



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE UN EQUIPO GENERADOR
DE VÓRTICE PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE
FLUIDOS, Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL.**

GUAMANÍ PROAÑO WILSON DAVID

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Marzo, 27 de 2013

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

GUAMANÍ PROAÑO WILSON DAVID

Titulada:

**EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE UN EQUIPO GENERADOR DE VÓRTICE PARA
EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS, Y ADQUISICIÓN DE DATOS
EN TIEMPO REAL.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Lema
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Iván Cantos
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GUAMANÍ PROAÑO WILSON DAVID

TÍTULO DE LA TESIS: EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE UN EQUIPO GENERADOR DE VÓRTICE PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS, Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL

Fecha de Examinación: 27 de marzo de 2013

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|---|---------|------------|-------|
| Ing. Telmo Moreno (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA) | | | |
| Ing. Jorge Lema (DIRECTOR DE TESIS) | | | |
| Ing. Iván Cantos (ASESOR) | | | |

*Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado presentado a continuación, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos – científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Guamaní Proaño Wilson David

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Agradezco a Dios por darme el maravilloso don de la vida, a mis padres por guiarme por el camino del bien y siempre estar a mi lado con sus consejos.

A mis hermanos, por brindarme su apoyo incondicional, ya que gracias a ellos logro culminar, y encontrarme realizando el presente proyecto, a mi hija Ariana, quien con su presencia me da fortaleza para cada día seguir adelante, A Fernanda por todo su apoyo brindado.

Guamaní Proaño Wilson David

DEDICATORIA

En cada una de las líneas del presente trabajo se refleja todos los años de sacrificio esmero y dedicación, que los dedico a mis padres por ser quienes me apoyaron, y me inculcaron valores para no desfallecer pese a las adversidades, y seguir adelante en la culminación de la carrera.

Guamaní Proaño Wilson David

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Antecedentes | 1 |
| 1.2 Justificación | 1 |
| 1.3 Objetivos | 2 |
| 1.3.1 <i>Objetivo general</i> | 2 |
| 1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> | 2 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1 Estática de los fluidos | 3 |
| 2.2 Gráfico de presiones. | 6 |
| 2.3 Equilibrio relativo de los líquidos | 7 |
| 2.4 Movimiento con vorticidad | 8 |
| 2.4.1 <i>Vórtice forzado</i> | 11 |
| 2.4.2 <i>Vórtice irrotacional o libre</i> | 14 |
| 2.5 Vórtice con una superficie libre | 17 |
| 3. PARÁMETROS DE REDISEÑO DEL EQUIPO GENERADOR DE VÓRTICE | 19 |
| 3.1 Condición inicial del equipo generador de vórtice | 19 |
| 3.2 Rediseño del banco generador de vórtice | 21 |
| 3.2.1 <i>Rediseño estructural</i> | 22 |
| 3.2.2 <i>Rediseño del sistema de transmisión mecánica</i> | 23 |
| 3.2.3 <i>Rediseño eléctrico y electrónico</i> | 23 |
| 3.3 Cálculo de las rpm máxima del tanque cilíndrico | 24 |
| 3.4 Cálculo de la potencia del motor | 27 |
| 3.5 Selección del motor Eléctrico. | 29 |
| 3.6 Selección de la caja reductora | 30 |
| 3.7 Selección del variador de frecuencia | 31 |
| 3.8 Selección del sensor de presión | 31 |
| 3.8.1 <i>Cálculo de la presión máxima en el fondo del tanque</i> | 31 |
| 4. DISEÑO CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE | 35 |
| 4.1 Diseño hidráulico | 35 |
| 4.2 Diseño del sistema eléctrico | 36 |
| 4.2.1 <i>Diagrama del circuito de control y potencia para la bomba centrífuga</i> | 36 |
| 4.2.2 <i>Diagrama de control y potencia para el motor trifásico</i> | 37 |
| 4.3 Diseño Electrónico y programación | 39 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.1 | <i>Conexión del transductor de presión</i> | 39 |
| 4.3.2 | <i>Tarjeta de adquisición de datos</i> | 40 |
| 4.3.3 | <i>Diseño del entorno gráfico</i> | 41 |
| 4.4 | Construcción de banco | 47 |
| 4.4.1 | <i>Montaje hidráulico</i> | 51 |
| 4.4.2 | <i>Montaje eléctrico</i> | 53 |
| 5. | FASE EXPERIMENTAL | 62 |
| 5.1 | Pruebas | 62 |
| 5.1.1 | <i>Puesta en marcha de la bomba centrífuga</i> | 62 |
| 5.1.2 | <i>Puesta en marcha del motor y variador</i> | 63 |
| 5.1.3 | <i>Adquisición de datos</i> | 66 |
| 5.2 | Validación de resultados | 67 |
| 5.2.1 | <i>Datos Obtenidos</i> | 71 |
| 6. | GUÍA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | 78 |
| 6.1 | Instrucciones de operación | 78 |
| 6.2 | Instrucciones de mantenimiento | 83 |
| 6.3 | Plan de seguridad | 84 |
| 6.3.1 | <i>Precaución</i> | 84 |
| 6.3.2 | <i>Cuidados</i> | 84 |
| 6.3.3 | <i>Uso de equipo de protección personal</i> | 85 |
| 7. | COSTOS | 86 |
| 7.1 | Análisis de costos | 86 |
| 7.1.1 | <i>Costos directos</i> | 87 |
| 7.1.2 | <i>Costos indirectos</i> | 88 |
| 7.1.3 | <i>Costo total</i> | 89 |
| 8. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 90 |
| 8.1 | Conclusiones | 90 |
| 8.2 | Recomendaciones | 90 |

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|----|--|
| 1 | Elemento de fluido tridimensional (idealizado) 4 |
| 2 | Escala de presiones 6 |
| 3 | Grafico de presiones 7 |
| 4 | Ejemplos de equilibrio relativo 8 |
| 5 | Rotación del fluido como sólido..... 9 |
| 6 | Vórtice forzado.....14 |
| 7 | Vórtice libre o irrotacional15 |
| 8 | Vórtice hiperboloide17 |
| 9 | Vórtice compuesto18 |
| 10 | Banco generador de Vórtice.....19 |
| 11 | Motor eléctrico c.c y reóstato19 |
| 12 | Elementos del banco generador de Vórtice.....20 |
| 13 | Panel de acero inoxidable21 |
| 14 | Módulo para montaje para el cilindro de agua22 |
| 15 | Tanque reservorio del banco22 |
| 16 | Módulo transmisión mecánica.....23 |
| 17 | Conexión de los transductores de presión23 |
| 18 | Banco generador de vórtice.....24 |
| 19 | Tanque Generador de vórtice24 |
| 20 | Tanque cilíndrico del generador con agua.25 |
| 21 | Formación de la parábola26 |
| 22 | Número de potencia vs número de Reynolds28 |
| 23 | Esquema diseño hidráulico35 |
| 24 | Diseño hidráulico.....36 |
| 25 | Diagrama diseño eléctrico de la bomba37 |
| 26 | Diagrama diseño eléctrico del motor38 |
| 27 | Panel BOP SIEMENS.....38 |
| 28 | Diagrama de bloques del sistema electrónico39 |
| 29 | Conexiones transductor de presión40 |
| 30 | Diagrama de conexión transductor de presión40 |
| 31 | NI USB-DAQ 600841 |
| 32 | Entorno gráfico panel frontal LabView42 |

| | | |
|----|--|----|
| 33 | Paleta de herramientas | 42 |
| 34 | NI-DAQ Assistant | 43 |
| 35 | Selección del puerto de comunicación..... | 43 |
| 36 | Configuración del voltaje de adquisición..... | 44 |
| 37 | Adquisición de la señal como voltaje | 44 |
| 38 | Creación de la variable local | 45 |
| 39 | Grafica relación lineal presión vs voltaje..... | 45 |
| 40 | Obtención de la presión en BAR | 46 |
| 41 | Obtención de la columna de agua en cm..... | 47 |
| 42 | Cursograma de la construcción del banco..... | 49 |
| 43 | Construcción de la base del cilindro | 50 |
| 44 | Banco generador de vórtice..... | 51 |
| 45 | Montaje de la bomba centrífuga | 51 |
| 46 | Conexión tubería de alimentación del tanque | 52 |
| 47 | Montaje de las válvulas de carga y descarga..... | 52 |
| 48 | Montaje del cilindro de líquido | 53 |
| 49 | Montaje del riel DIN..... | 53 |
| 50 | Montaje de canaletas ranuradas..... | 54 |
| 51 | Sistema de distribución eléctrico..... | 54 |
| 52 | Toma de 120 V | 55 |
| 53 | Botonera circuito de control de la bomba | 55 |
| 54 | Conexión botonera circuito de control de la bomba | 56 |
| 55 | Montaje del variador de frecuencia | 56 |
| 56 | Conexión alimentación del variador..... | 57 |
| 57 | Conexión motor trifásico | 57 |
| 58 | Montaje del monitor | 60 |
| 59 | Montaje del CPU | 60 |
| 60 | Pulsador de encendido del computador | 61 |
| 61 | Montaje y conexión del transductor de presión..... | 61 |
| 62 | Botonera de control de la bomba centrífuga | 62 |
| 63 | Válvula de recirculación | 62 |
| 64 | Encendido bomba centrífuga..... | 63 |
| 65 | Llenado del tanque..... | 63 |
| 66 | Funcionamiento variador de velocidad | 64 |
| 67 | Funcionamiento del motor | 64 |
| 68 | Formación del vórtice a máxima altura de agua y rodete 1 | 65 |

| | | |
|----|---|----|
| 69 | Formación del vórtice a máxima altura de agua y rodete 2..... | 66 |
| 70 | Activación de los transductores..... | 66 |
| 71 | Llenado la altura del agua a 150 mm..... | 68 |
| 72 | Verificación del nivel del agua del tanque..... | 68 |
| 73 | Velocidad V1 y V2 del motor obtenidas..... | 69 |
| 74 | Velocidad V1 y V2 de la turbina obtenidas..... | 70 |
| 75 | Distribución de las tomas de muestra..... | 70 |
| 76 | Conexión del banco a la toma de 220 V..... | 78 |
| 77 | Luz de estado apagado..... | 78 |
| 78 | Reservorio del banco..... | 79 |
| 79 | Válvula de recirculación..... | 79 |
| 80 | Luz de estado encendido de la bomba..... | 79 |
| 81 | Llenado del tanque..... | 80 |
| 82 | Cierre de 25% de la válvula de recirculación..... | 80 |
| 83 | Llenado hasta la altura deseada..... | 81 |
| 84 | Arranque y configuración de la velocidad del motor..... | 81 |
| 85 | Encendido del computador..... | 82 |
| 86 | Activación sensores..... | 82 |
| 87 | Toma de datos de la interfaz gráfica..... | 82 |
| 88 | Vaciado del tanque..... | 83 |
| 89 | Drenaje de la toma del transductor..... | 83 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|----|---|
| 1 | Deficiencias iniciales del banco..... 20 |
| 2 | Propiedades físicas del agua a 20°C 27 |
| 3 | Eficiencia de la caja reductora..... 29 |
| 4 | Características del motor trifásico 29 |
| 5 | Características de la caja reductora..... 30 |
| 6 | Velocidad nominal máxima de salida 30 |
| 7 | Datos técnicos del variador de velocidad 31 |
| 8 | Datos técnicos del transductor de presión 32 |
| 9 | Resolución del transductor de presión 33 |
| 10 | Relación lineal corriente vs voltaje..... 41 |
| 11 | Operaciones tecnológicas 47 |
| 12 | Nomenclaturas de operaciones tecnológicas 48 |
| 13 | Nivel de acceso variador de frecuencia..... 58 |
| 14 | Selección del BOP como fuente de comandos y consignas 58 |
| 15 | Accionamientos del motor..... 59 |
| 16 | Relación velocidad vs frecuencia del motor..... 65 |
| 17 | Adquisición de datos con condiciones de velocidad y altura de líquido máxima ... 67 |
| 18 | Cálculo de la velocidad del rotor 69 |
| 19 | Altura medida del líquido, la prueba con la turbina 1 y V1 72 |
| 20 | Datos adquiridos de la altura del líquido, la prueba con la turbina 1 y V1 72 |
| 21 | Altura medida del líquido, la prueba con la turbina 1 y V2 73 |
| 22 | Datos adquiridos de la altura del líquido, la prueba con la turbina 1 y V2 73 |
| 23 | Altura medida del líquido, la prueba con la turbina 2 y V1 75 |
| 24 | Datos adquiridos de la altura del líquido, la prueba con la turbina 2 y V1 75 |
| 25 | Altura del líquido medido, la prueba con la turbina 2 y V2..... 76 |
| 26 | Datos adquiridos de la altura del líquido, la prueba con la turbina 2 y V2 77 |
| 27 | Componentes existentes en el laboratorio 86 |
| 28 | Costos directos por materiales y accesorios 87 |
| 29 | Costos directos por maquinaria y equipos..... 878 |
| 30 | Costos directos por mano de obra..... 878 |
| 31 | Valor total costos directos 878 |

| | | |
|----|------------------------|----|
| 32 | Costos indirectos..... | 89 |
| 33 | Costo total..... | 89 |

LISTA DE ANEXOS

- A Guía de laboratorio para vórtice forzado
- B Propiedades físicas del agua.
- C Datos técnicos del Motor seleccionado.
- D Eficiencia de la caja reductora.
- E Características técnicas Variador de frecuencia.
- F Datasheet transductor de presión.
- G Diagrama de bloques del SINAMICS G110.
- H Parámetros puesta en servicio rápida SINAMICS G110.
- I Distribución de canales analógicos.
- J Dimensiones de los rodetes.
- K Tacómetro de láser.

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Definición | Unidades |
|---------------------------|-------------------|-----------------|
| V | Voltaje | Voltios |
| m | Masa | Kg |
| A | Área | m^2 |
| V | Volumen | m^3 |
| ρ | Densidad | kg/m^3 |
| P | Presión | Bar |
| P | Potencia | W |
| ζ | Vorticidad | |

RESUMEN

El presente proyecto se centra en la Evaluación y Rediseño del Equipo Generador de Vórtice del laboratorio de mecánica de fluidos, explicando además todos los pasos necesarios para el rediseño del mismo, el cual fue sometido a un estado de funcionamiento inicial previo a la modificación de todos sus elementos, ya que en la actualidad el acelerado desarrollo de la electrónica han motivado que todas las esferas de la vida humana se estén automatizando

Se implementaron dispositivos eléctricos y electrónicos como son un variador de frecuencia SINAMICS G110 para modificar la velocidad de la turbina que y de esa forma obtener diferentes perfiles de vórtices, transductores de presión X'IAM, y así medir la variable física presión generada por la columna del líquido en puntos específicos en el fondo del recipiente y una tarjeta de adquisición National Instrument NI DAQ-USB 6008, que procesa la señal proveniente de los transductores, y la visualiza en una interfaz gráfica.

Al analizar el perfil del vórtice formado se emplean las ecuaciones del movimiento cuando ρ y μ son constantes, conocidas como las ecuaciones de NAVIER STOKES, encontrando las ecuaciones que definen la forma del perfil del vórtice al variar las rpm de la turbina, y la presión generada por la columna del líquido, y se adquieren los datos de presión y de altura del líquido en tiempo real, y se visualizan en forma gráfica.

Se recomienda además validar los resultados obtenidos verificando la variación de la altura del líquido al formarse el vórtice mediante una escala graduada.

ABSTRACT

This project focuses on the Evaluation and Redesign of a Vortex Generator Equipment belonging to the Fluid Mechanics Laboratory. It also explains all the necessary steps used for its redesign. The equipment was induced an initial functioning state previous to the modification of all its elements. It has been done due to the fast current development that electronics has motivated for automation in all aspects of human life.

Different electric and electronic devices were implemented. Devices such as a frequency converter SINAMICS G110 to modify the turbine speed and this way to get different vortex profiles, a pressure transducer X'IAM to measure the physical pressure variable generated by the liquid column in specific points at the bottom of the container, and a purchase card called National Instrument NI DAQ-USB 6008 which processes the signal coming to the transducer and displays it in a graphic interface.

Analyzing the formed vortex profile, the movement equations are used where ρ γ μ are constants, known as NAVIER STOKES equations find the equations that define the shape of the vortex profile by varying the turbine's rpm, and the pressure generated by a liquid column. The pressure and the height of the liquid are acquired in real time. They are visualized graphically.

It is recommended to validate the obtained results by verifying the liquid height when forming the vortex by using a graduate scale.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el laboratorio de mecánica de fluidos, de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO de la FACULTAD DE MECÁNICA en la ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, existe un equipo generador de vórtice, el mismo que data desde la creación de la escuela de INGENIERÍA MECÁNICA, que debido al uso normal que se la ha venido dando, al realizar las prácticas correspondientes se ha ido deteriorando, hasta llegar a su inoperatividad.

Por ello surge la necesidad, de realizar las operaciones necesarias, para lograr la rehabilitación y acondicionamiento total del equipo, mediante el rediseño propuesto en el presente proyecto.

Además debido al avance tecnológico, surge la necesidad de innovar, para desarrollar un sistema, de adquisición de datos mediante un software, y visualizarlos, para una mejor interpretación de resultados, de las prácticas realizadas en el equipo generador de vórtice.

1.2 Justificación

El rediseño y la posterior habilitación del equipo generador de vórtice, presenta una serie de ventajas, que satisfacen en gran medida las necesidades de los estudiantes de Mecánica de Fluidos, ya que al habilitar, el mencionado equipo, se logrará fortalecer los conocimientos adquiridos en clases.

Como se ha mencionado, el equipo generador de vórtice, data de hace varios años, y considerando que la tecnología avanza día a día, es así que la tecnología empleada en el equipo se consideraría obsoleta, ya que el sistema de transmisión de movimiento mecánico consta de un motor c.c, y un reóstato para variar la velocidad del mismo.

En el rediseño se propone que el sistema anteriormente mencionado, será sustituido, por un motor de c.a, y la utilización de un variador de frecuencia, para variar la velocidad del motor, teniendo así un mejor control de la misma.

Además de otras modificaciones que se las realizarán, para lograr la operatividad completa del equipo.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Evaluar y rediseñar un equipo generador de vórtice para el laboratorio de mecánica de fluidos.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Adecuar un sistema de transmisión de movimiento mecánico que permita variar las rpm del equipo, para la formación de diferentes perfiles de vórtice.

Reacondicionar el equipo mediante dispositivos electrónicos para la adquisición de datos de presión, para la visualización de los resultados, en un computador.

Realizar las pruebas correspondientes, para verificar el correcto funcionamiento del equipo generador de vórtice.

Validar los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estática de los fluidos

Si todas las partículas de un fluido permanecen en reposo o mantienen una misma velocidad constante con respecto a un sistema, se considera un fluido estático.

La estática de los fluidos comprende dos partes: el estudio de la presión y sus variaciones a través del fluido, y el estudio de las fuerzas debidas a la presión sobre superficies finitas. El caso especial de fluidos que en su movimiento se comportan como sólidos, se incluye en la estática por la semejanza de fuerzas que implica. Al no haber movimiento de una capa del fluido en relación con la adyacente, no habrá tensiones de cortadura en el fluido. Por eso en la estática de los fluidos sobre un cuerpo libre únicamente actúan fuerzas normales debidas a la presión¹.

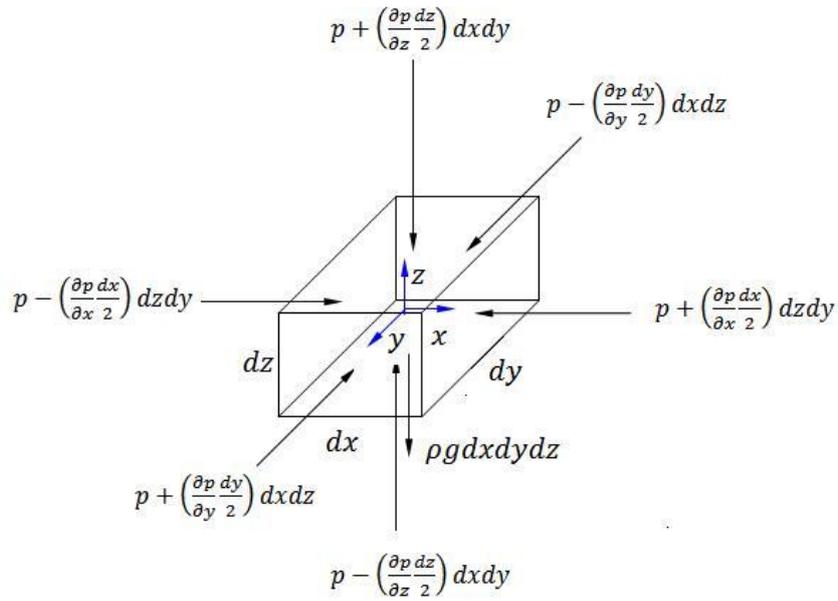
Considerando un volumen infinitesimal formado por un prisma rectangular y suponiendo que la presión varia en las tres direcciones del sistema de coordenadas rectangulares, es decir, $p = f(x, y, z)$ y que la derivada total de la presión p , es:

$$dp = \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \quad (1)$$

Entonces la presión del fluido en el centroide del prisma se asume que tiene un valor de p , y la presión en el centroide de cada una de las caras del prisma se pueden determinar mediante la expansión en serie de Taylor hacia adelante y hacia atrás, pero eliminando los términos que tienen el orden mayor que uno.

Resultando las ecuaciones de la siguiente manera, considerando que la fuerza de la gravedad se encuentra en el eje z de la figura 1.

Figura 1. Elemento de fluido tridimensional (idealizado)



Fuente: LEMA J. Mecánica de fluidos

De las ecuaciones mostradas en la figura 1 se realiza la sumatoria de fuerzas de superficies, y la generada por el volumen del prisma, llamada también fuerza volumétrica.

$$d\vec{F} = d\vec{F}_s + d\vec{F}_v = 0 \quad (2)$$

$$\left[i \frac{\partial p}{\partial x} + j \frac{\partial p}{\partial y} + k \frac{\partial p}{\partial z} \right] (dxdydz) - k\rho g(dxdydz) = 0 \quad (3)$$

Utilizando el operador **nabla** ∇ (ecuación 4), en coordenadas rectangulares que representa una magnitud vectorial, y sustituyendo en la ecuación (3)

$$\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z} \quad (4)$$

Se tiene:

$$\nabla p - j\rho g = 0 \quad (5)$$

∇p Es conocido como el gradiente de presión y es una magnitud vectorial

La ecuación (5), es conocida como la ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LA ESTÁTICA DE LOS FLUIDOS en su forma vectorial.

Al representar la ecuación en forma escalar se demuestra que la presión en el plano xy , tiene el mismo valor en cualquier punto y que la presión contenida en los puntos a lo largo del eje z varía:

Partiendo de la ecuación (3) se tiene:

Para el eje x :

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

Para el eje y :

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

Para el eje z :

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{dp}{dz} = \rho g \quad (8)$$

La ecuación (8), representa la ecuación fundamental de la estática de los fluidos, en forma escalar, al convertirse en derivada total, ya que variación de la presión únicamente está en función de z , es decir $p = f(z)$, y que en los líquidos se asume que la densidad no varía ya que no existe grandes variaciones de presión, debido a ello se integra directamente y se tiene:

$$p = p_0 + \rho g z$$

Reemplazando z por la altura h

$$p = p_0 + \rho g h \quad (9)$$

De acuerdo a la ecuación (9), la presión p , varía linealmente con la altura h , la presión p_0 , toma el valor de la presión de un punto del fluido, y h representa la distancia medida verticalmente, desde el punto del fluido con presión p_0 , hasta el punto donde se desee conocer la presión p .

La altura h tiene signo positivo (+), cuando el punto de presión desconocido está por debajo del punto cuya presión es conocida, caso contrario será signo negativo (-).

2.2 Gráfico de presiones

La ecuación (9) aplica entre un punto de la superficie libre y un punto cualquiera del líquido, y expresada en presiones absolutas, será:

$$p_{abs} = p_{amb} + \rho gh \quad (10)$$

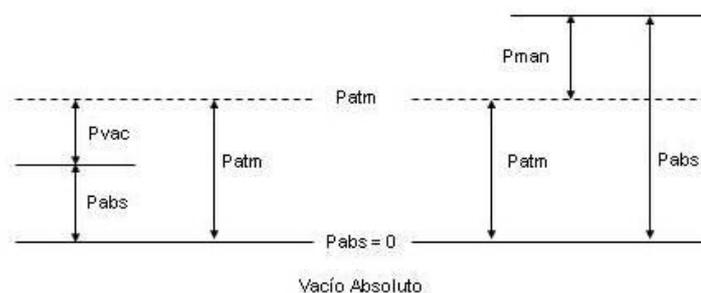
Dónde:

p_{abs} = presión absoluta en un punto cualquiera del liquido

p_{amb} = Presión atmosférica o barométrica

h = Profundidad del punto con relacion al plano piezométrico o sup libre

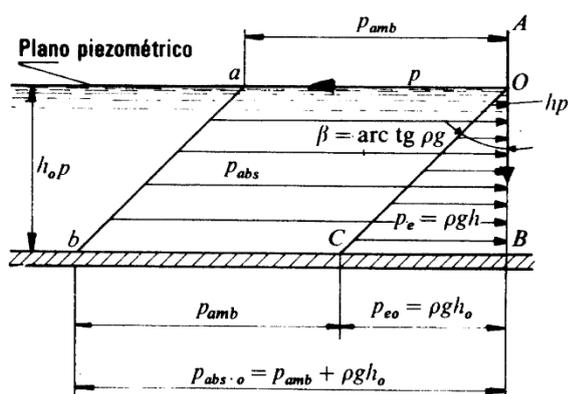
Figura 2. Escala de presiones



Fuente: *Blogspot*. Marzo 13 2013. <www.blogspot.com>

La ecuación (10) es la ecuación de una recta cuya ordenada en el origen es p_{amb} = presión atmosférica, y cuya pendiente es igual a ρg .

Figura 3. Gráfico de presiones



Fuente: Mataix mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas

Si se trata de representar gráficamente la presión relativa, en la ec. (10) $p_{amb} = 0$ y

$$p = \rho g h \quad (11)$$

Representando la ecuación de una recta que pasa por el origen de coordenadas y cuya pendiente es ρg .

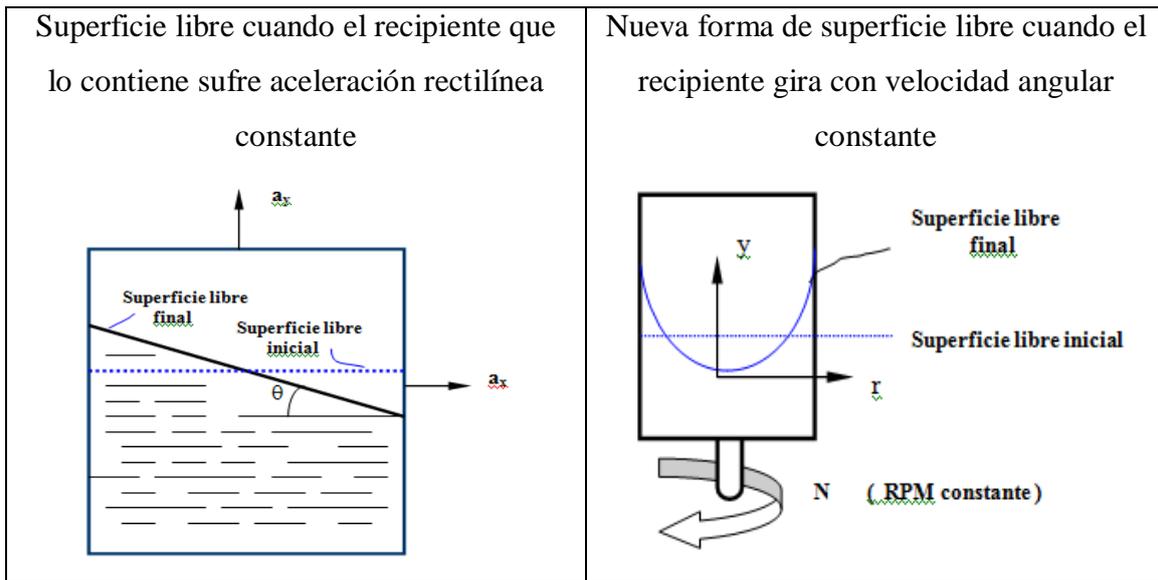
2.3 Equilibrio relativo de los líquidos

Si un recipiente que se encuentra con un líquido se mueve, el líquido se mueve también, puede suceder que las partículas del líquido no cambien de posición con respecto al recipiente, el líquido se mueve como un cuerpo sólido, es decir se encuentra en equilibrio relativo con respecto al recipiente.

La viscosidad del fluido real no interviene en este fenómeno, cuyo estudio pertenece por lo tanto a la hidrostática.

Al no existir velocidad relativa ni entre el fluido y contorno ni entre las capas del fluido el rozamiento no existe en un líquido que se encuentra en equilibrio relativo la superficie libre del líquido deja de ser horizontal, como se puede apreciar en la figura 4.

Figura 4. Ejemplos de equilibrio relativo



Fuente: LEMA J. Mecánica de fluidos

2.4 Movimiento con vorticidad

La vorticidad es una magnitud vectorial que caracteriza la rotación que experimenta y a la que está sometido el fluido, cualquier tipo de flujo circular o rotatorio que posee vorticidad puede considerarse como vórtice, el mismo que se denomina como un flujo turbulento en rotación espiral con trayectoria de corrientes cerradas, en círculos concéntricos.

Al realizar un análisis para determinar con mayor exactitud el fenómeno de la formación del vórtice, se emplean las ecuaciones fundamentales de la continuidad y la cantidad de movimiento en forma diferencial.

La ecuación de la continuidad es una expresión matemática de la Ley de conservación de la masa, que en su forma general en coordenadas cilíndricas es:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho V_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} = 0 \quad (12)$$

Mientras que la ecuación del movimiento es una expresión matemática de la ley física denominada Segunda ley de Newton.

A las ecuaciones del movimiento cuando ρ y μ son constantes se las conoce como las ecuaciones de Navier-Stokes, que en coordenadas cilíndricas para el flujo permanente de un fluido incompresible son:

Dirección r

$$\rho \left(\frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} - \frac{V_\theta^2}{r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r V_r) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} \right] + \rho g_r \quad (13)$$

Dirección θ

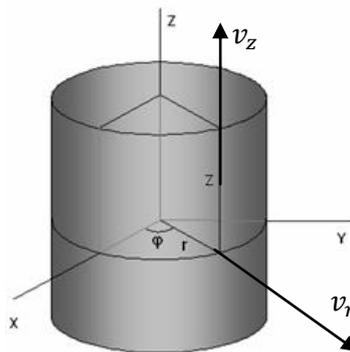
$$\rho \left(\frac{\partial V_\theta}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{V_r V_\theta}{r} + V_z \frac{\partial V_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r V_\theta) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial z^2} \right] + \rho g_\theta \quad (14)$$

Dirección z

$$\rho \left(\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z \quad (15)$$

Al rotar el líquido contenido en el recipiente como un sólido como se aprecia en la figura 5

Figura 5. Rotación del fluido como sólido



Fuente: *puj*. Marzo. 12 2013. www.portales.puj.edu.co

Las componentes de la velocidad v_r y v_z son cero, no hay gradiente de presión en la dirección θ ya que la misma varía en el eje z y la componente v_θ no es función de z.

Suponiendo que z coincide con la dirección vertical h . Bajo estas condiciones la ecuación de continuidad y las ecuaciones de movimiento se reducen a:

Ecuación de la continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho V_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} = 0$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} v_\theta = 0 \quad (16)$$

Ecuación del movimiento:

En la dirección r se tiene:

$$\rho \left(\frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} - \frac{V_\theta^2}{r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r V_r) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} \right] + \rho g_r$$

$$\rho \left(-\frac{V_\theta^2}{r} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r}$$

Despejando:

$$\frac{V_\theta^2}{r} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (17)$$

En la dirección θ se tiene:

$$\rho \left(\frac{\partial V_\theta}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{V_r V_\theta}{r} + V_z \frac{\partial V_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r V_\theta) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial z^2} \right] + \rho g_\theta$$

$$0 = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r V_\theta) \right) \right] \quad (18)$$

En la dirección z se tiene:

$$\rho \left(\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g_z$$

Reemplazando la gravedad y considerando la variable h por z se tiene:

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial h} - g \quad (19)$$

Al integrar la ecuación 18 en la componente θ se tiene:

$$v_{\theta} = \frac{c_1 r}{2} + \frac{c_2}{r}$$

Mediante las condiciones de frontera se puede encontrar las constantes c_1 y c_2 .

De acuerdo a la ecuación 19 existe la presión varía hidrostáticamente en la dirección vertical (h).

2.4.1 Vórtice forzado

De acuerdo a la figura (6) que muestra un depósito cilíndrico de radio R , y el mismo gira alrededor de un eje vertical, a una velocidad angular constante w , y el recipiente se encuentra parcialmente lleno con un líquido de peso específico γ , las condiciones de frontera que se presentan son:

$$\begin{array}{lll} r = 0: & v_{\theta} = 0; \text{ y por lo tanto} & c_2 = 0 \\ r = R: & v_{\theta} = R w; \text{ y por lo tanto} & c_1 = 2w \end{array}$$

Siendo la ecuación de la velocidad lineal de la rotación de un cuerpo sólido la siguiente:

$$v_{\theta} = w r \quad (20)$$

Reemplazando la ecuación 20 en la ecuación 17 de la componente r se tiene:

$$\rho w^2 r = \frac{\partial p}{\partial r} \quad (21)$$

De la ecuación 19 de la condición hidrostática se tiene:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial h} = -\rho g = -\gamma \quad (22)$$

Al sustituir las ecuaciones (21) y (22) en la diferencial total se tiene:

$$dp = \frac{\partial p}{\partial r} dr + \frac{\partial p}{\partial h} dh = \rho w^2 r dr - \rho g dh \quad (23)$$

Al integrar la ecuación (23) se obtiene:

$$p = \rho \frac{w^2 r^2}{2} - \gamma h + c_3 \quad (24)$$

Con las condiciones de frontera se obtiene la constante de integración c_3 .

$$r = 0: \quad h = h_0, \quad p = p_0$$

$$p_0 = \rho \frac{w^2(0)}{2} - \gamma h_0 + c_3$$

Al despejar se tiene:

$$c_3 = p_0 + \gamma h_0 \quad (25)$$

Y al reemplazar en la ecuación (24) se tiene:

$$p - p_0 = -\gamma(h - h_0) + \rho \frac{w^2 r^2}{2} \quad (26)$$

De acuerdo a la figura 6, el lugar geométrico de la superficie libre que es la que se produce a la formación del vórtice se obtiene haciendo $p = p_0$, y al reemplazar en la ecuación (26) se tiene:

$$h = h_0 + \frac{w^2 r^2}{2g} \quad (27)$$

Entonces la superficie libre es un paraboloide de revolución.

Se entiende por rotacional a un operador vectorial que muestra la tendencia de un campo vectorial a inducir rotación alrededor de un punto.

Para este caso el vector $v \times q$ es el rotacional del vector velocidad y es conocido como vorticidad, ζ . Siendo igual al doble del componente correspondiente de la velocidad de rotación.

De la componente de la rotación en coordenadas cilíndricas en la componente z se tiene:

$$2w_z = -\frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{v_\theta}{r} + \frac{\partial v_\theta}{\partial r} \quad (28)$$

La ecuación (28) puede ser resuelta a partir de la ecuación (20), resultando.

$$w_z = \frac{w + w}{2} = w$$

La vorticidad es:

$$\zeta = 2w_z = 2w$$

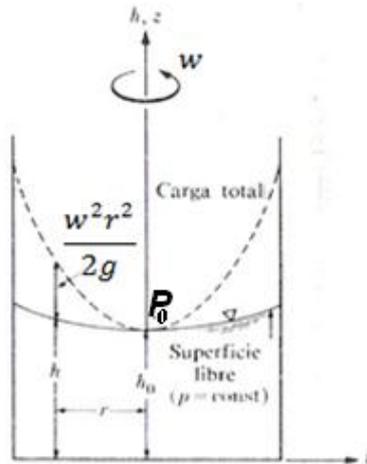
Entonces el movimiento de un vórtice forzado es rotacional ya que como se mencionó anteriormente la vorticidad es igual al doble del componente correspondiente de la velocidad de rotación, ya que fue generado por transmisión de esfuerzos tangenciales.

Fácilmente se puede verificar que la carga total:

$$\left(p/\gamma + h + \frac{v_\theta^2}{2g} \right)$$

No es constante sino que aumenta con el radio, como se aprecia en la figura 6:

Figura 6 Vórtice forzado



Fuente: James W. Donald. Dinámica de fluidos

2.4.2 Vórtice irrotacional o libre

La carga total en un flujo irrotacional es una constante a través de todo el fluido por lo tanto:

$$\frac{p}{\gamma} + h + \frac{v_{\theta}^2}{2g} = const \quad (29)$$

A través de todo el campo de flujo, diferenciando con respecto a r , y agrupando términos, se obtiene:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -\rho v_{\theta} \frac{\partial v_{\theta}}{\partial r} \quad (30)$$

De la ecuación 17 de la componente r se tiene:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \rho \frac{V_{\theta}^2}{r} \quad (31)$$

Igualando los términos de la ecuación (30) y (31) se tiene:

$$-\rho v_{\theta} \frac{\partial v_{\theta}}{\partial r} = \rho \frac{v_{\theta}^2}{r} \quad (32)$$

Integrando la ecuación (32)

$$v_{\theta}r = \text{const} = c_4 \quad (33)$$

Siendo la condición del momento angular constante. El gradiente de presión radial al sustituir la ecuación 33 en la ecuación 34 es entonces:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \rho \frac{c_4^2}{r^3} \quad (34)$$

Reemplazando las ecuaciones (19) y (34) en la ecuación de las condiciones hidrostáticas se obtiene:

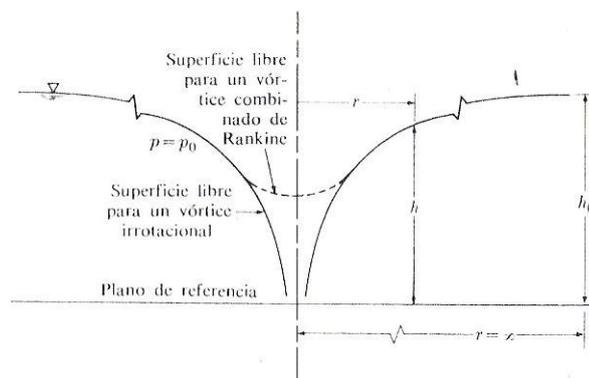
$$dp = \frac{\partial p}{\partial r} dr + \frac{\partial p}{\partial h} dh = \rho \frac{c_4^2}{r^3} dr - \gamma dh$$

Integrando:

$$p = -\rho \frac{c_4^2}{r^2} - \gamma h + c_5 \quad (35)$$

Con las condiciones de frontera con respecto a la figura 7 se encuentra la constante c_5 .

Figura 7. Vórtice libre o irrotacional



Fuente: James W. Donald. Dinámica de fluidos

$$r = \infty; \quad h = h_0, \quad p = p_0$$

Sustituyendo en la ecuación (35) y despejando se tiene:

$$\begin{aligned} p_0 &= 0 - \gamma h_0 + c_5 \\ c_5 &= p_0 + \gamma h_0 \end{aligned} \quad (36)$$

Sustituyendo en la ecuación (35).

$$\begin{aligned} p &= -\rho \frac{c_4^2}{r^2} - \gamma h + p_0 + \gamma h_0 \\ p - p_0 &= \gamma(h_0 - h) - \rho \frac{c_4^2}{r^2} \end{aligned}$$

El lugar geométrico de la superficie libre cuando $p = p_0$, está dado por:

$$h = h_0 - \frac{c_4^2}{2gr^2}$$

Entonces la superficie libre es un hiperboloide de revolución como se muestra en la figura 7.

De la ecuación (28) al calcular la componente de la velocidad con la ecuación (33) que es la distribución de velocidades para el vórtice libre se tiene:

$$w_z = \frac{const}{r^2} - \frac{const}{r^2} = 0 \quad (37)$$

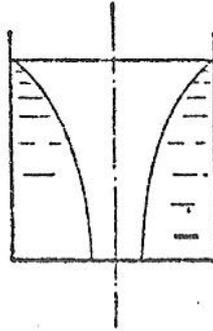
Siempre y cuando el radio sea diferente de cero, independientemente de que el fluido no ocupe el espacio en $r = 0$, o que el fluido que se encuentra en $r = 0$ sufra de un movimiento rotacional como se aprecia en la línea punteada de la figura 7, de ser así el perfil corresponderá al Vórtice combinado de **Rankine**.

Físicamente esto sucede si el desagüe colocado en el fondo de un tanque se cierra súbitamente y el movimiento del fluido se disipa a través de la acción viscosa.

2.5 Vórtice con una superficie libre

Considerando un depósito cilíndrico abierto, que se encuentra parcialmente lleno con un líquido, y que está girado a una velocidad suficiente para descubrir una porción del piso de dicho recipiente como se aprecia en la figura 8 se forma un vórtice forzado con la superficie de un paraboloides de revolución.

Figura 8. Vórtice hiperboloide



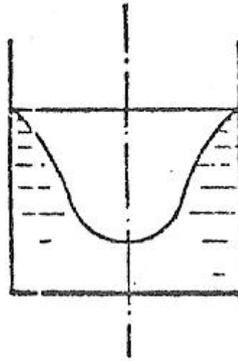
Fuente: *Dechile*. Enero 12 2013 <http://etimologias.dechile.net>

Y si el movimiento del depósito se detiene rápidamente se formará momentáneamente un vórtice libre y la superficie curva se cambiara por la de un hiperboloide.

En el centro de esta superficie estará el cono necesario de aire libre, es obvio que una condición así solo puede presentarse momentáneamente, porque en un líquido real la pérdida de energía a través del cortante viscoso causará un abatimiento en el nivel general.

La superficie forma entonces la forma mostrada en la figura 9, El espacio central de aire es sustituido por un volumen de líquido que gira como un vórtice forzado y que se une parcialmente con el vórtice libre que lo rodea. Estos vórtices compuestos con frecuencia se advierten en las corrientes en movimiento cuando una masa en rotación sube a la superficie.

Figura 9. Vórtice compuesto



Fuente: *Dechile*. Enero 12 2013 < <http://etimologias.dechile.net>>

CAPÍTULO III

3. PARÁMETROS DE REDISEÑO DEL EQUIPO GENERADOR DE VÓRTICE

3.1 Condición inicial del equipo generador de vórtice

Dentro de las condiciones iniciales que tiene el Banco Generador de Vórtice, está comprendido por una base que constituye el banco en el cual se encuentra el sistema de transmisión mecánica conformado por un motor de corriente continua y una caja reductora de velocidad, empleada para transformar el movimiento de horizontal a vertical.

Figura 10. Banco generador de Vórtice



Fuente: Autor

La parte eléctrica comprende un reóstato para la variación del voltaje de alimentación del motor de corriente continua.

Figura 11. Motor eléctrico c.c y reóstato



Fuente: Autor

La parte estructural del generador, comprendida por una turbina de aletas plana, que genera el vórtice un cilindro que contiene el agua, un conjunto de mangueras, comunicadas directamente a tubos los cuales muestran la altura del agua puntualmente, para indirectamente determinar la presión.

Figura 12. Elementos del banco generador de Vórtice



Fuente: Autor

La condición actual del banco generador de vórtice presenta de forma general las siguientes deficiencias:

Tabla 1. Deficiencias iniciales del banco

| DEFICIENCIAS INICIALES DEL BANCO | |
|---|---|
| <p>Inoperatividad del sistema de transmisión mecánica al encontrarse el motor de corriente continua quemado, y la caja reductora sin aceite y con sus engranes desgastados.</p> |  |
| <p>Sistema para variar las RPM, inoperativo, al encontrarse quemado el reóstato.</p> |  |

Tabla 1. Deficiencias iniciales del banco (continuación)

| | |
|--|---|
| <p>Incomodidad al realizar la práctica al llenar y vaciar el líquido del tanque cilíndrico, ya que el llenado se hacía levantando la tapa superior, y el vaciado por medio de una salida ubicada en la parte inferior del tanque</p> |  |
| <p>Dificultad al tomar los datos del tablero, ya que la misma es visual y tiene que estar correctamente alineado al tanque cilíndrico</p> |  |

Fuente: Autor

3.2 Rediseño del banco generador de vórtice

Para el rediseño estructural, se empleó un panel de acero inoxidable existente en el laboratorio de mecánica de fluidos, el cual debió ser readecuado según los requerimientos.

Figura 13. Panel de acero inoxidable



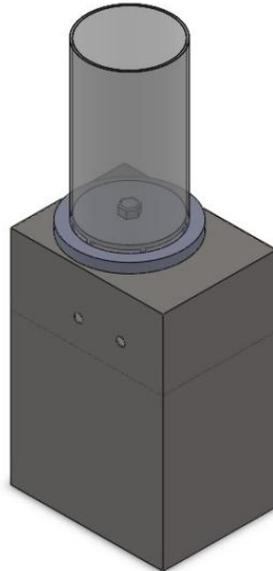
Fuente: Autor

3.2.1 Rediseño estructural

Considerando las dimensiones del banco, y los accesorios a colocarse en el mismo se determinó la forma estructural con las siguientes consideraciones:

Construcción de un módulo para el montaje del cilindro que contiene la turbina.

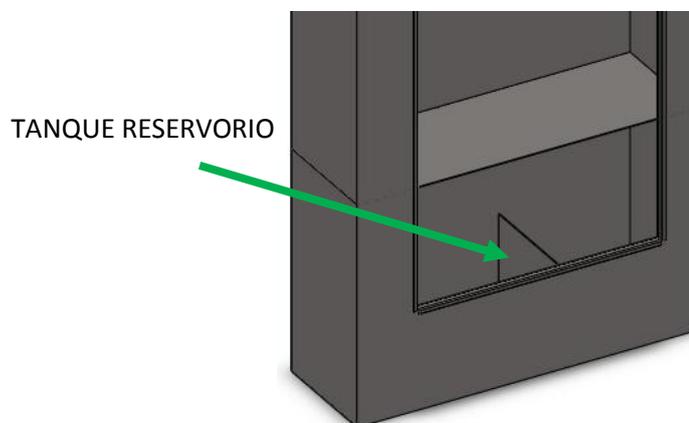
Figura 14. Módulo para montaje para el cilindro de agua



Fuente: Autor

En el banco principal de acero inoxidable se adecuó una división para el uso como reservorio de agua, y para la instalación de una bomba.

Figura 15. Tanque reservorio del banco

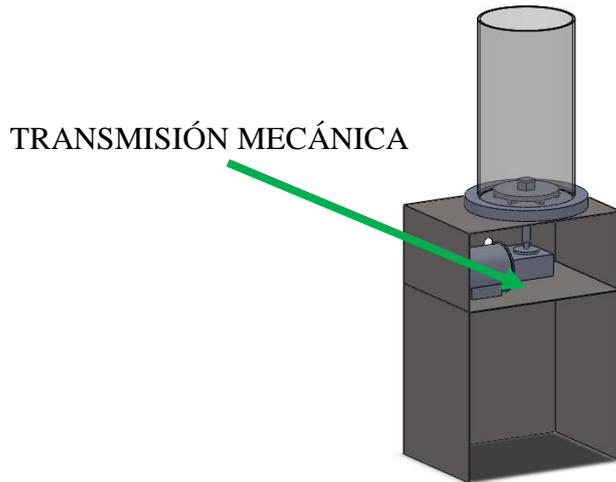


Fuente: Autor

3.2.2 Rediseño del sistema de transmisión mecánica

Para la generación del movimiento se empleó un motor de corriente alterna el cual se encuentra acoplado a una caja reductora de velocidad para convertir el movimiento de horizontal a vertical, la salida de la caja reductora se encuentra directamente acoplada a la turbina.

Figura 16. Módulo transmisión mecánica



Fuente: Autor

3.2.3 Rediseño eléctrico y electrónico

La parte eléctrica del banco, está comprendida por un motor trifásico, accionado por un variador de frecuencia, para la manipulación de la velocidad, adicional el banco cuenta con una bomba eléctrica, para el llenado y vaciado del líquido del tanque.

La toma de datos de la medida de presión se realiza por medio de transductores de presión, que se encuentran ubicados en la parte inferior y conectados directamente a la toma del tanque banco como se aprecia en la figura 3.8.

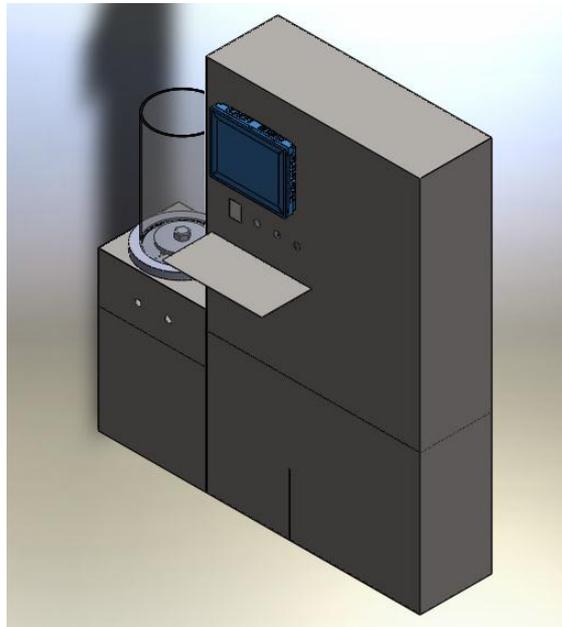
Figura 17. Conexión de los transductores de presión



Fuente: Autor

Resultando el banco de la siguiente manera.

Figura 18. Banco generador de vórtice

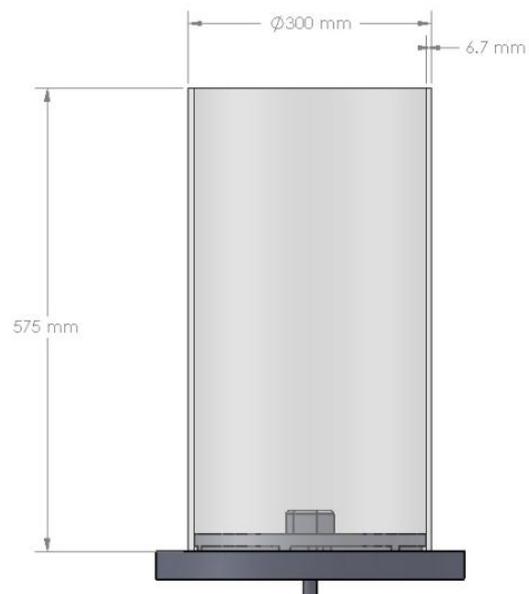


Fuente: Autor

3.3 Cálculo de las rpm máxima del tanque cilíndrico

Las medidas del tanque del banco generador de vórtice son:

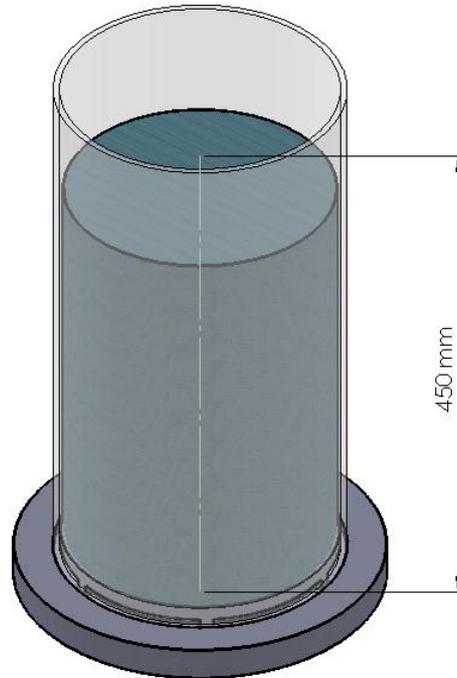
Figura 19. Tanque Generador de vórtice



Fuente: Autor

De las medidas antes mencionadas, para la determinación de las revoluciones máximas, se aplica el principio de cilindro de revolución, con un nivel del líquido de 45 cm en el tanque.

Figura 20. Tanque cilíndrico del generador con agua.



Fuente: Autor

Se considera que el líquido no se pierde, es decir que el líquido que se eleva al generarse el vórtice es el mismo que desciende.

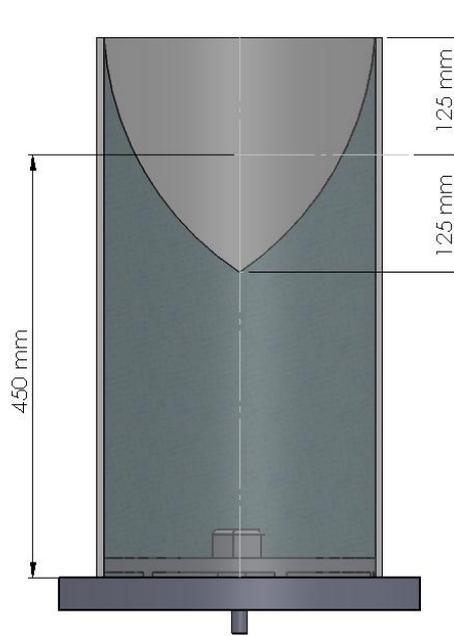
Para ello se iguala el volumen del paraboloides, que se genera, con el volumen del cilindro sin agua.

$$\frac{\pi \cdot R^2 \cdot h}{2} = \pi \cdot R^2 \cdot (Z - Z_0)$$

$$h = 2 * (57.5 - 45) \text{ cm}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

Figura 21. Formación de la parábola



Fuente: Autor

Y como se determinó la ecuación de la altura “h”, en la rotación uniforme alrededor de un eje vertical resulta:

$$h = \frac{w^2 r^2}{2g}$$

Despejando:

$$w^2 = \frac{h \cdot 2g}{r^2}$$

$$w = \sqrt{\frac{0.25m \cdot 2 \cdot 9.8m/s^2}{(0.1433m)^2}}$$

$$w = \sqrt{238.61827m^2/m^2s^2}$$

$$w = 15.4472 \text{ rad/s}$$

$$w = 15.4472 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{2 \pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$w = 147.5106 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

3.4 Cálculo de la potencia del motor

La potencia del motor depende del tipo de flujo, es decir si es laminar, turbulento o de transición y de las proporciones geométricas de todo el equipamiento, siendo las variables a considerar.

Medidas del tanque y del impulsor de turbina de aspas planas.

Viscosidad μ y la densidad ρ del fluido.

La velocidad de giro del impulsor.

Para el cálculo de la potencia consumida por la turbina, se emplean dos números adimensionales:

El número de Reynolds y

El Número de potencia.

Cálculo del número de REYNOLDS

Considerando las propiedades del agua para una temperatura de 20°C. Ver anexo B.

Tabla 2. Propiedades físicas del agua a 20°C

| PROPIEDADES DEL AGUA A 20°C | |
|-----------------------------|---|
| $\rho =$ | 998.2 Kg/m ³ |
| $\mu =$ | 1.005 x 10 ⁻³ N.s/m ² |

Fuente: Autor

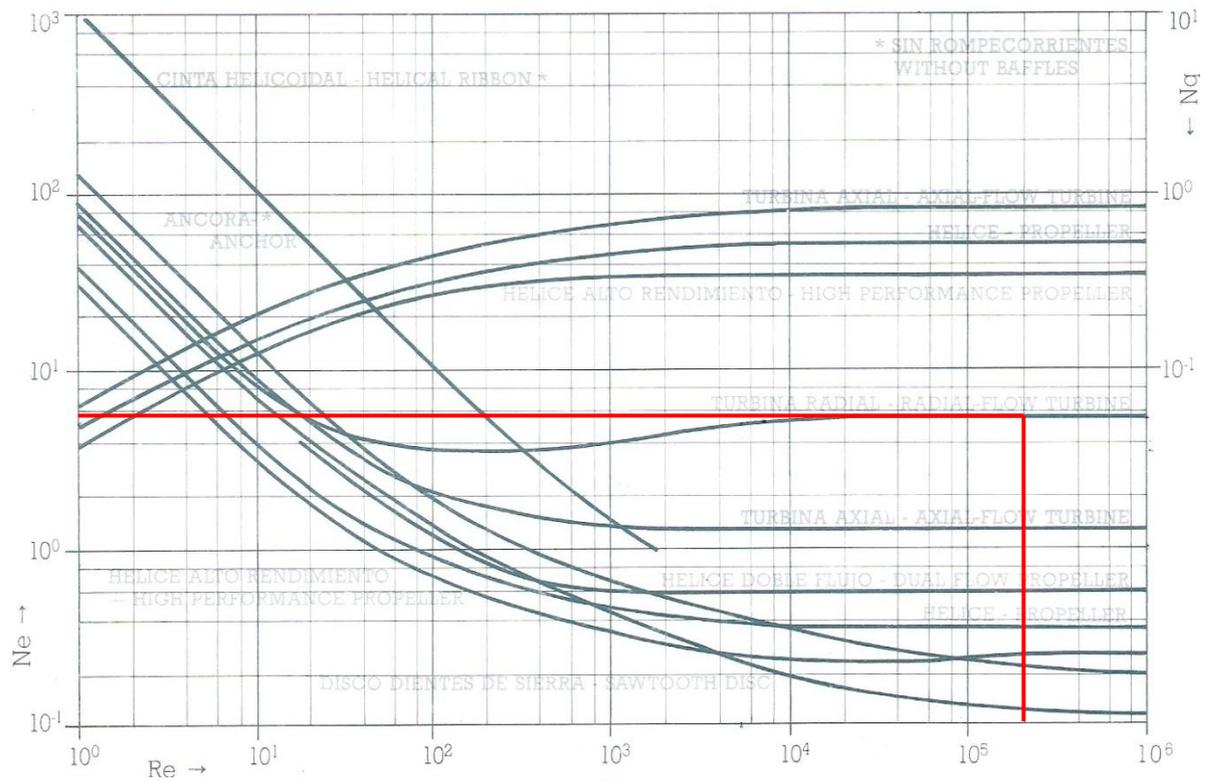
$$Re = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \quad (38)$$

$$Re = \frac{(0.2866m)^2 \cdot (2.45851 \text{ rev/s}) \cdot (998.2Kg/m^3)}{1.005 \times 10^{-3} Kg/m \cdot s}$$

$$Re = 2 \times 10^5$$

Con el número de Reynolds calculado, en la figura 22, se encontró el “número de potencia N_{po} ”, ya que se encuentran relacionados gráficamente.

Figura 22. Número de potencia vs número de Reynolds



Fuente: Catálogo. BOMBAS INDUSTRIALES, S.A. BOMINSA, Barcelona C/.

Navarra

Se tiene $N_{po} = 7$

Siendo:

$$N_{po} = \frac{P \cdot gc}{N^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho} \quad (39)$$

Despejando la potencia:

$$P = \frac{N_{po} \cdot N^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho}{gc}$$

$$P = \frac{7(2.45851 \text{ rev/s})^3 \cdot (0.2866\text{m})^5 \cdot 998.2\text{Kg/m}^3}{1 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{N} \cdot \text{s}^2}}$$

$$P = 200.77 \text{ W}$$

$$P = \underline{\underline{0.2727 \text{ HP}}}$$

La potencia de diseño, debe considerar la eficiencia tanto del motor, como de la caja reductora.

La eficiencia del motor proporcionada por el fabricante del motor (ver anexo C), y de igual manera la eficiencia de la caja reductora (ver anexo D) se iteran, como una relación lineal para la obtención de un valor más aproximado.

Tabla 3. Eficiencia de la caja reductora

| | n1 (min^{-1}) | Relación de reducción |
|--------|-------------------------|-----------------------|
| | | 7.5 |
| CM 040 | 2800 | 89 |
| | 1400 | 86 |
| | <i>n Calculado</i> 1650 | 86.54 |

Fuente: Autor

$$Potencia\ de\ diseño = \frac{P}{\eta} \quad (40)$$

$$Potencia\ de\ diseño = \frac{0.2727}{0.65 \times 0.8654}$$

$$Potencia\ de\ diseño = 0.48479 \approx 0.5HP$$

3.5 Selección del motor Eléctrico

El motor se seleccionó considerando el uso de una caja reductora de velocidad, y un variador de frecuencia siendo el motor adecuado con las siguientes características (Ver anexo C).

Tabla 4. Características del motor trifásico

| CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR | |
|---------------------------|----------|
| MARCA | SIEMENS |
| POTENCIA | 0.75 HP |
| VELOCIDAD | 1650 RPM |
| VOLTAJE | 220 V |
| NUMERO DE FASES | 3 |

Fuente: Autor

3.6 Selección de la caja reductora

La selección de la caja reductora se realizó de acuerdo al número máximo de revoluciones a la cual debe girar la turbina para la generación del vórtice que de acuerdo al apartado 3.1 es de $147.5106 \text{ rev}/\text{min}$.

Se considera la velocidad nominal del motor que de acuerdo al anexo C es de 1650 rpm, siendo la caja reductora seleccionada de las siguientes características:

Tabla 5. Características de la caja reductora

| CAJA REDUCTORA | |
|----------------|------------|
| Marca | TRANSTECNO |
| Tipo | TCM 040 |
| Relación | 7.5 |

Fuente: Autor

Con el uso de la caja reductora se obtiene una velocidad nominal de salida de acuerdo a la relación de transmisión de:

Tabla 6. Velocidad nominal máxima de salida

| | |
|------------------------------|------|
| Velocidad nominal de entrada | 1650 |
| Relación de transmisión | 7.5 |
| Velocidad nominal de salida | 220 |

Fuente: Autor

La velocidad máxima de salida obtenida, es mayor a la velocidad máxima calculada para la formación del vórtice, para ello además se emplea el uso de un variador de frecuencia, con el cual se logró variar la velocidad desde una velocidad mínima menor a la calculada en el apartado 3.1, y aumentar progresivamente la misma hasta una velocidad máxima y de esta forma apreciar mejor el fenómeno de la formación del vórtice.

Al incrementar progresivamente la velocidad se consigue diversas formas del perfil superior de la formación del vórtice.

3.7 Selección del variador de frecuencia

El variador de frecuencia se seleccionó de acuerdo a la potencia del motor, como se mencionó en el apartado 3.5 la potencia del motor es de 0,75 HP.

Debido a que el motor seleccionado es de marca SIEMENS, se procedió a seleccionar un variador de frecuencia de la misma marca, siendo el más adecuado el de las siguientes características:

Tabla 7. Datos técnicos del variador de velocidad

| VARIADOR DE VELOCIDAD | |
|--------------------------|--------------------------------|
| Marca | Siemens |
| Modelo | Sinamics G110 |
| Tensión de alimentación | Monofásica 200-240 VAC +/- 10% |
| Frecuencia de salida | 0-650 Hz, resolución 0,01Hz |
| Tipo de protección | IP 20 |
| Temperatura de operación | 40°C |
| Factor de sobrecarga | 150% durante 60 seg. |



Fuente: Autor

3.8 Selección del sensor de presión

Para la selección del sensor de presión se tomó en cuenta la altura máxima que alcanza la columna de agua en el cilindro siendo de 57.5 cm.

3.8.1 Cálculo de la presión máxima en el fondo del tanque

Se emplea la ecuación (11) de la teoría de la ecuación fundamental de la hidrostática, variación de la presión en un fluido incompresible.

$$p = \rho gh$$

Reemplazando se tiene:

$$\gamma = \delta \cdot g$$

$$\gamma = 998.2 \frac{Kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\gamma = 9792.342 \frac{Kg}{m^2 s^2}$$

Reemplazando en la ecuación para el cálculo de la presión:

$$P = 9792.342 \frac{Kg}{m^2 s^2} * 0.575 m$$

$$P = 5630.5 N/m^2$$

$$P = 5630.5 Pa = 0.056305 Bar$$

Se procede a analizar el uso de un transductor de presión, de acuerdo a las siguientes características:

Tabla 8. Datos técnicos del transductor de presión

| Technology data | |
|-------------------------|----------------------|
| Marca | XI'AN |
| Modelo | CS-PT300 |
| Measurement Range | 0 – 0.5 Bar |
| Pressure form | Gauge pressure |
| accuracy | 0.5 % F.S |
| Long Term Stability | ±0.15 % F.S per year |
| output | 4mA to 20mA |
| Power Supply | 24VDC |
| Response time | 10ms |
| Allowed overpressure | 2.5 full times scale |
| Compensated Temperature | -10°C to +60°C |
| Operating Temperature | -40°C to +85°C |



Fuente: Sensor expert Pressure Transmitter. X'IAM

El transductor de presión seleccionado, tiene una precisión del 5% (ver anexo F) sobre la escala máxima de 0,5 bar, es decir presenta una sensibilidad de lectura de cada 0,0025

bar, comenzando desde cero ya que el transductor se encuentra compensado con la presión atmosférica.

Con la sensibilidad de cada 0,0025 bar se calcula la altura de acuerdo a la ecuación $p = \rho gh$, y se obtiene una sensibilidad de 25.510 mm de columna de agua, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 9. Resolución del transductor de presión

| RESOLUCIÓN DEL TRANSDUCTOR | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Escala máxima=0.5 bar | | Resolución=0,5% | |
| Resolución (bar) | Resolución (mm) | Precisión (mm) | Salida (mA) |
| 0 | 0 | 0 | 4 |
| 0.0025 | 25.510 | 25.510 | 4.0846 |
| 0.005 | 51.020 | 25.510 | 4.1692 |
| 0.0075 | 76.531 | 25.510 | 4.2537 |
| 0.01 | 102.041 | 25.510 | 4.3383 |
| 0.0125 | 127.551 | 25.510 | 4.4229 |
| 0.015 | 153.061 | 25.510 | 4.5075 |
| 0.0175 | 178.571 | 25.510 | 4.5920 |
| 0.02 | 204.082 | 25.510 | 4.6766 |
| 0.0225 | 229.592 | 25.510 | 4.7612 |
| 0.025 | 255.102 | 25.510 | 4.8458 |
| 0.0275 | 280.612 | 25.510 | 4.9303 |
| 0.03 | 306.122 | 25.510 | 5.0149 |
| 0.0325 | 331.633 | 25.510 | 5.0995 |
| 0.035 | 357.143 | 25.510 | 5.1841 |
| 0.0375 | 382.653 | 25.510 | 5.2687 |
| 0.04 | 408.163 | 25.510 | 5.3532 |
| 0.0425 | 433.673 | 25.510 | 5.4378 |
| 0.045 | 459.184 | 25.510 | 5.5224 |
| 0.0475 | 484.694 | 25.510 | 5.6070 |
| 0.05 | 510.204 | 25.510 | 5.6915 |
| 0.0525 | 535.714 | 25.510 | 5.7761 |
| 0.055 | 561.224 | 25.510 | 5.8607 |
| 0.0575 | 586.735 | 25.510 | 5.9453 |
| 0.06 | 612.245 | 25.510 | 6.0299 |
| 0.0625 | 637.755 | 25.510 | 6.1144 |
| 0.065 | 663.265 | 25.510 | 6.1990 |
| 0.0675 | 688.776 | 25.510 | 6.2836 |

Fuente: Autor

Como se puede apreciar en la tabla los valores correspondientes a las medidas del tranque (altura) se encuentran comprendidos en el rango de medida del transductor.

CAPÍTULO IV

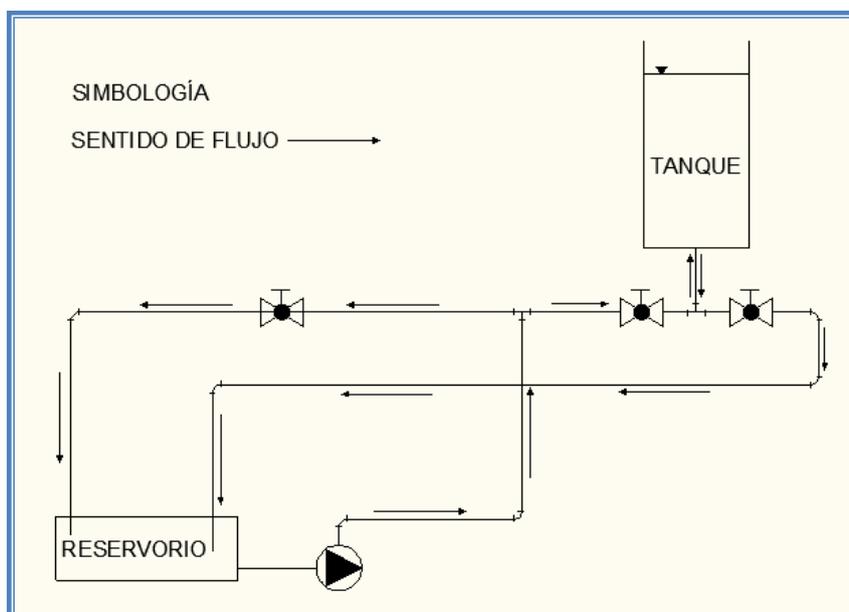
4. DISEÑO CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1 Diseño hidráulico

La alimentación del tanque del equipo, será mediante una bomba centrífuga, la cual está ubicada junto al reservorio, el tanque es alimentado por medio del mismo orificio, con dos llaves de bola independientes de carga y descarga, con retorno hacia el reservorio.

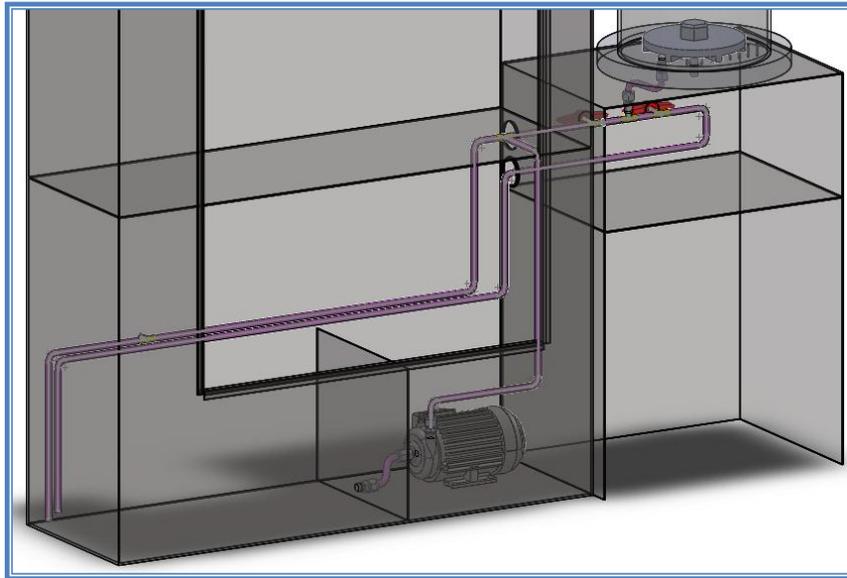
El sistema de tubería se direccionó y se posicionó de acuerdo a los requerimientos y a lo mencionado anteriormente, resultando el diseño de la siguiente manera.

Figura 23. Esquema diseño hidráulico



Fuente: Autor

Figura 24. Diseño hidráulico



Fuente: Autor

4.2 Diseño del sistema eléctrico

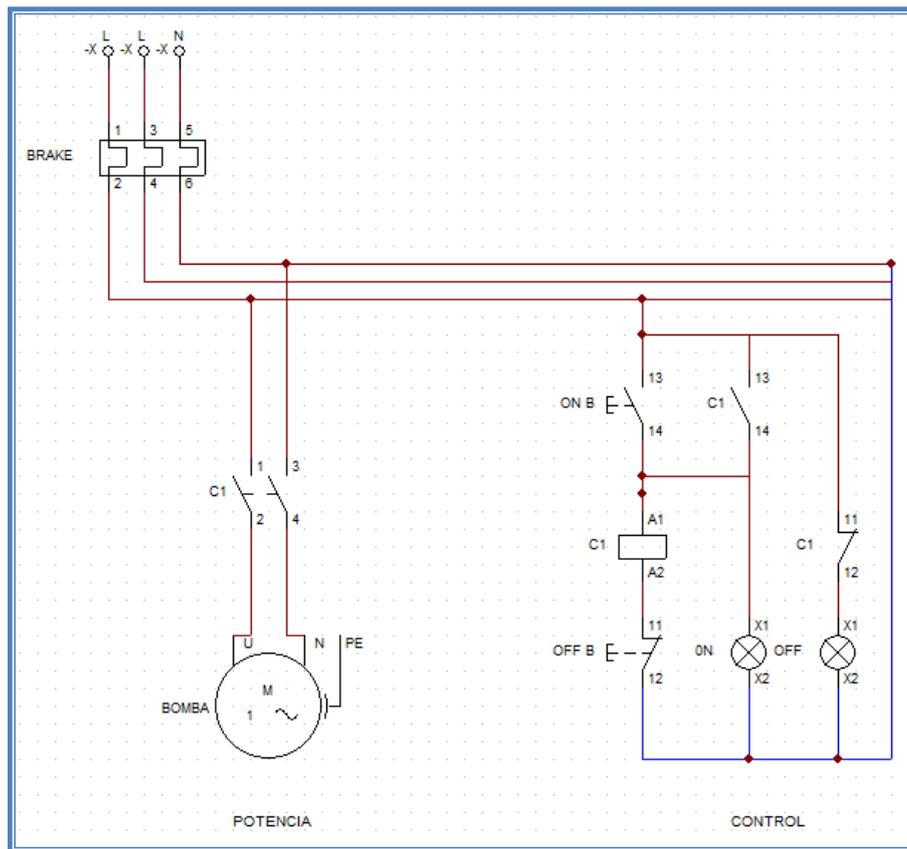
Para el diseño del sistema eléctrico se tomó en cuenta la instalación de los siguientes componentes:

- Bomba monofásica 120 VAC
- Motor trifásico 0,75 HP
- Variador de velocidad monofásico 200 – 240 VAC
- Computador 120 VAC
- Monitor 120 VAC

4.2.1 Diagrama del circuito de control y potencia para la bomba centrífuga

En el diagrama se muestra el circuito de control y de potencia, para el control de la bomba monofásica, con luz piloto de encendido y de apagado.

Figura 25. Diagrama diseño eléctrico de la bomba

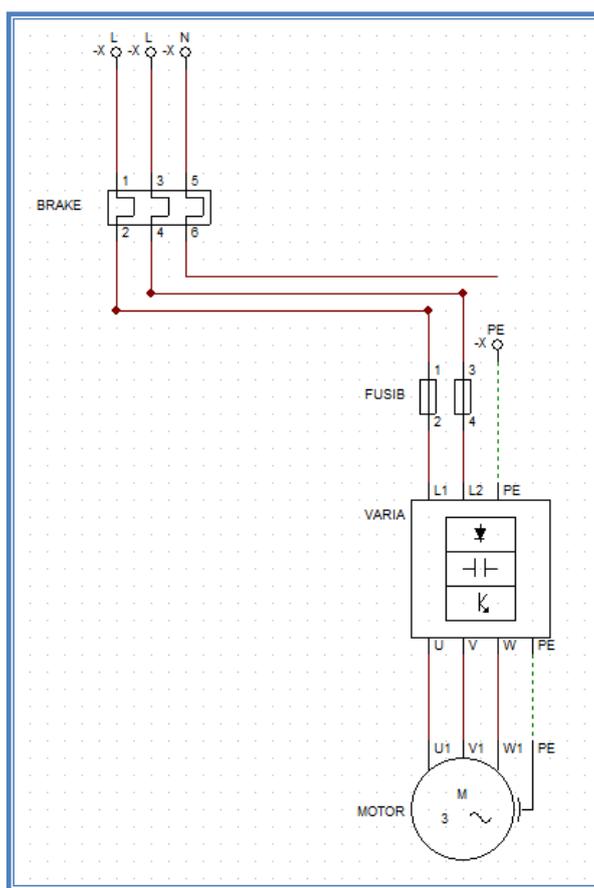


Fuente: Autor

4.2.2 Diagrama de control y potencia para el motor trifásico

Las conexiones para el circuito de potencia del motor, se realiza por medio de un variador de velocidad, como se mencionó en el apartado 3.7, las características del variador de velocidad la tensión de alimentación es de 200-240 VAC, se conecta el variador por medio de un brake directamente a la red, a 220 VAC, y del variador se conecta directamente al motor.

Figura 26. Diagrama diseño eléctrico del motor



Fuente: Autor

El control del motor se realiza directamente desde el variador de velocidad, ya que el mismo cuenta con un panel que permite la programación del variador.

Figura 27. Panel BOP SIEMENS



Fuente: *Sudel*. Enero 15 2013. <www.sudel.com.uy>

Dentro de las funciones que ofrece el panel BOP se encuentra:

Programación de los parámetros generales.

Marcha del motor.

Paro del motor.

Inversión de giro del motor.

Selección de la velocidad.

4.3 Diseño Electrónico y programación

Dentro del diseño electrónico, consta la instalación del sistema de medición de la variable física para lo cual se emplearon los transductores de presión, los cuales tienen una señal de salida que es procesada por una tarjeta de adquisición de datos y finalmente enviada al computador para la visualización de los resultados.

Figura 28. Diagrama de bloques del sistema electrónico

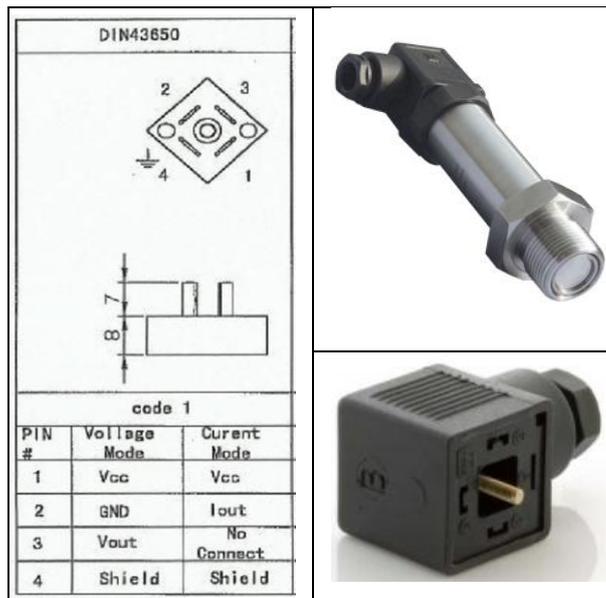


Fuente: Autor

4.3.1 Conexión del transductor de presión

Dentro de las características técnicas el transductor cuenta con un socket de conexión DIN 43650 cuyo diagrama de conexión es el siguiente:

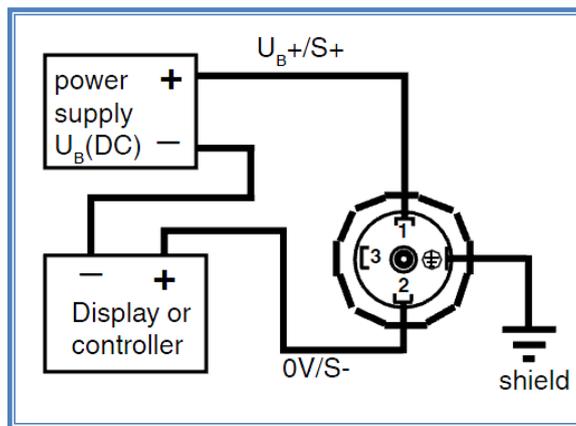
Figura 29. Conexiones transductor de presión



Fuente: *E-direct*. Febrero 12 2013. www.e-direct.es

Resultando el diagrama de conexión de la siguiente manera.

Figura 30. Diagrama de conexión transductor de presión



Fuente: *Deltaohm*. Febrero 12 2013. www.deltaohm.com

4.3.2 Tarjeta de adquisición de datos

Se empleó la tarjeta de adquisición de datos de *NI-USB DAQ6008*, la cual posee ocho canales de entradas analógicas, dos canales de salida analógicas, doce canales de entradas y salidas digitales y un contador de 32 bits de alta velocidad, la distribución de los pines de conexión y las partes constitutivas de la tarjeta se indican en el anexo I.

Figura 31. NI USB-DAQ 6008



Fuente: *globalspec*. Febrero 25 2013 <<http://datasheets.globalspec.com>>

Debido a que la tarjeta de adquisición empleada permite la adquisición de señales de voltaje, se procede a procesar la señal de corriente proveniente del transductor de la siguiente manera:

La señal que es emitida desde el transductor es de corriente de 4 a 20 mA, para ello se empleó una resistencia de 250 Ω , encontrando una relación lineal de 1 v a 5, mediante la ley de *ohm*.

$$I = V/R \quad (41)$$

Tabla 10. Relación lineal corriente vs voltaje

| mA | V |
|----|---|
| 4 | 1 |
| 20 | 5 |

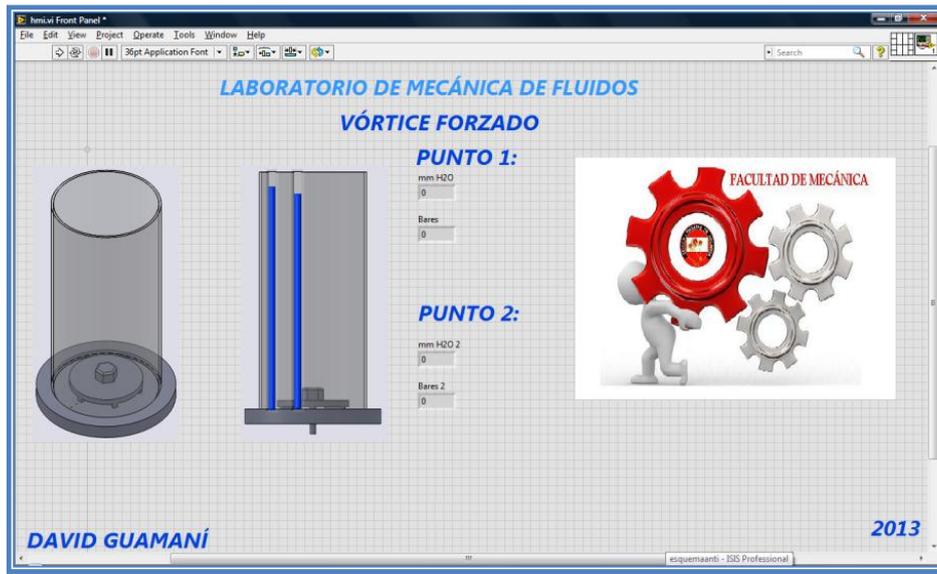
Fuente: Autor

4.3.3 Diseño del entorno gráfico

Para el diseño del entorno gráfico se empleó el software LabView, el cual posee un lenguaje de programación gráfico, con dos ventanas principales el panel frontal, y el panel de diagramas de bloque.

En el panel frontal se realizó la programación de la interfaz con el usuario en la cual se puede visualizar fácilmente la altura del agua en el punto el cual se considera la muestra, y la presión en el fondo del punto, originada por la altura del líquido, además de una ilustración gráfica en la cual se aprecia la variación de la altura al formarse el vórtice.

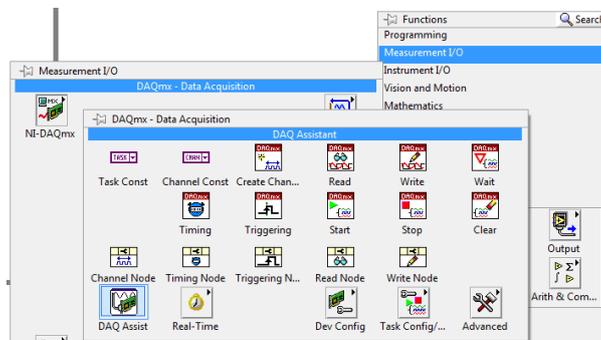
Figura 32. Entorno gráfico panel frontal LabView



Fuente: Autor

En el panel de diagrama de bloques se realizó la programación, la cual inicia con la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos por medio de la herramienta DAQ assist, la misma que se encuentra en la paleta de herramientas Measurement I/O, NI-DAQmx, DAQ assist.

Figura 33. Paleta de herramientas



Fuente: Autor

Para el caso del presente proyecto se realiza la adquisición de una señal analógica de voltaje, como se mencionó en el apartado 4.3.2, para lo cual se configura en la ventana del asistente el tipo de señal a adquirir.

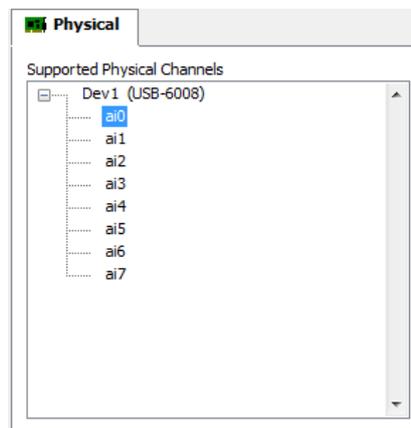
Figura 34. NI-DAQ Assistant



Fuente: Autor

Se selecciona el puerto en el cual se va a recibir la señal analógica, se emplearon dos puertos el a0 y el a1.

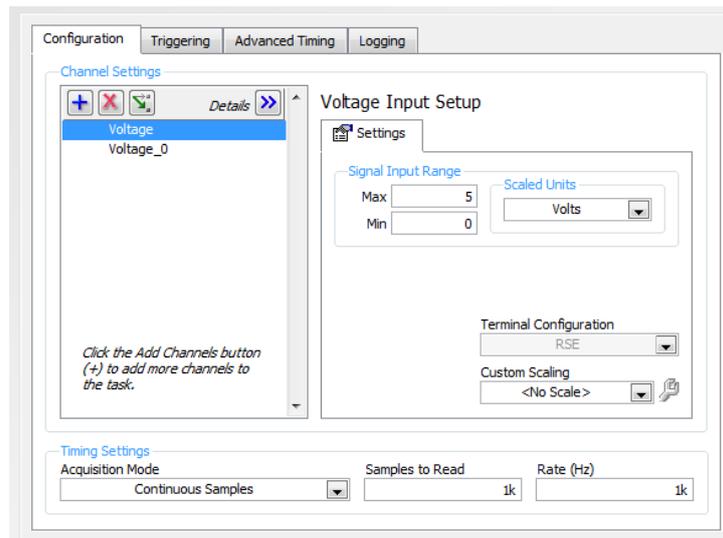
Figura 35. Selección del puerto de comunicación



Fuente: Autor

En la ventana de configuración de la tarjeta se ingresa el valor máximo y mínimo del voltaje en los cuales va a recibir la señal en este caso se seleccionó como mínimo 0 v y como máximo 5 v, y un modo de adquisición continuo.

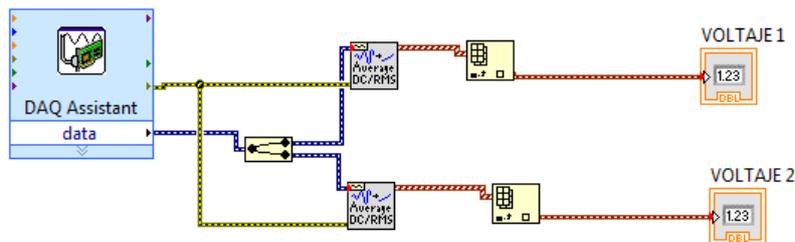
Figura 36. Configuración del voltaje de adquisición



Fuente: Autor

La señal de los dos canales adquiridos son procesados distintamente, mediante una herramienta llamada *merge signals* , para posteriormente con la herramienta *Basic DC/RMS*  enviar el valor adquirido como voltaje a un *Index Array* , el cual de los datos recibidos, envía un valor promedio para finalmente visualizarlos en un indicador .

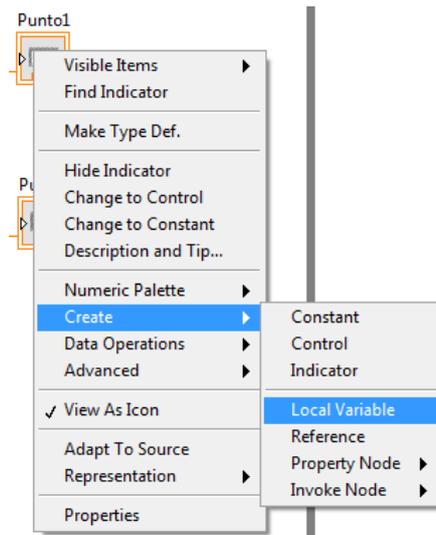
Figura 37. Adquisición de la señal como voltaje



Fuente: Autor

Posteriormente se crea una variable local dando clic derecho sobre el indicador del voltaje de los dos puntos.

Figura 38. Creación de la variable local



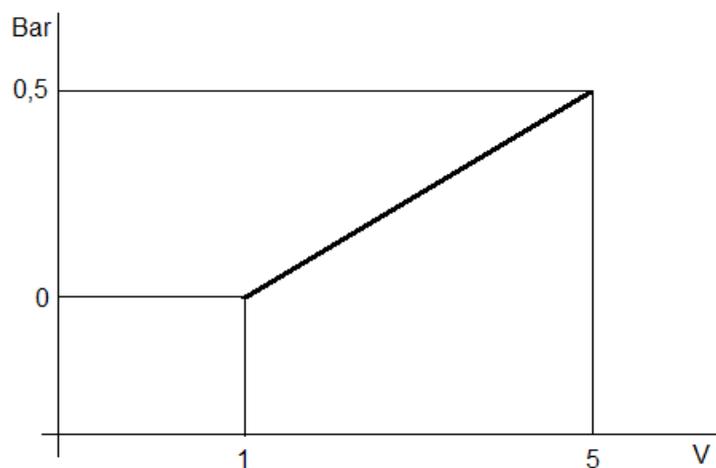
Fuente: Autor

Con la variable local creada, se procede a obtener el valor de la presión, mediante la ecuación de la recta, se realizó el escalamiento para de esta forma encontrar el valor de la presión en BAR, que es la proporcionada por el transductor.

$$y = mx + b \quad (42)$$

Considerando los valores de frontera del transductor se tiene:

Figura 39. Grafica relación lineal presión vs voltaje



Fuente: Autor

Desarrollo

$$presión = 0,125 * voltaje + (-0,125)$$

$$0 = m(1) + b \quad (-1)$$

$$0,5 = m(5) + b$$

$$0,5 = m(4)$$

$$\underline{m = 0,125}$$

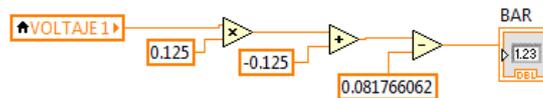
Reemplazando

$$0,5 = m(5) + b$$

$$\underline{b = -0,125}$$

Con el valor de la pendiente y la intersección, se multiplica y suma respectivamente la variable local de acuerdo a la ecuación de la recta, obteniendo la presión en BAR.

Figura 40. Obtención de la presión en BAR



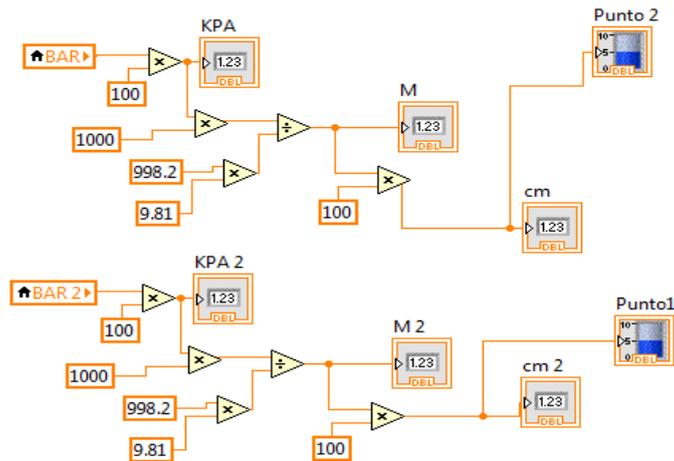
Fuente: Autor

La presión que desea medir es en el fondo del tanque, y los transductores se encuentran ubicados a una distancia inferior a la del punto, por ello es necesario restar esa distancia en valor de presión generada por la columna del líquido, lo cual se puede apreciar en la figura 40.

De la presión en bar se realiza la conversión multiplicando por 100 para visualizar el resultado de presión en Kpa, y mediante la ecuación de la hidrostática $p = \rho gh$, hallar la altura del líquido puntual en metros y en centímetros.

Ubicando dos visualizadores gráficos para una mejor apreciación

Figura 41. Obtención de la columna de agua en cm



Fuente: Autor

4.4 Construcción de banco

Las diferentes operaciones tecnológicas que se realizan para la construcción del banco se describen en la siguiente tabla.

Tabla 11. Operaciones tecnológicas

| Nº | OPERACIÓN |
|----|-------------------------|
| 1 | Medición y trazado |
| 2 | Corte |
| 3 | Amolado/Cepillado |
| 4 | Taladro |
| 5 | Doblado |
| 6 | Soldado |
| 7 | Empernado |
| 8 | Refrentado y Cilindrado |
| 9 | Esmerilado |
| 10 | Limpieza |
| 11 | Montaje |

Fuente: Autor

En el siguiente cursograma, se representa las operaciones tecnológicas que se siguen para la construcción del equipo.

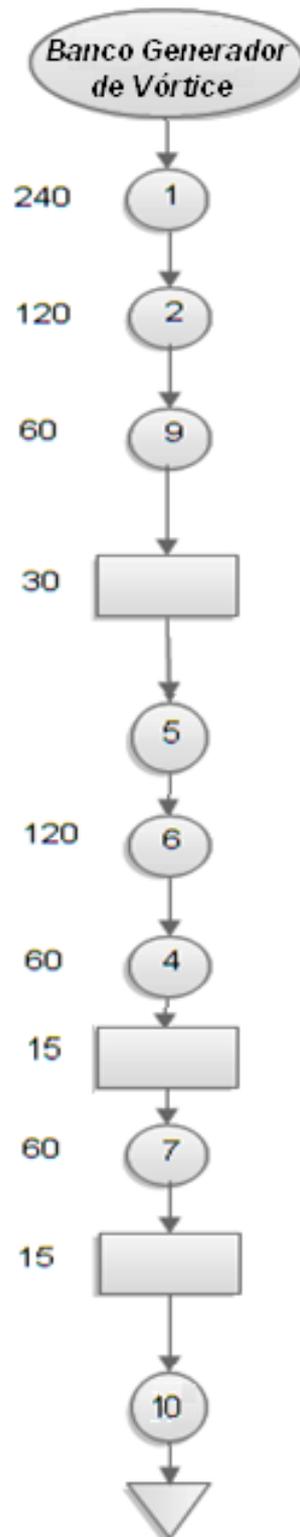
Para mayor comprensión de los cursogramas a continuación se detalla la nomenclatura utilizada en la elaboración de los mismos

Tabla 12. Nomenclaturas de operaciones tecnológicas

| Símbolo | Denominación | Descripción |
|---|-----------------------|---|
|  | Operación | Indica que se altera el estado de un elemento con el que se está trabajando. En procedimientos administrativos, brindar información, emitir un formulario, etc. |
|  | Inspección | Indica que se verifica la calidad, la cantidad o ambas conforme a especificaciones preestablecidas. |
|  | Transporte | Indica el traslado físico de los trabajadores, materiales y equipo de un lugar a otro. En procedimientos administrativos el traslado de un formulario. |
|  | Espera | Indica que hay un elemento dado detenido esperando a que se produzca un acontecimiento determinado. Periodo de tiempo en el que se registra inactividad ya sea en los trabajadores, materiales o equipo |
|  | Almacenamiento | Indica depósito de un objeto bajo vigilancia en un almacén según un criterio determinado de clasificación. |

Fuente: Normas IRAM 34501, 34502 y 34503

Figura 42. Cursograma de la construcción del banco



Fuente: Autor

Como se mencionó en el capítulo anterior, la construcción se realizó a partir de un panel de acero inoxidable existente en el laboratorio de mecánica de fluidos.

Primeramente se inició con la construcción de la base para el tanque cilíndrico que contendrá el líquido, dentro del cual se posiciona el motor, el transductor y las conexiones eléctricas de los mismos y las válvulas de carga y descarga del tanque.

El materia empleado para la construcción se recuperó, de sobrantes da la construcción del panel de acero inoxidable.

La base, se ubicará junto al panel y se sujetará con pernos.

Figura 43. Construcción de la base del cilindro



Fuente: Autor

Y se procede a colocar la base del tanque junto con el panel frontal y empernarlo.

Figura 44. Banco generador de vórtice



Fuente: Autor

4.4.1 Montaje hidráulico

Una vez finalizada la construcción de la parte estructural se procedió a la conexión y montaje de la parte hidráulica, que comprende la instalación de la bomba centrífuga que alimentará el sistema con agua, la tubería de carga y descarga del tanque, y la tubería de retorno.

Para lo cual se procede al montaje de la bomba, que se sujeta con pernos hacia el banco, y la conexión de la toma al tanque.

Figura 45. Montaje de la bomba centrífuga



Fuente: Autor

Posteriormente se colocó la tubería la cual alimenta el tanque del agua

Figura 46. Conexión tubería de alimentación del tanque



Fuente: Autor

Colocando las válvulas de carga y descarga como se mencionó en el capítulo anterior.

Figura 47. Montaje de las válvulas de carga y descarga



Fuente: Autor

Y finalmente se realizó la instalación de la línea de retorno hacia el reservorio del sistema y de la descarga del tanque del agua.

Se realizó el montaje del cilindro que contendrá el agua, conjuntamente con su turbina y demás accesorios, conectando la entrada de líquido a la línea de las válvulas de carga y descarga del agua.

Figura 48. Montaje del cilindro de líquido



Fuente: Autor

4.4.2 Montaje eléctrico

El montaje del sistema eléctrico se realizó, colocando riel *din*, en el cual estará ubicado el sistema de distribución eléctrico (borneras) y elementos de control como el contactor, para el control de la bomba.

Figura 49. Montaje del riel DIN



Fuente: Autor

Para la distribución del cableado se colocaron canaletas ranuradas para una mejor distribución del sistema de control.

Figura 50. Montaje de canaletas ranuradas

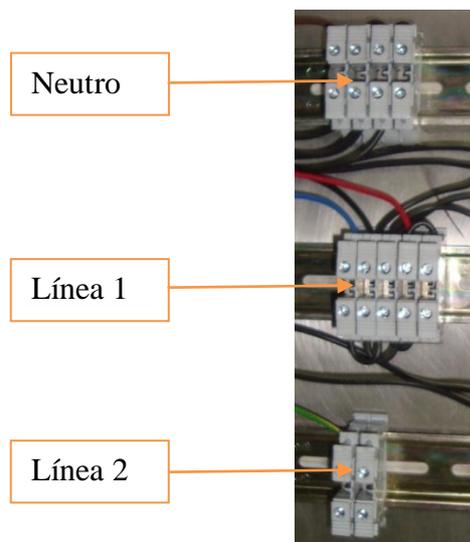


Fuente: Autor

Conexión del sistema de distribución eléctrico

En el panel de distribución eléctrico se realiza la conexión línea-línea, para obtener un voltaje nominal de 220V, y la conexión línea-neutro obtener un voltaje nominal de 120V.

Figura 51. Sistema de distribución eléctrico



Fuente: Autor

Se dispone además de una toma de 120V para la alimentación de los equipos de computación, y de accesorios que se requiera.

Figura 52. Toma de 120 V

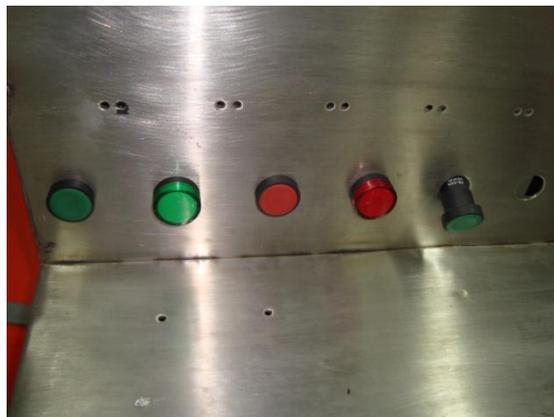


Fuente: Autor

Conexión de control y de potencia de la bomba centrífuga

Para el circuito de control de la bomba, se colocaron los botones de encendido y apagado conjuntamente con luz piloto cada uno, como se mencionó en el apartado de diseño del circuito de control de la bomba centrífuga,

Figura 53. Botonera circuito de control de la bomba



Fuente: Autor

Así como también se realizaron las conexiones de los botones de accionamiento de acuerdo a circuito de control.

Figura 54. Conexión botonera circuito de control de la bomba



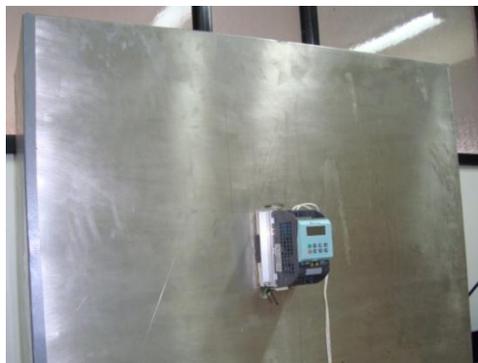
Fuente: Autor

Realizadas las conexiones del circuito de control de la bomba centrífuga, se precede a realizar la conexión del circuito de potencia de la bomba.

Montaje y conexión del variador de frecuencia

El montaje del variador de velocidad se realizó en la parte frontal del panel para tener un fácil acceso para el control de la velocidad del motor y la visualización de los resultados.

Figura 55. Montaje del variador de frecuencia



Fuente: Autor

La conexión del variador de velocidad de acuerdo al apartado 4.2.2, resulto de la siguiente manera:

La alimentación proviene de la conexión línea-línea obteniendo un voltaje de 220 V.

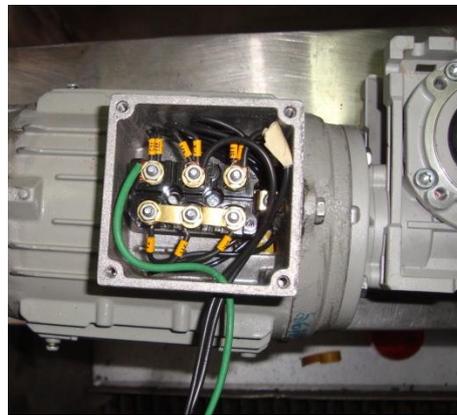
Figura 56. Conexión alimentación del variador.



Fuente: Autor

El motor es alimentado directamente por el variador el mismo tiene salidas U, V, W, las mismas que están conectadas de acuerdo a diagrama propio del motor de conexión a bajo voltaje.

Figura 57. Conexión motor trifásico



Fuente: Autor

El variador posee tres variantes para su funcionamiento (ver anexo H), La variante analógica, la cual consiste en uso de la las entradas analógicas y digitales del variador, la variante USS que consiste en la programación del variador por medio del software STARTER, y el uso del panel BOP el cual es empleado en el presente proyecto, para lo cual se deben realizar los siguientes pasos de programación:

Programación del variador

Con el BOP se puede modificar señales de control y consignas de velocidad, apretando simplemente el botón pertinente además de tener fácilmente acceso a los parámetros del SINAMICS G110

Primeramente se programa el variador para poder acceder a los parámetros del variador, para ello se realizan los siguientes pasos.

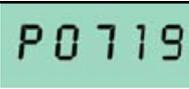
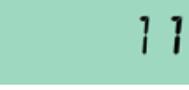
Tabla 13. Nivel de acceso variador de frecuencia

| PASOS | RESULTADO EN PANTALLA |
|---|---|
| Pulsar  para acceder a los parámetros |  |
| Pulsa  hasta que se visualice P0003 |  |
| Pulsa  hasta acceder al valor del parámetro |  |
| Pulsa  o  hasta obtener el valor deseado (poner el valor 3) |  |
| Pulsa  para confirmar y almacenar el valor |  |
| Con el nivel de acceso 3 se pueden seleccionar todos los parámetros. | |

Fuente: Autor

Una vez configurados los niveles de acceso el siguiente paso es seleccionar el BOP como fuente de comandos y consignas

Tabla 14. Selección del BOP como fuente de comandos y consignas

| PASOS | RESULTADO EN PANTALLA |
|--|---|
| Pulsar  para acceder a los parámetros |  |
| Pulsa  hasta que se visualice P0719 |  |
| Pulsa  hasta acceder al índice de parámetro |  |
| Pulsa  o  para seleccionar el índice |  |
| Pulsa  para visualizar el valor actual ajustado |  |
| Pulsa  o  hasta obtener el valor requerido |  |

| | |
|---|---|
| Pulsa  para confirmar y almacenar el valor |  |
| Pulsa  hasta que se visualice r0000 |  |
| Pulsa  para volver a la pantalla estándar (tal como la definió el cliente) | |

Fuente: Autor

Puesta en servicio de la función POTENCIÓMETRO MOTORIZADO

Con el BOP se puede establecer un control de velocidad simple mediante la función “potenciómetro motorizado” (MOP).

La función “potenciómetro motorizado” del BOP esta desactivada por defecto.

Para controlar el motor mediante el BOP se tiene que ajustar los siguientes parámetros (ver anexo H).

P0700 =1 (habilitación ON/OFF vía BOP)

P1000 =1 (habilitación ON/OFF vía BOP)

Quedando de esta manera programado el variador de velocidad listo para ser operado mediante el BOP

Tabla 15. Accionamientos del motor

| | |
|--|---|
| Para arrancar el motor pulsar |  |
| Para aumentar la velocidad del motor pulsar |  |
| Para disminuir la velocidad del motor pulsar |  |
| Para detener el motor pulsar |  |

Fuente: Autor

Conexión del equipo de computación

Para la visualización de los resultados se realiza el montaje del equipo de computación, se posiciona el monitor en la parte frontal del panel para una correcta visualización de los resultados.

Figura 58. Montaje del monitor



Fuente: Autor

El CPU, se colocó en la parte interna del banco.

Figura 59. Montaje del CPU



Fuente: Autor

Para el encendido del CPU, se colocó un pulsador en el panel, conectado en paralelo, con el pulsador principal del mismo.

Figura 60. Pulsador de encendido del computador



Fuente: Autor

Montaje de los transductores de presión

Los transductores de presión, se colocaron en la parte interna de la base del tanque, para que tengan una comunicación directa con la toma de la muestra de la presión.

La conexión eléctrica se realizó mediante el socket de conexión DIN 43650, y la toma de muestra mediante un acople a manguera.

Figura 61. Montaje y conexión del transductor de presión



Fuente: Autor

CAPÍTULO V

5. FASE EXPERIMENTAL

5.1 Pruebas

5.1.1 Puesta en marcha de la bomba centrífuga

Para la puesta en marcha de la bomba centrífuga, se realiza mediante la botonera montada en el panel frontal.

Figura 62. Botonera de control de la bomba centrífuga



Fuente: Autor

Verificando que la válvula de recirculación se encuentre abierta para evitar un incremento de presión en la línea y que las válvulas de carga y descarga del agua del tanque se encuentren cerradas.

Figura 63. Válvula de recirculación



Fuente: Autor

Una vez que la bomba se encuentre activada se enciende la luz piloto de encendido en el panel frontal, y el agua recircula por la línea hacia el reservorio.

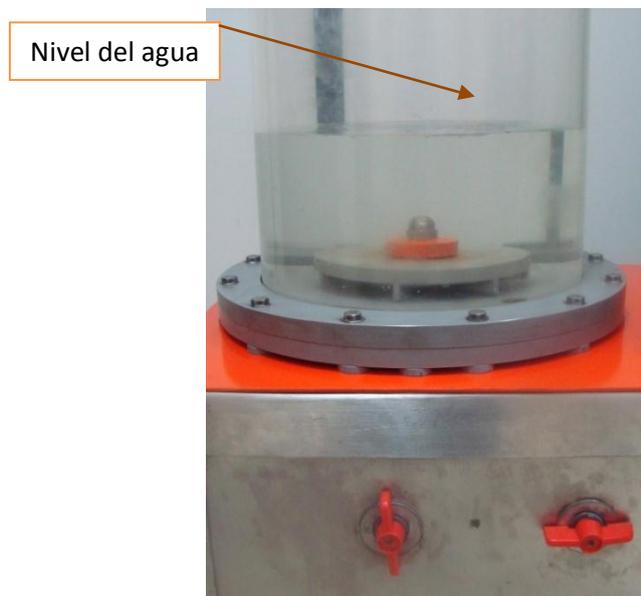
Figura 64. Encendido bomba centrífuga



Fuente: Autor

De esta manera queda preparada la línea para llenar de agua el tanque para ello se abre la válvula de carga de la base del tanque, y se observa como el nivel del agua incrementa.

Figura 65. Llenado del tanque



Fuente: Autor

5.1.2 Puesta en marcha del motor y variador

Como se mencionó en el capítulo anterior, el motor es controlado directamente por el variador, para ello una vez realizadas las conexiones se presiona el botón de puesta en

marcha, y se aprecia como la velocidad del motor empieza con una frecuencia inicial y configurada de arranque de 6.00, teniendo la posibilidad de incrementarla.

Figura 66. Funcionamiento variador de velocidad



Fuente: Autor

Accionado el variador, el motor empieza a girar transmitiendo el movimiento a la turbina comenzando así la formación del vórtice.

Figura 67. Funcionamiento del motor



Fuente: Autor

Para la puesta en marcha del motor y el variador se realizaron las pruebas de acuerdo al apartado 3.3, con las condiciones con las cuales fueron seleccionados los elementos de transmisión mecánica, Partiendo del nivel de agua máximo considerado de 450 mm, y la velocidad máxima con la cual no existirá un desbordamiento del líquido.

El número de revoluciones considerado en el apartado 3.3, es la velocidad en el rodete, mientras que para la velocidad del motor deberá ser considerada una relación de transmisión de 7.5 de acuerdo al apartado 3.6.

Tabla 16. Relación velocidad vs frecuencia del motor

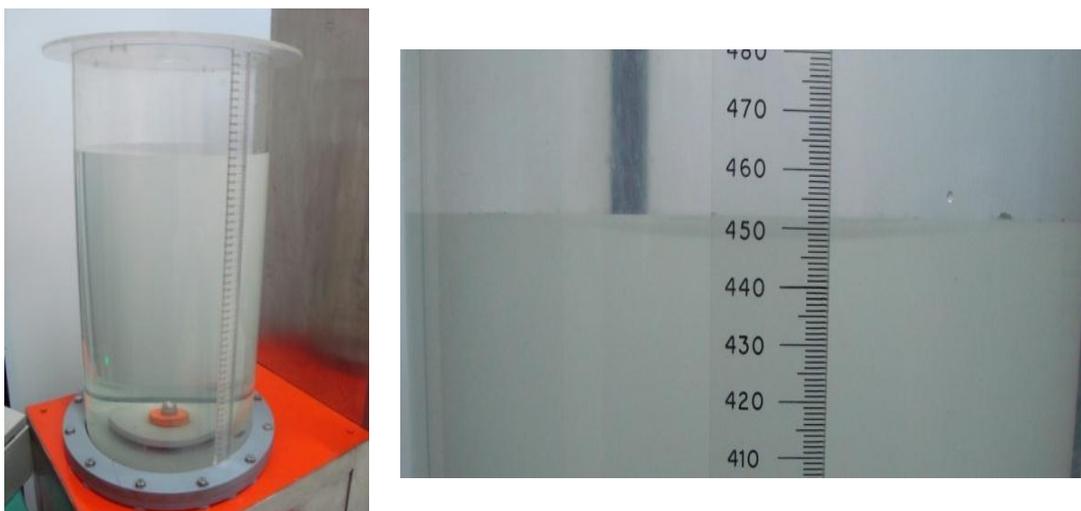
| Velocidad Rodete (rpm) | Velocidad rotor (rpm) $n_{rotor} = n_{rodete} * 7.5$ | Velocidad del campo magnético (rpm) | Frecuencia (Hz) $f = \frac{n_m * 2}{60}$ |
|---------------------------|--|---|--|
| 147.5106 | 1106.3295 | 1096.33 | 36.54 |

Fuente: Autor

Las pruebas se realizan primeramente con el rodete número 1 (ver anexo J).

Visualmente el líquido del tanque se encuentra en equilibrio relativo al transcurrir 6 min, y se observa que se forma un pequeño vórtice, mas definido en la zona que comprende la turbina pequeña.

Figura 68. Formación del vórtice a máxima altura de agua y rodete 1



Fuente: Autor

Dentro de las condiciones máximas que se emplearon en el apartado 3.3, para el cálculo el torque necesario para el motor se encuentra el uso del rodete número 2 (ver anexo J), empleando las mismas condiciones de velocidad y altura del líquido se procedió a realizar la prueba.

Figura 69. Formación del vórtice a máxima altura de agua y rodete 2



Fuente: Autor

El cilindro que contiene el líquido en este caso no gira, únicamente gira la turbina que se encuentra en el interior, debido a ello el vórtice que se formó no presentó las características del vórtice analizado en el apartado 3.3.

5.1.3 Adquisición de datos

En el panel frontal, se posicionó un switch, para la activación de los transductores, cuando se haya seleccionado las revoluciones deseadas y el agua se encuentre en equilibrio relativo, se activa los transductores y los mismos empiezan a emitir la señal de corriente hacia la tarjeta de adquisición de datos.

Figura 70. Activación de los transductores

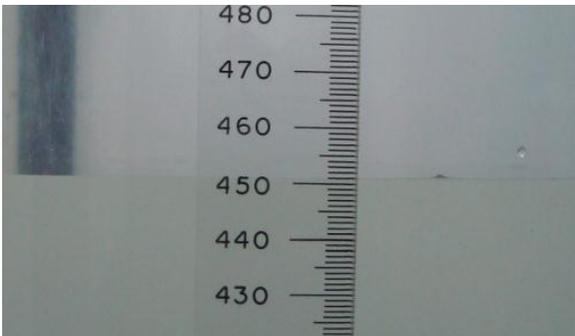


Fuente: Autor

Y con los transductores emitiendo la señal, y el sistema operando, se empiezan a adquirir la señal y se visualiza los resultados deseados en la interfaz gráfica.

Las pruebas realizadas en el apartado 5.1.2 en condiciones máximas de velocidad y de nivel máximo de líquido, se realizaron además mediante la adquisición de datos en la interfaz gráfica cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 17 Adquisición de datos con condiciones de velocidad y altura de líquido máxima

| DATOS ADQUIRIDOS | | | | | | | | | |
|--|------|------|-----------|------|--|------|-------|-----------|------|
| Altura del agua en reposo 450 mm | | | | | | | | | |
| Medido | | | | | Adquirido | | | | |
|  | | | | | PUNTO 1: <i>Altura de la columna de agua</i> m <input type="text" value="0,45"/> cm <input type="text" value="45"/> | | | | |
| | | | | | PUNTO 2: <i>Altura de la columna de agua</i> m <input type="text" value="0,45"/> cm <input type="text" value="45"/> | | | | |
| Datos de presión adquiridos | | | | | | | | | |
| Rodete 1 | | | | | Rodete 2 | | | | |
| Medido | | | Adquirido | | Medido | | | Adquirido | |
| P1 | P2 | | P1 | P2 | P1 | P2 | | P1 | P2 |
| 44.7 | 45.3 | 1 | 44.7 | 45,3 | 44.3 | 45.3 | 1 | 44,9 | 45,3 |
| | | 2 | 45 | 45.3 | | | 2 | 44.3 | 45.3 |
| | | 3 | 44,7 | 45,4 | | | 3 | 44 | 45.4 |
| | | 4 | 44.9 | 45.2 | | | 4 | 44.3 | 45 |
| | | 5 | 44.7 | 44.8 | | | 5 | 44,5 | 44,8 |
| | | 44,8 | 45,2 | | | 44,4 | 45,16 | | |

Fuente: Autor

5.2 Validación de resultados

Para la validación de resultados, se ha seleccionado de acuerdo a las prácticas realizadas una altura del agua de 15 cm, ya que con la misma se tiene una mayor

apreciación de la formación del vórtice, y una disminución en el tiempo para llegar al equilibrio relativo.

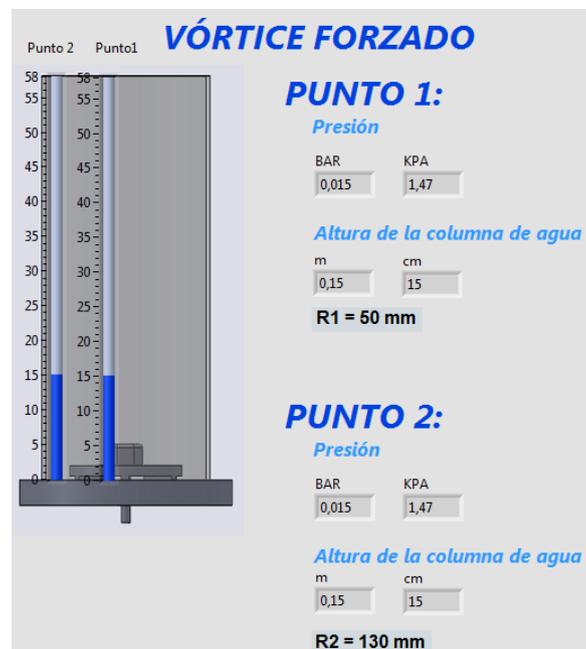
Figura 71. Llenado la altura del agua a 150 mm



Fuente: Autor

Se enciende el computador y se abre la aplicación Lab_vórtice_forzado.vi, que se encuentra en el escritorio, y se corre el programa dando clic en **RUN** . Se observa la altura del agua (m y cm), y la presión generada por la misma (bar y Kpa).

Figura 72. Verificación del nivel del agua del tanque



Fuente: Autor

Se seleccionan dos diferentes velocidades (frecuencias), para tener dos tipos de perfiles de vórtice.

Experimentalmente se seleccionaron dos frecuencias de 25 Hz y de 35 Hz, ya que con las mismas se tiene una mayor apreciación de la formación de vórtice, la frecuencia se encuentra relacionada con la velocidad de acuerdo a la ecuación.

$$n = \frac{60 * f}{P} \tag{43}$$

Siendo:

f = frecuencia

P = Número de pares de polos que tiene la maquina

n = Velocidad de sincronismo de la maquina (rpm)

Tabla 18. Cálculo de la velocidad del rotor

| VELOCIDADES | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----|
| Frecuencia (Hz) | Velocidad del campo magnético (rpm) | Velocidad Motor obtenida (rpm) | Velocidad Turbina obtenida (rpm) | |
| 25 | 750 | 739.35 | 100.83 | V1 |
| 35 | 1050 | 1039 | 140.25 | V2 |

Fuente: Autor

Velocidades del motor obtenidas, medida con el tacómetro de laser (ver anexo K)

Figura 73. Velocidad V1 y V2 del motor obtenidas



Fuente: Autor

Velocidades de la turbina obtenidas, medida con el tacómetro de laser (ver anexo K)

Figura 74. Velocidad V1 y V2 de la turbina obtenidas

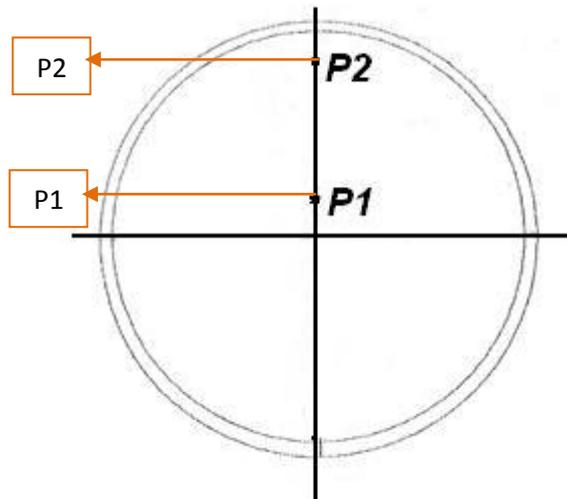


Fuente: Autor

Los puntos en los cuales se realiza la lectura son.

- P1 con un radio de 50 mm
- P2 con un radio de 130 mm

Figura 75. Distribución de las tomas de muestra



Fuente: Autor

5.2.1 Datos Obtenidos

Experimentalmente se tomarán los datos de la altura de la columna de líquido generada por la variación de la superficie que deja de ser horizontal debido a la formación del vórtice en los puntos 1 y 2.

Dichos datos son tomados a dos velocidades V1 y V2, de acuerdo a la tabla 18, y con las turbinas 1 y 2 (ver anexo J).

Debido a la resolución del transductor que se especificó en el apartado 3.8.1, es necesario realizar la toma de cinco lecturas para posteriormente mediante la media aritmética, tener un mayor acercamiento al resultado.

Se aplicara el cálculo del error entre los valores medidos y los valores promedio de los datos adquiridos para corroborar los resultados, mediante la ecuación:

$$E = \frac{|V_m - V_{\bar{h}}|}{V_m} * 100 \quad (44)$$

Dónde:

E = Error porcentual

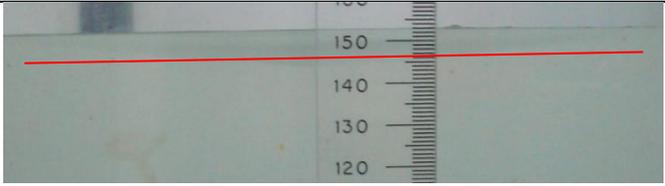
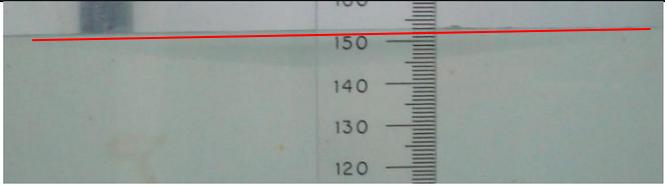
V_m = Valor medido

$V_{\bar{h}}$ = Valor de altura promedio

Turbina 1

Primera velocidad de prueba (rodete 100 rpm)

Tabla 19. Altura medida del líquido, la prueba con la turbina 1 y V1

| Altura del líquido medida visualmente | | |
|---------------------------------------|---------|--|
| Punto 1 | 14.6 cm |  |
| Punto 2 | 15.3 cm |  |

Fuente: Autor

Tabla 20. Datos adquiridos de la altura del líquido, la prueba con la turbina 1 y V1

| DATOS ADQUIRIDOS | | | | | |
|------------------|-------|------|-----------|-------|------|
| P1 | | | P2 | | |
| | cm | cm | | cm | cm |
| 1 | 14.3 | 14,3 | 1 | 15.1 | 15,1 |
| 2 | 14.5 | 14,5 | 2 | 14.8 | 15,1 |
| 3 | 14.5 | 14,5 | 3 | 15.1 | 15,1 |
| 4 | 14.7 | 14,7 | 4 | 15.4 | 15,4 |
| 5 | 14.3 | 14,3 | 5 | 15.1 | 15,1 |
| \bar{h} | 14.46 | | \bar{h} | 15.16 | |

Fuente: Autor

Cálculo del error porcentual:

Reemplazando los valores en la ecuación (44) se tiene:

En el punto 1

$$E = \frac{|14.6 - 14.46|}{14.6} * 100$$

$$E = 0.95 \%$$

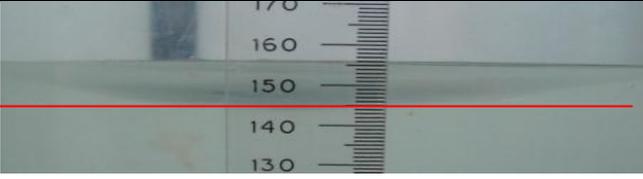
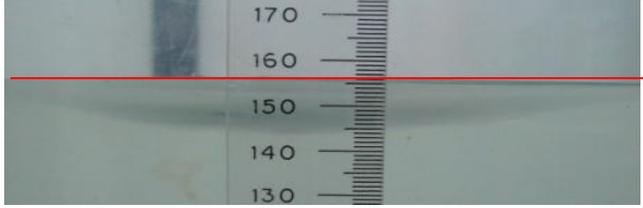
En el punto 2

$$E = \frac{|15.3 - 15.16|}{15.3} * 100$$

$$E = 0.91\%$$

Segunda velocidad de prueba (rodete 140 rpm)

Tabla 21. Altura medida del líquido, la prueba con la turbina 1 y V2

| Altura del líquido medida visualmente | | |
|---------------------------------------|---------|---|
| Punto 1 | 14.5 cm |  |
| Punto 2 | 15.6 cm |  |

Fuente: Autor

Tabla 22. Datos adquiridos de la altura del líquido, la prueba con la turbina 1 y V2

| DATOS ADQUIRIDOS | | | | | |
|------------------|-------|------|-----------|------|------|
| P1 | | | P2 | | |
| | cm | cm | | cm | cm |
| 1 | 14.4 | 14,4 | 1 | 15.8 | 15,8 |
| 2 | 14.4 | 14,4 | 2 | 15.8 | 15,8 |
| 3 | 14.4 | 14,4 | 3 | 15.8 | 15,8 |
| 4 | 14.5 | 14,5 | 4 | 15.2 | 15,2 |
| 5 | 14.2 | 14,2 | 5 | 16 | 16 |
| \bar{h} | 14.38 | | \bar{h} | 15.7 | |

Fuente: Autor

Cálculo del error porcentual

Reemplazando los valores en la ecuación (44) se tiene:

En el punto 1

$$E = \frac{|14.5 - 14.38|}{14.5} * 100$$
$$E = 0.82 \%$$

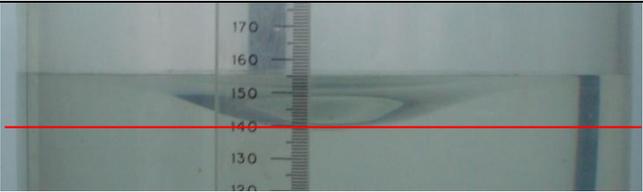
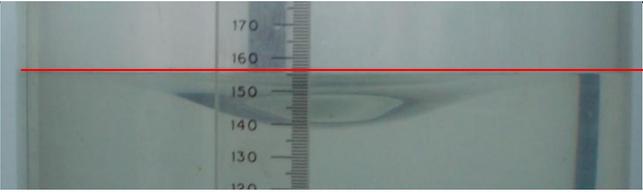
En el punto 2

$$E = \frac{|15.6 - 15.7|}{15.6} * 100$$
$$E = 0.64\%$$

Turbina 2

Primera velocidad de prueba (100 rpm)

Tabla 23. Altura medida del líquido, la prueba con la turbina 2 y V1

| Altura del agua medida visualmente | | |
|------------------------------------|---------|--|
| Punto 1 | 14 cm |  |
| Punto 2 | 15.6 cm |  |

Fuente: Autor

Tabla 24. Datos adquiridos de la altura del líquido, la prueba con la turbina 2 y V1

| DATOS ADQUIRIDOS | | | | | |
|------------------|------|------|-----------|-------|------|
| P1 | | | P2 | | |
| | cm | cm | | cm | cm |
| 1 | 13.8 | 13,8 | 1 | 15.6 | 15,6 |
| 2 | 13.9 | 13,9 | 2 | 15.2 | 15,2 |
| 3 | 13.7 | 13,7 | 3 | 15.6 | 15,6 |
| 4 | 13.5 | 13,8 | 4 | 15.4 | 15,4 |
| 5 | 13.9 | 13,9 | 5 | 15.5 | 15,5 |
| \bar{h} | 13.8 | | \bar{h} | 15.46 | |

Fuente: Autor

Cálculo del error porcentual

Reemplazando los valores en la ecuación (44) se tiene:

En el punto 1

$$E = \frac{|14 - 13.8|}{14} * 100$$

$$E = 1.4 \%$$

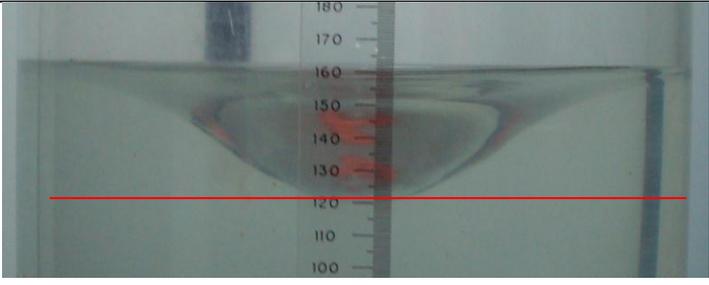
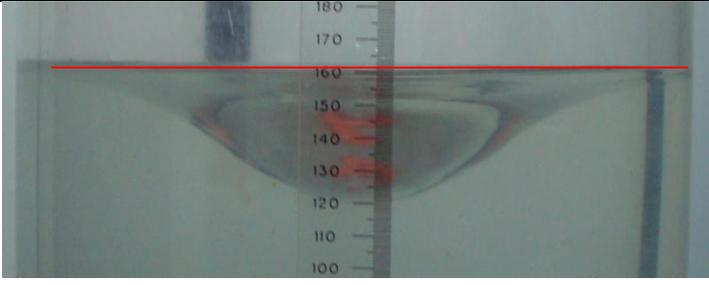
En el punto 2

$$E = \frac{|15.6 - 15.46|}{15.6} * 100$$

$$E = 0.89\%$$

Segunda velocidad de prueba (140 rpm)

Tabla 25. Altura del líquido medido, la prueba con la turbina 2 y V2

| Altura del líquido medida visualmente | | |
|---------------------------------------|---------|--|
| Punto 1 | 12.2 cm |  |
| Punto 2 | 16.1 cm |  |

Fuente: Autor

Tabla 26. Datos adquiridos de la altura del líquido, la prueba con la turbina 2 y V2

| DATOS ADQUIRIDOS | | | | | |
|------------------|-------|------|-----------|-------|------|
| P1 | | | P2 | | |
| | cm | cm | | cm | cm |
| 1 | 12.1 | 12,1 | 1 | 16.8 | 16,8 |
| 2 | 12.2 | 12,2 | 2 | 16.4 | 16,4 |
| 3 | 12 | 12 | 3 | 16.2 | 16,2 |
| 4 | 12.1 | 12,1 | 4 | 16.3 | 16,3 |
| 5 | 12.2 | 12,2 | 5 | 16.4 | 16,4 |
| \bar{h} | 12.12 | | \bar{h} | 16.42 | |

Fuente: Autor

Cálculo del error porcentual

Reemplazando los valores en la ecuación (44) se tiene:

En el punto 1

$$E = \frac{|12.2 - 12.12|}{12.2} * 100$$

$$E = 0.66 \%$$

En el punto 2

$$E = \frac{|16.1 - 16.42|}{16.1} * 100$$

$$E = 1.98 \%$$

CAPÍTULO VI

6. GUÍA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

6.1 Instrucciones de operación

Para el uso adecuado del equipo y para la realización del ensayo se deben seguir los siguientes pasos.

1. Conectar el equipo a una toma de 220 V monofásico.

Figura 76. Conexión del banco a la toma de 220 V



Fuente: Autor

2. Verificar si se enciende la luz de estado de apagado (color rojo).

Figura 77. Luz de estado apagado



Fuente: Autor

3. Cerciorarse que el reservorio se encuentre con agua, para evitar que la bomba trabaje sin agua.

Figura 78. Reservorio del banco



Fuente: Autor

4. Verificar que la válvula de recirculación se encuentre abierta, y que las válvulas de carga y descarga se encuentren cerradas.

Figura 79. Válvula de recirculación



Fuente: Autor

5. Presionar el botón de encendido ON (color verde) de la bomba.

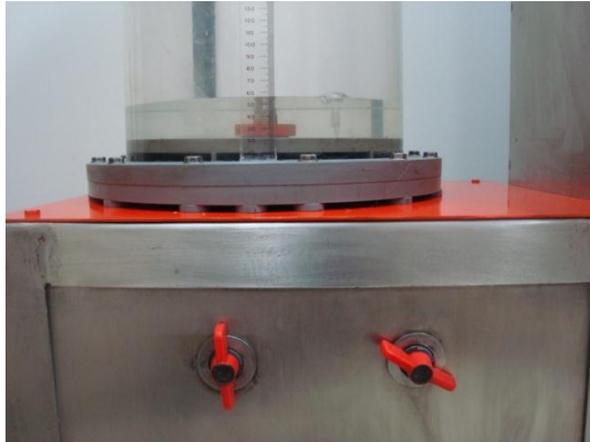
Figura 80. Luz de estado encendido de la bomba



Fuente: Autor

6. Abrir la válvula de carga del tanque para el llenado del mismo.

Figura 81. Llenado del tanque



Fuente: Autor

7. Una vez abierta la válvula de carga, cerrar un cuarto de vuelta la válvula de recirculación.

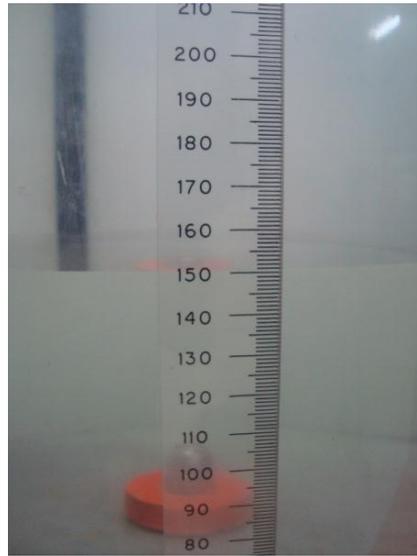
Figura 82. Cierre de 25% de la válvula de recirculación



Fuente: Autor

8. Una vez que se alcance la altura del agua deseada, cerrar la válvula de carga y presionar el botón OFF (botón rojo) de la bomba.

Figura 83. Llenado hasta la altura deseada



Fuente: Autor

9. Presionar el botón de marcha del motor en el variador, seleccionar la velocidad deseada, y esperar a que el agua se encuentre en equilibrio relativo.

Figura 84. Arranque y configuración de la velocidad del motor



Fuente: Autor

10. Encender el computador y entrar a la aplicación Lab_vórtice_forzado.vi.

Figura 85. Encendido del computador



Fuente: Autor

11. Activar los transductores y tomar los datos desde la interfaz gráfica como se especifico en el apartado 5.2.1.

Figura 86. Activación sensores



Fuente: Autor

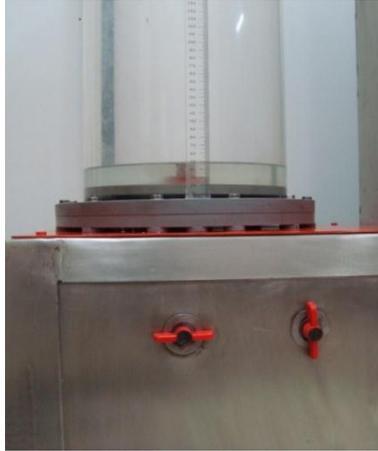
Figura 87. Toma de datos de la interfaz gráfica



Fuente: Autor

12. Accionar el botón de paro del motor en el variador de frecuencia, y abrir la válvula de descarga del tanque.

Figura 88. Vaciado del tanque



Fuente: Autor

13. Finalmente cortar la alimentación del banco, de la toma de 220 V.

6.2 Instrucciones de mantenimiento

Para la realización del mantenimiento se debes seguir los siguientes pasos.

1. Drenar periódicamente el agua que se encuentra en contacto con el transductor, para evitar que se formen residuos y se obstruya el ducto de toma de la muestra del transductor.

Figura 89. Drenaje de la toma del transductor



Fuente: Autor

2. Vaciar el sistema completamente abriendo todas las válvulas.
3. Realizar el mantenimiento propio del equipo de computación.
4. Mantener el tanque con la tapa superior para evitar e ingreso de impurezas, ya que las mismas pueden obstruir los orificios por los cuales se conecta el transductor a la toma de la muestra.

6.3 Plan de seguridad

6.3.1 Precaución

Antes de conectar el equipo al suministro eléctrico, verificar que sea el voltaje correspondiente.

Desconectar el equipo antes de los trabajos de mantenimiento

Los estudiantes deben manejar el equipo en presencia del ayudante o jefe de laboratorio.

No dejar caer líquidos al interior de partes eléctricas.

Lubricar la caja reductora para evitar sobrecalentamientos.

Después de cada práctica abrir la válvula de descarga para vaciar completamente el tanque cilíndrico.

Tener mucho cuidado con las partes en movimiento para evitar accidentes.

6.3.2 Cuidados

Luego de la limpieza del equipo secar bien todas sus partes.

Para reducir la corrosión del interior de la bomba se puede añadir al agua aditivos anticorrosivos.

Para que las mediciones sean más exactas purgar completamente el aire de las mangueras de los transductores.

Antes de encender la bomba revisar que el nivel del agua del tanque reservorio se encuentre lleno.

No apoyarse en el equipo ya que tiene partes frágiles y puede ocasionar daños graves.

No tocar los diferentes accesorios sin ser necesario, podría alterar los resultados u ocasionar daños al equipo.

Girar manualmente el eje de la bomba cada semana para evitar que se pegue fuertemente el rotor, por seguridad desconectar el equipo.

6.3.3 *Uso de equipo de protección personal*

Para que la seguridad del personal se mantenga, se controla de manera muy estricta el uso adecuado del Equipo de Seguridad Personal dentro de las zonas que así lo requieran. El equipo de protección personal (EPP) cumple con normas internacionales o con la normas INEN equivalentes a esas. Es obligatorio que el personal use durante la realización de ensayos los implementos de protección personal.

CAPÍTULO VII

7. COSTOS

Tomando en consideración de que se trata de un rediseño y que además en el laboratorio se disponía de algunos componentes para el equipo generador de vórtice como son:

Tabla 27. Componentes existentes en el laboratorio

| Denominación | Marca/modelo | Cantidad |
|-------------------------|--------------|----------|
| Contactador 120 V | LG | 1 |
| Bomba centrífuga 0.5 HP | Pedrollo | 1 |
| Pulsadores de control | N/A | 4 |
| Luz piloto de control | N/A | 2 |
| Computador Pentium 4 | N/A | 1 |

Fuente: Autor

Por lo tanto se ha considerado simplemente los materiales y equipos necesarios y faltantes para la modificación del banco.

7.1 Análisis de costos

Para este análisis se toma en consideración los siguientes rubros que inciden en los costos directos, indirectos y costo total:

Transporte

Adquisición de elementos necesarios para el rediseño (herramientas, cable, conectores, terminales, tornillos, pernos, tuercas, etc).

Arreglo del sistema

Mano de obra calificada

Pruebas y funcionamiento

7.1.1 Costos directos

Aquí se detalla la inversión fija que se necesitó:

Tabla 28. Costos directos por materiales y accesorios

| Elemento | Descripción | Unidad | Cantidad | P. unit | Costo |
|--------------------------|-----------------------------|--------|----------|--------------|---------------|
| MECÁNICO | | | | | |
| Electrodos | R 60 | Unidad | 14 | 1,40 | 19,60 |
| Disco de pulir | Norton BDA-640 1/4 x 7 in | Unidad | 2 | 3,60 | 7,20 |
| Disco de corte | Norton BDA-32 1/32 x 7 in | Unidad | 3 | 3,20 | 9,60 |
| Grata | 5in x 1800 rpm | Unidad | 1 | 4,60 | 4,60 |
| Lijas | # 200 | Unidad | 5 | 0,40 | 2 |
| pintura | Spray naranja | Unidad | 1 | 3,50 | 3,50 |
| Pernos | M6 X 35 | Unidad | 12 | 0,45 | 5,40 |
| Broca | 1/32 plg | Unidad | 2 | 1,20 | 2,40 |
| Broca | 1/4 plg | Unidad | 2 | 1,80 | 3,60 |
| HIDRÁULICO | | | | | |
| Tubería | Plastigama 1/2in | m | 6 | 8,60 | 8,60 |
| Codos | Plastigama 1/2in | Unidad | 11 | 0,35 | 3,85 |
| Neplos | Plastigama 1/2in | Unidad | 6 | 0,35 | 2,10 |
| Universales | Plastigama 1/2in | Unidad | 2 | 1 | 2 |
| ELÉCTRICO | | | | | |
| Transductores de presión | X'IAM 0-0.5bar | Unidad | 2 | 262,48 | 524,96 |
| Tarjeta de adquisición | National Instrument DAQ6008 | unidad | 1 | 325 | 325 |
| Cable flexible | TFF AWG 18 | m | 14 | 0,25 | 3,50 |
| | | | | Total | 927,91 |

Fuente: Autor

Tabla 29. Costos directos por maquinaria y equipos

| Máquinas/Herramientas | Costo/Hora | Horas Equipo | Costo(USD) |
|------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Amoladora | 2 | 9 | 18 |
| Dobladora Mecánica | 6 | 2 | 12 |
| Entenalla | 1 | 8 | 8 |
| Esmeril | 1 | 5 | 5 |
| Fresadora | 12 | 1 | 12 |
| Pulidora | 1 | 25 | 25 |
| Soldadora Eléctrica | 5 | 25 | 125 |
| Torno | 16 | 4 | 64 |
| Otros Equipos | | | 60 |
| | | TOTAL | 329 |

Fuente: Autor

Tabla 30. Costos directos por mano de obra

| Trabajador | Salario/Hora | Horas Hombre | Costo |
|-------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| Maestro mecánico | 3 | 64 | 192 |
| Ayudante mecánico | 1 | 80 | 80 |
| Maestro Tornero | 2 | 5 | 10 |
| | | TOTAL | 282 |

Fuente Autor

Tabla 31. Valor total costos directos

| Costo por | Valor(USD) |
|------------------------------|-------------------|
| Material y accesorios | 927,91 |
| Máquina y equipo utilizado | 329 |
| Mano de obra | 282 |
| Transporte | 60 |
| TOTAL COSTOS DIRECTOS | 1598,91 |

7.1.2 Costos indirectos

En los costos indirectos se estima un valor del 20% con relación a los costos directos, se considera una utilidad del 0% para fines de estudio realizado en el proyecto de tesis, estos valores se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 32 Costos indirectos

| TOTAL COSTOS INDIRECTOS | | |
|-------------------------------------|----------|---------------|
| DENOMINACIÓN | % | VALOR |
| Imprevistos costos directos | 5% | 79,94 |
| Montaje de equipos | 4% | 63,95 |
| Secretaria | 0 | 0.00 |
| Conserje | 0 | 0.00 |
| Servicios básicos (Luz, Agua, Telf) | 0 | 0.00 |
| Utilidad | 0 | 0.00 |
| Diseño ingenieril | 8% | 127,91 |
| Ingeniero residente | 0 | 0.00 |
| Construcciones provisionales | 2% | 31,97 |
| Combustible | 1% | 15,98 |
| TOTAL COSTOS INDIRECTOS | | 319,75 |

Fuente: Autor

7.1.3 Costo total

El costo total del proyecto está representado por la suma de los costos directos e indirectos, por lo tanto se tiene:

Tabla 33 Costo total

| COSTO TOTAL | |
|--------------------------|-------------------|
| DENOMINACIÓN | TOTAL (\$) |
| COSTOS DIRECTOS | 1598,91 |
| COSTOS INDIRECTOS | 319,75 |
| COSTO TOTAL | 1918,66 |

Fuente: Autor

Se tiene un valor total de proyecto de tesis de **1918,66 dólares**, los mismos que son financiados por el estudiante encargado de la tesis.

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Se han logrado cumplir con los objetivos planteados al inicio del proyecto.

Se ha logrado introducir satisfactoriamente nueva tecnología de instrumentación con toma de datos en tiempo real, para un mejor aprendizaje en el laboratorio de Mecánica de Fluidos.

El nuevo diseño hidráulico para la alimentación del tanque, resulta de mayor facilidad, para la realización de las prácticas, reduciendo el tiempo de las mismas, además permite a futuro instalar un sistema hidráulico para medir pérdidas de energía.

El cuanto al nuevo diseño del equipo generador de vórtice, presenta una mayor facilidad para la operación de los equipos además de un mejor control de las revoluciones del motor al poseer un panel BOP del mismo variador y un monitor para visualizar la presión y la altura del agua.

El margen de error entre los valores adquiridos, y los medidos visualmente con la ayuda de la escala graduada colocada en el tanque, están dentro de un rango muy aceptable.

8.2 Recomendaciones

Se debe drenar periódicamente completamente el agua contenida en los transductores, ya que pueden almacenar impurezas y obstruir el libre acceso a la membrana de toma de muestra del transductor y alterar los resultados deseados.

Se recomienda cortar la alimentación eléctrica del banco al finalizar las prácticas, ya que las mismas al no realizarse periódicamente, y el banco al poseer dispositivos electrónicos puede incurrir en el deterioro de los mismos.

Se debe verificar que el switch de activación de los transductores se encuentren en OFF si no se requiere la adquisición de datos.

Al realizar el cambio de turbina tomar las debidas precauciones, ya que al ser de un material no tan resistente puede romperse.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FOUST ALAN S. Principios de operaciones unitarias. 2da. Ed. México: Continental, 2006. Pág 574
- [2] SHAMES IRVING H. Mecánica de fluidos. Tercera edición. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill, 1995. pág. 56
- [3] STREETER VICTOR L. Mecánica de Fluidos. 2da.ed. Mexico: McGraw-Hill, 1996. Pág. 37,710.
- [4] LARBURU, N. Máquinas, Prontuario: técnicas, máquinas herramientas. 13ra.ed. Madrid: Paraninfo, 2001. Pág. 89.

BIBLIOGRAFÍA

CRANE. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México: McGraw-Hill, 1970.

HAMROCK, B. Elementos de Máquinas. México: McGraw-Hill, 2000.

JAMES, D. Dinámica de los Fluidos. 2004.

LEMA J, Mecánica de Fluidos

MATAIX, C. Mecánica de Fluidos y máquinas hidráulicas. 2da. ed. Madrid: Del Castillo, 1986.

SIEMENS. Lista de parámetros SINAMICS G110: 2004

SOLID WORKS. Software de Modelado 3D.

STREETER, L. Mecánica De los fluidos. México. McGraw-Hill, 1972.

VIZCAÍNO, J. Labview entorno grafico de programación. : Alfaomega, 2006.

LINKOGRAFÍA

TRANSDUCTORES DE PRESIÓN

http://www.sensing.es/Transductores_de_presion_Cm.htm

2013-01-22

PARÁMETROS SINAMICS G110

<http://cache.automation.siemens.com>

2013-02-18