

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA APLICADO AL
AVANCE DE UN EQUIPO DE PERFORACIÓN PARA
MINERÍA SUBTERRÁNEA CON UNA PÉRDIDA DE
PRESIÓN DE AGUA NO MAYOR AL 15% COMPARADA
CON LA PRESIÓN DE ENTRADA**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

**ELABORADO POR
FRANCK HUGO CARHUACHIN ESPINOZA**

PROMOCIÓN 2010 - I

LIMA - PERÚ

2014

TABLA DE CONTENIDO

Prologo	1
CAPITULO 1	3
INTRODUCCION	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivo General	4
1.3 Objetivos Específicos	4
1.4 Justificación	4
1.5 Alcance	4
CAPITULO 2	6
DESCRIPCION DEL EQUIPO DE PERFORACION PARA MINERIA SUBTERRANEA	6
2.1 Características Generales	6
2.2 Características Técnicas	7
2.3 Identificando los Componentes del Equipo para el Sistema de Limpieza	7
CAPITULO 3	11
IDENTIFICACION DEL PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO DE HIPOTESIS DE TRABAJO	11
3. 1 Identificación del Problema	11
3. 2 Planteamiento de la Hipótesis del Trabajo	12
3. 3 Diagrama de Medios Fines	13
CAPITULO 4	14
MARCO TEORICO	14

III

4.1 Mecánica de fluidos	14
4.1.1 Fluido	15
4.1.2 Algebra Vectorial	15
4.1.2.1 Vector	16
4.1.2.2 Tensores	18
4.1.2.3 Análisis del Movimiento de un Punto en Función de una Variable Escalar	20
4.1.2.4 Campos Escalares y Vectoriales (Gradiente)	21
4.1.2.5 Integral de un Vector a lo Largo de una Línea y sobre una Superficie (Circulación y Flujo)	22
4.1.3 Cinemática de un Fluido en Movimiento	23
4.1.3.1 Movimiento de un Fluido	27
4.1.3.2 Deformación de un Fluido	29
4.1.3.3 Movimiento Relativo Entre dos Puntos de una Partícula	30
4.1.3.4 Dilatación Cubica y Divergencia de la Velocidad	31
4.1.3.5 Teorema de Transporte	33
4.1.3.6 Ley de Conservación de la Masa	35
4.1.3.7 Circulación y Teorema de Stokes	35
4.1.4 Dinámica de un Fluido en Movimiento	36
4.1.4.1 Equilibrio de Fuerzas en un Punto	37
4.1.4.2 Estado de Tensión en un Punto	39
4.1.4.3 Ecuación de Navier – Stokes	39
4.1.4.3.1 Especialización de la Ecuación de Navier – Stokes	40
4.1.4.4 Ecuación de Bernoulli	40
4.1.4.5 Pérdidas de Energía Mecánica en Condiciones Cilíndricas	42

4.2 Componentes Involucrados en el Sistema de Limpieza del Avance	48
4.2.1 Válvula de Reducción de Presión	48
4.2.2 Electroválvula	49
CAPITULO 5	50
DESARROLLO DE LA SOLUCION DEL PROBLEMA	50
5.1 Planteamiento de Solución	50
5.2 Sistema de Agua	51
5.2.1 Sistema de Agua en un Equipo de Perforación Subterránea	51
5.2.2 Sistema de Agua del Equipo de Perforación Implementando el Sistema de Limpieza del Avance	53
5.3 Sistema Eléctrico del Sistema de Limpieza del Avance	54
5.4 Cálculos del Diseño	55
5.5 Selección de Piezas	57
5.5.1 Conectores	57
5.5.2 Manguera	58
5.5.3 Adaptador Rápido	59
5.5.4 Soporte de Boquilla	59
5.5.4.1 Fabricación del Soporte de Boquilla	59
5.5.4.1.1 Material y sus Características	59
5.5.4.1.2 Dimensiones del soporte de Boquilla	60
5.5.4.1.3 Modelación de Esfuerzos de las piezas Mediante CosmosWorks	62
5.5.5 Boquilla	63
5.5.6 Electroválvula	66
5.5.7 Abrazaderas	66

5.6 Costo de Inversión	66
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFIA	69
PLANOS	71
APENDICE	74

PROLOGO

El presente informe muestra la manera de facilitar el trabajo al operador de un equipo de perforación respecto a la limpieza del avance de dicho equipo.

El informe consta de 5 capítulos los cuales se mencionan a continuación con los temas tratados en cada uno de ellos:

El primer capítulo es la parte introductoria del informe donde se indica los antecedentes, el objetivo general, objetivo específico, la justificación y el alcance de nuestro diseño.

El segundo capítulo describe al equipo de perforación, se menciona las características generales y técnicas del equipo así como también la identificación de los componentes involucrados en el sistema de limpieza.

En el tercer capítulo se identifica el problema actual en los equipos de perforación respecto a la limpieza de su avance, se hace el planteamiento de la hipótesis y se muestra el diagrama de Medios – Fines para el correlato de la prueba final de nuestro

diseño.

En el cuarto capítulo se presentan los fundamentos teóricos que fueron necesarios para la solución del problema, donde se estudia la mecánica de fluidos tanto estática como dinámica, para así llegar a la ecuación de Bernoulli la cual es aplicada al diseño del sistema de limpieza del avance del equipo de perforación.

El quinto capítulo corresponde al diseño del sistema de lavado del avance del equipo de perforación, donde se empieza con el planteamiento de solución, se analiza el sistema de agua del equipo y se implementa el sistema de limpieza del avance, se realizan los cálculos de diseño y se seleccionan las piezas a usar. Finalmente se indican los costos de implementación del sistema de lavado del avance del equipo.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El equipo de perforación para minería subterránea, es un equipo diseñado para escavar túneles, realizar trabajos preparatorios y explotar minas. Estos equipos son electrohidráulicos, siendo las marcas principales en nuestro país Sandvick y Atlas Copco.

Este equipo al realizar su trabajo que es perforar a través de su martillo, deja gran cantidad de material removido, en todo su avance. Dicho material alojado en el avance debe ser liberado por el operador a través de un lavado manual luego de terminar sus tareas con el equipo. Cuando el operador no realiza el lavado del avance, el material removido por el martillo se adhiere al avance ocasionando desgastes prematuros en la viga de avance así como en sus protectores.

Con esto último nos vemos en la necesidad de optar por un sistema de lavado acoplado al equipo, que actúe con el mismo flujo de agua dispuesto por el equipo para la limpieza.

1.2 OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente informe consiste en diseñar un sistema de limpieza para el avance de un equipo de perforación para minería subterránea con una pérdida de presión de agua no mayor de 15% respecto a la entrada.

1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudio del funcionamiento del alimentador de agua en el equipo de perforación.
- Análisis del sistema de limpieza a implementar.
- Selección de material para el sistema.
- Cálculos del sistema de limpieza a implementar.

1.4 JUSTIFICACION

El presente informe tiene justificación tecnológica debido a que aporta una herramienta para mejorar la manera de limpiar el avance del equipo de perforación.

1.5 ALCANCE

El presente informe tiene como alcances:

- El sistema de limpieza es aplicado al avance del equipo de perforación.

- La pérdida de presión de agua máxima en el sistema de limpieza será del 15% respecto a la presión de entrada.
- Los cálculos para el sistema de limpieza se harán a través de cálculos físicos.
- Se considera que el equipo de perforación cuenta con un alimentador de agua.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN PARA MINERÍA SUBTERRÁNEA

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los equipos de perforación están diseñados para excavar túneles, realizar trabajos preparatorios y explotar minas. Para nuestro estudio tomaremos al equipo de perforación electrohidráulico de un brazo. Este robusto brazo universal posee una gran cobertura moldeada de forma óptima, con una rotación del avance de 358° y un paralelismo automático total para perforar el frente de manera rápida y sencilla. El brazo también se puede utilizar para cortes transversales y perforación de taladros para bulones. La temperatura de funcionamiento en minas subterráneas es de 0 a 40°C.



Figura 2.1 – Equipo de Perforación para minería subterránea

2.2 CARACTERISTICAS TECNICAS

Tomaremos un equipo para ver sus características técnicas, la perforadora Axera 5-126 de la marca Sandvik, la cual tiene las siguientes características técnicas:

- Potencia de motor: 55kW
- Potencia eléctrica: 380-620V / 50 o 60Hz / 73kW
- Peso total: 12,000 kg

2.3 IDENTIFICANDO LOS COMPONENTES DEL EQUIPO PARA EL SISTEMA DE LIMPIEZA

Para diseñar el sistema de limpieza para el avance del equipo necesitaremos identificar y conocer los siguientes componentes: el avance del equipo, el sistema de alimentación de agua del equipo.

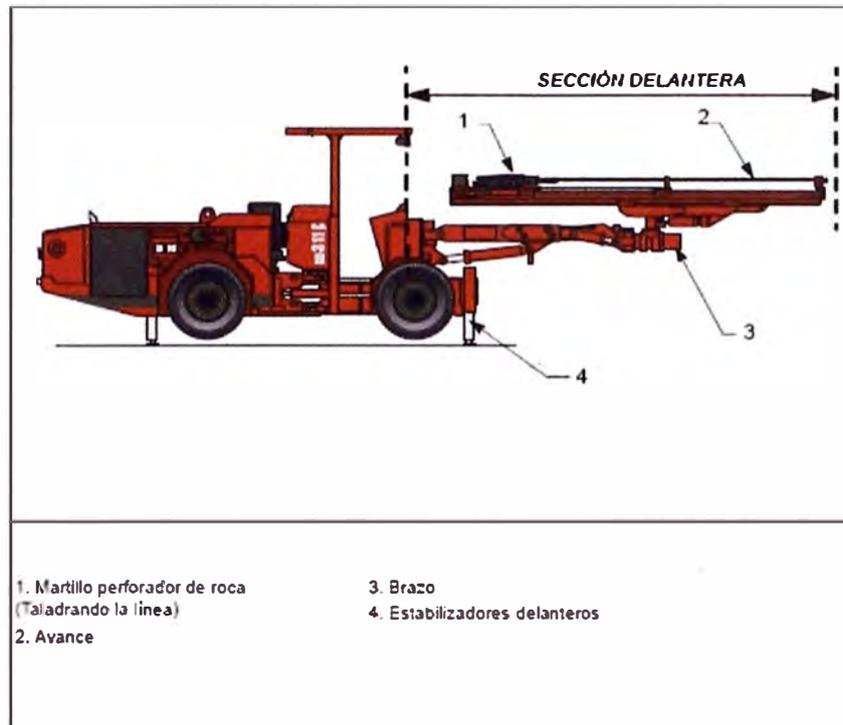


Figura 2.2 – Identificación del Avance del equipo en perforadoras

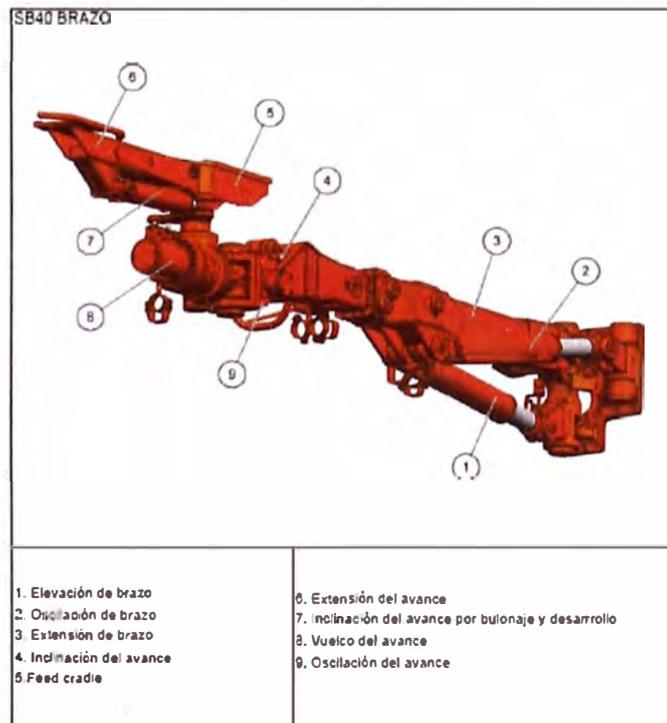


Figura 2.3 – Brazo del equipo en perforadoras

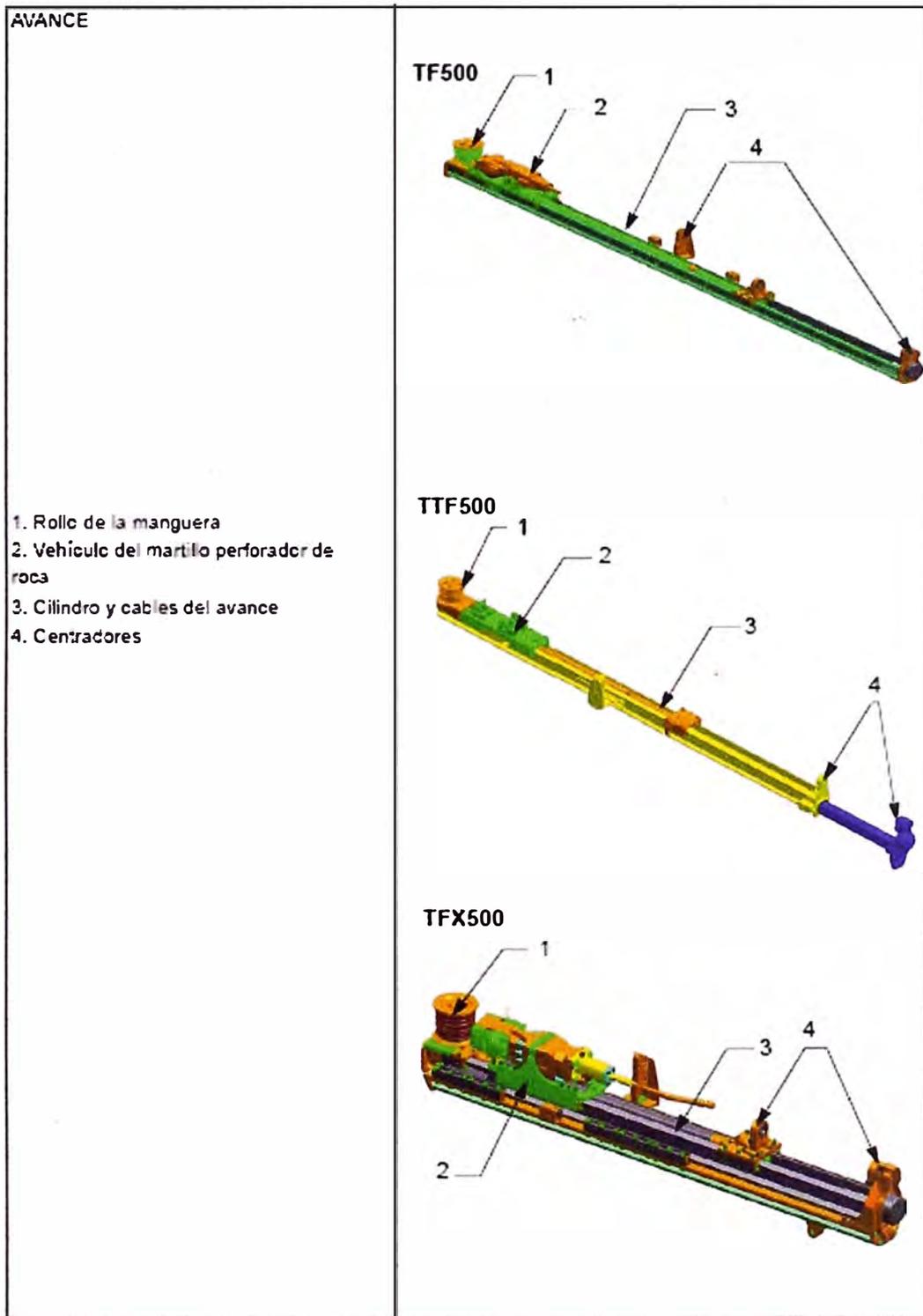
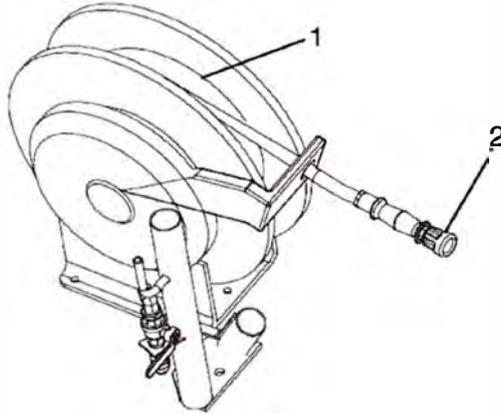


Figura 2.4 - Avance del equipo en perforadoras

El equipo ya cuenta con un sistema de lavado manual:

Enrollador de lavado



1. Enrollador
2. Pulverizador de agua

Figura 2.5 – Enrollador de Lavado del equipo

CAPÍTULO 3

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO DE HIPOTESIS DE TRABAJO

3.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

Cada vez que el operador del equipo de perforación deja de utilizarlo debe de limpiar manualmente el avance ya que en este componente se concentran la mayor cantidad de residuos luego del perforado, pero que pasa cuando el operador por motivos de tiempo u otros motivos no limpia estos residuos en el avance, pues estos se secan produciendo desgastes prematuros en los accesorios del avance.

No se cuenta con un sistema que no sea el manual para limpiar el avance del equipo de perforación.

No se tiene un diseño en planos para la implementación de un sistema de lavado que no sea manual.

Se necesita un sistema de limpieza para el avance del equipo capaz de no

generar una pérdida mayor al 15% de la presión de agua respecto a la entrada en el sistema.

3.2 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS DE TRABAJO

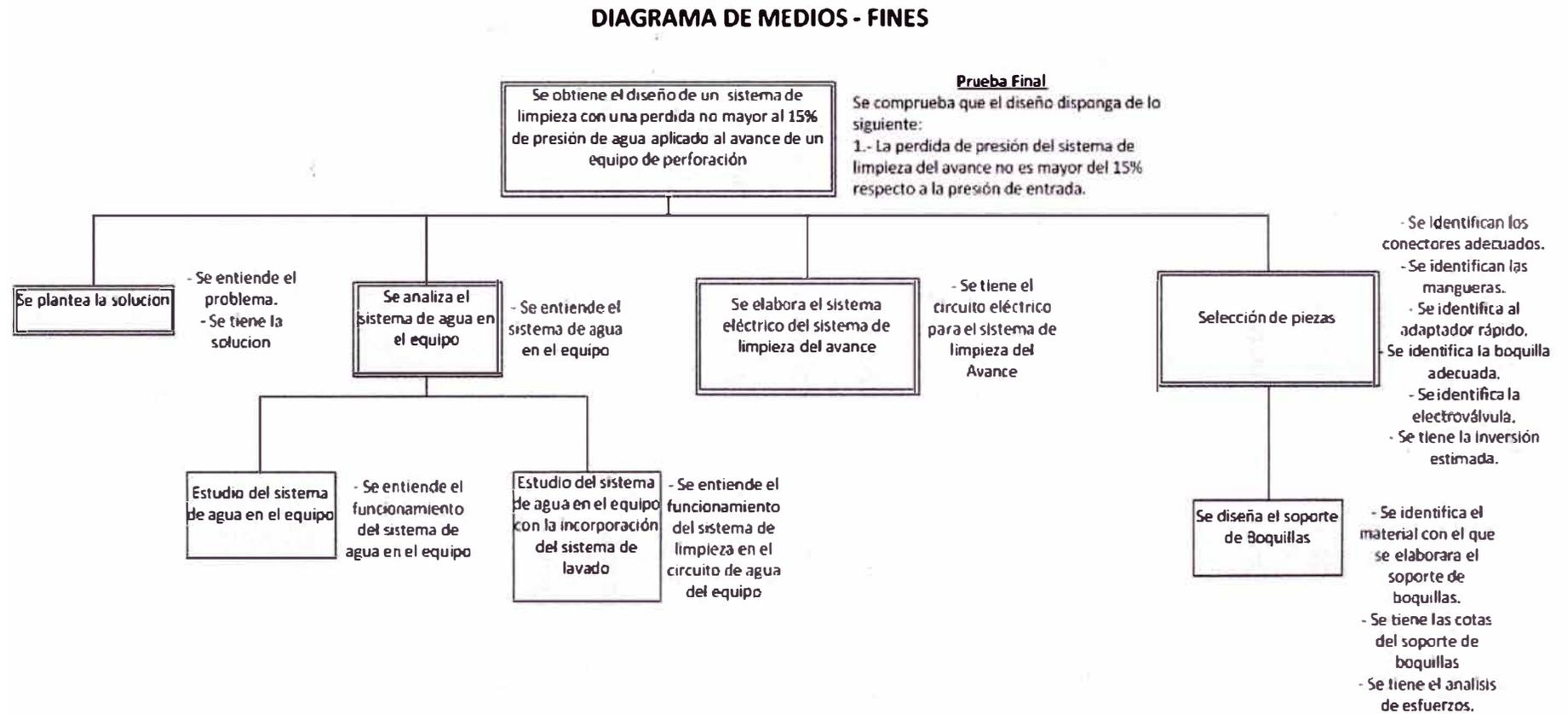
Considerando que:

- a) Es posible conocer e identificar los componentes involucrados para el diseño del sistema de lavado del avance del equipo de perforación.
- b) Es posible tener un sistema de lavado óptimo para el avance del equipo.
- c) Es posible elaborar los planos para el sistema de limpieza del avance.

Se plantea la siguiente Hipótesis:

Es posible verificar que la pérdida de presión, ocasionada por el sistema de limpieza del avance, no sea mayor a 15% respecto a la entrada de dicho sistema.

3.3 DIAGRAMA DE MEDIOS - FINES, para el correlato de la prueba final:



CAPÍTULO 4

MARCO TEORICO

4.1 MECANICA DE FLUIDOS:

El agua ha sido y es el elemento más importante para ser humano desde el inicio de nuestras historias, no se tiene un fecha exacta y de quien empezó con la aplicación de la ciencia de mecánica de fluidos, pero se tiene evidencia histórica de su aplicación (5000 AC), como son los sistemas de irrigación encontrados entre los ríos Tigris y Eufrates, que actualmente corresponde a Irak , entonces se puede decir que los pueblos habitados entre esos dos ríos dieron el inicio al conocimiento de la Mecánica de Fluidos en base a la necesidad del manejo del agua. Entonces el desarrollo de la Mecánica de Fluidos es paralelo a la historia de la civilización.

Desde los años 624 AC, podemos citar a personas que han contribuido al desarrollo de la Mecánica de Fluidos como son Tales de Mileto, Aristóteles, Arquímedes, Herón de Alejandría y ya en tiempos más recientes (a partir de 1452 DC) podemos nombrar algunos como Leonardo de Vinci, Simón Steven, Galileo Galilei, Evangelista Torricelli, Blas Pascal, Isaac Newton, Claude Navier

quien presento las ecuaciones conocidas como Navier-Stokes.

Con los aportes de todos estos hombres podemos definir la mecánica de fluidos como la ciencia que estudia la cinemática y dinámica de los fluidos ante la acción de fuerzas aplicadas.

4.1.1 FLUIDO:

En mecánica de fluidos la definición de fluido tiene que ver con aspectos de la materia entonces el fluido será una sustancia cualquiera que reacciona deformándose en forma instantánea ante un mínimo esfuerzo de corte (fuerza por unidad de área).

Una de las hipótesis más importantes de la mecánica de fluidos es la continuidad de la materia. A simple vista el agua en un vaso se presenta como una masa continua, no obstante en visión microscópica de la materia se observa a esta que está formada por moléculas, estas por átomos y estas a su vez por partículas sub atómicas, es decir que la materia no es continua. Sin embargo muchos cálculos de ingeniería no necesitan detallar molecularmente ni atómicamente a la materia, solo se necesitara una visión macroscópica de la materia.

4.1.2 ALGEBRA VECTORIAL:

Para caracterizar un fenómeno físico de mecánica de fluidos se usan propiedades físicas del fluido y del flujo, además de características

geométricas. Estas propiedades o características son las variables dependientes del problema y en general se representan con escalares, vectores y tensores. Cuando las mismas son función del tiempo y del espacio se habla de campo.

4.1.2.1 VECTOR:

Un vector es una magnitud caracterizada por su módulo, dirección y sentido. Se representa por \vec{v} , gráficamente un vector se representa por una flecha que indica la dirección y sentido y cuya longitud es proporcional al módulo del vector.

La representación gráfica de los vectores permite una rápida definición de sus propiedades:

- Multiplicar un vector por una constante o escalar k equivale a obtener otro vector paralelo al anterior de módulo kA .
- Esto permite definir un vector de modulo unitario \hat{e} en una dirección determinada y luego definir el vector como $\vec{A} = A\hat{e}$ en la misma dirección y sentido que \hat{e} .
- Teniendo los vectores unitarios, los vectores se pueden representar de forma cartesiana (X-Y-Z) con los vectores unitarios $(\hat{e}_1, \hat{e}_2, \hat{e}_3)$ en las direcciones y sentidos de los tres ejes, para adoptar la escritura se ha adoptado identificar estos tres vectores unitarios y ortogonales entre sí, mediante las letras i, j, k . Esto permite definir un vector como suma de sus componentes en el triedro cartesiano.

$\vec{A} = \vec{A}_x + \vec{A}_y + \vec{A}_z$ Siendo cada componente la proyección del vector \vec{A} sobre cada uno de los ejes mediante los cosenos direccionales respectivos.

$$\vec{A}_x = A_x \hat{i} = A \cos \alpha \hat{i} = A \sin \gamma \cos \beta \hat{i}$$

$$\vec{A}_y = A_y \hat{j} = A \cos \delta \hat{j} = A \sin \gamma \sin \beta \hat{j}$$

$$\vec{A}_z = A_z \hat{k} = A \cos \gamma \hat{k} = A \cos \gamma \hat{k}$$

También se define su módulo y cosenos directores:

$$|A| = A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

$$\alpha: \text{angulo entre } \vec{A} \text{ y } \hat{i} \rightarrow \cos \alpha = \frac{A_x}{A}$$

$$\delta: \text{angulo entre } \vec{A} \text{ y } \hat{j} \rightarrow \cos \delta = \frac{A_y}{A}$$

$$\gamma: \text{angulo entre } \vec{A} \text{ y } \hat{k} \rightarrow \cos \gamma = \frac{A_z}{A}$$

Ahora veremos el producto de vectores:

- Producto punto o interno:

Si $A = (a_1, \dots, a_n)$ y $B = (b_1, \dots, b_n)$, su producto punto o escalar se representa por $A \cdot B$ y se define con la igualdad:

$$A \cdot B = \sum_{k=1}^n a_k \cdot b_k$$

Así pues para calcular $A \cdot B$ multiplicamos los componentes

correspondientes de A y B y sumamos luego todos sus productos.

- Producto cruz o externo:

El producto cruz o estero c de \vec{a} y \vec{b} se representa como $\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$, la magnitud de \vec{c} es $ab \sin \theta$, y es normal a ambos \vec{a} y \vec{b} , en la dirección dada por la regla de la mano derecha, el producto cruz es también equivalente a:

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix}$$

Y se representa:

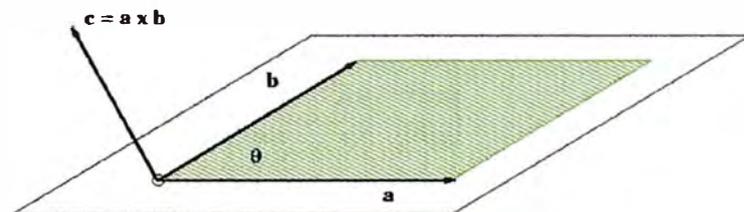


Figura 4.1 – Producto cruz de vectores

4.1.2.2 TENSORES:

Muchos fenómenos físicos se representan matemáticamente mediante tensores, los cuales por necesidad son utilizando un sistema de referencia, dándose así los componentes del tensor. Los tensores pueden clasificarse según su orden:

- Escalar o tensor de orden 0, aquí se tiene un valor pero no su dirección.
- Vector o tensor de orden 1, tiene valor y dirección.

- Tensor de segundo orden, tiene magnitud y dos direcciones, como son el caso de tensión y deformación.

El tensor es una matriz multidimensional, el orden del tensor es el número de la dimensión, también conocido como las direcciones o nodos.

Cuando estudiamos el prisma mecánico, el estado tensorial aparecerá en cada cara del prisma, una normal σ_n y dos cortantes τ , como podemos observar en la figura 4.2, de tal forma que se forma la matriz de tensiones:

$$[T] = \begin{vmatrix} \sigma_{nx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{ny} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{nz} \end{vmatrix}$$

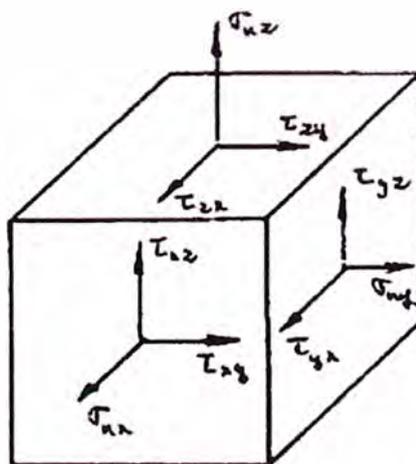


Figura 4.2 – Estado tensorial del prisma

Ahora para calcular el vector de tensiones $\sigma (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$, correspondiente a una orientación genérica definida por el vector unitario $\vec{u}(\alpha, \beta, \gamma)$, en donde α, β y γ son los cosenos directores de tal dirección, resultando:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{nx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{ny} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{nz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} \rightarrow [\sigma_i] = [T] \cdot [\alpha_i]$$

4.1.2.3 ANALISIS DEL MOVIMIENTO DE UN PUNTO EN FUNCION DE UNA VARIABLE ESCALAR:

Sea un punto de una curva (en general del espacio), cuya posición viene determinada analíticamente:

$A(t) = f(x,y,z)$, en que las variables x, y, z son función de la variable t

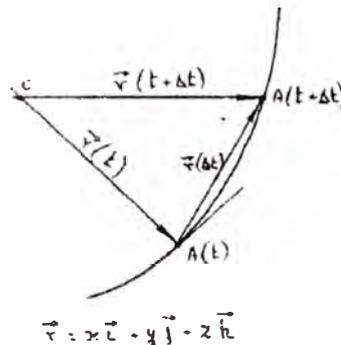


Figura 4.3 – Movimiento de un punto en una curva

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$$

$$x = \theta_1 t; y = \theta_2 t; z = \theta_3 t$$

Consideremos dos instantes infinitesimales (t) y $(t + \Delta t)$, y el vector

$$\vec{r}(t) = \overrightarrow{A - O}, \text{ tal que: } A = O + x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$$

Derivando $(\hat{i}, \hat{j}, \hat{k})$ son vectores unitarios fijos y O es fijo:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{s}}{dt} = \frac{d\vec{A}}{dt} = \frac{dx}{dt} \cdot \hat{i} + \frac{dy}{dt} \cdot \hat{j} + \frac{dz}{dt} \cdot \hat{k}$$

La derivada de un punto, función de una variable escalar, es un vector, de componentes de derivadas de sus coordenadas, que resulta ser tangente a la curva.

Tengamos presente que $d\vec{r}$ (cuerda) y $d\vec{s}$ (arco) en el límite son equivalentes y podemos valernos de las expresiones útiles (que nos permiten hallar la longitud del arco a través del producto escalar de la cuerda):

$$d\vec{r} = \left[\frac{dx}{dt} \cdot \hat{i} + \frac{dy}{dt} \cdot \hat{j} + \frac{dz}{dt} \cdot \hat{k} \right] \cdot dt$$

$$d\vec{r} \cdot d\vec{r} = ds^2 = dr^2 = \left[\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \right] \cdot dt^2$$

4.1.2.4 CAMPOS ESCALARES Y VECTORIALES (GRADIENTE):

Si a cada punto $A(x, y, z)$ de una región del espacio corresponde el valor de una magnitud física U , de naturaleza escalar, se dice que existe un campo escalar, en el que la magnitud U es función del campo. Así, en la transmisión del calor a través de un cuerpo, en régimen estacionario, la temperatura puede variar de unos puntos a otros del cuerpo, pero en uno determinado será siempre la misma; la temperatura es una función de

punto. Análogamente, la presión en un punto de una masa fluida en equilibrio, es también función del punto.

Si igualmente la función U a un parámetro C , se obtiene: $U(x, y, z)=C$, que representa una familia de superficies; para cada valor C_1, C_2, \dots , se obtiene una superficie de la familia. Ejemplo:

La presión hidrostática en un recipiente, cada punto de la horizontal tiene la misma presión:



Figura 4.4 – Presión hidrostática en un recipiente

$$P_x = P_{atm} + p \cdot g \cdot x$$

4.1.2.5 INTEGRAL DE UN VECTOR A LO LARGO DE UNA LINEA Y SOBRE UNA SUPERFICIE (CIRCULACION Y FLUJO):

Sea $X(x, y, z)$, $Y(x, y, z)$, $Z(x, y, z)$ las componentes de un campo vectorial V ; y trazamos la línea $C(x, y, z)$ en dicho campo y definido en ella un sentido. Cada elemento $d\vec{s}$, puede ser considerado como un vector (dx, dy, dz) ; su producto escalar por V será:

$$\begin{aligned}\vec{V} \cdot d\vec{s} &= V \cdot ds \cdot \cos \alpha = (X\hat{i} + Y\hat{j} + Z\hat{k}) \cdot (dx\hat{i} + dy\hat{j} + dz\hat{k}) \\ &= X \cdot dx + Y \cdot dy + Z \cdot dz\end{aligned}$$

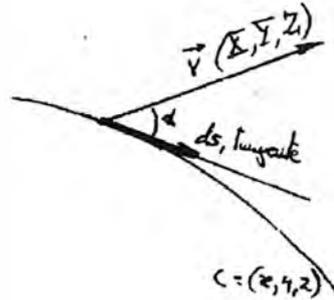


Figura 4.5 – Campo vectorial en una línea

Y la integral de este producto escalar a lo largo de la línea circulación del vector \vec{V} :

$$\text{Circulación} = \int_C \vec{V} \cdot d\vec{s} = \int_C Xdx + Ydy + Zdz$$

4.1.3 CINEMATICA DE UN FLUIDO EN MOVIMIENTO:

Cuando nos referimos a cinemática, se está hablando de movimiento, entonces lo que estudiaremos será los movimientos de una partícula de fluido y temas relacionados como la ecuación de la conservación de la masa y teorema de transporte de Reynolds.

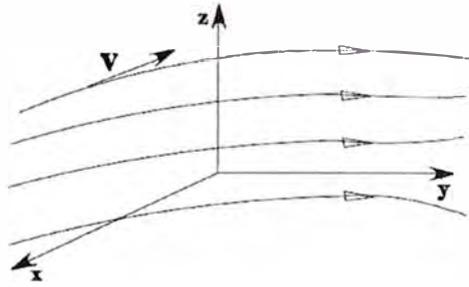


Figura 4.6: Líneas de corriente describiendo el movimiento del fluido en el espacio

Así tenemos las cuatro variables independientes (x, y, z, t), en función de las cuales se definen las dependencias como la velocidad $v(x, y, z, t)$, y presión $P(x, y, z, t)$, entre muchas más. La velocidad y presión son denominadas variables primarias, ya que existen otras variables dependientes como la vorticidad $w(x, y, z, t)$, que pueden ser derivadas de las anteriores y por ese motivo son denominadas secundarias. Entonces la cinemática se encarga de detallar paso a paso como se definen todas las variables que definen el movimiento y la deformación de un fluido.

Por partículas de fluido entenderemos un conglomerado suficiente grande de moléculas, de forma que podamos definir apropiadamente las variables como velocidad, densidad y otros en un punto del espacio. Una forma práctica de estudiar esta partícula es en su forma cubica ya que así utilizaremos los ejes cartesianos.

El movimiento de un cuerpo rígido en el espacio se dará:

Movimiento del cuerpo rígido = Traslación según (x, y, z) + rotación según (x, y, z)

Ahora el nuevo elemento a analizar en el movimiento de una partícula de fluido es su deformación. Sabemos que las moléculas pueden tener solo una determinada distribución dentro de un cuerpo en estado sólido, si modificamos esta distribución aplicando una determinada fuerza, el cuerpo romperá cuando excedemos un límite, los fluidos no tiene esa restricción al movimiento relativo de las moléculas con lo cual adoptan el movimiento del recipiente que los contiene, es decir modifican su forma o deforman ante un esfuerzo por mínimo que sea. La deformación del fluido puede ser cuantificada en función del movimiento relativo entre dos puntos sobre una partícula del mismo.

Luego al pasar a considerar una partícula de fluido en vez de una partícula sólida, hay que agregar a los grados de libertad del movimiento de la partícula sólida, la deformación que sufre el fluido al moverse, y como el movimiento relativo entre dos puntos sobre una partícula de fluido puede descomponerse en movimientos simples, también la deformación se descompondrá en deformaciones simples, según el movimiento sea rectilíneo o rotacional. Así hablaremos de deformaciones longitudinales según (x, y, z) y deformaciones angulares con centros en esos ejes.

Los grados de libertad al movimiento de un fluido pueden ser descompuestos en los grados de libertad de un cuerpo rígido más los correspondientes a las deformaciones.

Movimiento de un fluido = movimiento de cuerpo rígido + deformaciones.

Donde los grados de libertad a las deformaciones se descompondrán en:

Deformaciones = longitudinales en x , y , z + angulares entorno de x , y , z

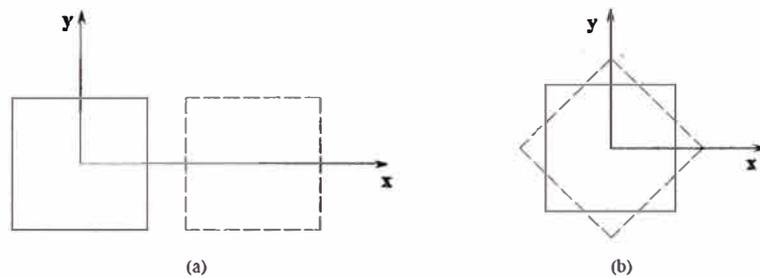


Figura 4.7 – Partícula de fluido en t , línea continua, y en $t + \Delta t$, línea trazos, en movimiento (a) traslacional y (b) rotacional.

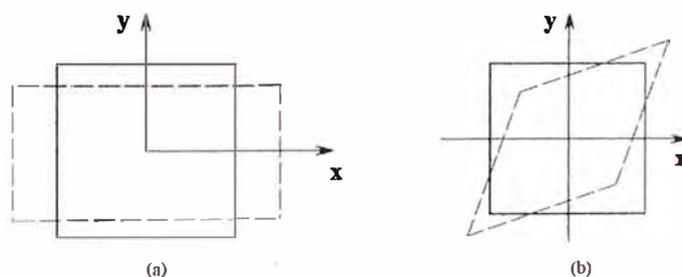


Figura 4.8 – Partícula de fluido en t , línea continua, y en $t + \Delta t$, línea de trazos, con deformación (a) longitudinal y (b) angular.

4.1.3.1 MOVIMIENTO DE UN FLUIDO:

Se descompondrá al movimiento en sus ejes simples coordenados, para esto existen dos posibilidades de estudiarlo: describiendo el movimiento de partículas que pasan por un determinado punto del espacio denominado Euleriano o espacial y describiendo el movimiento de una partícula en el espacio denominado Lagrangiano o material.

- En el primer método se realiza una descripción del movimiento de un fluido tomando como marco de referencia el espacio físico y se describe el movimiento de todas las partículas que están pasando por un punto genérico a lo largo del tiempo.
- En el segundo método describimos el movimiento del fluido usando como marco de referencia las diferentes partículas. Entonces la velocidad corresponderá a la de una partícula específica del fluido $V_{(x_0, y_0, z_0, t)}$ a través de espacio.

Ahora, del movimiento lineal de una partícula de fluido se estudia la velocidad $v(x, y, z, t)$, la cual tiene componentes $u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}$, y la aceleración $a(x, y, z, t)$, la cual tiene componentes $a_x\hat{i} + a_y\hat{j} + a_z\hat{k}$ usando notación carteciana convencional.

El método de descripción es el Euleriano, sin embargo dado que el fluido esta en movimiento, la velocidad y aceleración se calcula siguiendo a las partículas del fluido y luego se las describe de un punto fijo del espacio.

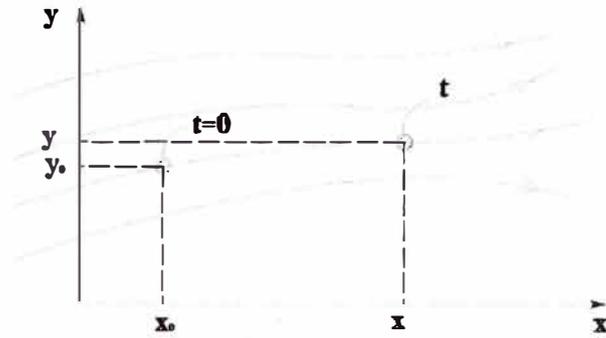


Figura 4.9 – Trayectorias de un fluido en movimiento en el plano x-y

El punto genérico donde se desea calcular la velocidad en ese flujo es $P(x, y)$, y el cálculo será siguiendo la partícula de fluido que en $t=0$ estuvo en $P(x_0, y_0)$ y que en el tiempo t pasa por $P(x, y)$. El vector posición del punto genérico $P(x, y, z)$ es:

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$$

Por otro lado las ecuaciones paramétricas de la trayectoria de la partícula que en $t=0$ estuvo en $P(x_0, y_0, z_0)$ son:

$$x = x_0 + \int_0^t u(x_0, y_0, z_0, \tau) d\tau$$

$$y = y_0 + \int_0^t v(x_0, y_0, z_0, \tau) d\tau$$

$$z = z_0 + \int_0^t w(x_0, y_0, z_0, \tau) d\tau$$

Donde τ representa el tiempo, ahora supongamos un flujo de agua (nada cambia en relación al tiempo), en una expansión gradual de una tubería con velocidad media axial u_1 , a otra con un diámetro mayor y la velocidad media axial u_2 , como se muestra en la Figura 4.10.

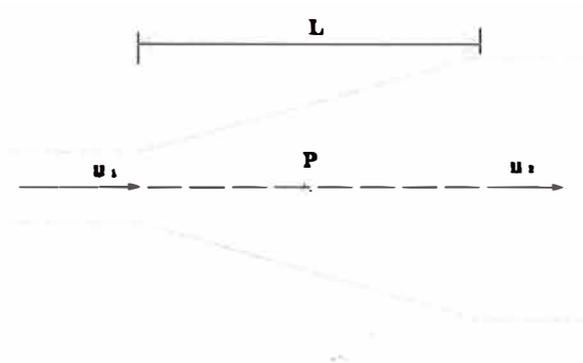


Figura 4.10 – Flujo incompresible en una expansión gradual de una tubería

Donde podemos intuir las velocidades $u_1 > u_2$, si calculamos la aceleración en forma aproximada en la línea de simetría y en la mitad de la expansión, punto P, se debe calcular la variación de la velocidad de las partículas a medida que se desplaza en el espacio y la variación que sufre la velocidad en relación al tiempo en dicho punto. Sin embargo dado que es un flujo permanente, nada cambia en relación al tiempo en toda la región. Por lo tanto no existirá aceleración temporal, entonces tendremos:

$$\frac{d(u_p)}{dt} = a_p \cong \frac{u_2 - u_1}{L}$$

Donde a_p y u_p son los módulos de la aceleración y de la velocidad axial en el punto P respectivamente.

4.1.3.2 DEFORMACION DE UN FLUIDO:

La tasa de deformaciones permite expresar las tensiones que el mismo sufre en su interior, los esfuerzos que sufre un fluido en movimiento puede ser expresado en función de las deformaciones del mismo. En

mecánica de fluidos no se usa la deformación absoluta como en resistencia de los materiales sino la velocidad de deformación específica.

La deformación longitudinal será: consideremos dos puntos genéricos a y b sobre una partícula, y la distancia de separación será Δs con velocidades v_a y v_b , entonces la deformación longitudinal de la recta que une los dos puntos será:

$$\epsilon_s = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{(v_b - v_a)}{\Delta s} = \frac{dv}{ds}$$

4.1.3.3 MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE DOS PUNTOS DE UNA PARTICULA:

el movimiento relativo entre dos puntos de una partícula de fluido, puede ser descompuesto en movimiento traslacional, rotacional, deformación longitudinal y angular.

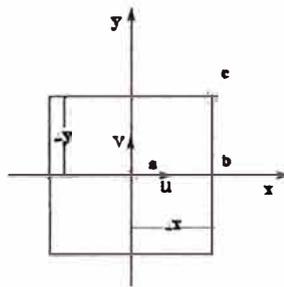


Figura 4.11 – Partícula de un fluido

Analizando, la velocidad según el eje x del punto c en función de la velocidad según el mismo eje del centro de la partícula a, usando una expansión solo de los términos de primer orden:

$$u(x + \Delta x, y + \Delta y) \cong u(x, y) + \frac{du(x, y)}{dx} dx + \frac{du(x, y)}{dy} dy + \dots$$

También tenemos la vorticidad del fluido según el eje z en el centro de la partícula es:

$$w_z = \frac{1}{2} \left(\frac{dv}{dx} - \frac{du}{dy} \right)$$

Desarrollando las ecuaciones, tendremos:

$$u(x + \Delta x, y + \Delta y) \cong u(x, y) - w_z dy + \epsilon_{xx} dx + \epsilon_{xy} dy$$

Según esta última ecuación podemos decir: La velocidad según el eje x del punto c puede ser expresada en función de cuatro términos. El primer término a la derecha del signo igual representa un movimiento traslacional, el segundo un movimiento rotacional, el tercero una deformación longitudinal y el cuarto una deformación angular.

4.1.3.4 DILATACION CUBICA Y DIVERGENCIA DE LA VELOCIDAD:

Consideraremos un volumen elemental del fluido en movimiento que en el tiempo t es:

$$dV(t) = dx(t) \times dy(t) \times dz(t)$$

En un tiempo muy corto el volumen material no romperá en pedazos, entonces:

$$\frac{1}{dV} \frac{D}{Dt} (dV) = \theta, \text{ tasa de deformacion especifica}$$

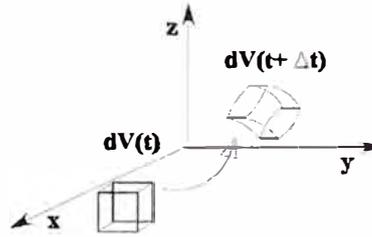


Figura 4.12 – Volumen material con forma de paralelepípedo en dos tiempos

Entonces:

$$\frac{1}{dV} \frac{D}{Dt}(dV) = \frac{1}{dV} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{(dV(t + \Delta t) - dV(t))}{\Delta t}$$

También, la deformación que sufre un segmento dl en un Δt es:

$$dl(t + \Delta t) \cong dl(t) + \epsilon_u(t)dl(t)\Delta t$$

Donde, $\epsilon_u(t)dl(t)\Delta t$ es la deformación absoluta de dl en el intervalo de Δt , aproximada en t . Desarrollando y acomodando las ecuaciones con $\Delta t \rightarrow 0$ y recordando que:

$$\epsilon_{xx} = \frac{du}{dx}, \quad \epsilon_{yy} = \frac{dv}{dy}, \quad \epsilon_{zz} = \frac{dw}{dz}$$

Tendremos:

$$\frac{1}{dV(t)} \frac{D(dV(t))}{Dt} = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz} = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = \nabla V$$

La cual expresa la tasa volumétrica de deformación específica de un punto, y la dilatación volumétrica o expansión será:

$$J = \frac{dV}{dV_0}$$

Acomodando valores tendremos:

$$\frac{1}{J} \frac{D(J)}{Dt} = \theta = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz} = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = \nabla V$$

4.1.3.5 TEOREMA DE TRANSPORTE:

Este teorema expresa la variación total de una propiedad extensiva N (Son función de la masa del sistema), correspondiente a una propiedad intensiva n (no depende de la masa o volumen).

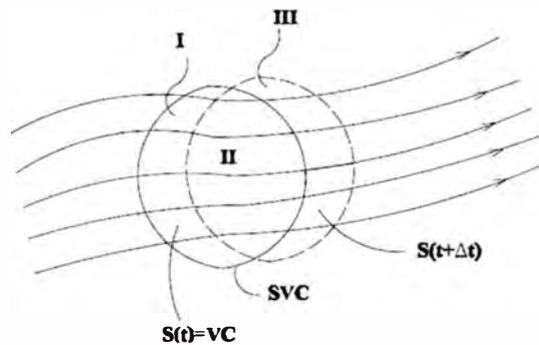


Figura 4.13 – Fluido en movimiento en dos tiempos

Aquí el volumen de control se divide en dos regiones I y II, también se tiene la región III que ha salido del volumen de control en el tiempo $\Delta t + t$. La región I, es la porción del VC (volumen de control) abandona por S en el tiempo $\Delta t + t$. II es la región común al VC y a S en el tiempo $\Delta t + t$. III es la porción de S en el tiempo $\Delta t + t$ que ha abandonado el volumen de control.

Si la propiedad intensiva es n , la cual expresa la propiedad extensiva N por unidad de masa, entonces la cantidad de dicha propiedad será:

$$N = \iiint_s n \cdot \rho \cdot dV$$

Donde s es la región del espacio correspondiente al sistema.

Analizando la variación del sistema (dN/dt):

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_{\text{sistema}} = \frac{DN}{Dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N_{t+\Delta t} - N_t}{\Delta t}$$

Entonces, la derivada sustancial o total para la cantidad total de propiedad N en el sistema es:

$$\frac{DN}{Dt} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{(\iiint_{III} n \rho dV + \iiint_{II} n \rho dV)_{\Delta t+t} - (\iiint_I n \rho dV + \iiint_{II} n \rho dV)_t}{\Delta t}$$

Ordenado y analizando las regiones I, II y III, decimos:

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{(\iiint_{III} n \rho dV)_{\Delta t+t} - (\iiint_I n \rho dV)_t}{\Delta t} = \iint_{SVC} n \cdot (\rho v dA)$$

Donde, SVC es la superficie del volumen de control.

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{(\iiint_{II} n \rho dV)_{\Delta t+t} - (\iiint_{II} n \rho dV)_t}{\Delta t} = \frac{d}{dt} \iiint_{VC} n \rho dV$$

Ordenado, tendremos el resultado final del teorema del Transporte:

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_{\text{sistema}} = \frac{DN}{Dt} = \iiint_{VC} (n \rho) dV + \iint_{SVC} n \cdot (\rho v dA)$$

Este resultado relaciona la variación total de la propiedad extensiva de un sistema con la variación total de la misma en un volumen de control y expresa que la variación total de una propiedad en un sistema, es igual a la variación de la propiedad en el tiempo dentro de un volumen de control más el flujo neto de la propiedad a través de la superficie del

mismo SVC.

4.1.3.6 LEY DE LA CONSERVACION DE LA MASA

La variación de la masa M respecto al tiempo en un sistema cerrado es igual a cero, en este caso $n=1$ (propiedad de unidad de masa), entonces:

$$M = \iiint_S n \rho dV$$

La ecuación de la conservación de la masa será:

$$\left(\frac{dM}{dt}\right)_{\text{sistema}} = \frac{DM}{Dt} = 0$$

Ahora usando el teorema del transporte y sustituyendo $n=1$ y N por M :

$$\left(\frac{dM}{dt}\right)_{\text{sistema}} = \frac{d}{dt} \iiint_{VC} (\rho) dV + \iint_{SVC} (\rho v dA)$$

La ecuación de la conservación de la masa en forma integral será:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{VC} (\rho) dV + \iint_{SVC} (\rho v dA) = 0$$

4.1.3.7 CIRCULACION Y TEOREMA DE STOKES:

Curva reducible es una curva ficticia cerrada inmersa en un flujo, la cual puede encogerse hasta formar un punto sin que salga del mismo, entonces usando este concepto, denominamos circulación de un campo vectorial v y una curva reducible $C(x, y, z, t)$ a la integral del producto escalar $v \cdot dl$ a lo largo de la curva:

$$\vartheta = \int (u dl_x i + v dl_y j + w dl_z k)$$

El teorema de Stokes relaciona la circulación y la vorticidad en una

región de flujo. Expresa que la integral de superficie del rotor de un vector v en una superficie es igual a la circulación alrededor de la misma:

$$\oint v \cdot dl = \oint d\vartheta = \iint \text{rot}(v) \cdot dS$$

4.1.4 DINAMICA DE UN FLUIDO EN MOVIMIENTO:

De la segunda ley de Newton tenemos o ley de la conservación de la masa tenemos:

$$\frac{d}{dt}P = \frac{d}{dt}(mv) = ma = F$$

Dónde:

P: Cantidad de movimiento.

m: Masa del cuerpo.

v: Velocidad.

a: Aceleración.

F: Sumatoria de fuerzas exteriores actuando sobre la partícula.

En mecánica de fluidos, la fuerza F se descompone en dos fuerzas, F_s que será la fuerza superficial como la presión y las tensiones superficiales, y F_m que serán las fuerzas másicas como las fuerzas gravitatorias. La fuerza másica es aquella generada por el campo gravitatorio sobre la masa de la partícula de fluido y por eso se considera como una fuerza externa a la misma, aun cuando esta se manifieste dentro de la partícula:

$$F = F_s + F_m$$

Entonces:

$$\frac{D}{Dt}(P) = F_s + F_m$$

También tendremos:

$$F_s = \iint_{SVC} t_{(n)} dS$$

Donde $t_{(n)}$ es el vector tensión (fuerza por unidad de área) que representa cada punto de la SVC, n es el vector unitario normal a SVC de forma que $dA = n dS$ es el vector diferencial de área en la dirección del vector unitario normal y dS es el escalar diferencial de área. Las fuerzas másicas pueden ser escritas como:

$$F_m = \iiint_{VC} \rho g dV$$

Donde g es el vector aceleración de la gravedad, entonces la ecuación de cantidad de movimiento lineal o momentum será:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{VC} (\rho v) dV + \iint_{SVC} v(\rho v dA) = \iiint_{VC} \rho g dV + \iint_{SVC} t_{(n)} dS$$

4.1.4.1 EQUILIBRIO DE FUERZAS EN UN PUNTO:

Partiremos de la ecuación de cantidad de movimiento lineal, consideraremos, la partícula tendrá una dimensión de dl , entonces el diferencial de volumen $dV = dl^3$ y los diferenciales de área $dS_x = dl^2$, $dS_y = dl^2$, $dS_z = dl^2$.

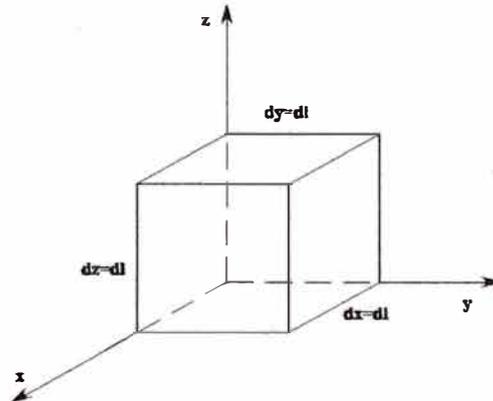


Figura 4.14 – Partícula de fluido con dimensiones dl en los ejes coordenados

$$\iiint_{VC} \left[\frac{d}{dt}(v\rho)dV + \text{div}(\rho v v) + \rho g \right] dl^3 = \iint_{SVC} t_{(n)} dl^2$$

O también:

$$\left[\frac{d}{dt}(v\rho)dV + \text{div}(\rho v v) + \rho g \right] dl^3 = \sum_i t_{(n)i} dl^2$$

Dónde:

$$\sum_i t_{(n)i} dl^2 = t_x dydz + t_y dx dz + \dots = t_x dl^2 + \dots$$

Dónde: t_x, t_y, \dots son los componentes de los vectores tensión sobre las direcciones x, y, z , respectivamente. Ahora dividiremos la ecuación entre dl^2 y tomaremos el límite cuando el volumen de la partícula tiende a cero, $dl \rightarrow 0$.

$$\lim_{dl \rightarrow 0} \left[\left(\frac{d}{dt}(v\rho) + \text{div}(\rho v v) + \rho g \right) dl = \sum_i t_{(n)i} \right]$$

De donde:

$$\sum_l t_{(n)l} = 0$$

Esto quiere decir que las fuerzas superficiales en un punto están en equilibrio y al resultado se lo denomina principio de equilibrio local para un medio continuo.

4.1.4.2 ESTADO DE TENSION EN UN PUNTO:

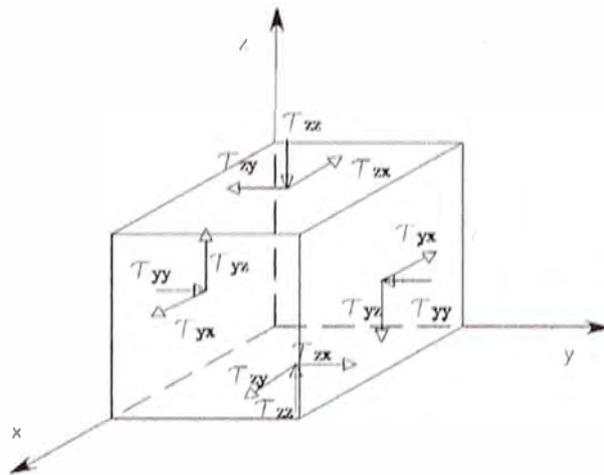


Figura 4.15 – Denominación de tensiones

Un fluido estático no tiene tensiones tangenciales, luego:

$$\tau_{xy} = \tau_{xz} = \tau_{yx} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$$

4.1.4.3 ECUACION DE NAVIER – STOKES:

Estas ecuaciones son las de cantidad de movimiento vista antes, ordenando podemos obtener la siguiente ecuación:

$$\rho \frac{dv}{dt} = -grad(P) + \rho g + \frac{1}{3} \mu grad(div v) + \mu \nabla^2 v$$

Donde: μ es un coeficiente de la viscosidad dinámica.

4.1.4.3.1 ESPECIALIZACION DE LA ECUACION DE NAVIER – STOKES:

Podemos especializar la ecuación de Navier – Stokes para algunos casos especiales, empezando a entender recordaremos la ecuación de la conservación de la masa:

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \nabla \cdot v = 0$$

Pero como el flujo será incompresible, se tendrá:

$$\nabla \cdot v = 0$$

Con lo que la ecuación de Navier – Stokes resultara:

$$\rho \frac{dv}{dt} = -grad(P) + \rho g + \mu \nabla^2 v$$

Como el fluido es estático, eliminaremos todos los términos de la velocidad:

$$0 = -grad(P) + \rho g$$

$$0 = -\frac{dP}{dz} - \rho g$$

De donde se obtiene la conocida relación de la presión hidrostática:

$$P(z) = P(0) + \rho g z$$

4.1.4.4 ECUACION DE BERNOULLI:

Al aplicarla ecuación de Newton a los fluidos en movimiento se obtiene la conocida ecuación de Bernoulli.

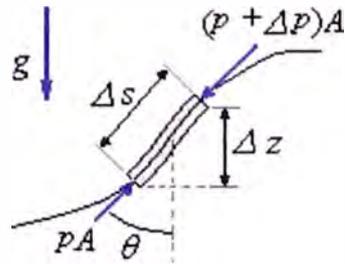


Figura 4.16 – Partícula de fluido en forma prismática

Esta partícula prismática se mueve a lo largo de una línea de flujo en la dirección s . consideremos el fluido no viscoso o sea que no hay pérdidas de energía, aplicando la segunda ley de Newton:

$$\sum F_s = ma_s$$

Las fuerzas que actuarán serán el peso y las fuerzas debido a las presiones p y $p + dp$, la masa de la partícula es: $\Delta m = \rho A \Delta s$, de donde calculando e integrando se obtiene:

$$P + \rho qz + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constante}$$

Ahora si existen pérdidas, entonces la ecuación de Bernoulli será:

$$P_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \text{pérdidas}$$

$$\text{Pérdidas} = (h_L + h_m) \rho g,$$

Dónde:

h_L : Pérdidas por el conductor del fluido.

h_m : Pérdidas por los accesorios (conectores).

4.1.4.5 PERDIDAS DE ENERGIA MECANICA EN CONDUCCIONES CILINDRICAS:

Empezaremos conociendo el tipo de régimen de flujo que son tres como laminar, transitorio y turbulento:

- Flujo laminar: cuando el fluido fluye en capas de manera uniforme y regular.



Figura 4.17 – Flujo laminar

- Flujo transitorio: es un régimen del flujo multifacético.



Figura 4.18 – Flujo Transitorio

- Flujo turbulento: el movimiento del fluido se da en una forma caótica las partículas se mueven desordenadamente.

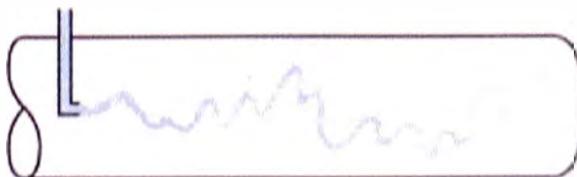


Figura 4.19 – Flujo Turbulento

Ahora para hallar las pérdidas por el conductor en flujo turbulento se utiliza la ecuación de Darcy:

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

Dónde:

f: factor de fricción (adimensional).

L: longitud del conductor del fluido (m).

h_L : pérdida de energía debido a la fricción (m).

D: diámetro del conductor de fluido (m).

v: velocidad promedio del flujo (m/s).

g: aceleración de la gravedad ($9.8 \frac{m}{s^2}$).

El factor de fricción (f) es un número adimensional que depende del número de Reynolds (Re) del fluido empleado y de la rugosidad relativa del conductor (ϵ_r).

$$f = f_{(Re, \epsilon_r)}$$

En la que el número de Reynolds es:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

Siendo:

ρ : densidad del fluido.

v: velocidad media del fluido.

D: diámetro interior del conductor.

μ : Viscosidad dinámica del fluido.

La rugosidad relativa (ε_r) viene de la rugosidad absoluta (ε) del material del cual este fabricado el conductor y de su diámetro interior:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D}$$

En la tabla siguiente se muestra la rugosidad relativa para diferentes materiales:

Tabla 4.1 – Rugosidad absoluta de algunos materiales

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	ε (mm)	Material	ε (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Para otras superficies lisas se utiliza una rugosidad absoluta de 0.00001.

El número de Reynolds expresa la relación entre la fuerza de inercia y las viscosidades que se presentan en el conductor del fluido. Cuando la fuerza predominante es la viscosidad (el número Reynolds es un número bajo), el fluido discurre de forma laminar y la rugosidad en la pérdida de

carga es menor que la debida al propio comportamiento del viscoso del fluido. En régimen turbulento (número de Reynolds grande), las fuerzas de inercia predominan sobre las viscosas y la influencia de la rugosidad se hace más notoria.

Los valores de transición entre régimen laminar y turbulento se encuentran con el número de Reynolds en el rango de 2000 a 4000. Es decir, en función de número de Reynolds se tiene:

- $R_e < 2000$: Régimen laminar.
- $2000 < R_e < 4000$: Zona crítica o de transición.
- $R_e > 4000$: Régimen turbulento.

De aquí es muy importante conocer si el flujo se encuentra en régimen laminar o turbulento es importante porque marca la manera de calcular el factor de fricción (f).

El factor de fricción (f) para valores del número de Reynolds por debajo del límite turbulento, es decir en régimen laminar, se calcula aplicando la fórmula de Poiseuille:

$$f = \frac{64}{R_e}$$

Expresión sencilla para calcular el factor de fricción (f) teniendo el número Reynolds (R_e).

Para calcular el factor de fricción (f), en régimen turbulento se utiliza el

diagrama de Moody que es la representación gráfica de escala doblemente logarítmica del factor de fricción (f) en función del número de Reynolds (Re) y de la rugosidad relativa del conductor (ϵ_r).

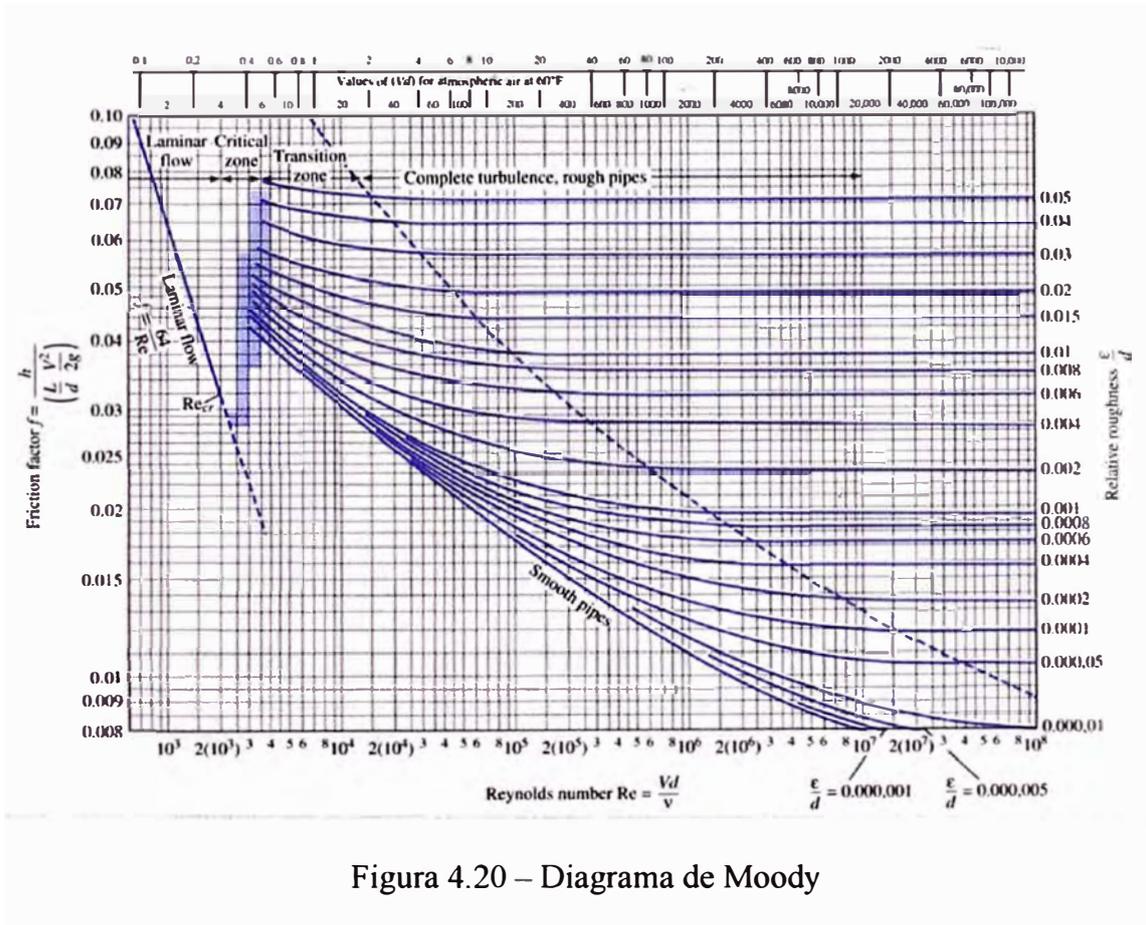


Figura 4.20 – Diagrama de Moody

- Uso del diagrama de Moody:

Supongamos que tenemos una rugosidad relativa de 0.0017 y un número de Reynolds de 15.630×10^4 , entonces en la columna vertical de rugosidad relativa ubicamos 0.0017 y seguimos la curva aproximada para luego cruzarla con el levantamiento de la vertical del número de Reynolds que para nuestro caso es 15.630×10^4 , la intersección nos dará el factor de fricción buscado.

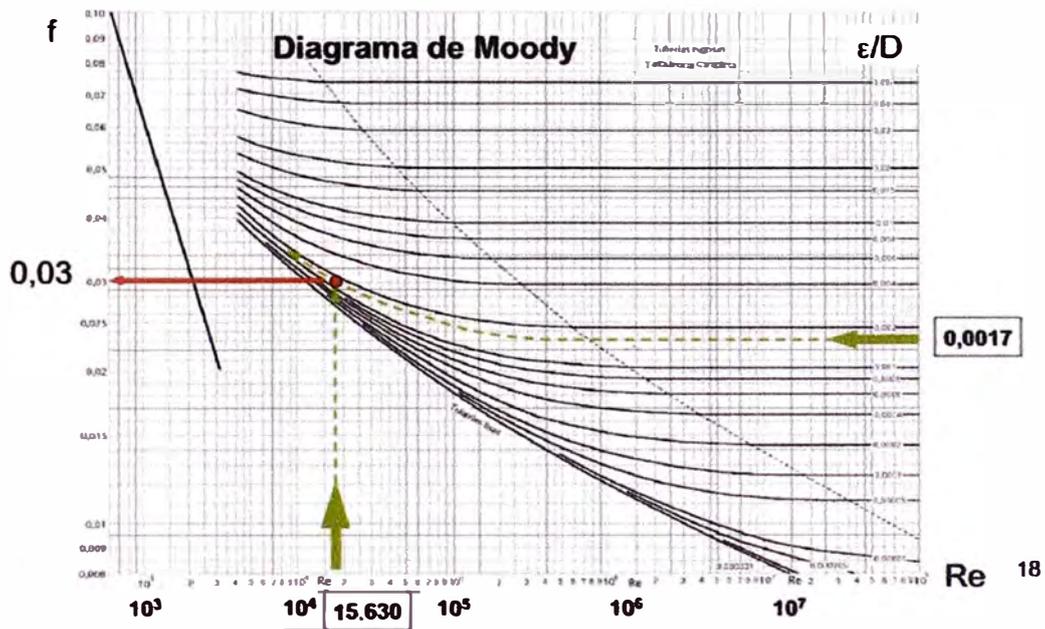


Figura 4.21 – Uso del Diagrama de Moody

Por otra parte para evaluar las pérdidas locales que se originan en válvulas u otros elementos intercalados en la instalación (codos, derivaciones en T, reducciones, bifurcaciones y otros), podemos calcularlos a partir de fórmulas empíricas como:

$$h_m = K * \frac{v^2}{2g}$$

Donde el coeficiente adimensional K se mide experimentalmente y depende del diseño del fabricante, a continuación se muestra el valor de K para distintos accesorios:

Tabla 4.2 – Coeficiente adimensional K para diferentes accesorios

ACCESORIO	PÉRDIDA DE CARGA
De depósito a tubería- conexión a ras de la pared (pérdida a la entrada)	$0,50v^2/2g$
- tubería entrante	$1,00v^2/2g$
- conexión abocinada	$0,05v^2/2g$
De tubería a depósito (pérdida a la salida)	$1,00v^2/2g$
Ensanchamiento brusco	$(v_1-v_2)^2/2g$
Ensanchamiento gradual (tabla 4)	$k(v_1-v_2)^2/2g$
Venturímetros, boquillas y orificios (C_v = Coef. de velocidad)	$(1/c_v^2 - 1)v^2/2g$
Contracción brusca (tablas 3 y 4)	$kv^2/2g$
Codo 45°	$k=0,35$ a $0,45$
Codo 90°	$k=0,50$ a $0,75$
Tes	$k=1,50$ a $2,00$
Válvulas de compuerta (abierto)	$k = \text{aprox. } 0,25$
Válvulas de control (abierto)	$k = \text{aprox. } 3,0$
Válvula de retención (chamela)	$k = \text{aprox. } 2$

4.2 COMPONENTES INVOLUCRADOS EN EL SISTEMA DE LIMPIEZA DEL AVANCE:

4.2.1 VALVULA DE REDUCCION DE PRESION:

Se utiliza cuando la demanda de presión de un circuito es menor que la presión de suministro. Básicamente consta de un pistón, un resorte y un carrete. La fuerza del resorte determina la máxima presión corriente debajo de la válvula. La válvula está normalmente abierta.

A medida que el flujo pasa por el carrete, la presión aumenta corriente abajo. Al aumentar la presión en la cavidad del pistón, esta actúa contra

el pistón y el carrete, comenzando a cerrar la válvula hasta encontrar el equilibrio.

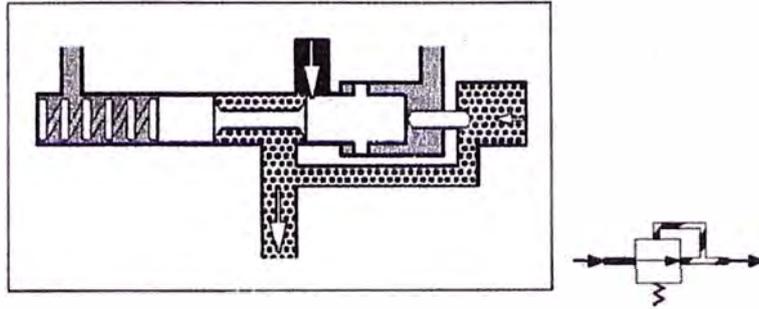


Figura 4.22 – Válvula de reducción de presión

4.2.2 ELECTROVALVULA:

Se utiliza para dar pase al flujo mediante energización eléctrica.

CAPÍTULO 5

DESARROLLO DE LA SOLUCION DEL PROBLEMA

5.1 PLANTEAMIENTO DE SOLUCION:

Cada vez que el equipo de perforación es utilizado, se generan considerables trozos de mineral en el avance de dicho equipo, muchas veces el operador no realiza la limpieza por ser un trabajo manual y esto ocasiona desgastes en las piezas y en muchos casos de gran consideración.



Figura 5.1 – Suciedad en el avance.

El circuito empieza con la alimentación de la red de agua a la maquina (min 2 bar), se dirige a la válvula de limpieza que está compuesto por una válvula manual y filtro, luego llega a la válvula de reducción con un rango de trabajo de 1 a 7 bar (esto con el propósito de proteger a la bomba en una eventual sobrecarga de presión de la red), llegando a la bomba y de aquí se distribuye para el sistema de perforación (sistema de barrido de los agujeros de perforación) y refrigeración para el sistema hidráulico.

5.2.2 SISTEMA DE AGUA DEL EQUIPO DE PERFORACION IMPLEMENTADO EL SISTEMA DE LIMPIEZA DEL AVANCE:

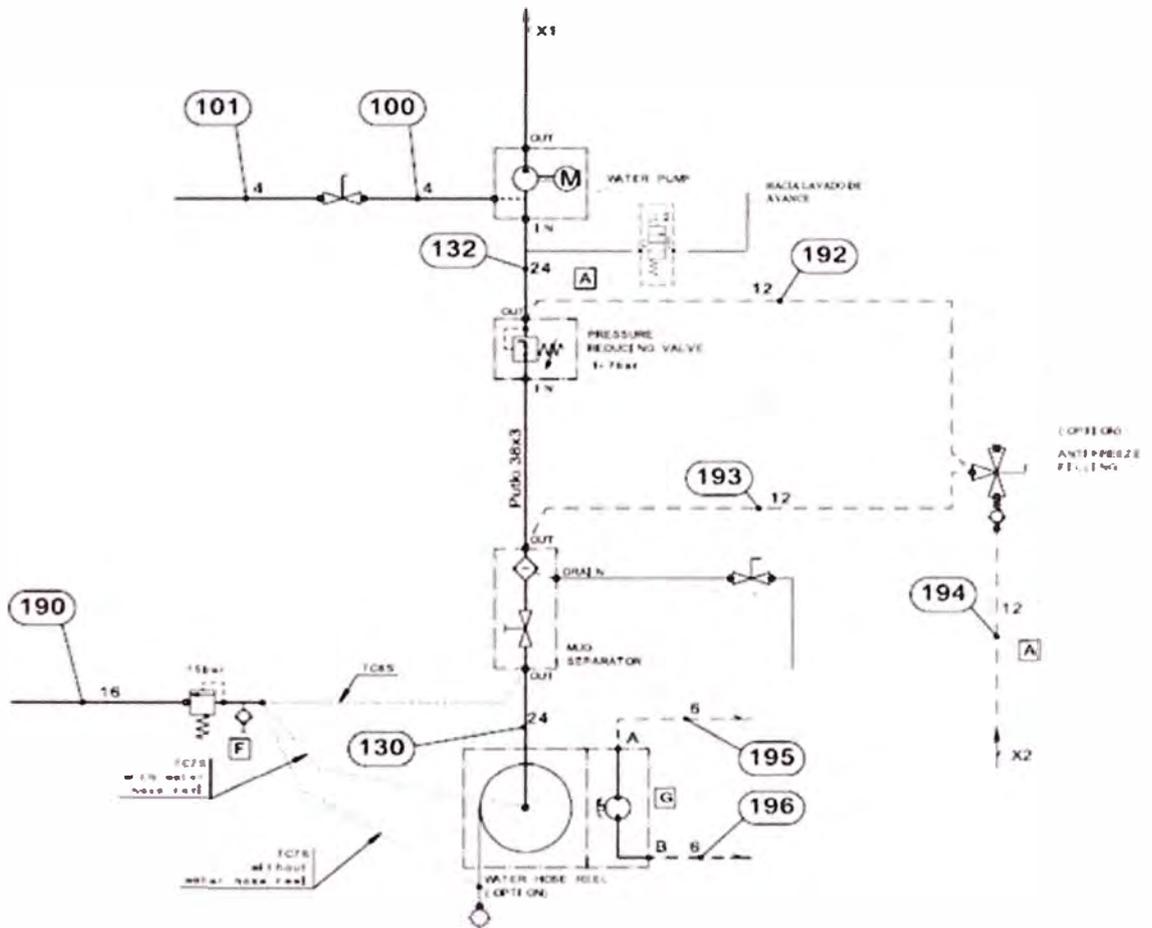


Figura 5.3 – Circuito de agua con sistema de lavado de avance

Para obtener el agua para el sistema de lavado del avance, tomaremos con una conexión T luego que el agua pase por el reductor de presión, esto para tener una presión al inicio de 4 bar (esto se gradúa manualmente a la necesidad, por lo general es este valor).

5.3 SISTEMA ELECTRICO DEL SISTEMA DE LIMPIEZA DEL AVANCE:



Figura 5.4 – Circuito eléctrico para sistema de limpieza de avance

El sistema eléctrico de nuestro sistema de lavado del avance constara de una electroválvula, un switch colocado en la cabina, cables y alimentación de 24V.

Dicho switch se colocara en uno de las bases de switch opcionales que tienen todos los equipos de perforación en la cabina:

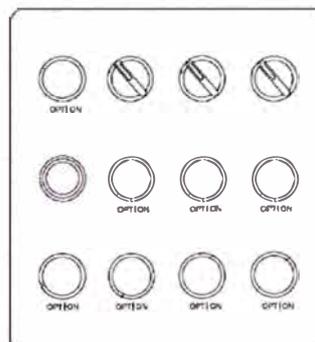


Figura 5.5 – Base para switch en cabina

5.4 CALCULOS DE DISEÑO:

Como dato de entrada tomaremos la presión del agua luego del reductor de presión:

$$P_1 = 4bar$$

$$Q_1 = 24l/min$$

Distancia entre boquilla y superficie: 30cm.

Ancho de viga a limpiar 25 cm.

Ahora analizando P_2 , utilizando la ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \rho * g * h_1 + \frac{1}{2} * \rho * V_1^2 = P_2 + \rho * g * h_2 + \frac{1}{2} * \rho * V_2^2 + (h_L + h_m) * \rho * g$$

Tenemos de dato:

$$P_1 = 4bar = 392000Pa,$$

$$Q_1 = 24l/min = 0.0004 m^3/s, \text{ (caudal),}$$

$$v = \frac{Q}{A},$$

A: Área interior del conductor del fluido,

D: diámetro interior del conductor.

$$D = 0.5" = 0.0127m,$$

$$v_1 = v_2 = 3.15 m/s,$$

$$\rho = 1000 kg/m^3,$$

$$g = 9.8 m/s^2,$$

$$h_1 = 0,$$

$$h_2 = 1m,$$

- Hallando h_L (perdidas por el conductor):

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

L: longitud del conductor.

$$L = 3m,$$

El factor de fricción (f) lo hallaremos de la tabla de Moody, para ello necesitamos el número de Reynolds (R_e) y la rugosidad relativa (ε_r),

$$R_e = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

μ : viscosidad dinámica del fluido, de la tabla de Propiedades del agua para 15 °C:

$$\mu = 1.139 * 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2,$$

Entonces,

$$R_e = 35122.91,$$

Estamos dentro de flujo turbulento.

La rugosidad relativa será:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D},$$

Donde la rugosidad absoluta la obtenemos de la tabla:

$$\varepsilon = 0.00001,$$

$$\varepsilon_r = 7.874 * 10^{-4},$$

Ahora tanto con R_e y ε_r , localizamos en el diagrama de Moody y obtenemos el factor de fricción (f):

$f=0.025$,

y reemplazando en la ecuación de pérdidas en el conductor (h_L):

$$h_L = 2.989m,$$

• Hallando h_m (pérdidas por accesorios):

$h_m = 2 * K * \frac{v^2}{2g}$, (lo multiplicamos por 2 debido a que tenemos dos conectores en T)

El coeficiente adimensional K para conexión en T lo obtenemos de la tabla:

$$K=1.5.$$

Entonces:

$$h_m = 1.517m,$$

Reemplazando estos valores en la ecuación de Bernoulli, tendremos:

$$P_2 = 338041.2 Pa = 3.4494bar,$$

Ahora hallaremos el porcentaje de pérdida de presión (objetivo de nuestro informe):

$$\% \text{ pérdida de presión} = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$$

$$\% \text{ pérdida de presión} = 13.765\%$$

Lo cual cumple nuestro objetivo de no tener una pérdida mayor al 15%.

5.5 SELECCION DE PIEZAS:

5.5.1 CONECTORES:

- El primer conector será uno del tipo T, para tomar el agua de la línea alimentadora hacia nuestro sistema de lavado del tipo:
 - Tee M JIC 12 – M JIC 12 – M JIC 8

- El otro conector también será del tipo T, en la cual ira una de las boquillas:
 - Tee M JIC 8 – H JIC 4 – M JIC 4

- También necesitaremos dos conectores de 90°, que irán con la porta boquillas:
 - 2 Conectores 90° M JIC 4 – M JIC 4

- Y un conector de 90°, la cual ira en un extremo del porta boquillas (conectado directamente con la boquilla):
 - Conector 90° H JIC 4 – M JIC 4

5.5.2 MANGUERA:

Necesitaremos manguera de baja presión, que sea resistente a la abrasión, con las siguientes características:

- Una para conducir el fluido desde la toma del circuito de aguas hasta la entrada de la boquilla (Base del sistema de limpieza):
 - Manguera ensamblada (R2 – N8 x 3m) – H JIC 8 – H JIC 8

- Otras mangueras que irán por el porta boquillas conduciendo el agua:
 - 2 Manguera ensamblada (R2 – N4 x 0.35m) – H JIC 4 – H JIC 4
 - Manguera ensamblada (R2 – N4 x 0.4m) – H JIC 4 – H JIC 4

5.5.3 ADAPTADOR RAPIDO:

Necesitaremos un adaptador rápido para conector de ½”, la cual ira en la salida del conector Tee del porta boquillas.

5.5.4 SOPORTE DE BOQUILLA:

El soporte para la boquilla estará diseñado en dos piezas, una que ira fijado en la mesa del avance a la cual llamaremos base del sistema de limpieza y otra en donde estarán las boquillas (a la cual llamaremos porta boquillas), esta se acoplara a la base cada vez que se quiera lavar el avance.

5.5.4.1 FABRICACION DEL SOPORTE DE BOQUILLA:

5.5.4.1.1 MATERIAL Y SUS CARACTERISTICAS:

El material con el cual será fabricado el soporte de la boquilla será el acero AISI 1020.

Tabla 5.1 – Características del acero AISI 1020

Descripción	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	NA
Módulo cortante	7.7e+010	N/m ²
Densidad	7900	kg/m ³
Límite de tracción	420507000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	351571000	N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin
Conductividad térmica	47	W/(m.K)
Calor específico	420	J/(kg.K)

5.5.4.1.2 DIMENCIONES DEL SOPORTE DE BOQUILLA:

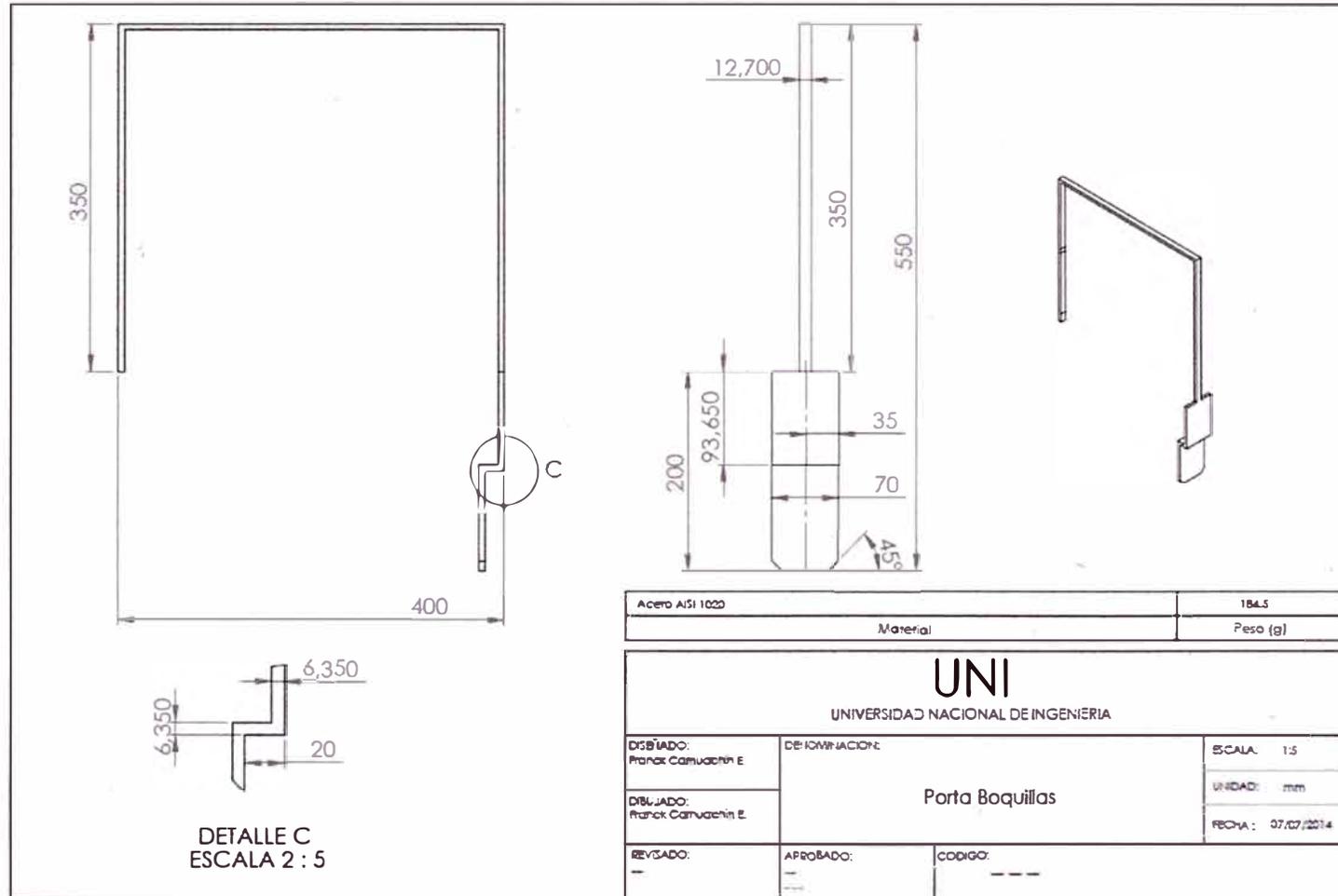


Figura 5.6 – Plano porta Boquilla

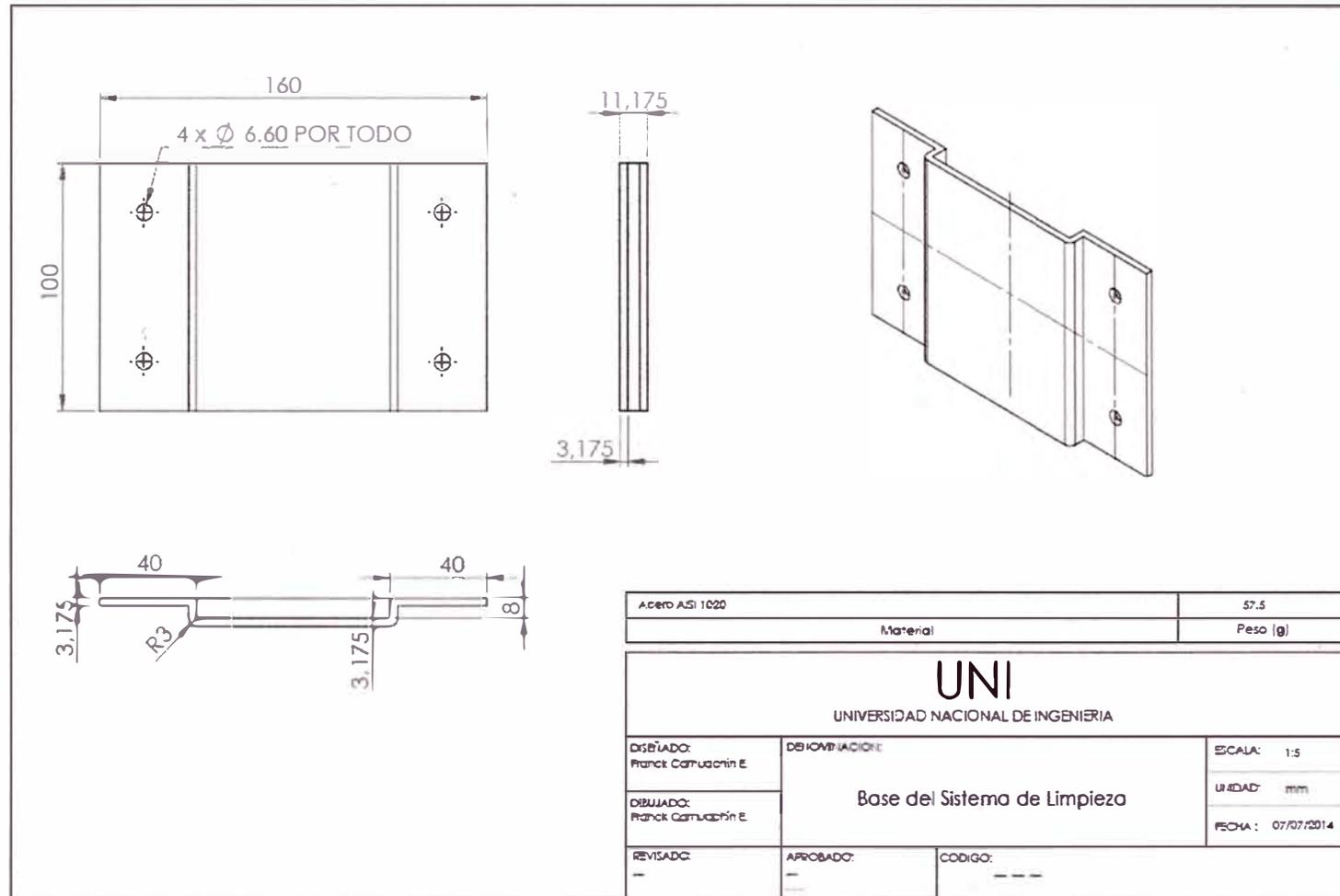


Figura 5.7 – Plano Base del Sistema de Limpieza

5.5.4.1.3 MODELACION DE ESFUERZOS DE LAS PIEZAS MEDIANTE COSMOSWORKS:

Para este análisis emplearemos la fuerza máxima que se pudiera dar, la cual obtenemos de:

$$F = \frac{P}{A}$$

Donde ya sabemos que P es la presión (4 bares) y A es el área de la sección de la manguera de ¼” de diámetro interior, entonces la fuerza máxima F será: 12.2N

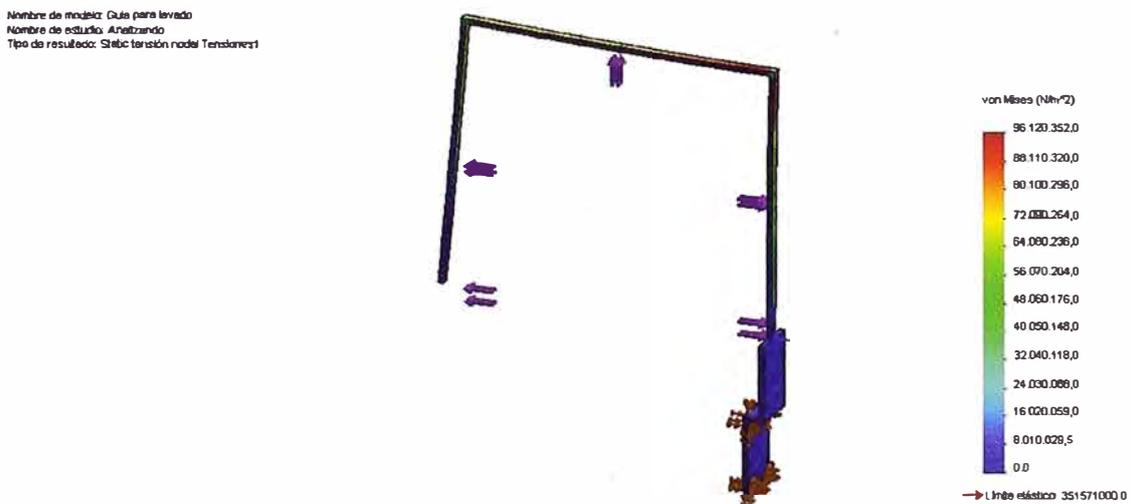


Figura 5.8 – Análisis de Esfuerzos del porta Boquillas

Nombre de modelo: Base
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Static tension model Tensiones1
 Escala de deformación: 20415

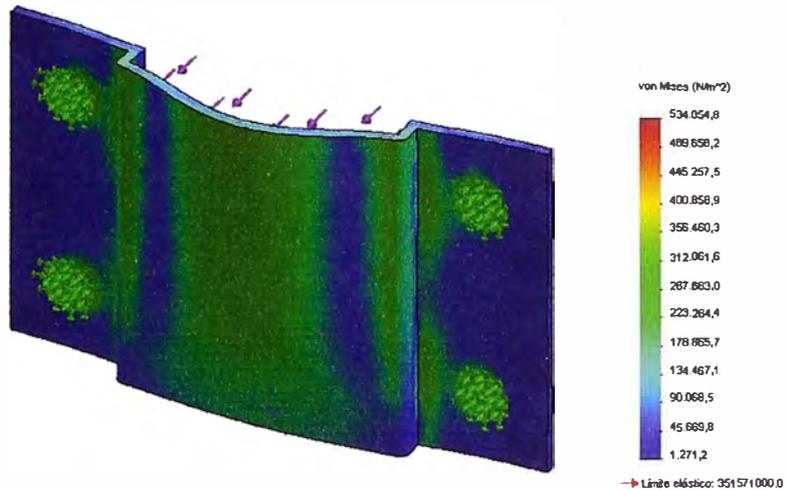


Figura 5.9 – Análisis de Esfuerzos de la Base del Sistema de Limpieza

Donde se observa el análisis de esfuerzo (máximo 96 MPa), lo cual está dentro de lo permitido por el material AISI 1020, límite elástico: 351 MPa, entonces el material seleccionado está correcto.

5.5.5 BOQUILLA:

Entre las posibles boquillas tenemos:

- Boquilla cónica:

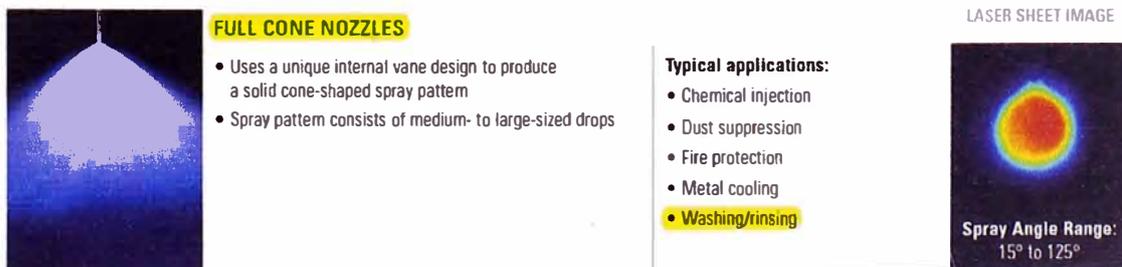


Figura 5.10 – Boquilla cónica

- **Boquilla plana:**

	<p>FLAT (EVEN) NOZZLES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Provides even distribution of medium-sized drops throughout the thin, rectangular spray pattern • When used on a header, nozzles are positioned for edge-to-edge pattern contact 	<p>Typical applications:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coating • Cooling • Moisturizing • Washing 	<p>LASER SHEET IMAGE</p>  <p>Spray Angle Range: 25° to 65°</p>
---	---	--	---

Figura 5.11 – Boquilla plana

- **Boquilla plana cónica:**

	<p>FLAT SPRAY (TAPERED) NOZZLES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produces a tapered-edge flat spray pattern • Used on spray headers to provide uniform coverage as a result of overlapping distributions 	<p>Typical applications:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descaling • High-pressure cleaning • Label removal 	 <p>Spray Angle Range: 15° to 110°</p>
--	---	---	--

Figura 5.12 – Boquilla plana cónica

- **Boquilla plana desviada:**

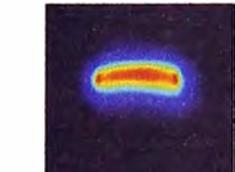
	<p>FLAT SPRAY (DEFLECTED-TYPE) NOZZLES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uses a deflector surface to form an even flat spray pattern consisting of medium-sized drops • Large free passage design reduces clogging through the round orifice 	<p>Typical applications:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Showers in papermaking • Washing 	 <p>Spray Angle Range: 15° to 150°</p>
---	--	--	---

Figura 5.13 – Boquilla plana desviada

- Selección: elegiremos utilizar boquilla plana por ser usado para lavar (quitar suciedad) y nos proporcionara una distribución uniforme del fluido. Debido a que necesitamos un longitud de lavado de 25 cm y tenemos una altura de boquilla a superficie de 30 cm, entonces el ángulo de boquilla será **65°**.

El material de la boquilla tiene que ser un material anticorrosivo, para lo cual elegimos acero antioxidante como AISI 300, 303, 304 o 316 (según se encuentre en el catálogo de boquillas). Necesitamos que las boquillas sean muy resistentes a la corrosión ya que los equipos de perforación trabajan en distintos climas como el costero, entonces elegiremos el material **Acero AISI 316** que cumple con estas características.

Debido a que nos interesa limpiar ambos lados del riel (avance) emplearemos dos boquillas, ahora como tenemos un caudal de 24 l/min , entonces seleccionaremos boquillas por donde permita el paso de 12 l/min .

Entonces de los catálogos tenemos la siguiente boquilla:

$H \frac{1}{4} U - 316SS \ 65^\circ \ 30$

5.5.6 ELECTROVALVULA:

Se usara una electroválvula de paso para ½" y 24V DC.

5.5.7 ABRAZADERAS:

Estas se usaran para soportar la manguera alrededor de la porta boquillas:

- 5 abrazaderas de 1".

5.6 COSTO DE INVERSION:

Tabla 5.2 – Costo de Inversión

NRO	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
1	Tee M JIC 12 – M JIC 12 – M JIC 8	1	2	2
2	Tee M JIC 8 – H JIC 4 – M JIC 4	1	2	2
3	Conectores 90° M JIC 4 – M JIC 4	2	1	2
4	Conector 90° H JIC 4 – M JIC 4	1	1	1
5	Manguera ensamblada (R2 – N8 x 3m) – H JIC 8 – H JIC 8	1	4	4
6	Manguera ensamblada (R2 – N4 x 0.35m) – H JIC 4 – H JIC 4	2	2	4
7	Manguera ensamblada (R2 – N4 x 0.4m) – H JIC 4 – H JIC 4	1	2	2
8	Adaptador rápido para conector de ½"	1	7	7
9	Porta boquilla	1	18	18
10	Base del sistema de limpieza	1	15	15
11	Boquilla (H 1/4 U-316SS 65° 30)	2	13	26
12	Electroválvula de paso para ½" y 24V DC	1	300	300
13	Abrazadera de 1"	5	0.2	1
			TOTAL	384

CONCLUSIONES

1. Con el análisis del funcionamiento del equipo y de los componentes involucrados con el avance del equipo se logró identificar y conocer el funcionamiento de cada uno de estos como son el martillo, brazo del equipo de perforación y su propio avance; resultando de este modo que el funcionamiento de cada uno de estos componentes no es afectado por el funcionamiento del sistema de limpieza del avance.
2. Utilizando el acero AISI 1020 para la realización de los soportes y base para el sistema de limpieza del avance, se tiene un esfuerzo máximo de $96 \text{ M}^{\text{N}}/\text{m}^2$, que es un valor muy inferior respecto al límite elástico para este acero $351 \text{ M}^{\text{N}}/\text{m}^2$.
3. Con una presión de agua de la red de la mina de 4bar y graduando el caudal al ingreso del equipo de perforación a $24 \text{ l}/\text{min}$, es posible tener un sistema de limpieza para el avance del equipo con una pérdida de presión de agua del 13.765% (0.55bar) respecto a la presión de entrada y con esto cumplimos nuestro objetivo que es no tener una pérdida de presión de agua superior al 15%.

RECOMENDACIONES

1. Graduar el regulador de caudal de agua y el regulador de presión de agua del equipo de tal manera que se tenga un caudal de $24 \text{ l}/\text{min}$ y una presión de 4bar al ingreso del sistema de limpieza para el avance del equipo.
2. El adaptador rápido para conector de $\frac{1}{2}$ " ira junto al porta boquillas, esto para evitar que se acumule suciedad en dicho adaptador mientras el equipo realiza su trabajo de perforación.
3. Luego de usar el sistema de limpieza del avance, colocar tapón en el extremo de manguera que quedara al descubierto, esto para evitar el ingreso de suciedad dentro de dicha manguera.
4. Con la implementación del sistema de lavado, obtener los datos de costo de los materiales de desgaste del Avance e analizar el tiempo de uso de dichos materiales y realizar un análisis costo beneficio.

BIBLIOGRAFIA

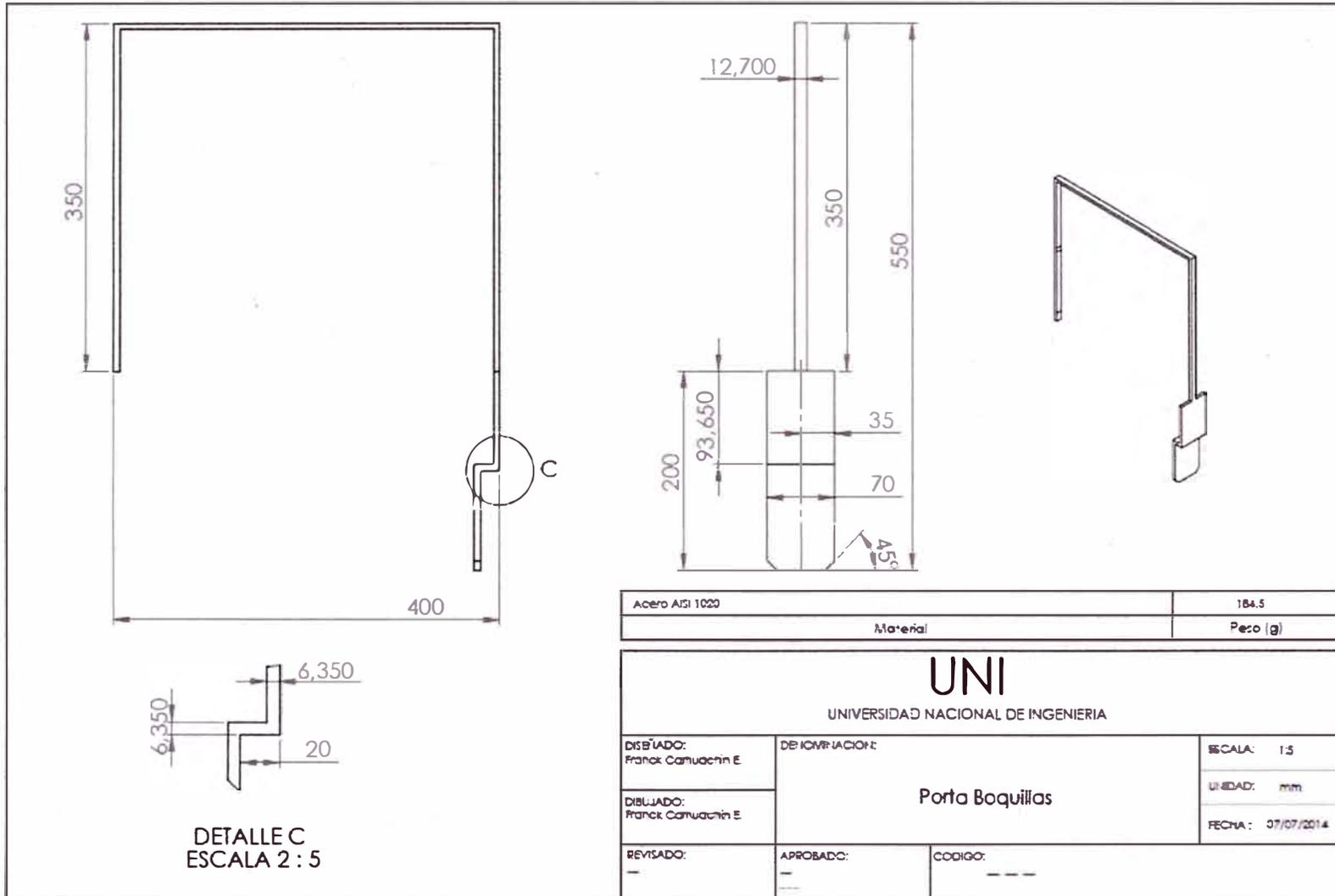
- MOTT, Robert. *Mecánica de Fluidos*. Sexta ed. México 2006.
- SALCEDO, Martin. *Flujo Interno de Fluidos Incomprensibles y Comprensibles*. Disponible en:
http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/1/tema1_Flujo%20interno.pdf
[Consultado: 2 de Abril del 2014].
- CORREA, Juan. *Perdidas por Fricción en Tuberías y Accesorios*. Disponible en:
<http://www.slideshare.net/juanccorreag1/laboratorio-1-prdidas-en-tuberas-por-friccin> [Consultado: 10 de Abril del 2014].
- POLITECNICO COLOMBIANO. *Evaluación de Perdidas de Energía Debidas a la Fricción en Tuberías*. Disponible en:
http://fluidsmechanics.wikispaces.com/Cap_5Evaluaci%C3%B3n+de+p%C3%A9rdidas+de+energ%C3%ADa+debidas+a+la+fricci%C3%B3n+en+tuber%C3%ADas?showComments=1 [Consultado: 11 de Abril del 2014].

- INGEMECANICA. *Sistemas Hidráulicos de Transmisión de Potencia*. Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html> [Consultado: 12 de Abril del 2014]
- CHAMORRO, Juan. *Mecánica de Fluidos I*. Disponible en: <http://www.metalurgia.uda.cl/apuntes/Jchamorro/Mecanica-fluidos%20I/EcuacionGeneraldeEnergiaA.pdf> [Consultado: 15 de Abril del 2014].
- TURMO, Emilio. *Fugas en Recipientes y Conducciones*. Disponible en: http://www.jmcprl.net/ntps/@datos/ntp_362.htm [Consultado: 24 de Abril del 2014].

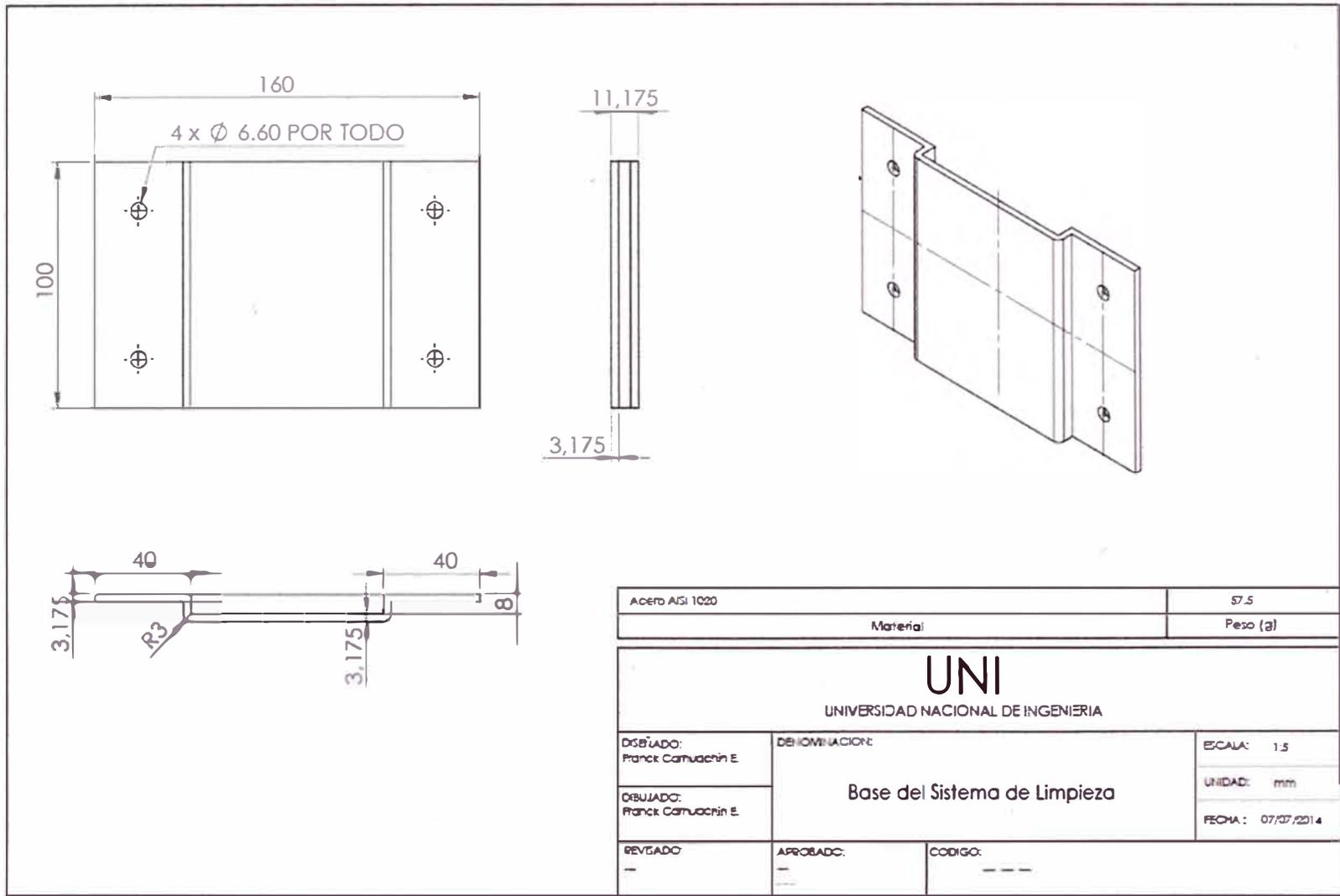
PLANOS

Plano 01 Porta Boquilla.

Plano 02 Base de sistema de limpieza.



Plano 01 Porta Boquilla.



Plano 02 Base de sistema de limpieza.

APENDICE

Apéndice 01 Propiedades Físicas del Agua.

Apéndice 02 Dimensiones y Especificaciones de un Equipo de perforación para
Minería Subterránea.

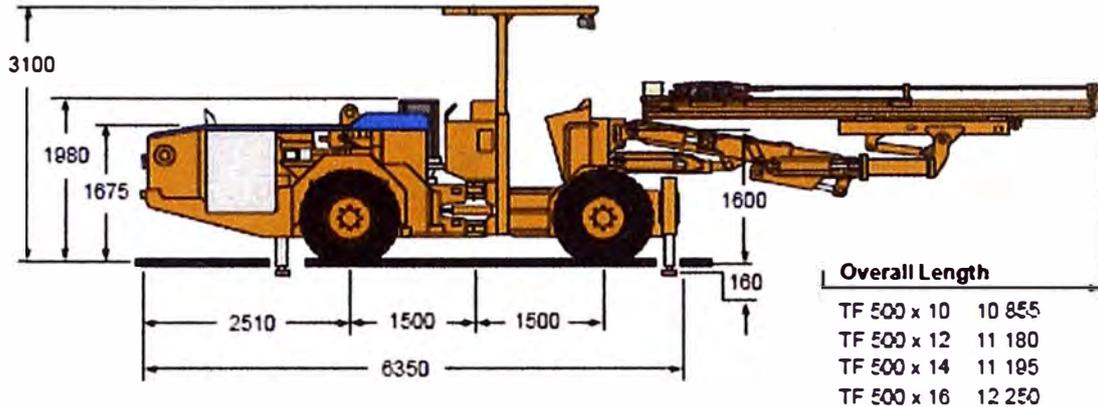
Apéndice 03 Catalogo de Boquillas.

Apéndice 01 Propiedades Físicas del Agua.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Densidad (kg/m ³)	Módulo de elasticidad (kN/m ²)	Viscosidad dinámica (N·s/m ²)	Viscosidad cinemática (m ² /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m ²)
0	9,805	999,8	$1,98 \cdot 10^6$	$1,781 \cdot 10^{-3}$	$1,785 \cdot 10^{-6}$	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	$2,05 \cdot 10^6$	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$1,519 \cdot 10^{-6}$	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	$2,10 \cdot 10^6$	$1,307 \cdot 10^{-3}$	$1,306 \cdot 10^{-6}$	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	$2,15 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	$2,17 \cdot 10^6$	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	$2,22 \cdot 10^6$	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	$2,25 \cdot 10^6$	$0,708 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,653 \cdot 10^{-3}$	$0,658 \cdot 10^{-6}$	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	$2,29 \cdot 10^6$	$0,547 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-6}$	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,466 \cdot 10^{-3}$	$0,474 \cdot 10^{-6}$	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	$2,25 \cdot 10^6$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	$0,413 \cdot 10^{-6}$	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	$2,20 \cdot 10^6$	$0,354 \cdot 10^{-3}$	$0,364 \cdot 10^{-6}$	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	$2,14 \cdot 10^6$	$0,315 \cdot 10^{-3}$	$0,326 \cdot 10^{-6}$	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	$2,07 \cdot 10^6$	$0,282 \cdot 10^{-3}$	$0,294 \cdot 10^{-6}$	0,0589	101,33

Apéndice 02 Dimensiones y Especificaciones de un Equipo de perforación para Minería Subterránea.

GENERAL DIMENSIONS



All dimensions in mm

HLX5 ROCK DRILL

Weight	210 kg
Length	955 mm
Profile height	87 mm
Power class	20 kW
Max working pressure	- Percussion 225 bar
	- Rotation 175 bar
Max torque (80 ccm motor)	400 Nm
Hole size	43 - 64 mm
Recommended steel	T38- H35-R32
	T38-H35-alpha 330
	T38-R39-R35
Shank adapter	7304-7595-01 (T38)
Flushing water pressure	10 - 20 bar

TF 500 FEED

Feed type	Cylinder - wire rope
Feed force	25 kN

TF 500	500x10	500x12	500x14	500x16
Total length (mm)	4660	5270	5880	6490
Drill steel length (mm)	3090	3700	4305	4915
Hole depth (mm)	2830	3440	4050	4660
Net weight (kg)	470	500	530	560

B 26 F BOOM

(Technical specification 4-200 G)

Type	Parallel holding
Weight (with hoses)	1 900 kg
Feed roll-over	360°
Boom extension	1 200 mm
Feed extension	1 600 mm

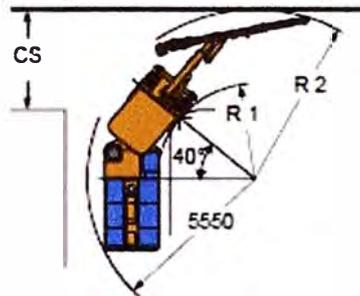
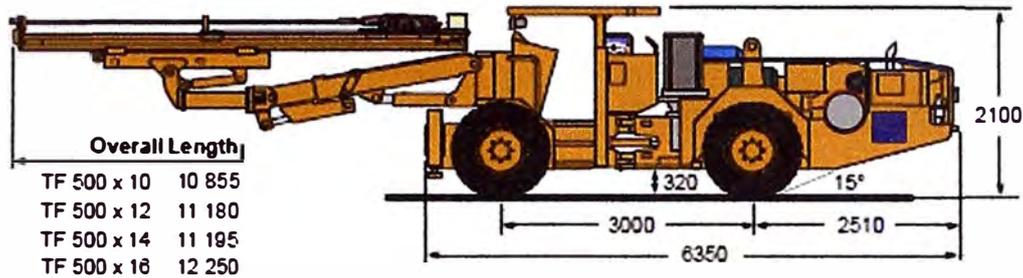
THC 560 CONTROL SYSTEM

Power control	Adjustable full power
	Adjustable collaring power
Rotation control	Adjustable rotation speed
	Reversible rotation
Automatic functions	Collaring
	Feed controlled percussion
	Anti-jamming
	Flushing
	Stop-and-return
Boom controls	Fully proportional

HP 560 POWER PACK

Electrical motor	1 x 55 kW (75 hp)
	3-phase motor
Pump types	
- Percussion, feed & boom	Axial piston,
	1 x 130 l/min variable displacement
- Rotation	1 x 60 l/min gear pump
Filtration	- Pressure 1 x 20 micron
	- Return 1 x 10 micron
Hydraulic tank volume	180 liters

TRAMMING DIMENSIONS



All dimensions in mm.

TURNING RADIUS

	R 1	R 2	CS
TF 500 x 10	3280	5855	3290
TF 500 x 12	3280	5800	3435
TF 500 x 14	3280	5945	3580
TF 500 x 16	3280	6070	3705

CARRIER

Model	TC 5
Diesel engine	Deutz BF4L 2011, 55 kW (74hp)
- Exhaust	Catalyser
Automotive hydrostatic transmission	
Transfer case	Drop gear Clark-Hurth
Axles, Front & Rear	Case New Holland D45
- Oscillation	Rear axle, 2 x 10°
- Tyres	12.00 x 20
Steering	Frame steering, 2 x 40°
Brakes	
- Service	Hydrostatic transmission + positive braking
- Emergency & parking	Hydraulic oil immersed multiple disc brakes on both axles
Stabilizers	2 hydraulic jacks, front 2 hydraulic jacks, rear
Safety canopy	Hydraulic, FOPS-ROPS
- Lowering capability	1 000 mm
Fuel tank	80 liters
Hydraulic tank	55 liters

AIR CIRCUIT

Compressor	C.T. 10, screw type
- Capacity	1.0 m ³ /min at 7 bar
Electric motor	7.5 kW (10 hp)
Shank lubrication device	1 x KVL 10-1
- Air consumption	250-350 l/min
- Oil consumption	180-250 g/h

WATER CIRCUIT

Water booster pump	Centrifugal type
- Capacity	2000 l/h at 15 bar
- Electric motor	4 kW (5.5 hp)
Oil cooler	OW 30, water-actuated counterflow
- Cooling capacity	30 kW

ELECTRICAL SYSTEM

Total installed power	73 kW
Main switch	1 x MSE 05
Voltage	380 - 660 V
Frequency	50 or 60 Hz
Starting method	Direct start
Cable reel	TCR 1 type
- Capacity	80 m of cable 38 mm O.D.
Lighting	
- Working lights	4 x 70 W, 24 V
- Trimming lights	4 x 70 W, 24 V
<i>(the 2 front lights are also used as working lights)</i>	

FULL DIESEL VERSION OPTIONAL

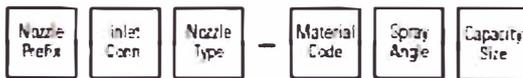
Water-cooled engine	Deutz BF4M 2012C
- Max. rating at 2200 rpm	93 kW (125 hp)
Fuel tank capacity	240 liters
Compressor & water pump driven by hydraulic motors	
Total machine weight	10 500 kg

Apéndice 03 Catálogo de Boquillas.



ORDERING INFORMATION

VEEJET H-DT, H-DU, H-U, H-VV AND H-VVL



Example



BSP1 connections require the addition of a "B" prior to the inlet connection.

VEEJET U



Example



BSP1 connections require the addition of a "B" prior to the inlet connection.

QUICK REFERENCE GUIDE

Model	Connection	Connection Size (in.)	Materials	Page Number	
				Performance Data	Dimensions and Weights
H-DT	F	1/8 to 1/4	Brass, 303 stainless steel (SS)	C6-C8	C13
H-DU	F	1/8 to 1/4	Brass, 303 stainless steel (SS), Polyvinyl chloride (PVC)	C9-C13	
H-U	M	1/8 to 3/4	Brass, Mild steel (I), 303 stainless steel (SS), 316 stainless steel (316SS), Polyvinyl chloride (PVC)	C9-C13	
H-VV	M	1/8 to 1/4	Brass, Mild steel (I), 303 stainless steel (SS), 316 stainless steel (316SS)	C6-C8	
H-VVL	M	1/8 to 1/4	Brass, 303 stainless steel (SS), 316 stainless steel (316SS)	C6-C8	
U	M	1 to 2	Brass, Mild steel (I), 303 stainless steel (SS)	C9-C13	

F = female thread, M = male thread. There is no material code I for brass. Leave material code blank when ordering. Other materials available upon request. For more dimensions and sizes, contact your sales engineer.





**PERFORMANCE DATA:
STANDARD ANGLE SPRAY**



Spray Angle at 3 bar	Nozzle Type/ Inlet Conn. (in.)						Capacity Size	Eqv. Orifice Dia. (mm)	Flow Rate Capacity (liters per minute)										Spray Angle (°)			
	H-VV		H-VVL		H-DT				0.4 bar	0.7 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	7 bar	15 bar	20 bar	35 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	15 bar	
	1/8	1/4	1/8	1/4	1/8	1/4																
110°	•	•	•	•			01	66	14	19	28	39	56	60	68	1.0	1.3	94	110	121	124	
	•	•	•	•			015	81	22	29	42	58	64	90	1.3	1.5	97	110	121	124		
	•	•	•	•		•	02	99	29	38	56	79	1.1	1.2	1.8	2.0	2.7	99	110	120	123	
	•	•	•	•		•	03	1.1	40	57	84	1.2	1.7	1.8	2.6	3.1	4.0	99	110	120	123	
	•	•	•	•	•	•	04	1.3	58	76	1.1	1.6	2.2	2.4	3.5	4.1	5.4	100	110	119	122	
	•	•	•	•		•	05	1.4	72	96	1.4	2.0	2.8	3.0	4.4	5.1	6.7	100	110	118	122	
	•	•	•	•	•	•	06	1.5	86	1.1	1.7	2.4	3.4	3.6	5.3	6.1	8.1	101	110	117	122	
	•	•	•	•		•	08	1.8	1.2	1.5	2.2	3.2	4.5	4.8	7.1	8.2	10.8	102	110	117	121	
	•	•	•	•	•	•	10	2.0	1.4	1.9	2.8	3.9	5.6	6.0	9.8	10.2	13.5	103	110	117	119	
	•	•	•	•		•	15	2.4	2.2	2.9	4.2	5.9	8.4	9.0	13.2	15.3	20	104	110	117	118	
95°	•		•		•		0060	46	-	-	14	20	28	30	44	51	67	81	95	106	113	
	•	•	•	•			01	66	14	19	28	39	56	60	68	1.0	1.3	81	95	106	113	
	•	•	•	•			015	81	22	29	42	58	64	90	1.3	1.5	82	95	106	113		
	•	•	•	•	•	•	02	99	29	38	56	79	1.1	1.2	1.8	2.0	2.7	82	95	106	113	
	•	•	•	•		•	03	1.1	40	57	84	1.2	1.7	1.8	2.6	3.1	4.0	83	95	104	111	
	•	•	•	•	•	•	04	1.3	58	76	1.1	1.6	2.2	2.4	3.5	4.1	5.4	84	95	103	108	
	•	•	•	•	•		05	1.4	72	96	1.4	2.0	2.8	3.0	4.4	5.1	6.7	84	95	102	107	
	•	•	•	•	•	•	06	1.5	86	1.1	1.7	2.4	3.4	3.6	5.3	6.1	8.1	86	95	101	106	
	•	•			•		005	1.6	94	1.2	1.8	2.6	3.6	3.9	5.7	6.6	8.8	86	95	101	106	
•	•	•	•	•	•	08	1.8	1.2	1.5	2.2	3.2	4.5	4.8	7.1	8.2	10.8	87	95	100	105		
80°	•	•	•	•			0050	46	-	-	14	20	28	30	44	51	67	61	80	95	101	
	•	•	•	•			0067	53	-	13	19	26	37	40	58	68	90	67	80	94	99	
	•	•	•	•	•	•	01	66	-	19	28	39	56	60	68	1.0	1.3	68	80	89	92	
	•	•	•	•		•	015	81	-	29	42	58	64	90	1.3	1.5	2.0	68	80	89	92	
	•	•	•	•	•	•	02	99	29	38	56	79	1.1	1.2	1.8	2.0	2.7	69	80	88	91	
	•	•	•	•	•	•	03	1.1	40	57	84	1.2	1.7	1.8	2.6	3.1	4.0	70	80	87	90	
	•	•	•	•	•	•	04	1.3	58	76	1.1	1.6	2.2	2.4	3.5	4.1	5.4	71	80	86	89	
	•	•	•	•	•	•	05	1.4	72	96	1.4	2.0	2.8	3.0	4.4	5.1	6.7	71	80	86	89	
	•	•	•	•	•	•	06	1.5	86	1.1	1.7	2.4	3.4	3.6	5.3	6.1	8.1	72	80	85	88	
	•	•			•	•	07	1.7	1.0	1.3	2.0	2.8	3.9	4.2	6.2	7.1	9.4	72	80	85	88	
•	•	•	•	•	•	08	1.8	1.2	1.5	2.2	3.2	4.5	4.8	7.1	8.2	10.8	72	80	84	87		
•	•			•	•	09	1.9	1.3	1.7	2.5	3.6	5.0	5.4	7.9	9.2	12.1	73	80	84	87		

Highlighted column shows the rated pressure.

S PERFORMANCE DATA:
STANDARD ANGLE SPRAY

Spray Angle at 3 bar	Nozzle Type/ Inlet Conn. (in.)						Capacity Size	Equip. Orifice Dia. (mm)	Flow Rate Capacity (Gals per minute)										Spray Angle (°)			
	H-VV		H-VVI		H-DT				0.4 bar	0.7 bar	1.5 bar	3 bar	4 bar	7 bar	15 bar	20 bar	35 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	15 bar	
	1/8	1/4	1/8	1/4	1/8	1/4																
75°	•	•	•	•	•		0077	58	-	15	21	30	43	46	68	78	1.0	53	73	86	90	
	•	•	•	•			0154	81	22	29	43	61	86	93	1.4	1.6	2.1	55	73	84	88	
		•		•			0231	97	33	44	64	91	1.3	1.4	2.0	2.4	3.1	56	73	83	87	
	•	•	•	•			0308	1.2	44	59	86	1.2	1.7	1.9	2.7	3.1	4.2	58	73	82	86	
		•		•			0467	1.4	67	88	121	1.8	2.6	2.9	4.1	4.7	6.2	60	72	80	84	
	•		•				0770	1.8	1.1	1.5	2.1	3.0	4.3	4.6	6.8	7.8	10.4	64	73	77	82	
65°	•		•				0017	28	-	-	047	067	095	10	15	.17	23	44	65	77	86	
	•		•				0033	38	-	-	092	13	18	20	29	.34	46	47	65	76	83	
	•	•	•	•	•		0067	53	-	13	19	26	37	40	58	58	90	50	65	75	81	
	•	•	•	•	•	•	01	66	-	19	29	39	56	60	89	1.0	1.3	51	65	74	80	
	•	•	•	•			015	81	-	25	42	58	84	90	1.3	1.5	2.0	51	65	74	80	
	•	•	•	•	•	•	02	89	29	38	56	79	1.1	1.2	1.8	2.0	2.7	52	65	73	79	
	•		•				025	98	36	48	70	99	1.4	1.5	2.2	2.5	3.4	52	65	73	79	
	•	•	•	•	•	•	03	1.1	43	57	84	1.2	1.7	1.8	2.6	3.1	4.0	53	65	72	78	
	•	•	•	•	•	•	04	1.3	58	76	1.1	1.6	2.2	2.4	3.5	4.1	5.4	53	65	72	76	
	•	•	•	•	•	•	05	1.4	72	95	1.4	2.0	2.8	3.0	4.4	5.1	6.7	53	65	72	76	
		•			•	•	065	1.5	79	1.0	1.5	2.2	3.1	3.3	4.9	5.6	7.4	53	65	72	76	
	•	•		•	•	•	06	1.5	86	1.1	1.7	2.4	3.4	3.6	5.3	6.1	8.1	54	65	72	75	
	•			•	•	07	1.7	1.0	1.3	2.0	2.8	3.9	4.2	6.2	7.1	9.4	54	65	71	75		
•	•	•	•	•	•	08	1.8	1.2	1.5	2.2	3.2	4.5	4.8	7.1	8.2	10.8	55	65	71	74		
•				•	•	09	1.9	1.3	1.7	2.5	3.6	5.0	5.4	7.9	9.2	12.1	55	65	71	74		
50°	•	•	•	•			01	66	-	19	29	39	56	60	88	1.0	1.3	37	50	59	65	
	•	•	•	•			02	89	-	38	56	79	1.1	1.2	1.8	2.0	2.7	39	50	57	63	
	•	•	•	•		•	03	1.1	43	57	84	1.2	1.7	1.8	2.6	3.1	4.0	40	50	56	62	
	•	•	•	•		•	04	1.3	58	76	1.1	1.6	2.2	2.4	3.6	4.1	5.4	42	50	56	61	
	•	•	•	•		•	05	1.4	72	95	1.4	2.0	2.8	3.0	4.4	5.1	6.7	44	50	56	61	
	•					•	065	1.5	79	1.0	1.5	2.2	3.1	3.3	4.9	5.6	7.4	44	50	56	61	
	•	•	•	•		•	06	1.5	86	1.1	1.7	2.4	3.4	3.6	5.3	6.1	8.1	45	50	56	60	
	•	•				•	07	1.7	1.0	1.3	2.0	2.8	3.9	4.2	6.2	7.1	9.4	45	50	56	60	
	•	•	•	•		•	08	1.8	1.2	1.5	2.2	3.2	4.5	4.8	7.1	8.2	10.8	45	50	56	60	
40°		•			•	•	09	1.9	1.3	1.7	2.5	3.6	5.0	5.4	7.9	9.2	12.1	45	50	56	59	
	•	•	•	•	•		01	86	-	-	28	39	56	60	88	1.0	1.3	26	40	52	58	
	•	•	•	•	•		015	81	-	-	42	59	84	90	1.3	1.5	2.0	27	40	52	58	
	•	•	•	•	•	•	02	89	-	38	56	79	1.1	1.2	1.8	2.0	2.7	29	40	51	58	
	•	•	•	•	•	•	03	1.1	-	57	84	1.2	1.7	1.8	2.6	3.1	4.0	30	40	50	57	
•	•	•	•	•	•	04	1.3	-	76	1.1	1.6	2.2	2.4	3.6	4.1	5.4	30	40	50	56		

Highlighted column shows the rated pressure.

PERFORMANCE DATA: STANDARD ANGLE SPRAY																							
Spray Angle at 3 bar	Nozzle Type/ Inlet Conn. (in.)						Capacity GPM	Eqiv. Orifice Dia. (mm)	Flow Rate Capacity (liters per minute)											Spray Angle (°)			
	H-WV		H-WL		H-OT				0.4 bar	0.7 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	7 bar	15 bar	20 bar	25 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	15 bar		
	1/8	1/4	1/8	1/4	1/8	1/4																	
40°	*	*	*	*	*	*	05	1.4	-	95	1.4	2.0	2.8	3.0	4.4	5.1	6.7	31	40	45	55		
	*	*			*	*	055	1.5	-	1.0	1.5	2.2	3.1	3.3	4.9	5.6	7.4	31	40	45	55		
	*	*	*	*	*	*	06	1.5	-	1.1	1.7	2.4	3.4	3.6	5.3	6.1	8.1	31	40	45	55		
	*	*			*	*	065	1.6	-	1.2	1.8	2.6	3.6	3.9	5.7	6.6	8.8	31	40	45	54		
	*	*			*	*	07	1.7	-	1.3	2.0	2.8	3.9	4.2	6.2	7.1	9.4	31	40	45	54		
	*	*	*	*	*	*	08	1.8	1.2	1.5	2.2	3.2	4.5	4.8	7.1	8.2	10.8	31	40	47	53		
	*	*			*	*	085	1.8	1.2	1.6	2.4	3.4	4.7	5.1	7.5	8.7	11.5	32	40	46	50		
	*	*			*	*	09	1.9	1.3	1.7	2.5	3.6	5.0	5.4	7.9	9.2	12.1	32	40	46	50		
	*	*	*	*	*	*	01	06	-	-	28	39	56	60	88	1.0	1.3	14	25	34	42		
25°	*	*	*	*	*	*	02	09	-	-	56	79	1.1	1.2	1.8	2.0	2.7	15	25	30	40		
	*	*	*	*	*	*	03	1.1	-	-	84	1.2	1.7	1.8	2.6	3.1	4.0	15	25	33	40		
	*	*	*	*	*	*	04	1.3	-	76	1.1	1.6	2.2	2.4	3.5	4.1	5.4	16	25	32	39		
			*	*	*	*	045	1.3	-	86	1.3	1.8	2.5	2.7	4.0	4.6	6.1	16	25	32	39		
	*	*	*	*	*	*	05	1.4	-	95	1.4	2.0	2.8	3.0	4.4	5.1	6.7	16	25	32	39		
	*	*			*	*	055	1.5	-	1.0	1.5	2.2	3.1	3.3	4.9	5.6	7.4	16	25	31	38		
	*	*	*	*	*	*	06	1.5	-	1.1	1.7	2.4	3.4	3.6	5.3	6.1	8.1	17	25	31	38		
	*	*			*	*	065	1.6	-	1.2	1.8	2.6	3.6	3.9	5.7	6.6	8.8	17	25	31	38		
	*	*	*	*	*	*	07	1.7	-	1.3	2.0	2.8	3.9	4.2	6.2	7.1	9.4	17	25	31	38		
	*	*			*	*	075	1.7	-	1.4	2.1	3.0	4.2	4.5	6.8	7.6	10.1	17	25	31	38		
	*	*	*	*	*	*	08	1.8	-	1.5	2.2	3.2	4.5	4.8	7.1	8.2	10.8	17	25	31	38		
	*	*			*	*	085	1.8	-	1.6	2.4	3.4	4.7	5.1	7.5	8.7	11.5	18	25	31	37		
	*	*			*	*	09	1.9	-	1.7	2.5	3.6	5.0	5.4	7.9	9.2	12.1	17	25	31	37		
					*	*	15	2.4	-	2.9	4.2	5.9	8.4	9.0	13.2	15.3	20	18	25	31	37		
	15°	*	*		*			01	06	-	-	-	39	56	60	88	1.0	1.3	-	15	24	29	
*		*	*	*	*	*	02	09	-	-	56	79	1.1	1.2	1.8	2.0	2.7	6	15	22	27		
*		*	*	*	*	*	03	1.1	-	-	84	1.2	1.7	1.8	2.6	3.1	4.0	6	15	22	27		
*		*	*	*	*	*	04	1.3	-	-	1.1	1.6	2.2	2.4	3.5	4.1	5.4	7	15	21	26		
*		*	*	*	*	*	05	1.4	-	-	1.4	2.0	2.8	3.0	4.4	5.1	6.7	7	15	21	26		
*		*			*	*	055	1.5	-	1.0	1.5	2.2	3.1	3.3	4.9	5.6	7.4	7	15	21	26		
*		*	*	*	*	*	06	1.5	-	1.1	1.7	2.4	3.4	3.6	5.3	6.1	8.1	8	15	21	26		
*		*			*	*	065	1.6	-	1.2	1.8	2.6	3.6	3.9	5.7	6.6	8.8	8	15	20	26		
		*			*	*	07	1.7	-	1.3	2.0	2.8	3.9	4.2	6.2	7.1	9.4	8	15	20	25		
*		*	*	*	*	*	08	1.8	-	1.5	2.2	3.2	4.5	4.8	7.1	8.2	10.8	9	15	20	25		
*		*			*	*	085	1.8	-	1.6	2.4	3.4	4.7	5.1	7.5	8.7	11.5	9	15	19	24		
*		*			*	*	09	1.9	-	1.7	2.5	3.6	5.0	5.4	7.9	9.2	12.1	9	15	19	24		

Highlighted column shows the rated pressure.

S PERFORMANCE DATA:
STANDARD ANGLE SPRAY

Spray Angle at 3 bar	Nozzle Type/ Inlet Conn. (in.)										Capacity Size	Equip. Orifice Dia. (mm)	Flow Rate Capacity (liters per minute)										Spray Angle (°)			
	H-U				H-OU			U					0.4 bar	0.7 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	7 bar	15 bar	20 bar	36 bar	15 bar	3 bar	6 bar	15 bar	
	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1/8	1/4	1	1-1/8	2																
110°											20	2.8	2.9	3.8	5.6	7.9	11.2	12.1	17.7	20	27	30.5	110	117	118	
95°											10	2.0	1.4	1.9	2.8	3.9	5.6	6.0	8.8	10.2	13.5	89	95	100	105	
											15	2.4	2.2	2.9	4.2	5.9	8.4	9.0	13.2	15.3	20	90	95	100	105	
											20	2.8	2.9	3.8	5.6	7.9	11.2	12.1	17.7	20	27	90	95	100	105	
											30	3.4	4.3	5.7	8.4	11.8	16.8	18.1	26	31	40	91	95	101	105	
											40	3.9	5.8	7.6	11.2	15.8	22	24	35	41	54	92	95	100	105	
											50	4.4	7.2	9.5	14.0	19.7	28	30	44	51	67	93	95	99	103	
											60	4.8	8.6	11.4	16.8	24	34	36	53	61	81	93	95	99	103	
											70	5.2	10.1	13.3	19.5	28	39	42	62	71	94	93	95	99	103	
											80	5.5	11.5	15.3	22	32	45	48	71	82	108	93	95	99	102	
											100	6.2	14.4	19.1	28	39	56	60	88	102	135	93	95	99	102	
										150	7.5	22	29	42	59	84	90	132	153	202	93	95	99	102		
										400	12.0	58	76	112	158	223	241	353	408	539	93	95	99	102		
80°											10	2.0	1.4	1.9	2.8	3.9	5.6	6.0	8.8	10.2	13.5	73	80	84	87	
											15	2.4	2.2	2.9	4.2	5.9	8.4	9.0	13.2	15.3	20	74	80	83	86	
											20	2.8	2.9	3.8	5.6	7.9	11.2	12.1	17.7	20	27	74	80	83	86	
											30	3.4	4.3	5.7	8.4	11.8	16.8	18.1	26	31	40	74	80	83	86	
											40	3.9	5.8	7.6	11.2	15.8	22	24	35	41	54	74	80	83	86	
											50	4.4	7.2	9.5	14.0	19.7	28	30	44	51	67	74	80	83	85	
											60	4.8	8.6	11.4	16.8	24	34	36	53	61	81	75	80	83	85	
											70	5.2	10.1	13.3	19.5	28	39	42	62	71	94	75	80	83	85	
											100	6.2	14.4	19.1	28	39	56	60	88	102	135	75	80	83	86	
											150	7.5	22	29	42	59	84	90	132	153	202	73	80	84	86	
										200	8.7	29	38	56	79	112	121	177	204	270	74	80	82	85		
										400	12.0	58	76	112	158	223	241	353	408	539	78	80	81	83		
										500	13.4	72	95	140	197	279	302	441	510	674	78	80	81	83		
										580	14.5	84	111	162	229	324	350	512	591	782	78	80	81	83		
65°											10	2.0	1.4	1.9	2.8	3.9	5.6	6.0	8.8	10.2	13.5	65	65	71	74	
											12	2.1	1.7	2.3	3.4	4.7	6.7	7.2	10.6	12.2	16.2	56	65	71	73	
											16	2.4	2.2	2.9	4.2	5.9	8.4	9.0	13.2	15.3	20	56	65	70	73	
											20	2.8	2.9	3.8	5.6	7.9	11.2	12.1	17.7	20	27	57	65	70	73	
											25	3.1	3.6	4.8	7.0	9.9	14.0	15.1	22	25	34	57	65	69	73	
											30	3.4	4.3	5.7	8.4	11.9	16.8	18.1	26	31	40	58	65	69	73	
											40	3.9	5.8	7.6	11.2	15.8	22	24	35	41	54	59	65	68	72	
											50	4.4	7.2	9.5	14.0	19.7	28	30	44	51	67	60	65	68	71	
											10	4.8	8.6	11.4	16.8	24	34	36	53	61	81	60	65	68	71	

High lighted column shows the rated pressure.

PERFORMANCE DATA: STANDARD ANGLE SPRAY																											
Spray Angle at 3 bar	Nozzle Type/ Inlet Conn. (in.)										Capacity Size	Equivalent Orifice Dia. (mm)	Flow Rate Capacity (liters per minute)										Spray Angle (°)				
	H-U					H-DU		U					0.4 bar	0.7 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	7 bar	15 bar	20 bar	25 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	15 bar		
	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1/8	1/4	1	1-1/4	2			0.4 bar	0.7 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	7 bar	15 bar	20 bar	25 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	15 bar		
30°		•	•	•		•	•				70	5.7	10.1	13.3	19.5	28	39	42	62	71	94	60	65	68	71		
			•	•							100	6.2	14.4	19.1	28	39	56	60	88	102	135	58	65	68	70		
				•	•						150	7.5	22	29	42	58	84	90	132	153	202	59	65	68	70		
					•	•					200	8.7	29	38	56	79	112	121	177	204	270	60	65	67	69		
						•					250	9.5	36	48	70	99	140	151	221	256	337	60	66	67	69		
							•				300	10.4	43	57	84	118	168	181	265	306	405	60	65	67	69		
								•			400	12.0	58	76	112	158	223	241	353	408	539	60	65	67	69		
									•	•	500	13.4	72	95	140	197	279	302	441	510	674	60	65	66	68		
										•	580	14.5	84	111	162	229	324	350	512	581	782	61	65	66	68		
	50°						•					60	8.9	29	38	56	79	1.1	1.2	1.8	2.0	2.7	3.9	5.0	5.7	6.3	
						•					63	1.1	4.0	5.7	8.4	1.2	1.7	1.8	2.6	3.1	4.0	4.0	5.0	5.6	6.2		
						•					64	1.3	5.8	7.6	1.1	1.6	2.2	2.4	3.5	4.1	5.4	4.2	5.0	5.6	6.1		
						•					65	1.4	7.2	9.5	1.4	2.0	2.8	3.0	4.4	5.1	6.7	4.4	5.0	5.6	6.1		
						•					66	1.5	7.9	1.0	1.5	2.2	3.1	3.3	4.9	5.6	7.4	4.4	5.0	5.6	6.1		
						•					66	1.5	8.6	1.1	1.7	2.4	3.4	3.6	5.3	6.1	8.1	4.5	5.0	5.6	6.0		
						•					67	1.7	1.0	1.3	2.0	2.8	3.9	4.2	6.2	7.1	9.4	4.5	5.0	5.6	6.0		
						•					68	1.8	1.2	1.5	2.2	3.2	4.5	4.8	7.1	8.2	10.8	4.5	5.0	5.6	6.0		
		•	•	•		•	•				70	2.0	1.4	1.9	2.8	3.9	5.6	6.0	8.8	10.2	13.5	4.5	5.0	5.6	5.8		
		•	•	•	•	•	•				75	2.4	2.2	2.9	4.2	5.8	8.4	9.0	13.2	15.3	20	4.5	5.0	5.6	5.8		
		•	•	•	•	•	•				20	2.8	2.9	3.8	5.6	7.9	11.2	12.1	17.7	20	27	4.5	5.0	5.6	5.8		
		•	•	•	•	•	•				30	3.4	4.3	5.7	8.4	11.8	16.8	18.1	26	31	40	4.5	5.0	5.6	5.8		
		•	•	•		•	•				40	3.9	5.8	7.6	11.2	15.8	22	24	35	41	54	4.6	5.0	5.4	5.8		
		•	•	•		•	•				50	4.4	7.2	9.5	14.0	19.7	28	30	44	51	67	4.6	5.0	5.4	5.8		
		•	•			•					60	4.8	8.6	11.4	16.8	24	34	36	53	61	81	4.6	5.0	5.4	5.8		
		•	•	•		•					70	5.1	10.1	13.3	19.5	28	39	42	62	71	94	4.6	5.0	5.4	5.8		
		•	•								80	5.5	11.5	15.3	22	32	45	48	71	82	108	4.5	5.0	5.2	5.8		
			•								85	5.7	12.3	16.2	24	34	47	51	75	87	115	4.5	5.0	5.2	5.7		
		•									90	5.8	13.0	17.2	25	36	50	54	79	92	121	4.5	5.0	5.2	5.6		
			•	•							100	6.2	14.4	19.1	28	39	56	60	88	102	135	4.4	5.0	5.2	5.4		
			•								110	6.5	15.9	21	31	43	61	66	97	112	148	4.5	5.0	5.2	5.4		
			•								120	6.7	17.3	23	34	47	67	72	106	122	162	4.4	5.0	5.2	5.5		
			•								135	7.2	19.5	26	38	53	75	81	119	138	182	4.5	6.0	5.2	5.6		
			•	•							150	7.5	22	29	42	58	84	90	132	153	202	4.5	5.0	5.2	5.5		
				•							200	8.7	29	38	56	79	112	121	177	204	270	4.6	5.0	5.2	5.5		
				•							250	9.7	36	48	70	99	140	151	221	256	337	4.6	5.0	5.2	5.5		
					•						400	12.0	58	76	112	158	223	241	353	400	539	4.6	5.0	5.2	5.5		

Highlighted column shows the rated pressure.

S PERFORMANCE DATA: STANDARD ANGLE SPRAY

Spray Angle at 3 bar	Nozzle Type/ Inlet Conn. (in.)										Capacity Size	Equip. Orifice Dia. (mm)	Flow Rate Capacity (liters per minute)										Spray Angle (°)				
	H-U					H-OU		U					0.4 bar	0.7 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	7 bar	15 bar	20 bar	35 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	15 bar		
	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1/2	1/4	1	1-1/4	2																	
50°								•	•		500	13.4	72	95	140	197	279	302	441	510	674	49	50	51	54		
								•			560	14.5	84	111	162	229	324	350	512	581	782	49	50	51	53		
									•			750	16.4	108	140	209	296	419	452	662	765	1011	49	50	51	53	
										•		1000	19.0	144	191	279	395	558	603	880	1019	1349	49	50	51	53	
										•		1500	23.2	216	296	419	582	838	905	1324	1529	2023	49	50	51	52	
										•		2000	26.8	288	381	538	750	1117	1206	1766	2035	2697	49	50	51	52	
80°	•	•	•				•	•			10	2.0	1.4	1.9	2.8	3.9	5.6	6.0	8.8	10.2	13.5	37	40	45	48		
	•	•	•	•			•	•			15	2.4	2.2	2.9	4.2	5.9	8.4	9.0	13.2	15.3	20	32	40	45	48		
	•	•	•	•	•		•	•			20	2.8	2.9	3.8	5.6	7.9	11.2	12.1	17.7	20	27	32	40	45	48		
	•	•	•	•			•	•			30	3.4	4.3	5.7	8.4	11.8	16.8	18.1	26	31	40	33	40	45	48		
	•	•	•				•	•			40	3.9	5.8	7.6	11.2	15.8	22	24	35	41	54	34	40	45	48		
	•	•	•	•			•	•			50	4.4	7.2	9.5	14.0	19.7	28	30	44	51	67	35	40	45	48		
	•	•	•	•			•	•			60	4.8	8.6	11.4	16.8	24	34	36	53	61	81	35	40	45	48		
	•	•	•	•			•	•			70	5.2	10.1	13.3	19.5	28	39	42	62	71	94	35	40	45	48		
	•	•	•	•			•	•			80	5.5	11.5	15.3	22	32	45	48	71	82	108	35	40	45	47		
			•	•							100	6.2	14.4	19.1	28	39	56	60	88	102	135	34	40	43	46		
			•	•							150	7.5	22	29	42	59	84	90	132	153	202	35	40	43	44		
				•							200	8.7	29	38	56	79	112	121	177	204	270	36	40	42	44		
75°								•	•		500	13.4	72	95	140	197	279	302	441	510	674	38	40	41	45		
	•	•					•	•			10	2.0	1.4	1.9	2.8	3.9	5.6	6.0	8.8	10.2	13.5	18	25	31	37		
	•	•	•				•	•			15	2.4	2.2	2.9	4.2	5.9	8.4	9.0	13.2	15.3	20	18	25	31	37		
	•	•	•	•			•	•			20	2.8	2.9	3.8	5.6	7.9	11.2	12.1	17.7	20	27	19	25	31	37		
	•	•	•	•			•	•			30	3.4	4.3	5.7	8.4	11.8	16.8	18.1	26	31	40	20	25	30	36		
		•	•				•	•			40	3.9	5.8	7.6	11.2	15.8	22	24	35	41	54	21	25	29	35		
		•	•				•	•			50	4.4	7.2	9.5	14.0	19.7	28	30	44	51	67	21	25	29	35		
		•	•				•	•			60	4.8	8.6	11.4	16.8	24	34	36	53	61	81	22	25	29	35		
		•	•	•			•	•			70	5.2	10.1	13.3	19.5	28	39	42	62	71	94	22	25	29	35		
			•	•							100	6.2	14.4	19.1	28	39	56	60	88	102	135	23	25	28	37		
			•	•							150	7.5	22	29	42	59	84	90	132	153	202	24	25	28	30		
				•							200	8.7	29	38	56	79	112	121	177	204	270	24	25	26	29		
15°								•	•		500	13.4	72	95	140	197	279	302	441	510	674	24	25	26	29		
								•			750	16.4	108	140	209	296	419	452	662	765	1011	24	25	26	29		
									•		1000	19.0	144	191	279	395	558	603	880	1019	1349	24	25	26	28		
	•	•					•	•			10	2.0	1.4	1.9	2.8	3.9	5.6	6.0	8.8	10.2	13.5	10	15	19	24		
•	•	•				•	•			15	2.4	2.2	2.9	4.2	5.9	8.4	9.0	13.2	15.3	20	10	15	19	24			
•	•	•				•	•			20	2.8	2.9	3.8	5.6	7.9	11.2	12.1	17.7	20	27	10	15	19	23			

Highlighted column shows the rated pressure.

S PERFORMANCE DATA:
STANDARD ANGLE SPRAY

Spray Angle at 3 bar	Nozzle Type/ Inlet Conn. (in.)										Capacity Size	Equiv. Orifice Dia. (mm)	Flow Rate Capacity (liters per minute)										Spray Angle (°)			
	H-U					H-DU		U					0.4 bar	0.7 bar	1.5 bar	3 bar	8 bar	7 bar	15 bar	20 bar	35 bar	1.5 bar	3 bar	8 bar	15 bar	
	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1/8	1/4	1	1-1/8	2																
15°				30	3.4	4.3	5.7	8.4	11.8	16.8	18.1	26	31	40	10	15	19	21	
				40	3.9	5.8	7.6	11.2	15.8	22	24	35	41	54	10	15	18	21	
				50	4.4	7.2	9.5	14.0	19.7	28	30	44	51	67	11	15	18	21	
				60	4.8	8.6	11.4	16.8	24	34	36	53	61	81	11	15	18	21	
				70	5.2	10.1	13.3	19.5	28	39	42	62	71	94	11	15	18	21	
	.	.	.								100	6.2	14.4	19.1	28	39	56	60	88	102	135	13	15	17	18	
	.	.									120	6.7	17.3	23	34	47	67	72	106	122	162	13	15	17	18	
	.	.									150	7.5	22	29	42	58	84	90	132	153	202	14	15	17	18	
	.	.									200	8.7	29	38	56	79	112	121	177	204	270	14	15	17	18	
	.	.							.		500	13.4	72	95	140	197	279	302	441	510	674	14	15	16	17	
.	.							.		1000	19.0	144	191	279	395	558	603	883	1019	1349	14	15	16	17		
0°				03	1.0	4.3	5.7	8.4	1.2	1.7	1.8	2.6	3.1	4.0					
				04	1.2	5.8	7.6	1.1	1.6	2.2	2.4	3.5	4.1	5.4					
				05	1.3	7.2	9.5	1.4	2.0	2.8	3.0	4.4	5.1	6.7					
				05.5	1.4	7.9	1.0	1.5	2.2	3.1	3.3	4.9	5.6	7.4					
				06	1.5	9.6	1.1	1.7	2.4	3.4	3.6	5.3	6.1	8.1					
				06.5	1.5	9.4	1.2	1.8	2.6	3.6	3.9	5.7	6.6	8.8					
				07	1.6	1.0	1.3	2.0	2.8	3.9	4.2	6.2	7.1	9.4					
				08	1.7	1.2	1.5	2.2	3.2	4.5	4.8	7.1	8.2	10.8					
				08.5	1.8	1.2	1.6	2.4	3.4	4.7	5.1	7.5	8.7	11.5					
				09	1.8	1.3	1.7	2.5	3.6	5.0	5.4	7.9	9.2	12.1					
				10	1.9	1.4	1.9	2.8	3.9	5.6	6.0	8.8	10.2	13.5					
				12	2.1	1.7	2.3	3.4	4.7	6.7	7.2	10.6	12.2	16.2					
				15	2.3	2.2	2.9	4.2	5.9	8.4	9.0	13.2	15.3	20					
				20	2.7	2.9	3.8	5.6	7.9	11.2	12.1	17.7	20	27					
				30	3.3	4.3	5.7	8.4	11.8	16.8	18.1	26	31	40					
				40	3.8	5.8	7.6	11.2	15.8	22	24	35	41	54					
				50	4.2	7.2	9.5	14.0	19.7	28	30	44	51	67					
				60	4.6	8.6	11.4	16.8	24	34	36	53	61	81					
				70	5.0	10.1	13.3	19.5	28	39	42	62	71	94					
				80	5.2	11.5	15.3	22	32	45	48	71	82	108					
.	.				.	.				100	6.0	14.4	19.1	28	39	56	60	88	102	135						
.	.				.	.				120	6.8	17.3	23	34	47	67	72	106	122	162						
.	.				.	.				150	7.3	22	29	42	58	84	90	132	153	202						
.	.				.	.				105	7.7	24	31	45	65	92	100	146	168	223						
.	.				.	.				200	8.5	29	38	56	79	112	121	177	204	270						

Highlighted column shows the rated pressure.

0°
Solid Stream