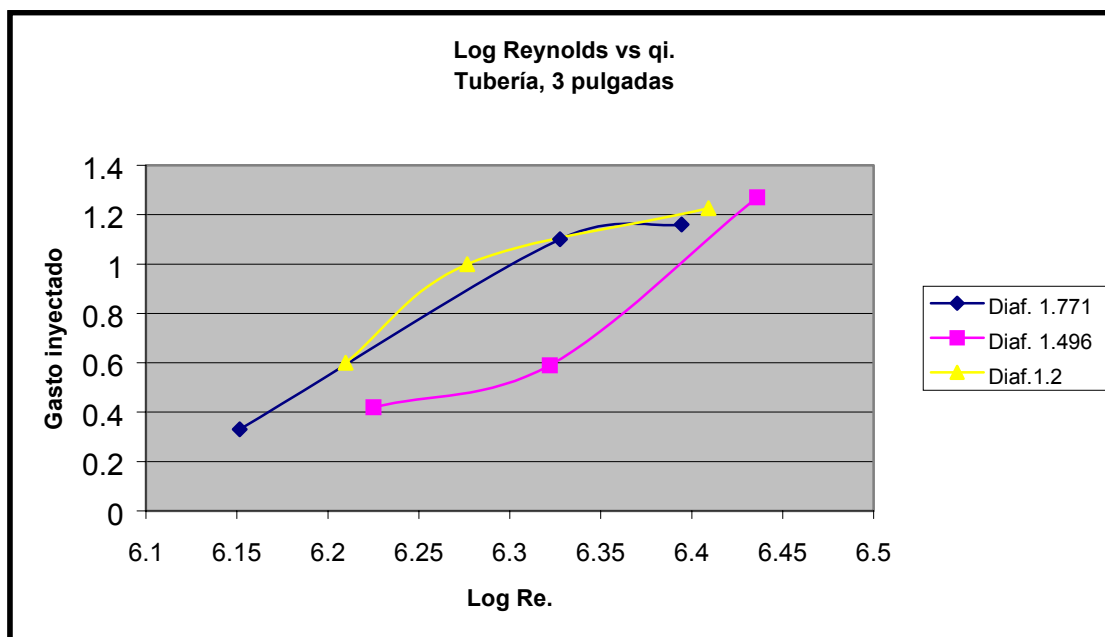


figura 5.6 relación del gasto inyectado con el Log de reynolds.

Las graficas de la tubería de tres pulgadas e comportaron de la misma manera por lo tanto la interpretación para ellas es total mente la misma.

Relación del numero de reynolds con q_i/Q_S

T. 2 pulg. Relación 0.6		T. 2.5 relación 0.5		T. 3 pulg. Relación 0.4	
171271.157	0.0032	256018.113	0.00336	244876.682	0.00218
84325.7988	0.0029	213065.593	0.00266	209910.144	0.00209159
70267.7859	0.0024	198185.752	0.00258	139921.61	0.00108
		170453.274	0.00247		
		117017.526	0.00233		

Cuadro 5.7 Datos para construir las curvas de numero de reynolds contra q_i/Q_S .

Se tienen las curvas características de la tubería que servirán para modelar el fenómeno hidráulico, de tal manera que estas puedan aprovecharse a futuro para poder aplicar las características de un prototipo.

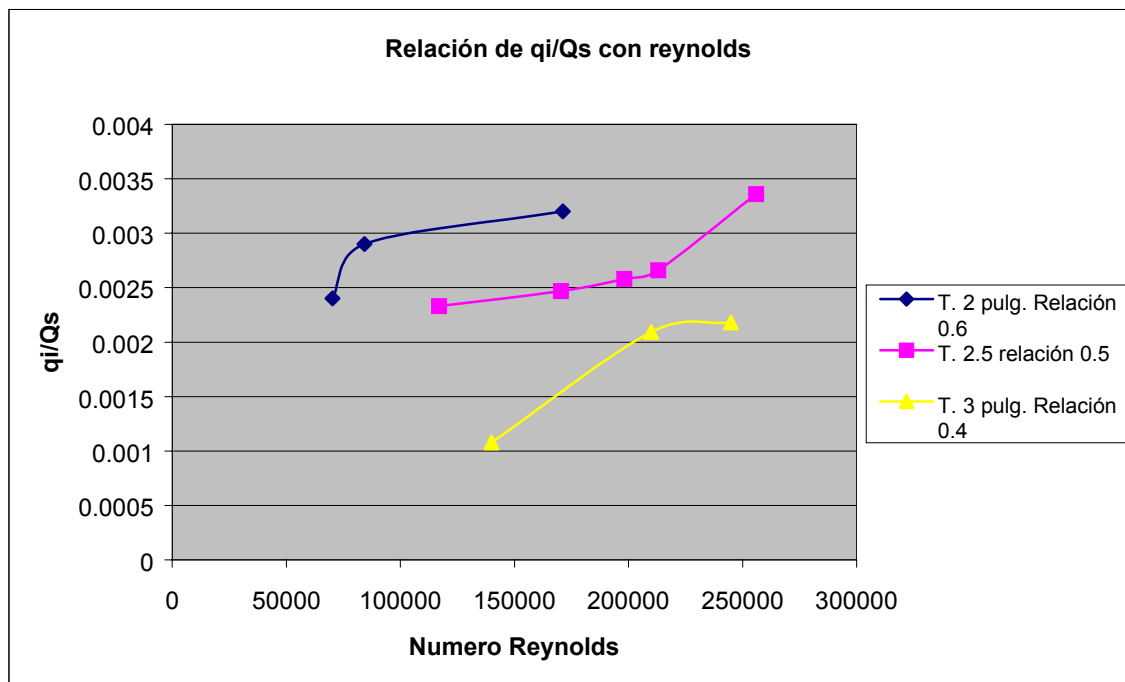


Figura 5.7 Relación de $\frac{q_i}{Q_s}$ en función del numero de reynolds.

Conclusiones.

En un conducto a presión siempre fluirá sobre él un líquido forzado, o sea un líquido que tendrá a lo largo del conducto presiones positivas y/o negativas (relativas a la atmosférica) y en términos absolutos significan que las presiones del fluido pueden ser mayores y/o menores que la presión atmosférica; solamente en un punto del conducto o en más puntos diferentes puede haber una presión menor o igual a cero, que es el paso de presiones positivas a negativas o de negativas a positivas hablando de presiones relativas.

En este trabajo de investigación las presiones negativas fueron el objeto de estudio, ya que al instalar un diafragma en la tubería se genera una presión de vacío que puede ser aprovechada para inyectar fertilizante. Haciendo las pruebas de succión con diferentes gastos en el sistema se determinó que el diafragma de $\frac{d}{D} = 0.4$ es quien inyecta mas gasto, pero tiene una pérdida de carga importante, si esta es instalada en una línea principal provocaría una disminución en la presión de operación del sistema, y para reponer esta pérdida necesitaríamos mayor potencia en el bombeo y eso implica un consumo mayor de energía y por consecuencia los costos de operación serían mayores. Por lo tanto se recomienda utilizar el diafragma de relación $\frac{d}{D} = 0.6$ que aunque tiene un menor gasto de inyección presenta menores pérdidas de carga por lo tanto no tendríamos pérdidas importantes en la presión de operación.

