



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“PUESTA EN OPERACIÓN E INSTALACIÓN DE TOMA DE
DATOS EN TIEMPO REAL DEL BANCO HIDROCICLÓN DE
LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA”**

**GODOY VALDIVIEZO, DENNYS EDUARDO;
SUAREZ SÁNCHEZ, DIEGO FERNANDO**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR
2017

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-04-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

GODOY VALDIVIEZO DENNYS EDUARDO

Titulado:

**“PUESTA EN OPERACIÓN E INSTALACIÓN DE TOMA DE DATOS EN
TIEMPO REAL DEL BANCO HIDROCICLÓN DE LABORATORIO DE
TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez
DIRECTOR

Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo
MIEMBRO

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-04-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

SUAREZ SÁNCHEZ DIEGO FERNANDO

Titulado:

**“PUESTA EN OPERACIÓN E INSTALACIÓN DE TOMA DE DATOS EN
TIEMPO REAL DEL BANCO HIDROCICLÓN DE LABORATORIO DE
TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez
DIRECTOR

Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo
MIEMBRO

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GODOY VALDIVIEZO DENNYS EDUARDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “PUESTA EN OPERACIÓN E INSTALACIÓN DE TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL DEL BANCO HIDROCICLÓN DE LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2017-08-09

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez DIRECTOR			
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo MIEMBRO			

* 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.

Ing. Geovanny G. Novillo Andrade
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SUAREZ SÁNCHEZ DIEGO FERNANDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “PUESTA EN OPERACIÓN E INSTALACIÓN DE TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL DEL BANCO HIDROCICLÓN DE LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2017-08-09

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez DIRECTOR			
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo MIEMBRO			

* 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.

Ing. Geovanny Novillo Andrade
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, 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 de los Autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Godoy Valdiviezo Dennys Eduardo

Suarez Sánchez Diego Fernando

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Godoy Valdiviezo Dennys Eduardo y Suarez Sánchez Diego Fernando, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Godoy Valdiviezo Dennys Eduardo

Suarez Sánchez Diego Fernando

DEDICATORIA

Dedico a Dios quien me ha guiado y dado fortaleza para seguir adelante.

A mis padres, por su amor, sacrificio, valores y apoyo incondicional de superación a los retos que nos presenta la vida. A mis hermanos y sobrino por su motivación, cariño y por estar en los momentos más felices de mi vida.

Godoy Valdiviezo Dennys Eduardo

Este trabajo se lo dedico a Dios por guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante, enseñándome a enfrentar las adversidades que nos presenta la vida sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento, a mis padres que siempre me apoyaron y me guiaron por el buen camino.

Suarez Sánchez Diego Fernando

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud y fortaleza para lograr mis metas, a mi familia por sus consejos de superación. El más profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica y docentes por brindarme la oportunidad de cumplir con el sueño de ser un profesional.

Un agradecimiento especial para mis amigos, compañeros y personas que me apoyaron para culminar con éxito esta profesión.

Godoy Valdiviezo Dennys Eduardo

Agradezco a Dios por darme fortaleza, salud, vida y una gran familia que me supo brindar todo el cariño y confianza para ver culminada una meta muy importante en mi vida.

A mi familia quienes fueron mi gran motivación día tras día para seguir adelante y por quienes logre este triunfo tan significativo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por entregarme tanto conocimientos como valores que me han convertido en una nueva persona, un profesional que pueda servir y ser útil a la sociedad.

Suarez Sánchez Diego Fernando

RESUMEN

Los procesos de filtración de partículas son muy utilizados por su eficiencia en la separación, su mínima contaminación ambiental y bajo costo de mantenimiento por lo tanto se realizó la automatización de la adquisición de toma de datos en tiempo real del banco hidrociclón mediante el software LabVIEW el cual facilitara de forma práctica conocer el comportamiento de las variables físicas que intervienen en su operación y posteriormente la simulación en el Software Fluid Simulation sobre su funcionamiento. Se detalla los principios fundamentales del hidrociclón que son utilizadas para la separación de partículas, detallando sus zonas de operación, clasificación y componentes. Se realizó la repotenciación de los elementos constitutivos del banco Hidrociclón tales como: Bomba, reservorio, válvulas, tuberías, estructura, acoples y conexiones eléctricas. Se seleccionó los componentes e instrumentos para la automatización del banco detallando sus características principales y posteriormente a la instalación de tarjeta DAQ, sensores de presión, sensor de caudal y demás componentes requeridos para la automatización en el cual se describe procedimientos y recomendaciones para la instalación de estos componentes. Posteriormente se realiza la programación en el software LabVIEW con un lenguaje grafico amigable para el operador para así facilitar la operación del banco en el cual adquiere los datos de presión y caudal en tiempo real para generar el reporte con sus respectivas graficas en función del tiempo. Se realizó la simulación en el software SOLIDWORKS Fluid Simulation para observar como es el funcionamiento interno del hidrociclón y observando que en sus paredes existe el mayor esfuerzo debido a la presión del fluido. Se elaboró las curvas de distribución granulométrica de arena observando que la arena no cambia de propiedades físicas al momento de su recirculación y que mayores eficiencias de separación existen a bajas diferencias de presión. Finalmente se elabora un manual de operación y mantenimiento del banco con el objetivo de aumentar la vida útil, también se realiza una guía de laboratorio para la realización de las prácticas con los estudiantes para que refuercen sus conocimientos adquiridos en las aulas.

PALABRAS CLAVES: < HIDROCICLÓN>,<EFICIENCIA SEPARACIÓN PARTICULAS >,
<PRESIÓN FLUIDO DESCARGA>,<CAUDAL AGUA DE FORMACION>, <FLUID
SIMULATION (SOFTWARE)>

SUMMARY

The particles filtration processes are very used for their efficiency in the separation, its minimum environmental pollution and low cost of maintenance, therefore, an automatization of taking data acquisition in real time of hydro cyclone bank by LABVIEW software which will facilitates in a practical way knowing the behaviour of physical variables that intervene in their operation, and afterward the simulation in the Fluid Simulation software about its functioning. The essential principles of hydro cyclone are detailed that are used for the particles separation, detailing their separation zones, classifying and components. It was carried out the repowering of constitutive elements of hydro cyclone bank such as bomb, reservoir, valves, pipes, structure, couplers, and electrical connections. The components and instruments for the automatization of bank were selected, detailing its main characteristics and subsequently to the Installing a DAQ card, pressure sensors, flow sensor and other components required for the automatization in which are described procedures and recommendations for the installation of these components. Later it is done the programming in the LabVIEW software with a friendly graphic language for the operator in order to facilitate the bank operation in which it acquires the pressure and flow data in real time for generating the report with the respective graphics according to the time. It was conducted the simulation in Fluid Simulation SOLIDWORKS software in order to observe how is the internal functioning of hydro cyclone and that into its walls exists the great effort due to the flow pressure. The grain size distribution of sand curves was elaborated determining that the physical properties of sand not changed to the recirculation moment and that major efficiencies of separation exist for low-pressure differences. Finally, it was elaborated a manual of functioning and maintenance of bank with the objective to increase the useful life, also it is conducted a lab guide for the practical implementation with students in order to reinforce their acquired knowledge in the classroom.

KEY WORDS: <HYDROCYCLON>,<PARTICLES SEPARATION EFFICIENCY>,<PRESSURE DISCHARGE FLOW>, <FLOW>, < FLUID SIMULATION (SOFTWARE)>

CONTENIDO

RESUMEN

SUMMARY

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Formulación del problema	2
1.3	Justificación	2
1.3.1	<i>Justificación teórica</i>	2
1.3.2	<i>Justificación metodológica</i>	2
1.3.3	<i>Justificación práctica</i>	3
1.4	Objetivos	3
1.4.1	<i>Objetivo general</i>	3
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
2.	MARCO REFERENCIAL	
2.1	Conceptos.....	4
2.1.1	<i>Funcionamiento de un hidrociclón</i>	4
2.1.2	<i>Zonas de operación de un hidrociclón</i>	6
2.2	Clasificación y sus componentes de los hidrociclones.....	6
2.2.1	<i>Hidrociclón cónico</i>	6
2.2.2	<i>Hidrociclones cilíndricos</i>	7
2.2.3	<i>Componentes del banco de hidrociclón existente en el Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica</i>	8
2.3	Automatización del banco hidrociclón.....	13
2.3.1	<i>Concepto de automatización</i>	13
2.3.2	<i>Importancia de la automatización</i>	13
2.3.3	<i>Elementos de la automatización</i>	14
2.3.4	<i>Tipos de automatización</i>	14
2.4	Descripción de las variables físicas que interviene en la automatización	16
2.4.1	<i>Presión</i>	16
2.4.2	<i>Caudal</i>	17
2.5	Parámetros funcionales del banco hidrociclón.....	19

2.5.1	<i>Caudal de agua disponible</i>	19
2.5.2	<i>Presión a soportar</i>	19
2.5.3	<i>Eficiencia del hidrociclón</i>	19
2.6	Componentes y software utilizado en un sistema de adquisición de datos.	20
2.6.1	<i>Componentes de un sistema de adquisición de datos</i>	20
2.6.2	Sensor.....	20
2.6.3	<i>Dispositivo DAQ (data acquisition)</i>	21
2.6.4	<i>PC en un sistema DAQ</i>	21
2.6.5	<i>Software utilizado para la adquisición de datos LabVIEW</i>	21
3.	ESPECIFICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	
3.1	Definición del problema.....	23
3.2	Selección de sensores	23
3.2.1	<i>Especificaciones de los elementos para medir la presión en el banco de pruebas..</i>	23
3.3	Especificaciones de los elementos para medir el caudal en el banco de pruebas.....	24
3.3.1	<i>Sensor de flujo YF-S201</i>	24
3.3.2	<i>Medidor de agua modelo DVM-A</i>	26
3.4	Especificaciones de elementos adicionales	27
3.4.1	<i>Caja de mando</i>	27
3.4.2	<i>Control de encendido y apagado de la bomba centrífuga</i>	28
4.	REPOTENCIACIÓN Y MONTAJE DE EQUIPOS EN EL BANCO DE PRUEBAS	
4.1	Descripción del banco de pruebas antes de la automatización de la toma de datos..	29
4.2	Descripción de las partes constitutivas del banco de pruebas	31
4.3	Trabajos realizados antes de la automatización	32
4.3.1	<i>Bomba centrífuga</i>	32
4.3.2	<i>Hidrociclón</i>	33
4.3.3	<i>Tanque reservorio</i>	33
4.3.4	<i>Manómetros</i>	34
4.3.5	<i>Válvulas de tomas de muestra</i>	34
4.4	Trabajo posteriores.....	35
4.4.1	<i>Instalación de los sensores de presión PX-S201</i>	35

4.4.2	<i>Instalación del sensor de flujo</i>	37
4.4.3	<i>Instalación de la caja de mando</i>	39
5.	PROGRAMACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL DEL BANCO DE PRUEBAS	
5.1	Descripción del panel frontal del banco de pruebas.....	40
5.2	Configuración del sistema de adquisición de datos por medio de la tarjeta de adquisición (DAQ).....	41
5.3	Descripción de los elementos programados en LabVIEW	42
5.3.1	<i>Sensores de presión</i>	42
5.3.2	<i>Sensor de caudal</i>	44
5.3.3	<i>Generación de reportes</i>	47
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL BANCO DE PRUEBAS	
6.1	Análisis de resultados de las pruebas en el banco de hidrociclón	50
6.2	Datos adquiridos con el software	50
6.3	Datos adquiridos de los ensayos	51
6.3.1	<i>Toma de datos al inicio del hidrociclón (inflow)</i>	51
6.3.2	<i>Toma de datos a salida del hidrociclón (overflow)</i>	52
6.3.3	<i>Toma de datos a la salida inferior del hidrociclón (underflow)</i>	53
7.	SIMULACIÓN DEL BANCO HIDROCICLÓN UTILIZANDO SOLIDWORKS FLOW SIMULATION	
7.1	Introducción	55
7.2	SolidWorks Flow Simulation.....	55
7.3	Domino computacional	56
7.4	Tratamientos de contornos de SolidWorks Flow Simulation.....	57
7.5	Resolver	59
7.6	Realización de la simulación del banco de hidrociclón.	60
7.6.1	<i>Activación de SolidWorks Flow Simulation</i>	60
7.6.4	<i>Realizamos un nuevo proyecto con el nombre de cyclone.</i>	61
7.6.5	<i>Condiciones de frontera de flujo volumétrico</i>	65
7.6.6	<i>Condiciones de frontera de presión</i>	65
7.6.7	<i>Datos de presión generada por la bomba</i>	66

7.7	Ejecución de la simulación.....	67
7.8	Resultado.....	68
7.9	Trayectoria del fluido.....	68
7.9.1	<i>Insertar trayectoria</i>	69

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1	Conclusiones	70
8.2	Recomendaciones.....	70

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2.	Válvula de compuerta.....	9
Tabla 1-3.	Características del sensor YF-S201.....	25
Tabla 2-3.	Características del medidor tipo DVM-A.....	27
Tabla 1-4.	Elementos constitutivos del banco de pruebas de hidrociclón	31
Tabla 1-6.	Adquisición de datos	50
Tabla 2-6.	Toma de datos inflow	52
Tabla 3-6.	Toma de datos overflow	53
Tabla 4-6.	Apertura de válvula (%) versus partículas sólidas (gr).....	54
Tabla 1-7.	Resultados de la simulación SOLIDWORKS Flow Simulation	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2.	Diagrama esquemático del hidrociclón	5
Figura 2-2.	Muestra un mapa de las zonas de influencia en un hidrociclón	6
Figura 3-2.	Clasificación del hidrociclón.....	8
Figura 4-2.	Conjunto motobomba	9
Figura 5-2.	Válvula de compuerta.....	10
Figura 6-2.	Válvula de globo	10
Figura 7-2.	Manómetro	11
Figura 8-2.	Manómetro	11
Figura 9-2.	Válvula de globo	12
Figura 10-2.	Medidor de agua digital.....	12
Figura 11-2.	Reservorio	12
Figura 12-2.	Tipo de presión.....	12
Figura 13-2.	Manómetro de bourdon	17
Figura 14-2.	Medidor de agua digital.....	19
Figura 15-2.	Componentes de un sistema de adquisición de datos	20
Figura 16-2.	Sensor de presión.....	20
Figura 17-2.	Tarjeta de adquisición de datos DAQ NI-6009	21
Figura 1-3.	Manómetro instalado en el banco de pruebas de hidrociclón.....	24
Figura 2-3.	Transductor de presión PX409	24
Figura 3-3.	Sensor de flujo YF-S201	24
Figura 4-3.	Medidor de agua tipo DVM-A	267
Figura 5-3.	Caja de mando	28
Figura 6-3.	Control de encendido y apagado del sistema	28
Figura 1-4.	Banco de pruebas de hidrociclón.....	29
Figura 2-4.	Conjunto de motobomba	33
Figura 3-4.	Hidrociclón.....	33
Figura 4-4.	Tanque reservorio.....	34
Figura 5-4.	Manómetro	34
Figura 6-4.	Válvulas de toma de muestra.....	35
Figura 7-4.	Montaje de los sensores de presión en la balanza	36
Figura 8-4.	Instalación del sensor de presión PX409.....	36
Figura 9-4.	Distancia optima de instalación del sensor de flujo	37
Figura 10-4.	Distancia del sensor.....	37

Figura 11-4.	Instalación del sensor de flujo	38
Figura 12-4.	Instalación de la caja de mando.....	39
Figura 1-5.	Panel frontal banco de pruebas de hidrociclón.....	40
Figura 2-5.	Sistema de adquisición de datos	41
Figura 3-5.	Características opcionales de la DAQ 6009	42
Figura 4-5.	Definición del tipo de señal a ser medida.....	42
Figura 5-5.	Selección del puerto de la DAQ 6009 para el sensor de presión.....	43
Figura 6-5.	Configuración de los sensores de presión.	43
Figura 7-5.	Programación de los sensores de presión.	44
Figura 8-5.	Señal por la DAQ 6009 para el sensor de caudal	45
Figura 9-5.	Selección de puertos para el sensor de caudal.....	45
Figura 10-5.	Configuración de puertos para el sensor de caudal	46
Figura 11-5.	Programación del sensor de caudal	46
Figura 12-5.	Programación de generación de reportes.....	48
Figura 13-5.	Plantilla generada del reporte.	49
Figura 1-6.	Caudal vs Tiempo.....	50
Figura 2-6.	Presión vs Tiempo	51
Figura 3-6.	Apertura de válvula (%) versus partículas sólidas (gr).....	52
Figura 4-6.	Apertura de válvula (%) versus partículas sólidas (gr).....	53
Figura 5-6.	Apertura de válvula (%) versus partículas sólidas (gr).....	54
Figura 1-7.	Malla Ajustada ha solido no estructurada	57
Figura 2-7.	Malla con aleta en solido estructurada	58
Figura 3-7.	Combinación de malla cartesiana y malla ajustada.	58
Figura 4-7.	Malla de cuerpo sumergido cartesiana estructurada.....	59
Figura 5-7.	Activación del Flow Simulation.....	60
Figura 6-7.	Apertura del cyclone	61
Figura 7-7.	Sellado de orificios de hidrociclón.....	61
Figura 8-7.	Activacion de Wizard.....	62
Figura 9-7.	Nuevo proyecto	62
Figura 10-7.	Configuración de unidades.....	62
Figura 11-7.	Tipo de análisis.....	63
Figura 12-7.	Selección del tipo de fluido	63
Figura 13-7.	Condiciones de pared	64
Figura 14-7.	Condiciones iniciales.....	64
Figura 15-7.	Condiciones de frontera volumen de control.....	65
Figura 16-7.	Condiciones de frontera de flujo volumétrico parte superior	66

Figura 17-7.	Condiciones de frontera de flujo volumétrico	66
Figura 18-7.	Condiciones de frontera de presión	67
Figura 19-7.	Ejecución de simulación.....	67
Figura 20-7.	Trayectoria de fluido	69
Figura 21-7.	Análisis de Trayectoria.....	69

ABREVIACIONES

DAQ	Dispositivo data acquisition
SI	Sistema internacional
CFD	Dinámica de fluidos computacionales
PML	Ciclo de vida del producto

LISTA DE ANEXOS

- A** Datos de los instrumentos para la adquisición de datos
- B** Calibración de instrumentos
- C** Generación de reportes del software
- D** Manual de mantenimiento, manual de operación y guías de laboratorio
- E** Mantenimiento de la bomba

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El avance de la tecnología es un aporte fundamental para el desarrollo industrial y más aún para la formación del estudiante como profesional, donde la calidad de los mismos no se base simplemente en los conocimientos y habilidades que se obtengan con un plan de estudios, sino en combinar estos aspectos con tecnología de vanguardia que es lo que exige hoy en día la industrial mundial.

Los hidrociclones conocidos también por ciclones, forman una clase importante de equipos destinados principalmente a la separación de una mezcla heterogénea entre sólido- líquido, las automatizaciones del banco de pruebas de hidrociclón han formado parte esencial en la formación de un Ingeniero Mecánico, más específicamente en la creación de sistemas de medida y control en el campo de la ingeniería hidráulica.

La formación de los estudiantes exige que los laboratorios estén en condiciones funcionales, con equipos e instrumentos debidamente actualizados y precisos para obtener resultados fiables y satisfactorios, para de esta manera aportar con el desarrollo social en este mundo globalizado en que los avances tecnológicos son cada vez más exigentes.

La implementación de nuevas tecnologías de beneficio de la optimización y mejora de resultados en cada uno de las prácticas de laboratorio en este banco de pruebas, ha sido beneficiosa, pero también se debe considerar que el paso del tiempo y el trabajo hacen que se deterioren partes mecánicas y se pierdan características de precisión en equipos e instrumentos.

El banco de hidrociclón que se encuentra en el Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica se encuentra sin uso aproximadamente 12 años por lo cual nos hemos puesto el reto de dejar en pleno funcionamiento del banco de hidrociclón.

1.2 Formulación del problema

En el laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica se encuentra el banco del hidrociclón sin funcionamiento desde al año 2005, por lo que se han deteriorado sus elementos principales como la de la carcasa del hidrociclón además de la falta de un manual de operación y mantenimiento del mismo, por lo cual no existe la posibilidad de realizar las prácticas, por lo que se propone realizar la instalación y automatización de la toma de datos en tiempo real del hidrociclón, para que los estudiantes puedan realizar prácticas y obtengan mayor conocimiento acerca de este equipo.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación teórica*

El proceso de separación de partículas ha presentado grandes inconvenientes al momento de tratar suelos muy contaminados ya que al realizar la separación de las partículas de aguas contaminadas estos requieren de altos tiempos de sedimentación debido a las velocidades de sedimentación de los suelos finos, es por esta razón, que se propone realizar la instalación y automatización del hidrociclón.

1.3.2 *Justificación metodológica*

La industria minera es el principal usuario de los hidrociclones, siendo aplicando en clasificación de líquidos, espesamientos, ordenamiento de partículas por densidad o tamaño y lavado de sólidos.

Para la instalación y automatización de la toma de datos del hidrociclón se deberá considerar parámetros principales de selección, programación y simulación, la cual se conforma de un conjunto de conocimientos, habilidades, capacidades, destrezas y aptitudes, las mismas que aportaran a la repotenciación del hidrociclón.

Por lo tanto, es muy importante ser competitivos mostrando los conocimientos adquiridos en toda la carrera profesional, aportando de esta manera a la sociedad con información tecnológica y principalmente a nuestra Institución.

1.3.3 *Justificación práctica*

Este proyecto de titulación se centra en la instalación y automatización del banco del hidrociclón de laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica, que permita determinar la toma de datos en tiempo real.

Lo cual ayudara a los estudiantes de la Facultad de Mecánica a fortalecer un amplio conocimiento acerca del hidrociclón, al momento de realizar la practica en el banco.

1.4 **Objetivos**

1.4.1 *Objetivo general*

Puesta en operación e instalación de toma de datos en tiempo real del banco hidrociclón de laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la facultad de Mecánica.

1.4.2 *Objetivos específicos*

Realizar el estudio del arte de la toma de datos en tiempo real de los hidrociclones.

Analizar y reparar las averías en el banco hidrociclón de laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la facultad de Mecánica.

Automatizar la toma de datos en tiempo real del banco hidrociclón de laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la facultad de Mecánica.

Realizar una simulación en el programa Fluid Simulation sobre el funcionamiento del banco hidrociclón.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

Conceptos y funcionamiento del hidrociclón

2.1 Conceptos

Según (REYES, 2010) Se denomina hidrociclón al sistema que trabaja con suspensiones de sólidos con agua, ésta es inyectada a una velocidad y presión relativamente alta, utilizando la fuerza centrífuga para acelerar la sedimentación de las partículas.

Por otro lado (TERMINESP, 2016) dice que es un dispositivo en el que las partículas en suspensión de densidad mayor que la del agua se separan de la misma mediante una fuerza centrífuga resultante de un flujo de agua forzado a efectuar un movimiento rotativo por diversos medios.

A si mismo (THERMOPEDIA, 2011) dice que el hidrociclón es una simple pieza de equipo que utiliza presión de fluido para generar fuerza centrífuga y un patrón de flujo que puede separar partículas o gotitas de un medio líquido. Estas partículas o gotitas deben tener una densidad suficientemente diferente con respecto al medio para lograr la separación. }

2.1.1 *Funcionamiento de un hidrociclón*

Este se fundamenta en que la alimentación de la pulpa a suficiente presión, ingresa tangencialmente a la sección cilíndrica del hidrociclón por la parte superior.

La fuerza centrífuga actuará sobre las partículas gruesas que son proyectadas siguiendo una trayectoria helicoidal hacia el extremo inferior de las paredes del hidrociclón y luego descienden, donde son colectadas y descargadas por el ápice. (KELLY, 1990)

Mediante el efecto de la estrangulación del paso de la parte cónica inferior la pulpa rotante se separa en dos flujos, uno que se dirige a las paredes del ciclón y otro que asciende. De esta manera el material grueso o más pesado se concentra en las paredes, siendo expulsado por la parte inferior denominada ápice y el material más liviano por la parte superior llamado derrame.

La gravedad específica juega un papel muy importante en la clasificación de las partículas, ya que controla la consistencia de la descarga del hidrociclón

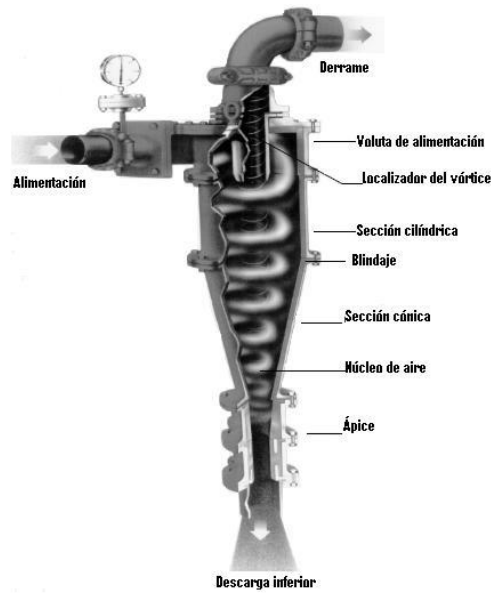


Figura 1-2. Diagrama esquemático del hidrociclón

Fuente: (KREBS, 2009)

- a) Entrada de material: En esta parte se controla la entrada de material, la velocidad de la pulpa y tiene la finalidad de pre-orientar a las partículas a su punto tangencial de contacto con las paredes del cilindro.
- b) Derrame: Es otra parte importante en la operación, ya que es el más crítico y su tamaño tiene influencia en la presión para un volumen determinado y generalmente se tiene que entre más grande es su diámetro, mayor proporción de sólidos van al derrame y por el contrario, si el localizador del vórtice tiene un diámetro pequeño significa un derrame fino con baja concentración de sólidos.

Para todo tipo de pulpa, debe buscarse un balance óptimo con una dilución permitida entre el localizador del vórtice más grande y la presión más baja posible para el objetivo que se desee.

- c) Ápice: Su función es descargar el suelo grueso, de tal forma que se obtenga su máxima densidad, por lo tanto, debe ser de tamaño adecuado para permitir la máxima salida de suelo en la forma cónica.

2.1.2 Zonas de operación de un hidrociclón

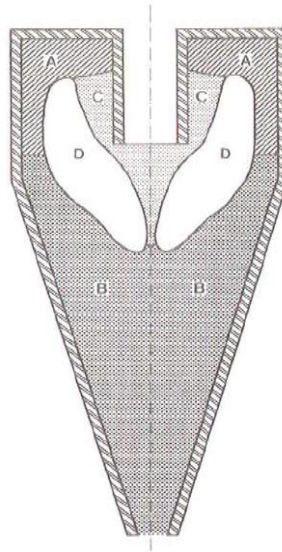


Figura 2-2. Muestra un mapa de las zonas de influencia en un hidrociclón

Fuente: (Performance and desing of Hidrocyclones, 1960)

Zona A.- Predomina la pulpa no clasificada en la parte estrecha adyacente a la pared cilíndrica del ciclón.

Zona B.- Esta zona ocupa gran parte del cono del hidrociclón y contiene una gran cantidad de partículas gruesas. La distribución del tamaño es prácticamente uniforme y es similar al producto que se obtiene en el ápice.

Zona C.- En esta zona existe una gran proporción de producto fino, ubicada alrededor del localizador del vórtice y se extiende por debajo de la parte posterior.

Zona D.- A través de esta región se da la clasificación radialmente, así el tamaño de las partículas disminuye al máximo al estar más cerca del eje del hidrociclón. (REYES, 2010)

2.2 Clasificación y sus componentes de los hidrociclones

2.2.1 Hidrociclón cónico

Este tipo de hidrociclones se pueden sub clasificar de acuerdo al ángulo de su parte cónica.

2.2.1.1 Cono pronunciado, convencionales

Estos hidrociclones están diseñados con un ángulo menor de 20°, son caracterizados por un cuerpo relativamente largo debido a su conicidad. Este diseño está acompañado de partes cilíndricas de

gran longitud, y toberas de alimentación y rebose de pequeñas dimensiones, para aumentar el tiempo de residencia.

Por su diseño estos hidrociclones son más adecuados para clasificaciones finas, como se requiere en operaciones de clarificado y espesado.

En general, solamente los hidrociclones de pequeño y medio diámetro, hasta 250 mm, se construye con conicidad pronunciada, y trabajan a presiones medias, entre 150 y 400 KPa, obteniendo tamaños de corte entre 2 y 30 micras. (BOUSO, 1990)

2.2.1.2 *Cono tendido*

Este tipo de hidrociclones tiene un ángulo mayor a 20° , son muy usados para clasificar por tamaño y por densidad, el ángulo de su parte cónica varía entre 20° y 45° , aunque excepcionalmente pueden encontrarse hidrociclones de hasta 60° .

Son construidos en diámetros comprendidos entre 250 mm y 1250 mm, pero algunos fabricantes han diseñado modelos con un diámetro de 2000 mm.

Una aplicación muy conocida de este tipo de hidrociclones es el lavado de carbón con los llamados “ciclones de agua”, y los ciclones operando en medio denso, utilizados para tratamiento de minerales pesados. (BOUSO, 1990)

2.2.2 *Hidrociclones cilíndricos*

Podrían incluirse dentro de la clasificación anterior, como hidrociclones de cono tendido, pero no se diferencia del cuerpo cilíndrico por el ángulo de 180° , es decir fondo perpendicular a la pared lateral, y también porque su campo de aplicación difiere notablemente de los anteriores, y pueden sub clasificarse de la siguiente manera. (BOUSO, 1990)

2.2.2.1 *Con descarga periférica*

Consisten, básicamente en un ciclón convencional de cual se ha eliminado su zona cónica, replazándola por una parte cilíndrica de similar longitud

El fondo del ciclón es plano y la extracción del producto grueso se realiza tangencialmente por la zona baja de la pared cilíndrica, este diseño provoca una descarga muy diluida, debido a partículas finas en suspensión en el líquido acompañado a la descarga, por lo tanto, la eficiencia de separación se reduce. (BOUSO, 1990)

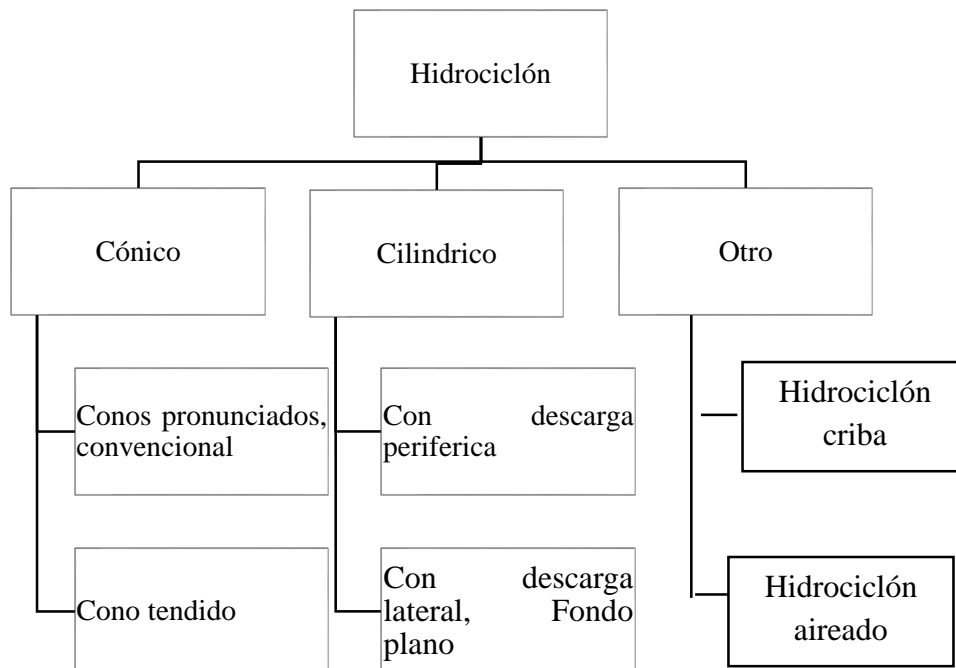


Figura 3-2. Clasificación del hidrociclón

Fuente: Autores

2.2.3 Componentes del banco de hidrociclón existente en el Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica.

Los elementos del equipo son:

2.2.3.1 Conjunto motobomba

Las bombas son dispositivos encargados de transmitir energía a la corriente de un fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otra de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual lo podemos encontrar dentro de la carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de este y suministrándosele energía cinética mediante alabes que se encuentran en el impulsor para posterior descargar el fluido en la voluta, el cual se expande

gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática.
(fluido)

En el presente trabajo de titulación se utilizó un conjunto de motobomba de 1Hp de potencia y caudal de 1.3 Lt/s



Figura 4-2. Conjunto motobomba

Fuente: (D'AGUA, 2016)

2.2.3.2 Válvula reguladora de caudal

Para regular el caudal se utilizará una válvula de compuerta con la siguiente descripción:

Tabla 1-2. Válvula de compuerta.

Descripción	Adaptable a cualquier
Instalación	Industrial, domestica, y a cualquier tipo de sistema hidráulico, calefacción, neumático.
Código	SERIE 01C100
Acabado	Bronce
Material	Aleación de Cobre

Fuente: (Pacífico, 2011)



Figura 5-2. Válvula de compuerta

Fuente: (Pacífico, 2011)

2.2.3.3 *Válvula de toma de muestras a la entrada*

Se utiliza una válvula de globo de 3/4 in



Figura 6-2. Válvula de globo

Fuente: (val-sa, 2016)

2.2.3.4 *Medidor de presión de ingreso*

Para medir la presión en la entrada del Hidrociclón se utiliza un manómetro con capacidad de medición de 30 psi.



Figura 7-2. Manómetro

Fuente: (AMETEK, 2016)

2.2.3.5 *Hidrociclón*

Se utiliza el existente en el Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica.

2.2.3.6 *Medidor de presión a la salida*

Para medir la presión en la salida del Hidrociclón se utilizará un manómetro con capacidad de medición de 30 psi



Figura 8-2. Manómetro

Fuente: (AMETEK, 2016)

2.2.3.7 *Válvula de toma de muestra a la salida*

Se utiliza una válvula de globo de 3/4 in



Figura 9-2. Válvula de globo

Fuente: (val-sa, 2016)

2.2.3.8 *Medidor de caudal*

Es utilizado un medidor volumétrico, en el que se tendrá que tomar los tiempos respectivos para un determinado volumen con ayuda de un cronometro.



Figura 10-2. Medidor de agua digital

Fuente: (impex, 2017)

2.2.3.9 *Reservorio*

Para la suspensión agua-arena. Se dispondrá de un reservorio con capacidad de 60 litros.



Figura 11-2. Reservorio

Fuente: (pixes, 2016)

2.3 Automatización del banco hidrociclón

2.3.1 Concepto de automatización

La automatización se considera como el conjunto de métodos y procedimientos utilizados para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. Dentro del ambiente de producción, desde inicios en la era industrial, hasta hoy en día se considera que la automatización pasó de ser una herramienta de trabajo deseable a una indispensable para competir en el mercado en cuanto a eficiencia, calidad, brevedad de los procesos y confort humano.

Hoy en día ningún empresario puede omitir la automatización de sus procesos para elevar la calidad de sus productos, además de reducir los desperdicios a los elementos mal elaborados siendo en lo económico más rentable.

Entre los objetivos que tiene la automatización es reducir la intervención, al aburrimento y posibilidad de error humano; incrementar la productividad, realizar operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente; mejorar la disponibilidad de los productos es decir disponer las cantidades necesarias en el momento preciso, permite mejorar el mantenimiento haciendo fácil; integrar gestionar y producción; la automatización es viable si se evalúan los beneficios económicos y sociales de las mejoras que se obtienen.

2.3.2 Importancia de la automatización

La tendencia mundial que siempre el humano ha buscado en la comodidad y mejoramiento de acuerdo a las constantes necesidades y circunstancias, provocando satisfacción en la exigencia y competitividad en el mercado.

Se ha realizado estudios que demuestran como las empresas que se han sometido a la automatización de sus procesos, usando implementación adecuada, asesoría correcta, han llegado a aumentar su producción.

La automatización destaca una gran capacidad innovadora, potenciando su flexibilidad para adaptarse al nuevo panorama que nos entrega el mundo globalizado, buscando nuevos servicios de automatización, favoreciendo el ahorro de energía, la integración de procesos de alta complejidad, incorporando dispositivos de control que han contribuido significativamente en la optimización de los procesos productivos, siendo esto relativamente ventajoso, ya que existe menos probabilidad de equivocarse, además de evitar el contacto del producto con el ser humano siendo mucho más higiénico en el proceso, la confiabilidad y la calidad del producto final, u obtención de resultados, sabiendo que tiene un alto costo pero los resultados son inmediatos. (CHICALA, 2004)

2.3.3 Elementos de la automatización

El mercado de hoy en día, permite que la industria elabore elementos más pequeños, y eficientes y que van de acuerdo a una necesidad específica, es decir el sistema funciona mediante el uso de captadores o sensores, los cuales son básicamente instrumentos de medición, los que permiten recibir información sobre su funcionamiento de variables que deben ser controlados como presión, velocidad, caudal es decir variables cuantificables, convirtiéndose en señales, las cuales están siendo repetitivamente comparadas por medio de una computadora con normas establecidas, arrojando valores necesarios para lograr determinar variables.

Al no concordar la señal con lo programado, de inmediato se genera una nueva señal es decir una instrucción, por lo que se acciona un actuador que por lo general son válvulas o motores.

Dentro de los elementos necesarios también son considerados los transmisores de campo, los sistemas de control, supervisión, recolección de datos y aplicaciones de software, simuladores en tiempo real para supervisar y controlar los distintos procesos industriales.

En resumen, la automatización de un proceso industrial es la incorporación esencial de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguran un control y correcto funcionamiento de máquinas y equipos que conllevan a procesos eficientes. (CHICALA, 2004)

2.3.4 Tipos de automatización

Existen tres clases los cuales se enunciarán a continuación.

- Automatización fija.
- Automatización programable.
- Automatización flexible.

2.3.4.1 *Automatización fija*

Se utiliza para obtener productos en serie, en menos tiempo, su demanda, y su volumen, por lo cual lo hace un poco caro ya que los equipos para su elaboración son grandes y ubicados en lugares amplios y espaciosos; la finalidad de este tipo es a mayor cantidad de producción disminuye su costo; el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Una de las condiciones que presenta en su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado. (CHICALA, 2004)

Las características básicas de este tipo son las siguientes:

- Presenta una secuencia sencilla de operación.
- Requiere una inversión elevada en equipos especializados.
- Tiene elevados ritmos de producción.
- Es inflexible para adaptarse a los cambios de los productos.

2.3.4.2 *Automatización programable*

Se considera cuando el volumen de producción es relativamente pequeño y hay una diversidad de producción a obtener es decir los equipos pueden cambiar de secuencia con el objetivo de adaptarse a la elaboración de productos diferentes. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a la variación de configuraciones del producto; esta adaptación se realiza por medio de un programa; unos ejemplos son los robos industriales. (CHICALA, 2004)

Las características más importantes son:

- Fuerte inversión en equipo general, como los propios sistemas de control.
- Índices bajos de producción para la automatización fija.
- Tiene mayor flexibilidad para lidiar con modificaciones en la configuración del producto si se requiere la necesidad de cambiarlo o mejorarlo.
- Es conveniente para la producción en montones y de diversas cualidades.

2.3.4.3 *Automatización flexible*

Es la modificación entre los dos tipos de automatización flexible y fija, permitiendo considerarse para un rango de producción media, en las que se puede realizar modificaciones en los programas y cambiar la relación entre los diferentes elementos que lo contribuyen. Los sistemas flexibles se componen por una serie de estaciones de trabajo interconectados entre si por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora. (CHICALA, 2004)

Las características que distinguen la automatización flexible de la programable son:

- Producción continua de mezclas y lidiar de alguna variable de productos.
- Posee un índice de producción media.
- Flexibilidad para lidiar con las variaciones en diseño del producto.

2.4 **Descripción de las variables físicas que interviene en la automatización**

2.4.1 *Presión*

Se puede definir a la presión como la fuerza ejercida en dirección perpendicular a una superficie

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde;

P=Presión [*Psi*]

F=Fuerza [*lb*]

A=Área [*cm²*]

La presión se presenta de varias formas, ya que la podemos encontrar en cualquier medio y en cualquier lugar, a esta presión se la denomina presión atmosférica y varia con la altura del lugar donde se encuentre. La otra forma de encontrar la presión es en lugares presurizados o que no tengan influencia del exterior a este tipo de presión se la denomina presión manométrica.

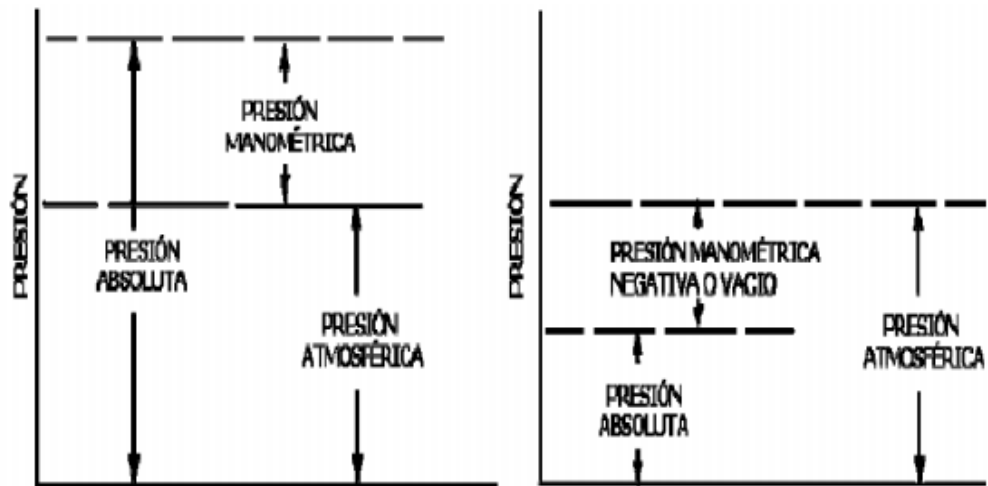


Figura 12-2. Tipo de presión

Fuente: (MATAIX, 1982)

2.4.1.1 Medidores de presión utilizados en el banco de pruebas del Hidrociclón

En este proyecto de titulación se utilizó manómetros mecánicos tipo de bourdon que emplea como elemento sensible un tubo metálico curvado o torcido, de sección transversal aplanado. Un extremo del tubo está cerrado, y la presión que se va a medir se aplica por el otro extremo. A medida que la presión aumenta, el tubo tiende a adquirir una sección circular y enderezarse. El movimiento del extremo libre (cerrado) mide la presión interior y provoca el movimiento de la aguja. (villa, 2015)



Figura 13-2. Manómetro de bourdon

Fuente: (WIKA, 2017)

2.4.2 Caudal

Es una de las variables más importantes, donde para la medición se debe de tener cuidado ya que variables como la temperatura, viscosidad, densidad, corrosión, y entre otras pueden modificar de

una manera drástica la medida de la misma. Existen instrumentos que pueden medir diferentes tipos de fluidos ya sean líquidos, gaseosos o una mezcla de ambos.

Podemos definir al caudal o flujo como el volumen del fluido que atraviesa una sección transversal en una unidad de tiempo.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Donde;

Q=Caudal $[m^3/s]$

V= Volumen $[m^3]$

T=Tiempo $[s]$

2.4.2.1 *Medidores de caudal utilizados en el banco de pruebas de Hidrociclón*

Para la medición de caudal se optó por un elemento que se fundamenta en el principio de medidor de agua digital, las características se describen a continuación.

Medidor de agua digital. Medidor de agua electrónico GPI ideal para mediciones de agua económica y exacta. Diseño compacto, se instala directamente en la tubería. Adecuado para agua.

Exactitud: $\pm 5\%$.

Medición de horas: 2000 horas; 2 pilas de litio AAA.

Indicador: total acumulativo, total por lotes, ultimo total de reposición.

Diseño: caja de nilón.

Presión máxima de trabajo: 10bar.

Temperatura máxima: 60°C



Figura 14-2. Medidor de agua digital

Fuente: (impex, 2017)

2.5 Parámetros funcionales del banco hidrociclón

Se considera como parámetros funcionales de los hidrociclones aquellos que dan la característica a los mismos.

Estos parámetros sirven para la selección de los diferentes instrumentos utilizados en la automatización.

2.5.1 Caudal de agua disponible

Debe de tener muy poca variación en el proceso de recirculación en el proceso de separación, ya que el recipiente debe de tener una cantidad de 20 litros para su funcionamiento.

2.5.2 Presión a soportar

Según los datos de diseño la presión que soportara es de 100 psi a la entrada y una variación a la salida por las pérdidas por accesorios.

2.5.3 Eficiencia del hidrociclón

La eficiencia o rendimiento de un hidrociclón depende de tamaño de las partículas. En general, cuanto más pequeñas sean las partículas, peor rendimiento, y cuando más grandes sean, mejor rendimiento.

$$\eta = \frac{m_{ps}}{m_{pe}} \quad (3)$$

m_{ps} = flujo másico de partículas sólidas separadas.

m_{pe} = flujo másico de partículas entrantes al hidrociclón.

2.6 Componentes y software utilizado en un sistema de adquisición de datos.

2.6.1 Componentes de un sistema de adquisición de datos

La adquisición de datos es la herramienta por medio de la cual se puede medir un fenómeno físico o propiedad física. Al hablar de la propiedad física o fenómeno físico se refiere como ejemplo al cambio de temperatura que se da en el ambiente de una casa, el cambio de presión que se da en la cámara de una bomba hidráulica, la fuerza aplicada sobre una superficie e innumerables magnitudes físicas que se presentan en funcionamiento diario de una empresa. En donde un sistema de adquisición de datos tiene como objetivo medir todas estas variables de una manera fácil y precisa.



Figura 15-2. Componentes de un sistema de adquisición de datos

Fuente: (National instruments. LabVIEW, 2015)

2.6.2 Sensor

La medida de un fenómeno físico, como la temperatura de una habitación, la intensidad de una fuente de luz o la fuerza aplicada a un objeto, comienza con un sensor, que también llamado un transductor, convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo. (INSTRUMENTS, 2015)



Figura 16-2. Sensor de presión

Fuente: (OMEGA, 2017)

2.6.3 *Dispositivo DAQ (data acquisition)*

El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas.

Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usando para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC. Varios dispositivos DAQ incluyen otras funciones para automatizar sistemas de medidas y procesos.

Por ejemplo, los convertidores digitales-analógicos (DACs) envían señales analógicas, las líneas de E/S digital reciben y envían señales digitales y los contadores/temporizadores cuentan y generan pulsos digitales. (INSTRUMENTS, 2015)



Figura 17-2. Tarjeta de adquisición de datos DAQ NI-6009

Fuente: (INSTRUMENTS, 2015)

2.6.4 *PC en un sistema DAQ*

Una Pc con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar datos de medida. Diferentes tipos de PCs son usadas en diferentes tipos de aplicaciones. Una PC de escritorio se puede utilizar en un laboratorio por su poder de procesamiento, una laptop se puede utilizar por su portabilidad o una PC industrial se puede utilizar en una planta de producción por su robustez. (INSTRUMENTS, 2015)

2.6.5 *Software utilizado para la adquisición de datos LabVIEW*

Desde el nacimiento de una idea, el enfoque único de NI basado en plataforma para aplicaciones de ingeniería y ciencia, ha impulsado el progreso en una amplia variedad de industrias.

En el centro del enfoque esta LabVIEW, un entorno de desarrollo diseñado específicamente para acelerar la productividad de ingenieros y científicos. Con una sintaxis de programación grafica que facilita visualizar, crear y codificar sistemas de ingeniería, LabVIEW es incomparable en ayuda a ingeniero a convertir sus ideas en realidad, reducir tiempos de pruebas y ofrecer análisis de negocio basado en datos recolectados. Desde desarrollar maquinas inteligentes hasta garantizar calidad de los dispositivos conectados, LabVIEW ha sido la solución predilecta para crea, implementar y probar ideas y proyectos en general. (INSTRUMENTS, 2015)

2.6.5.1 *Estructura del LabVIEW (VIs)*

Los *Vis*, *virtual instruments*, están integrados por 3 partes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques, y el icono/conector.

Este panel frontal está compuesto por una combinación de controladores e indicadores que permiten al usuario enviar y recibir datos del VI.

El diagrama de bloques está compuesto de nodos, terminales y cables. Los nodos son elementos de ejecución del programa.

Los nodos son analógicos a estatutos, funciones u subrutinas en los lenguajes de programación basados en texto. Los terminales son puertos a través de los cuales los datos pasan entre los nodos del diagrama de bloques. Los cables son rutas de datos entre terminales. Con análogos a las variables en los lenguajes de programación convencionales.

CAPÍTULO III

3. ESPECIFICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

3.1 Definición del problema

En el anterior sistema de visualización de datos del banco de hidrociclón estaba basado técnicamente en la observación de los datos de forma visual, cuando el estudiante realizaba la práctica, lo cual conllevaba una serie de problemas de precisión.

Por tal motivo se vio en la necesidad de utilizar sensores que brinden una mayor exactitud, confiabilidad y puedan ser utilizados en un sistema de adquisición de datos, para su posterior visualizar en una interfaz gráfica.

3.2 Selección de sensores

En el transcurso de la realización del presente proyecto de titulación se fue conociendo el funcionamiento del banco de hidrociclón, para posteriormente buscar las mejores opciones en el ámbito de los sensores, sin embargo, para los diferentes parámetros a medir se seleccionó los siguientes sensores.

3.2.1 *Especificaciones de los elementos para medir la presión en el banco de pruebas*

Como se describió anteriormente se utilizaron para medir la presión tanto elementos mecánicos como electrónicos, donde los elementos mecánicos son los manómetros a más de servir para obtener una medida directa de la presión nos sirve para poder relacionar la medida de la misma y revisar que la señal que nos da el transductor de presión sea la correcta, a continuación, se describe cada elemento utilizado para realizar esta tarea.

3.2.1.1 *Manómetro*

Este medidor se basa en un principio mecánico de tubo de bourdon, el manómetro que se utilizó para la implementación del trabajo de titulación fueron los que se muestra en la figura 18, este elemento tiene un rango de medida que van desde 0 a 140 psi.



Figura 1-3. Manómetro instalado en el banco de pruebas de hidrociclón

Fuente: Autores

3.2.1.2 *Transductor de presión serie PX409*

Los traductores de presión de la serie PX409 OMEGA son exactos, altamente confiables y adecuados para los más duros ambientes industriales. El pequeño tamaño y ligereza de la serie PX409 hacen que sea ideal para entornos de golpes y vibraciones.



Figura 2-3. Transductor de presión PX409

Fuente: (INSTRUMENTS, 2015)

3.3 **Especificaciones de los elementos para medir el caudal en el banco de pruebas**

3.3.1 *Sensor de flujo YF-S201*

Este sensor sirve para medir flujo del agua, o por ejemplo de un invernadero, o en su casa como en un proyecto, resulta muy importante conocer el consumo de líquido. Este sensor se instala en la línea del agua, y utiliza un sensor de efecto Hall, en el otro tubo de plástico se puede medir la

cantidad de vueltas del aspa de viento que ha hecho a través de la pared de plástico. Este método permite que el sensor permanezca seguro y seco.

El sensor viene con tres cables, rojo (potencia 5-24 VDC). Negro (a tierra) y amarillo (salida de impulsos de efecto Hall). Al contar los pulsos de la salida del sensor, puede seguir fácilmente el movimiento del fluido, cada pulso es de aproximadamente 2.25 milímetros.



Figura 3-3. Sensor de flujo YF-S201

Fuente: (Marquez, 2014)

Tabla 1-3. Características del sensor YF-S201

Modelo	YF-S201
Tipo de sensor	Hall effect
Voltaje de funcionamiento	5 a 18 V DC
Max consumo de corriente	15 ma a 5V
Tipo de salida	5 V TTL
Trabajo caudal	1 a 30 litros/ minuto
Temperatura de funcionamiento	-25 a 80 °C
Humedad de trabajo Rango	35% -80% de humedad relativa
Precisión	±2%
Rango de flujo	1-30 L/min

Tabla 1-3. (Continuación) Características del sensor YF-S201

Modo de detección	vertical
Presión máxima del agua	2.0 MPa
Ciclo de trabajo de la salida	50%+10%
Tiempo de subida de la salida	0.04us
Tiempo de caída de la salida	0.18us
Velocidad de flujo características del pulso	Frecuencia (Hz)=7.5* Caudal (L/min)
Pulso por litro	450
Durabilidad	Un mínimo de 300000 ciclos
Longitud del cable	15 cm
Tamaño	2.5''x1.4''x1.4''

Fuente: (Marquez, 2014)

3.3.2 Medidor de agua modelo DVM-A.

Instalación vertical u horizontal. En tamaños ½'', 5/8'' y ¾''. El principio de medición es de desplazamiento positivo por disco nutante colocado en una cámara. El volumen de agua que pasa a través del medidor es contabilizado en base al número de ciclos.

Cada ciclo del nutante conduce un volumen fijo de agua. Medición precisa en amplio rango de caudales. Equipado con estrella giratoria sensible a caudales mínimo que permitan detectar fugas por mínimas que sean.



Figura 4-3. Medidor de agua tipo DVM-A

Fuente: (Valve)

Tabla 2-3. Características del medidor tipo DVM-A

Carcaza	Bronce
Registro sellado	Al vacío
Temperatura máxima	50°C
Máxima presión de trabajo	16BAR
Recubrimiento externo	Epóxico
Filtro	Interno
Niples y conectores incluidos	NPT
Cumple con norma	ISO 4064
Válvula antirretorno	Opcional
El medidor está preparado para la emisión de pulsos de lectura remota	Si
Protección	magnética
Clase metrológica	C
Clase D	Disponible bajo pedido

Fuente (Valve)

3.4 Especificaciones de elementos adicionales

3.4.1 Caja de mando

La caja de mando está hecha de tool conformado, en la cual se encuentran el sistema de adquisición de datos, la cual protege a los elementos electrónicos de las salpicaduras de la mezcla de agua con partículas en suspensión.



Figura 5-3. Caja de mando

Fuente: Autores

3.4.2 *Control de encendido y apagado de la bomba centrifuga*

La bomba centrifuga será accionada con un control simple que se instaló en la tapa de la caja de control de mando.



Figura 6-3. Control de encendido y apagado del sistema

Fuente: Autores.

CAPÍTULO IV

4. REPOTENCIACIÓN Y MONTAJE DE EQUIPOS EN EL BANCO DE PRUEBAS

4.1 Descripción del banco de pruebas antes de la automatización de la toma de datos.

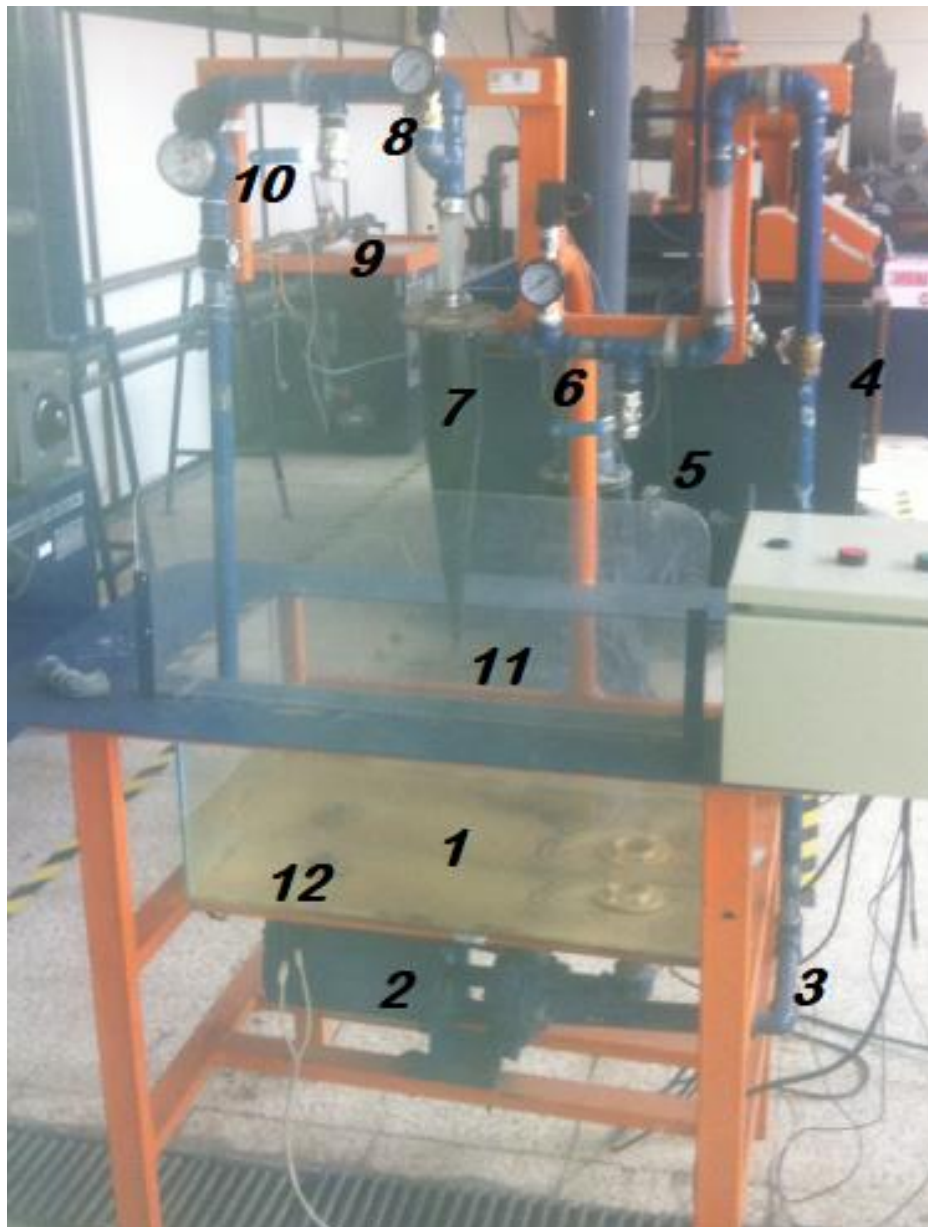


Figura 1-4. Banco de pruebas de hidrociclón

Fuente: Autores

El funcionamiento del banco mostrado es práctico, de modo que en su base presenta un depósito de agua con partículas sólidas (1) la cual es extraída por medio de una bomba centrífuga (2) que recorre por la tubería (3) hasta llegar a una válvula de compuerta (4) que se encarga de regular el caudal, la mezcla sigue el recorrido atravesando la válvula de bola (5) generando la primera toma de datos por medio de un proceso de decantación que indica el contenido de partículas sólidas existentes en la mezcla, pasando por un manómetro (6) y así conocer la presión de entrada al hidrociclón (7) donde realiza la función de separar la mezcla, que por el efecto de rotación y la gravedad se separan los sólidos de los líquidos. El caudal que sale con las partículas en la parte superior (overflow) pasa por (8) una válvula de bola que genera la muestra de salida de la mezcla que al igual del procesos anterior se indica el contenido de partículas existentes en la mezcla, pasando por un manómetro (9) quien nos arrojará la presión de salida del hidrociclón y encontrar la caída de presiones del hidrociclón, la mezcla sigue el recorrido pasando por un medidor de flujo (10) el cual nos indica la cantidad de caudal que está saliendo del hidrociclón. Las partículas separadas salen por la parte inferior (underflow) del hidrociclón (11) hacia el desfogue (12) el cual será el encargado de llevar la mezcla con la mayor cantidad de partículas separadas, para con el proceso de decantación y secado en horno saber cuánto de partículas sólidas se separó.

Además, para poner en operación solo se procede a encender la bomba lo cual se hace mediante una conexión eléctrica con la botonera que está en la parte superior de la caja de mando.

Todas las variables como caudal, presión se obtenían experimentalmente de una manera no muy exacta por lo cual con la instalación de instrumentación electrónica y electromecánica se tendrán medidas de las mismas de una manera muy fácil, segura y exacta.

Para la interacción instrumentaría electromecánica, con la PC, se utilizó una tarjeta de adquisición de datos DAQ 6009, que es la encargada de transformar las señales eléctricas de los sensores en un lenguaje que sea compatible con la interfaz programable del PC.

Esta interfaz se logró realizar por medio del software LabVIEW, cuya programación permite al usuario a más de poder realizar una visualización de medidas en tiempo real, un control del funcionamiento del sistema en general, pero como se trató anteriormente o se enfatizó en el control del mismo, dejando esta acción para futuras innovaciones del banco de pruebas.

4.2 Descripción de las partes constitutivas del banco de pruebas

Tabla 1-4. Elementos constitutivos del banco de pruebas de hidrociclón






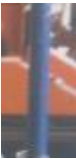

Elemento	Característica	
<p data-bbox="469 472 632 506">Motobomba</p> 	Tipo de bomba	Centrifuga
	Tipo de motor	11574A000
	Potencia	1 Hp
	Velocidad	3600
	Marca	MYERS
<p data-bbox="477 920 624 954">Reservorio</p> 	Capacidad	60 litros
	Material	vidrio
<p data-bbox="408 1279 695 1312">Válvula de compuerta</p> 	Material	bronce
<p data-bbox="469 1615 632 1648">Manómetros</p> 	Rango	0-6.5 vueltas.
	Marca	AirTac

Tabla 1-4. (Continuación), Elementos constitutivos del banco de pruebas de hidrociclón

<p style="text-align: center;">Hidrociclón</p> 	<p style="text-align: center;">Material</p>	<p style="text-align: center;">tool</p>
<p style="text-align: center;">Tubería</p> 	<p style="text-align: center;">Diámetro</p>	<p style="text-align: center;">$\frac{3}{4}''$</p>
	<p style="text-align: center;">Material</p>	<p style="text-align: center;">Acero galvanizado</p>
<p style="text-align: center;">Medidor de flujo</p> 	<p style="text-align: center;">Capacidad</p>	<p style="text-align: center;">100 lt/ min</p>
	<p style="text-align: center;">Marca</p>	<p style="text-align: center;">ISEA</p>

Fuente: Autores

4.3 Trabajos realizados antes de la automatización

4.3.1 Bomba centrífuga

La bomba centrífuga antes de la automatización de la toma de datos necesitaba un mantenimiento ya que por el lapso 11 años el banco estaba sin funcionamiento, por lo que los componentes de la misma estaban en desuso y podrían llegar a dañar el banco completo, por lo cual se optó por desmontar esta para realizar un mantenimiento adecuado de la misma.



Figura 2-4. Conjunto de motobomba

Fuente: Autores

4.3.2 *Hidrociclón*

Al igual de la bomba, el hidrociclón también presentaba síntomas de deterioro que es producto del tiempo que ha estado en desuso, por lo que se optó por del desmontaje del mismo para realizar su mantenimiento.



Figura 3-4. Hidrociclón

Fuente: Autores

4.3.3 *Tanque reservorio*

El tanque reservorio se decidió reemplazarlo por el motivo que el existente es de plástico lo cual presentaba ya modificación de su diseño por el tiempo y condiciones en las que se encontraba en banco de hidrociclón, lo cual se buscó un material para la construcción del mismo, el cual no presente fuga del líquido y sea visible para el operador, con estas características optamos por la construcción de un reservorio de vidrio.



Figura 4-4. Tanque reservorio

Fuente: Autores

4.3.4 *Manómetros*

Los manómetros existentes en el banco estaban dañados, por lo cual se reemplazó con otros manómetros de mayor capacidad de presión, que se ajustaba a las mediciones del banco hidrociclón.



Figura 5-4. Manómetro

Fuente: Autores

4.3.5 *Válvulas de tomas de muestra*

Al momento de la revisión del banco se observó que no tenía las válvulas de toma de muestras, por lo que se dispuso en instarle válvula de bola para que realice la función pertinente, en la cual también se adjuntó una reducción de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " para la obtención de la muestra.



Figura 6-4. Válvulas de toma de muestra

Fuente: Autores

4.4 Trabajo posteriores

Una vez realizada la repotenciación del banco, se procedió a realizar la automatización, para lo cual se comenzó con la selección de los sensores más aptos para realizar la toma de mediciones de las diferentes variables que intervienen en este proceso, esta selección se trató en el capítulo tres donde especificamos todas las características de los sensores involucrados en este proceso. En este capítulo se tratará la instalación de cada uno de estos sensores y los diferentes procedimientos para la instalación de los mismos.

4.4.1 *Instalación de los sensores de presión PX-S201*

Antes del montaje de los sensores de presión se realizó una calibración de los mismos, que consistían en obtener las medidas comparativas entre el voltaje emitido por el sensor con cada medida de presión establecida, las medidas comparativas se describen en el anexo.

Para la realización de la calibración de los sensores se procedió a utilizar un calibrador de manómetros. Por medio de una comparación entre el manómetro y la cantidad de voltaje que es producido por el sensor se establece una curva característica del mismo, el calibrador de manómetros y sensores de presión se observa en la figura 7-4



Figura 7-4. Montaje de los sensores de presión en la balanza

Fuente: Autores

Posteriormente a la calibración de los sensores de presión se procedió a montar los mismos en el banco de pruebas, para lo cual se instalaron mediante una T que tiene el propósito de en uno de los extremos instalar un manómetro que nos ayudara a tener una lectura directa de la presión.



Figura 8-4. Instalación del sensor de presión PX409

Fuente: Autores

La posición de los sensores de presión se lo instalo en el mismo punto de referencia de los manómetros ya que necesitamos comparar los valores de presión de forma visual y con la exactitud del sensor.

4.4.2 Instalación del sensor de flujo

Antes de la instalación del sensor de flujo se tiene que tener cuidado y realizarlo de acuerdo con todas las debidas recomendaciones que hace el fabricante, las mismas se describen a continuación:

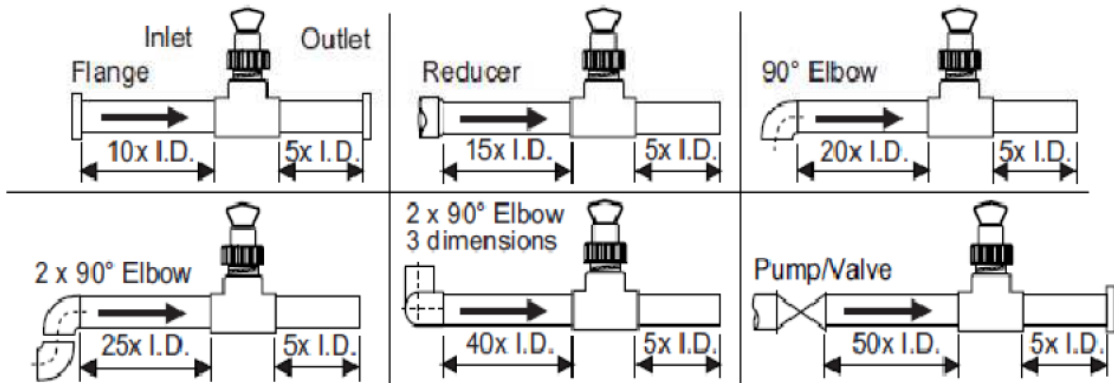


Figura 9-4. Distancia óptima de instalación del sensor de flujo

Fuente: (OMEGA)

- Se debe tener en cuenta el montaje aguas arriba o aguas abajo, para que las medidas del sensor sean las correctas y no exista errores, esto es de gran importancia ya que una instalación inadecuada podría traer como consecuencia un error excesivo en las medidas realizadas por el mismo.
- Se debe tener cuidado con la instalación de estos elementos ya que deben de ser instalados a cierta distancia de un elemento de acople o cualquier otro elemento que intervengan en la instalación.

De acuerdo a la figura 9-4 el caso que influyo en nuestro tema fue el siguiente, descrito en la figura 10-4.

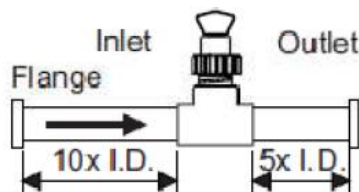


Figura 10-4. Distancia del sensor

Fuente: (OMEGA)

De acuerdo con esta condición la distancia para el acoplamiento del sensor:

$$D_1 = 10 \times I.D \quad (4)$$

$$D_2 = 5 \times I.D \quad (5)$$

Donde:

D_1 = Distancia antes del acoplamiento del sensor (mm)

D_2 = Distancia después del acoplamiento del sensor (mm)

I.D= Diámetro interno del tubo (mm)

$$I.D = (D_e - 2e) \quad (6)$$

Donde:

D_e = Diámetro exterior del tubo (mm)

e = Espesor del tubo (mm)

Una vez conocida las distancias establecidas por el montaje del sensor de caudal se procedió a la instalación, gracias que la tubería es de un diámetro pequeño se pudo encontrar un sensor con el diámetro de la tubería lo cual nos facilitó al momento de montarlo en el banco de pruebas de hidrociclón.



Figura 11-4. Instalación del sensor de flujo

Fuente: Autores

4.4.3 *Instalación de la caja de mando*

Para la instalación de la caja de mando tomamos en cuenta las dimensiones de la misma y las dimensiones libres del banco de pruebas de hidrociclón, la cual se decidió instalarle a un costado de la mesa principal, ya que existía el espacio necesario.



Figura 12-4. Instalación de la caja de mando

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. PROGRAMACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL DEL BANCO DE PRUEBAS.

5.1 Descripción del panel frontal del banco de pruebas

El panel frontal es la interfaz de comunicación que tiene el software LabVIEW con el operador del programa, consta de las siguientes partes:

- Esquema del banco de pruebas.
- Fecha de la práctica.
- Hora de la práctica.
- Cuadro de texto donde se ingresa la apertura de la válvula de compuerta para saber con qué caudal trabajamos.
- Indicador de presión de 0 a 15 Psi.
- Indicador del caudal Lt/s que fluye por la tubería.
- Indicador de la curva de presión en la interfaz.
- Botón de paro (STOP).
- Botón para adquirir datos
- Botón para generar reportes

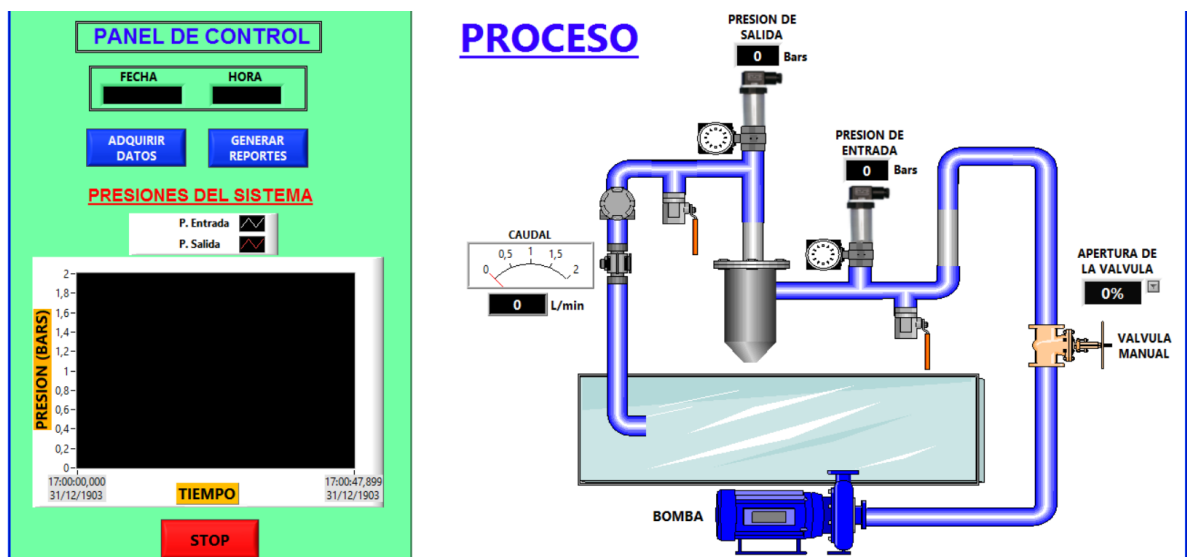


Figura 1-5. Panel frontal banco de pruebas de hidrociclón

Fuente: Autores.

5.2 Configuración del sistema de adquisición de datos por medio de la tarjeta de adquisición (DAQ).

Para que la tarjeta adquiera los datos se necesita insertar en el VI un asistente para la DAQ (DAQ Assistant) en él se configura las distintas señales que quiera adquirir.

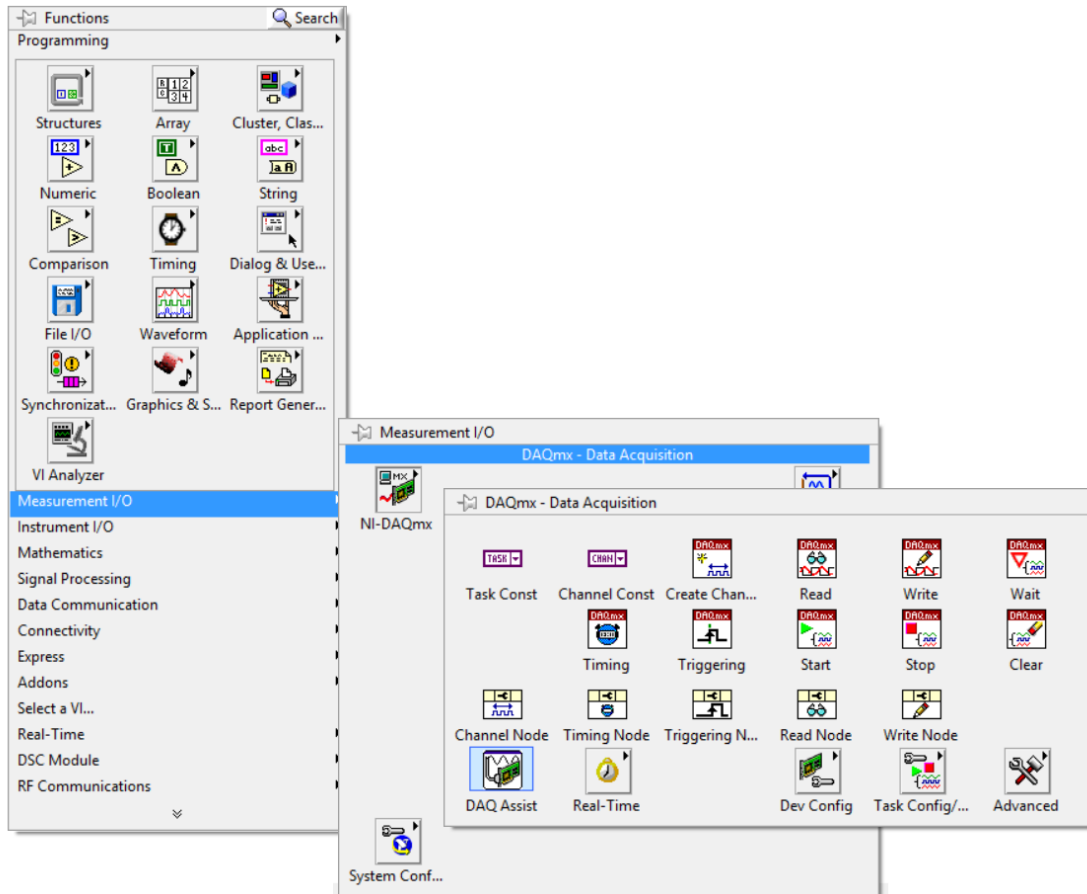


Figura 2-5. Sistema de adquisición de datos

Fuente: Autores

Una vez dentro del icono aparecerá una ventana con las siguientes características que se observa en la figura 3-5.

En la cual se puede adquirir y generar señales por medio de la DAQ, desplazando el menú de Acquire y Generate Signals, se tiene señales analógicas, señales digitales.

Depende de cada instrumento que se tenga para seleccionar la opción necesaria y poder configurarlos.

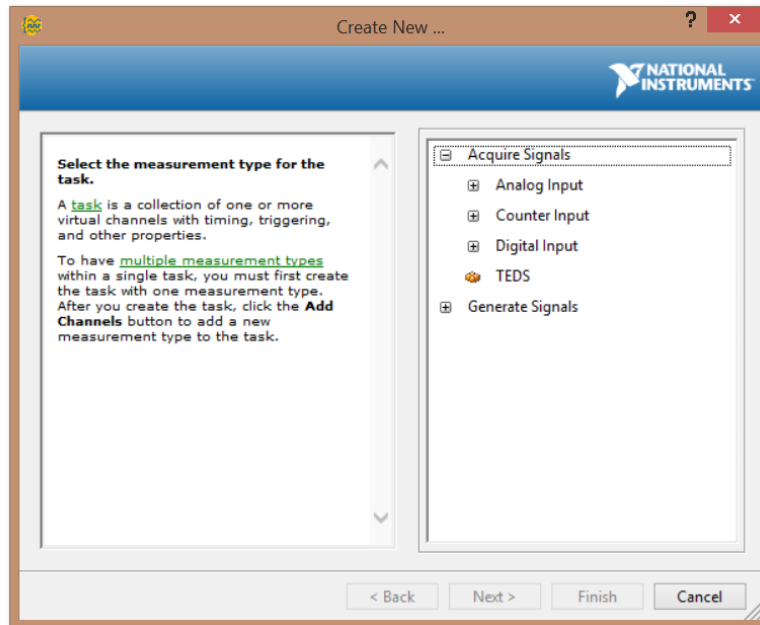


Figura 3-5. Características opcionales de la DAQ 6009

Fuente: Autores

5.3 Descripción de los elementos programados en LabVIEW

5.3.1 Sensores de presión

Para adquirir señales de presión se debe utilizar el puerto analógico de la tarjeta ya que la señal que se tiene en nuestro sensor es una señal analógica, en la cual se debe medir la diferencia de voltaje en función a la presión que receipta el sensor. Se da un clic en Analog Input y se despliega el siguiente menú:

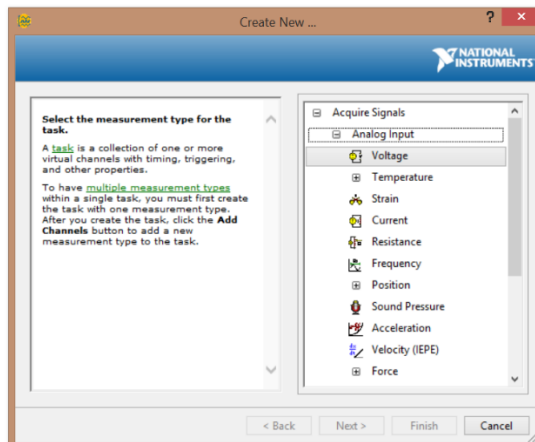


Figura 4-5. Definición del tipo de señal a ser medida.

Fuente: Autores

Se selecciona en voltaje y se escoge el puerto en el cual se está trabajando en la tarjeta:

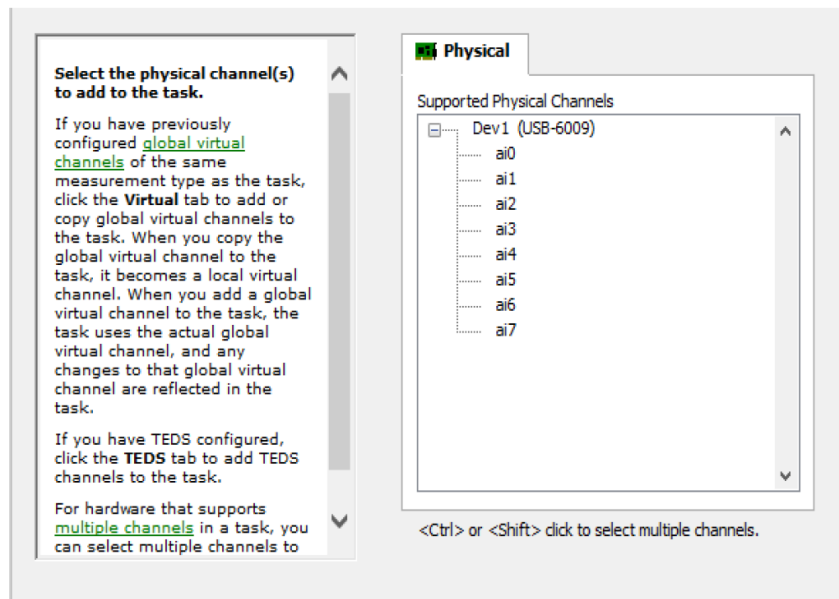


Figura 5-5. Selección del puerto de la DAQ 6009 para el sensor de presión

Fuente: Autores

En este caso como que se tiene dos sensores de presión se selecciona el puerto ai0 para el sensor de entrada y el ai4 para el sensor de salida y se da Finish para ingresar a la configuración de estos canales.

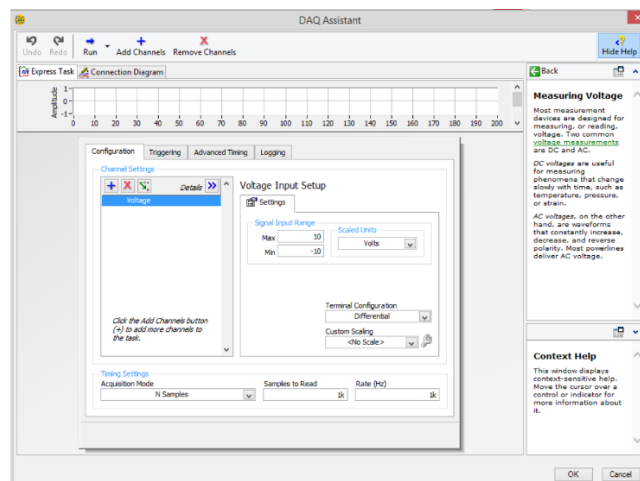


Figura 6-5. Configuración de los sensores de presión.

Fuente: Autores

Se cambia las opciones que vienen por defecto para los fines como son:

Volts: Max=5: Min=0;

Terminal Configuration: RSE;

Acquisition Mode: Continuos Samples;

Se da OK, y queda lista la adquisición de nuestros sensores de presión.

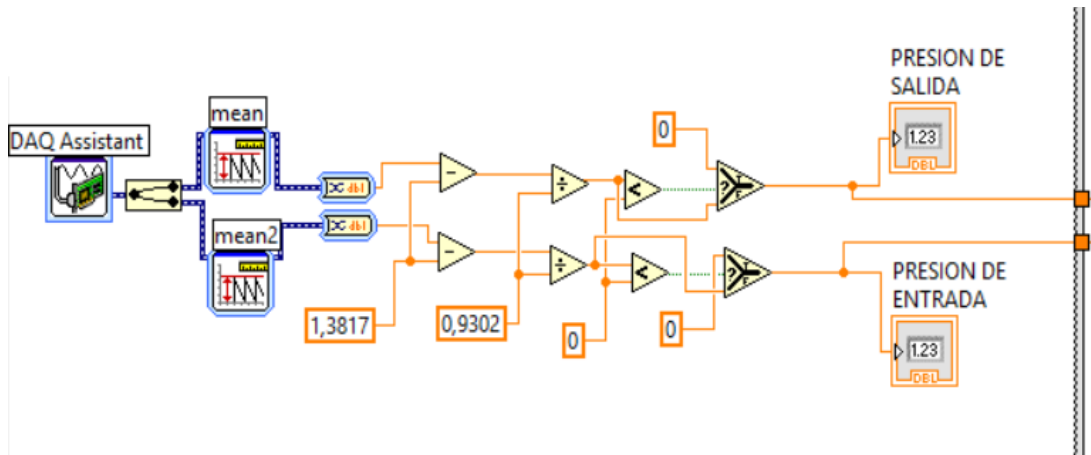


Figura 7-5. Programación de los sensores de presión.

Fuente: Autores

Una vez configurada la tarjeta para los sensores de presión se tiene que visualizar los datos de presión, para esto se usara una estructura For Loop, en la cual ingresaremos la DAQ Assistant antes configurada, con la señal de voltaje se saca una media aritmética para que los muchos datos que recepta en un tiempo determinado sean más exactos por medio de un Statistics, además se agrega un filtro para que no exista interferencia (ruido) en la señal Filter.

Para convertir la señal de voltaje a presión se debe ingresar la ecuación antes encontrada por medio de la calibración del sensor, VER ANEXO B.

Se muestra el dato de presión en forma numérica y analógica, con esto se obtiene los datos de presión tanto a la entrada como a la salida del hidrociclón.

5.3.2 *Sensor de caudal*

Para este sensor, la conexión a la DAQ es en el puerto analógico pero de forma diferencial ya que este sensor es autoalimentado, se va a medir la diferencia de voltaje que se tiene.

Se da clic en Analog Input → Voltage.

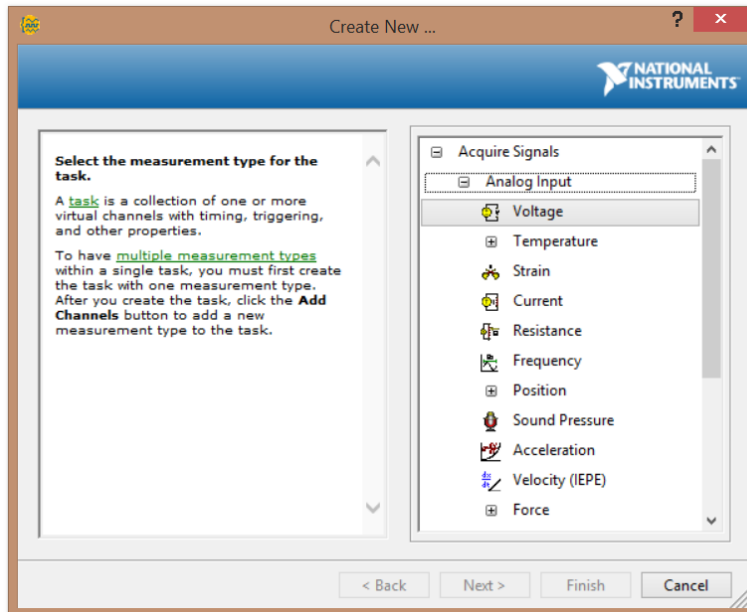


Figura 8-5. Señal por la DAQ 6009 para el sensor de caudal

Fuente: Autores

Se elige el puerto en el cual se debe conectar de la forma analógica de acuerdo al manual de la DAQ, se escoge el puerto ai1:

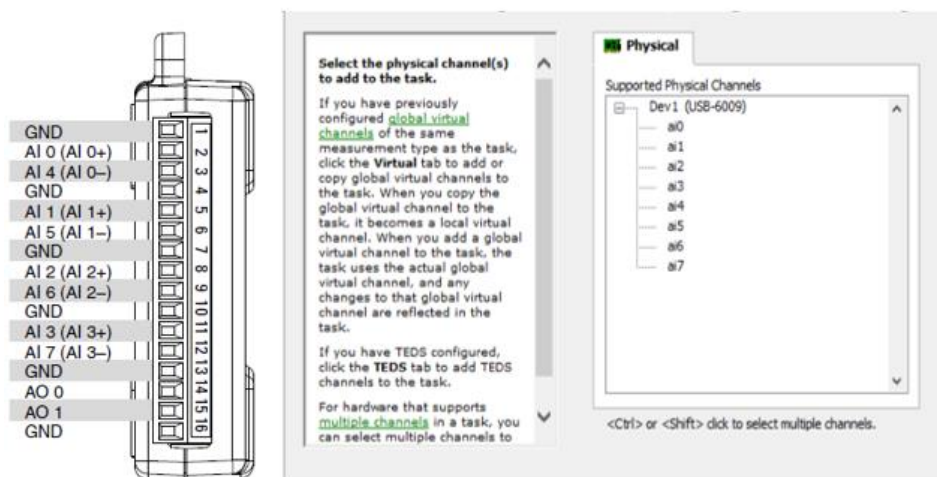


Figura 9-5. Selección de puertos para el sensor de caudal

Fuente: Autores

Posteriormente se despliega la siguiente ventana:

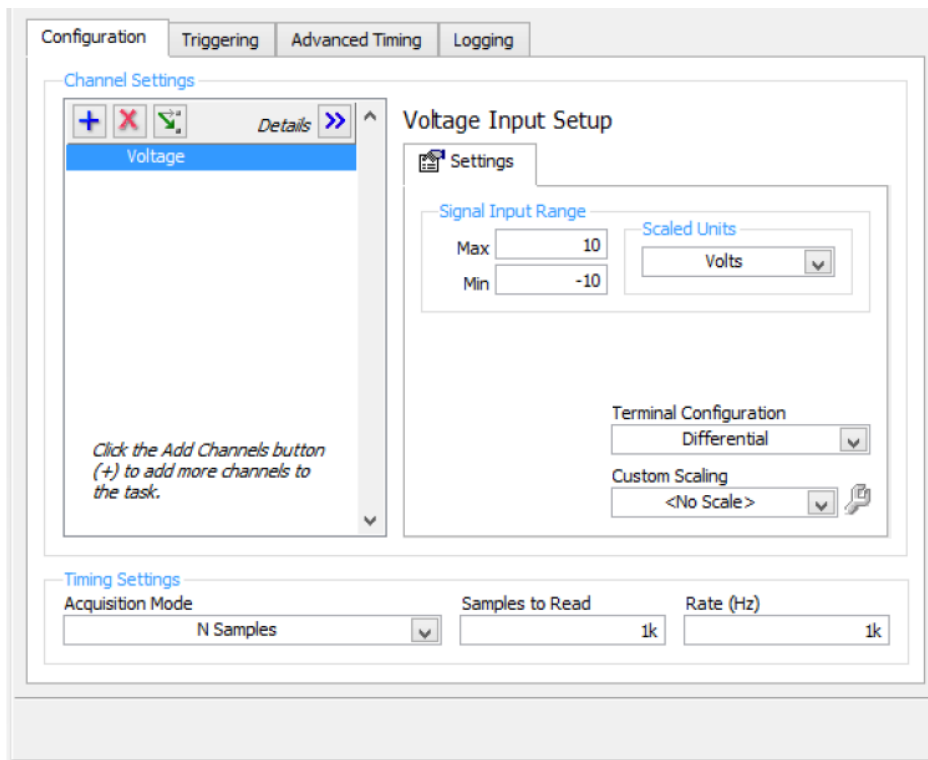


Figura 10-5. Configuración de puertos para el sensor de caudal

Fuente: Autores

Se cambia las opciones que vienen por defecto para los fines como son:

Volts: Max=10: Min=-10;

Terminal Configuration: Differential;

Acquisition Mode: Continuos Samples;

Se da OK, y queda lista la adquisición del sensor de caudal.

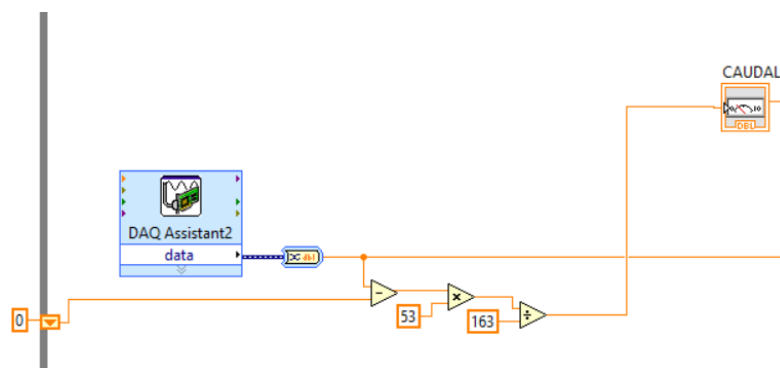


Figura 11-5. Programación del sensor de caudal

Fuente: Autores

Una vez configurada la tarjeta para el sensor de caudal se debe visualizar los datos de caudal, para esto se utilizará una estructura de tiempo Time Loop, la cual se ingresa en la DAQ Assistant antes configurada, la señal adquirida se ingresa en el icono Tone Measurement el cual cambia la señal a datos de frecuencia, con se puede comparar con la hoja de calibración del fabricante del sensor y mediante la ecuación encontrada en el ANEXO B.

5.3.3 Generación de reportes

El análisis de datos y generación de reportes representa la integración de procesamiento de información, la generación de reportes en una aplicación de adquisición de datos. Funciones integradas son incluidas con LabVIEW para construir reportes personalizados rápida y fácilmente basados en sus medidas. Los reportes se pueden configurar para generar automáticamente, guardar como una página web y enviar directamente a una impresora.

En el presente trabajo se ha desarrollado la posibilidad de generar reportes de los datos obtenidos después de las pruebas realizadas exportando a una plantilla creada previamente en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Para generar este reporte como ya se mencionó antes, existe un botón en el panel frontal que se denomina “generar reportes”, el cual una vez accionado abre una hoja de cálculo de Microsoft Excel y copia todas las lecturas durante un tiempo obtenidas a través del NI 6009, donde datos almacenados se ubicaran como ya se ha fijado en la programación del diagrama de bloques, inmediatamente después se comienzan a generar las gráficas de las curvas de P vs t y Q vs t.

Para realizar este proceso, cada vez que el botón de “adquirir datos” es presionado envía los valores obtenidos a una tabla del mismo LabVIEW donde los va almacenando hasta que sean llamados por botón de “generar reportes”, y una vez presionado el botón “stop”, posterior a esto existe un algoritmo que permite ubicar en la plantilla de Excel.

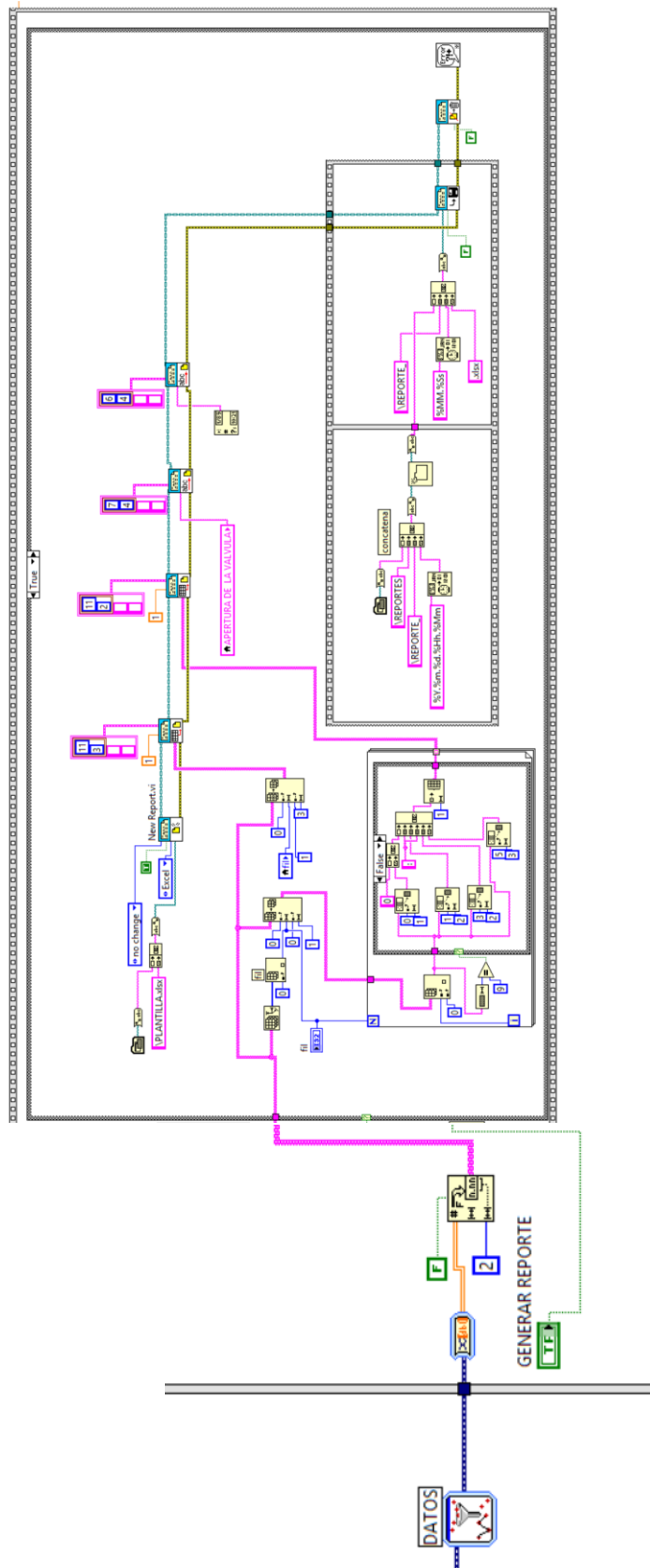


Figura 12-5. Programación de generación de reportes

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS DE RESULTADO DEL BANCO DE PRUEBAS

6.1 Análisis de resultados de las pruebas en el banco de hidrociclón

Se realizó varias pruebas en el banco de hidrociclón y se logró determinar los diferentes valores de caudal, presión y por de la separación se pudo obtener una curva del peso en función de la apertura de la válvula reguladora de caudal.

6.2 Datos adquiridos con el software

En la tabla 5 se especifican los datos adquiridos por medio de la generación del reporte.

Tabla 1-6. Adquisición de datos

DATOS DE LA PRUEBA

TIEMPO	CAUDAL	PRESION IN	PRESION OUT
10:03:29	48,12	1,38	1,7
10:03:30	50,4	1,4	1,68
10:03:31	50,4	1,38	1,74
10:03:32	50,07	1,39	1,68
10:03:33	50,07	1,38	1,74
10:03:34	50,4	1,36	1,73
10:03:35	50,72	1,39	1,71

Fuente: Autores

Los resultados se los ha colocado según la apertura de la válvula de caudal, lo cuales nos proporcionan las gráficas de presión versus tiempo, caudal versus tiempo.

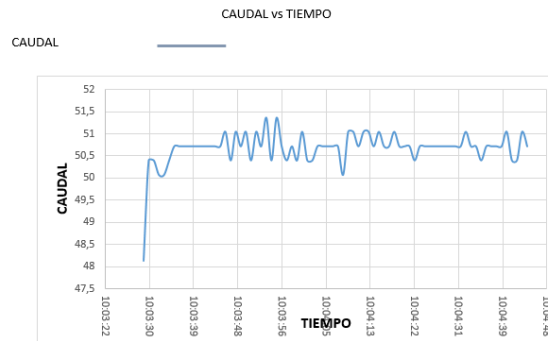


Figura 1-6. Caudal vs Tiempo

Fuente: Autores

Como se observa en la figura 1-6, el resultado del caudal versus tiempo existe una variación de un litro, debido que el fluido tiene que estar en constante movimiento por la recirculación del mismo. El caudal que se tomó para la adquisición de datos fue del overflow, el cual fue medido en litro por segundo.

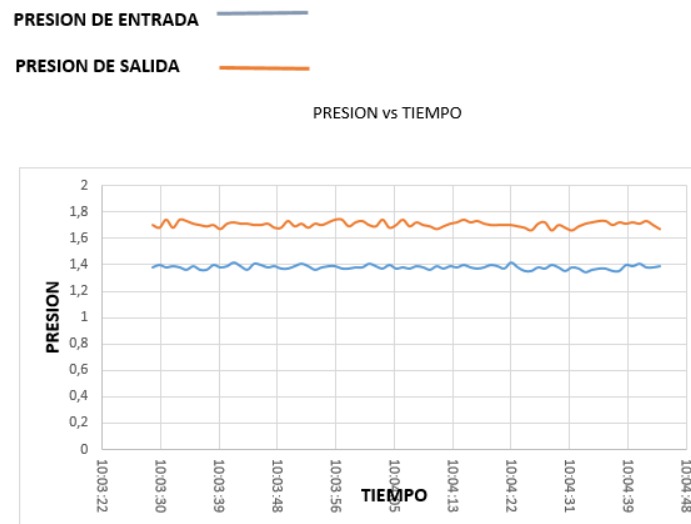


Figura 2-6. Presión vs Tiempo

Fuente: Autores

Como se observa en la figura 2-6. La presión de entrada y de salida la cual conforma la diferencia de presiones entre el inflow y el overflow, la presión se mantiene constante con una mínima, la medida de presión fue en bar.

6.3 Datos adquiridos de los ensayos

Se realizó varios ensayos de toma de muestras para saber la cantidad de partículas, lo cual se detallará en las tablas siguientes:

6.3.1 Toma de datos al inicio del hidrociclón (inflow)

La toma de muestra al inicio del hidrociclón se realizó después de medir 5 litros, el cual es el punto donde se estabiliza el caudal.

Tabla 2-6. Toma de datos inflow

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	PROMEDIO
Apertura de la válvula	partículas (gr)	partículas (gr)	partículas (gr)	
25%	14,6	15,1	13,9	14,53
50%	12,8	11,9	12,5	12,40
75%	10,6	11,2	10,9	10,90
100%	0,9	10	0,8	3,90

Fuente: Autores

Como resultado de la tabla 2-6 podemos deducir que a mayor caudal existe una menor cantidad de partículas.

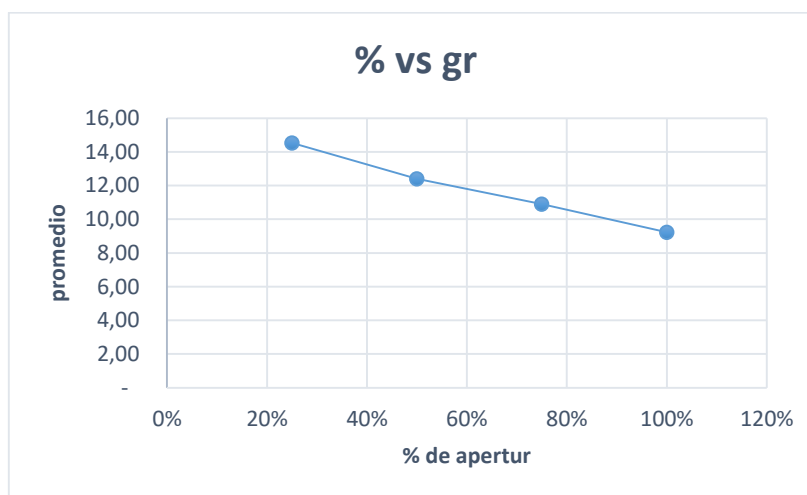


Figura 3-6. Apertura de válvula (%) versus partículas sólidas (gr)

Fuente: Autores

Como no muestra la **Figura 3-6**, hay un decremento de la cantidad de partículas a la entrada del hidrociclón, existe una variación, debido a que al 100 % de apertura de la válvula está trabajando a caudal máximo.

6.3.2 Toma de datos a salida del hidrociclón (overflow)

La toma de muestra a la salida del hidrociclón se realizó después de haber medido 2 litros, después de haber realizado la toma de datos al ingreso del hidrociclón.

Tabla 3-6. Toma de datos overflow

Apertura de la válvula	Prueba 1 partículas (gr)	Prueba 2 partículas (gr)	Prueba 3 partículas (gr)	PROMEDIO
25%	3,3	3,1	3,4	3,27
50%	3,6	3,7	3,5	3,60
75%	4,2	4	4,2	4,13
100%	4,6	4,8	4,5	4,63

Fuente: Autores

Como se observa en la tabla 3-6 realizamos tres pruebas y sacamos el promedio, el cual nos ayudara a realizar la curva de porcentaje versus promedio de concentración.

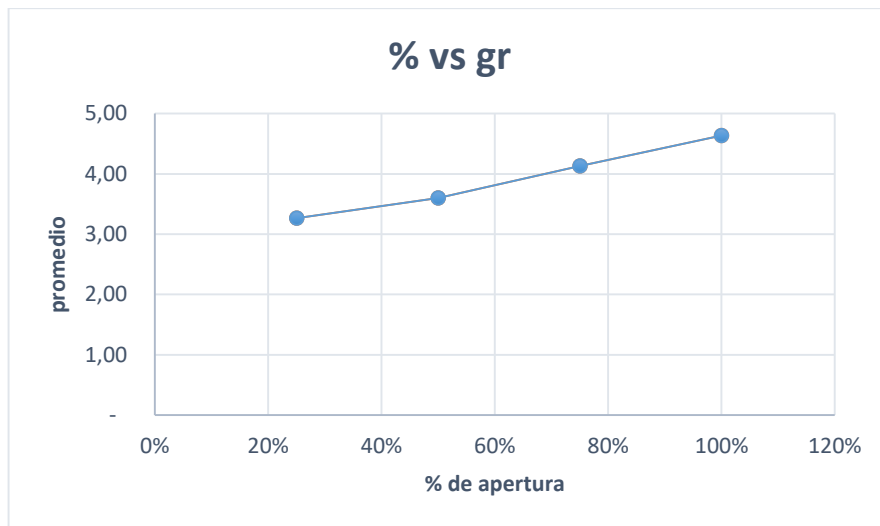


Figura 4-6. Apertura de válvula (%) versus partículas sólidas (gr)

Fuente: Autores

En la **Figura 4-6** podemos observar que hay una variación de 1 gramo entre la apertura del 25% hasta el 100%, debido a que la separación se realiza en el underflow.

6.3.3 Toma de datos a la salida inferior del hidrociclón (underflow)

La toma de muestra en la parte inferior del hidrociclón se realizó después de haber tomado las muestras en las tomas de ingreso y salida del mismo, para obtener la curva característica.

Tabla 4-6. Apertura de válvula (%) versus partículas sólidas (gr)

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	
Apertura de la válvula	partículas (gr)	partículas (gr)	partículas (gr)	PROMEDIO
25%	24,8	26,7	25,8	25,77
50%	51,8	55,9	49,3	52,33
75%	111,7	120	110,2	113,97
100%	163,5	159	160	160,83

Fuente: Autores

Como nos muestra la tabla 4-6 existe un incremento de representativo de partículas conforme va aumentando la apertura de la válvula de caudal.

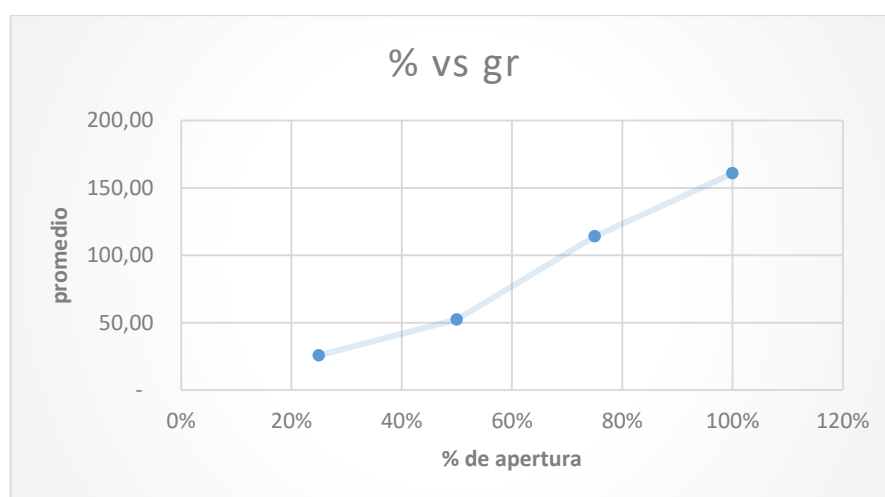


Figura 5-6. Apertura de válvula (%) versus partículas sólidas (gr)

Fuente: Autores

Como nos muestra en la **Figura 5-6** podemos observar, cómo trabaja el hidrociclón que a mayor caudal mayor cantidad de partículas serán separadas.

CAPÍTULO VII

7. SIMULACIÓN DEL BANCO HIDROCICLÓN UTILIZANDO SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

7.1 Introducción

En el diseño, moderno los ingenieros implementan los conceptos de gestión de ciclo de vida del producto (PML) en muchos sectores como el medio por el que los datos de un producto fabricado en 3D se utilizan y mantienen de manera coherente durante todo el ciclo de vida de un producto y en todo su cambio de diseño. La base de un concepto de PLM es la disponibilidad de los datos de modelo de productos en 3D completos, detallada y precisa en un sistema CAD mecánicos como elemento central. Por tanto, los datos de modelo de productos 3D son tanto la base como el punto de partida en todos los prototipos virtuales y simulación física de hoy en día.

Obviamente el uso de simulaciones de flujos de fluidos con dinámica de fluidos computacionales (CFD) en este tipo de contexto integrando del CFD resulta muy atractivo, ya que no solo puede acelerar el proceso de diseño, sino también hacer que los procesos sean más predecibles en un entorno que la complejidad del diseño y la dependencia del partners de desarrollo externos van en aumento.es fundamental observar que los principales sistemas de CAD se crearon hace cierto tiempo y que se optimizaron como herramientas de diseño.

La necesidad de integrar CAE (y en concreto CFD) solo se reconoció más adelante. Además, las herramientas de CAE y CFD ya tienen un prolongado historial de optimizaciones en sus respectivas tareas. Por tanto, era lógico que, durante algún tiempo, el desarrollo del CFD siguiera siendo independiente y que la interacción con el CAD estuviera limitada al simple intercambio de datos. No obstante, cada vez es más apremiante la necesidad de integrar CFD totalmente con el CAD desde el punto de vista del uso de CFD durante el diseño y como requisito de todas las hojas de ruta de PML. A finales de los años noventa, se desarrolló el primer producto de CFD totalmente integrado, FloWorks, ahora llamado SOLIDWORKSS Flow Simulation, como complemento para SOLIDWORKS. (SOLIDWORKS, 2012)

7.2 SolidWorks Flow Simulation

Está basado en técnicas de dinámicas computacional de fluido (CDF) y análisis térmico, totalmente integrada en SolidWorks que permiten resolver lo siguiente:

- Análisis de transferencia térmica de radiación entre superficie a alta temperatura. Posibilidad de calcular también la radiación solar.
- Análisis de desestructura giratoria de referencia para la comprensión de los flujos giratorios complejos de determina maquinaria.
- Análisis de flujo momentáneo para simulación de flujo no constante a lo largo del tiempo
- Análisis de transferencia térmica por conducción y convección.
- Análisis de flujo de líquidos y gases alrededor de cuerpos sólidos.
- Análisis de flujo turbulento para ilustrar turbulencias de dominios de flujo.
- Simulación real de gases que permitan solucionar con precisión las aplicaciones con gases a alta presión o a baja temperatura.
- Completo análisis de flujo para flujos de gases en áreas de velocidad subsónica, transónica y supersónica.
- Calculo de descensos de presión en tuberías mediante valores de rugosidad de superficies.
- Optimización de diseños mediante parámetros dimensionales y de flujo basado en CFD.
- Análisis de flujo de fluido no newtonianos.
- Análisis de flujo en pared móvil para el estudio de flujos relativos a una estructura móvil de referencia.
- Análisis de cavitación para la identificación, en un modelo de las áreas en las que se producen cavitación.
- Análisis de humedad orientado al cálculo de la humedad relativa en entornos cerrados para aplicaciones de control climático (Rodriguez, 2010)

7.3 Domino computacional

Flow Simulation analiza la geometría del modelo y genera automáticamente un dominio computacional en la forma de un prisma rectangular que incluye el modelo. Los planos del dominio computacional son ortogonales a los ejes de coordenadas globales del sistema. Se puede cambiar el tamaño manualmente o redefinir el dominio computacional con las opciones que nos brinda el programa:

- Cambiar las dimensiones del dominio computacional.
- Especificando plano de simetría.
- Especificando condiciones de contorno periódicas.
- Cambiando a un análisis en 2D.

Flow Simulation proporciona resultados precisos independientes de la complejidad del modelo. Para flujos internos el requisito de modelado es que todas las aperturas del modelo deben ser

cerrados con tapas. Esto es necesario porque las condiciones de contorno de flujo de simulación en las entradas y salidas deben ser definidas en superficies de contacto con el fluido. Las tapas ofrecen estas superficies de contacto con el fluido en las entradas y en las salidas. (Rodríguez, 2010)

7.4 Tratamientos de contornos de SolidWorks Flow Simulation

CAD describe el modelo sólido, mientras que CFD se ocupa principalmente del espacio de flujo. Históricamente, para los códigos de CFD tradicionales, el espacio del fluido se crea por medio de la resta booleana del modelo sólido en el sistema de CAD y este sólido inverso se pasa a la herramienta de CFD para el mallado. Los generadores de mallado en la CFD tradicional se suelen basar en algoritmos ajustados a los sólidos. Las revisiones detalladas de los tipos básicos de geometrías de mallado se presentan en varias publicaciones. En estos trabajos se muestra cómo las mallas ajustadas a los sólidos se han utilizado con frecuencia para resolver problemas industriales. Por regla general, para geometrías complicadas, se utilizan mallas no estructuradas, formadas por medio de la construcción de nodos distribuidos de manera irregular como observamos en la *Figura 1-7*.

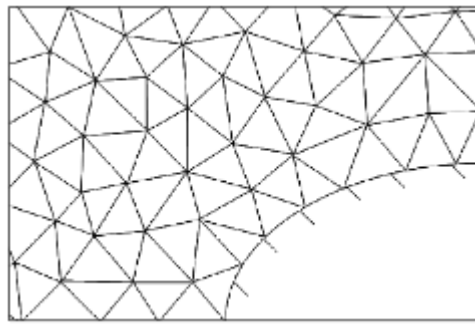


Figura 1-7. Malla Ajustada ha solido no estructurada

Fuente: (SOLIDWORKS, 2012)

Cuando las geometrías que se mallan son menos complejas, a menudo se pueden usar mallas estructuradas mostrada en la *Figura 2-7* y estas dos estrategias de mallado se pueden combinar, con mallas estructuradas en algunas zonas secundarias y mallas no estructuradas en las demás ubicaciones en la *Figura 3-7*. Estas mallas se pueden denominar mallas parcialmente estructuradas o parcialmente no estructuradas.

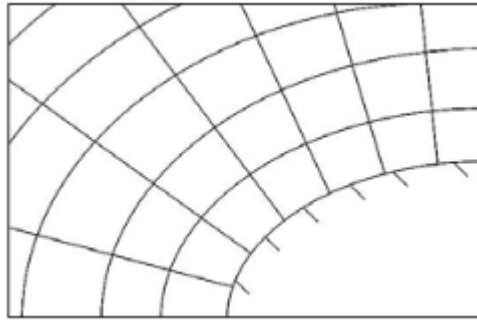


Figura 2-7. Malla con aleta en solido estructurada

Fuente: (SOLIDWORKS, 2012)

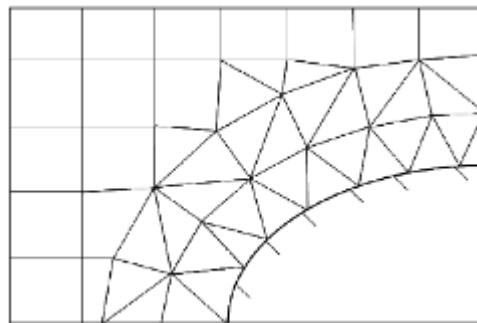


Figura 3-7. Combinación de malla cartesiana y malla ajustada.

Fuente: (SOLIDWORKS, 2012)

Originalmente, los sistemas de CAD se desarrollaron teniendo en cuenta únicamente el diseño y no la simulación numérica. Una característica de las mallas ajustadas a los sólidos es que son muy sensibles a la calidad de la geometría de CAD. Por lo general, esas mallas se generan a partir de la generación de nodos en una superficie sólida. A continuación, la superficie se malla por medio de la triangulación de Delaunay. Después, en función de la triangulación de la superficie, se genera la malla espacial. A menudo, es una malla con elementos tetraédricos que cumplen con el criterio de Delaunay. En muchos casos, los defectos en la representación de la superficie requieren la intervención del usuario para resolver las ambigüedades a fin de solventar los defectos en la geometría de CAD. Además, en algunas situaciones, si la superficie se refina en exceso, el número de triángulos pequeños puede ser excesivo. Esto puede suceder en áreas que no son importantes en cuanto a simulación de flujo, ya que el algoritmo de mallado responde a elementos geométricos que requieren que el usuario efectúe correcciones.

El enfoque alternativo consiste en utilizar una malla de cuerpo sumergido, como se muestra en la Figura 4-7.

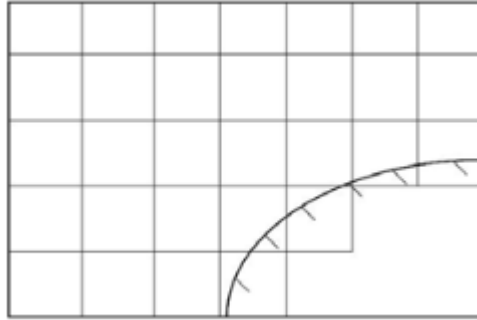


Figura 4-7. Malla de cuerpo sumergido cartesiana estructurada

Fuente: (SOLIDWORKS, 2012)

En este enfoque, la creación de la malla empieza de manera independiente de la geometría y las celdas pueden cruzar arbitrariamente el límite entre el sólido y el fluido. Esto permite usar una malla basada en coordenadas cartesianas, que en el caso general no puede ajustarse a los sólidos. Este tipo de malla se puede definir como un conjunto de cuboides adyacentes entre sí y al contorno externo del dominio computacional, orientado a lo largo de las coordenadas Cartesianas. Los cuboides intersecados por la superficie se tratan de manera especial, descrita más adelante, según las condiciones de contorno definidas en la superficie. Se debe hacer notar que el enfoque de malla de cuerpo sumergido se puede implementar para elementos tetraédricos y otros tipos de elementos, pero en lo que respecta a la precisión de la aproximación y a la facilidad de implementación, se prefieren claramente las mallas Cartesianas. (SOLIDWORKS, 2012)

7.5 Resolver

Flow Simulation discretiza las ecuaciones de Navier-Stokes dependientes del tiempo y los resuelve en la malla computacional. Bajo ciertas condiciones, para resolver la solución, Flow Simulation automáticamente refinará la malla computacional en el cálculo de flujo.

Debido a que Flow Simulation resuelve los problemas de estado estacionario mediante la solución de ecuaciones dependientes del tiempo, Flow Simulation tiene que decidir cuándo una solución de estado estacionario se obtiene, por lo que el cálculo se puede detener. Flow Simulation ofrece alternativas diferentes de terminar el cálculo. Para obtener resultados que son altamente confiables desde el punto de vista de ingeniería, puede especificar algunos de los Objetivos de ingeniería, tales como presión, temperatura, fuerza, etc, en puntos específicos, y / o en superficies seleccionadas, y / o en los volúmenes seleccionados, y / o en el dominio computacional. Usted puede monitorear sus cambios en el cálculo y pedirle a Flow Simulation su uso como una condición de terminar el cálculo.

Junto con los objetivos también puede utilizar otras condiciones de acabado. Durante el cálculo se puede ver los resultados preliminares en los planos seleccionados. También puede detener el cálculo en cualquier momento, y continuar el cálculo posteriormente. (Rodríguez, 2010)

7.6 Realización de la simulación del banco de hidrociclón.

7.6.1 Activación de SolidWorks Flow Simulation

Abrimos el programa de SolidWorks y nos entramos al menú Herramientas/ Complemento, y activamos el complemento.

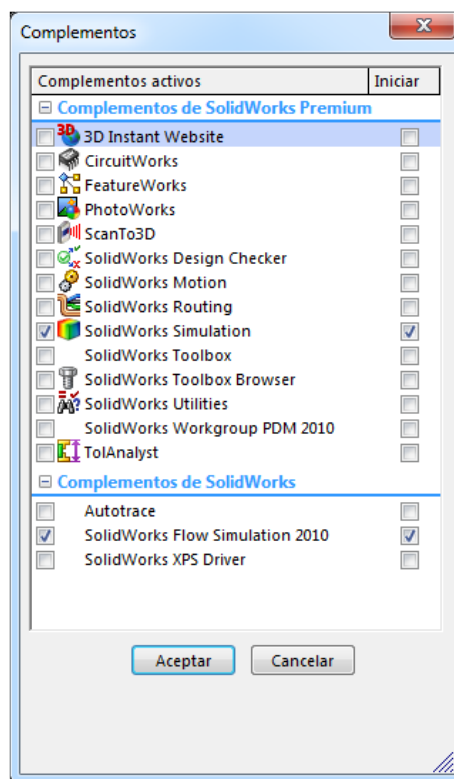


Figura 5-7. Activación del Flow Simulation

Fuente: Autores

7.6.2 Abrimos el archivo de análisis que anteriormente lo dibujamos en el programa SOLIDWORKS.

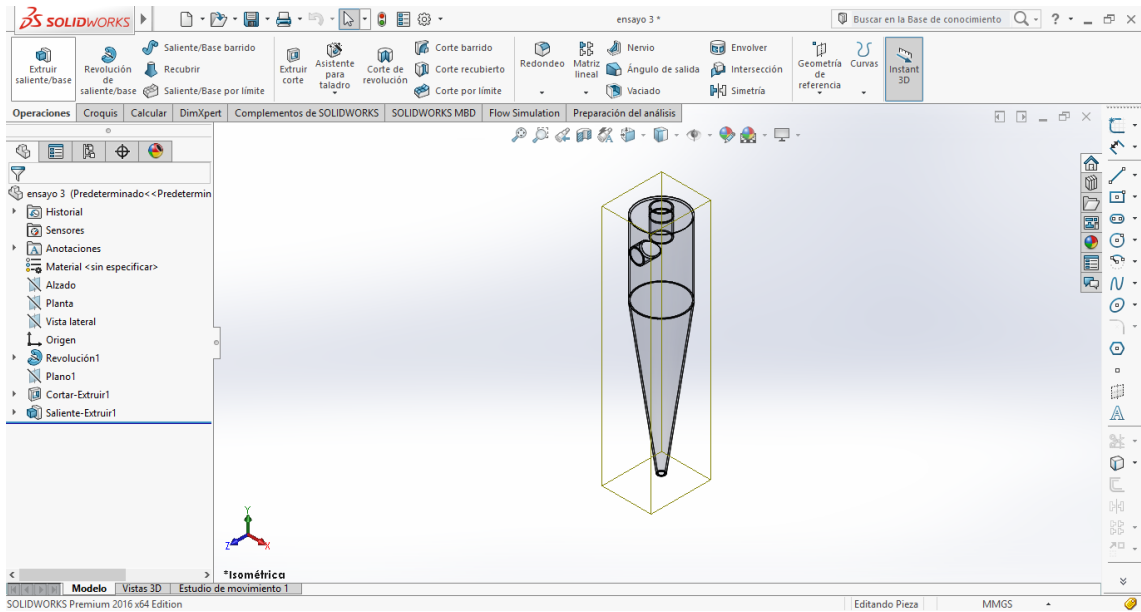


Figura 6-7. Apertura del cyclone

Fuente: Autores

7.6.3 *Vamos a la pestaña del Flow Simulation en la barra de menú y realizamos las tapas de los orificios y aceptamos.*

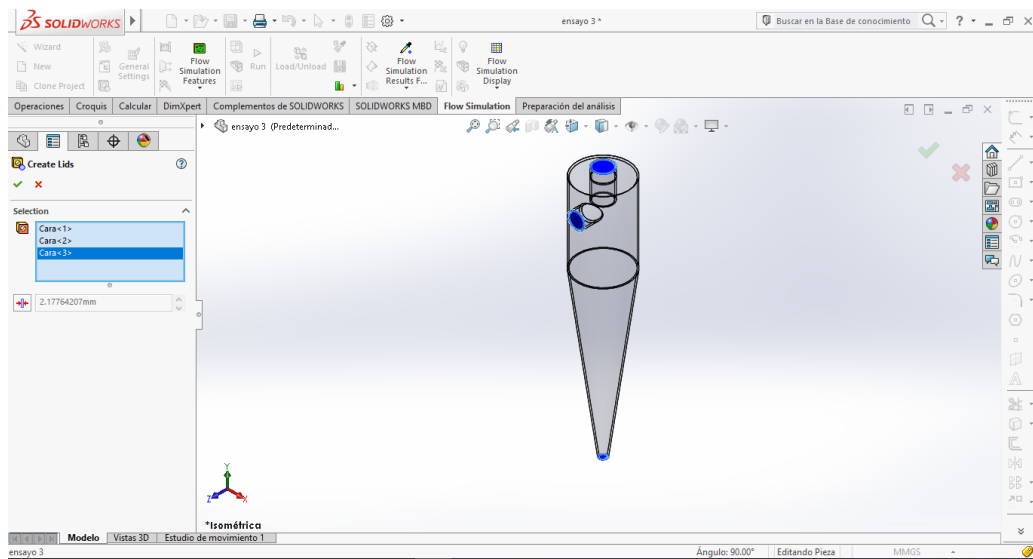


Figura 7-7. Sellado de orificios de hidrociclón.

Fuente: Autores

7.6.4 *Realizamos un nuevo proyecto con el nombre de Cyclone.*

En la pestaña de Flow Simulation nos dirigimos a la parte superior derecha y pulsamos en Wizard

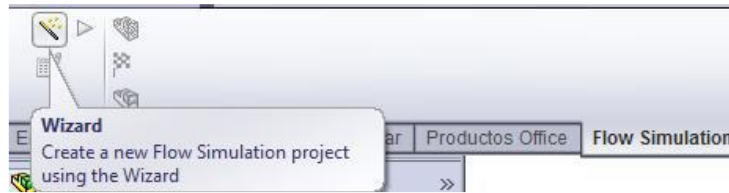


Figura 8-7. Activacion de Wizard

Fuente: Autores

7.6.4.1 *Abrimos un nuevo proyecto y cambiamos de nombre.*

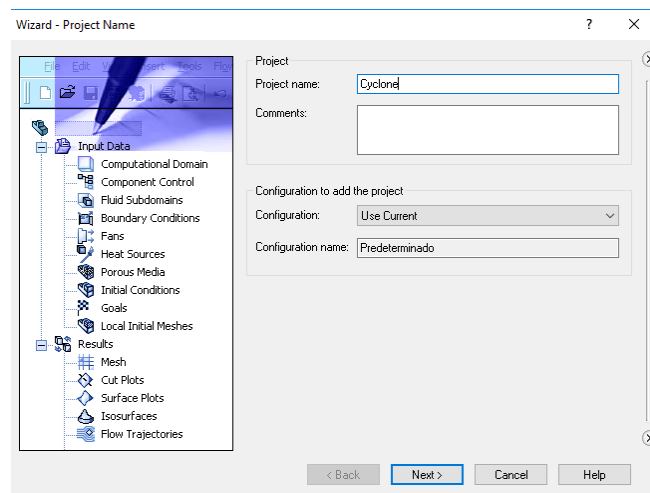


Figura 9-7. Nuevo proyecto

Fuente: Autores

7.6.4.2 *Configuramos nuestras unidades en el sistema internacional (SI).*

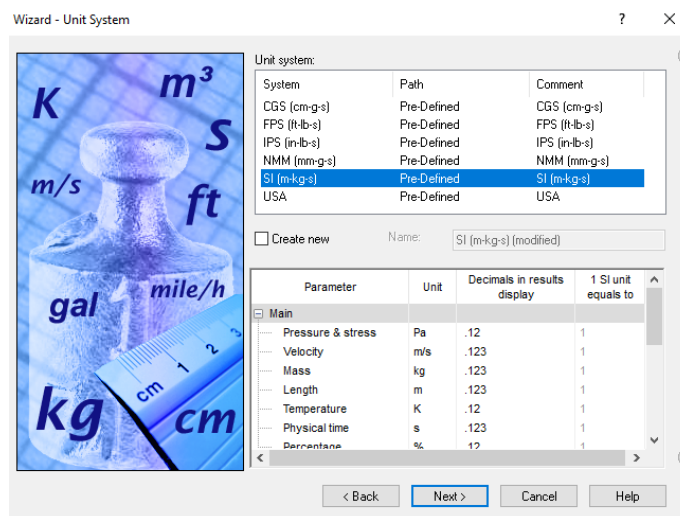


Figura 10-7. Configuración de unidades.

Fuentes: Autores

7.6.4.3 Configuramos que tipo de análisis

Vamos a ser, en nuestro caso será un análisis tipo interno, también seleccionamos Exclude cavities, cavities whithiut Flow conditions , como también picamos en gravity y damos next.

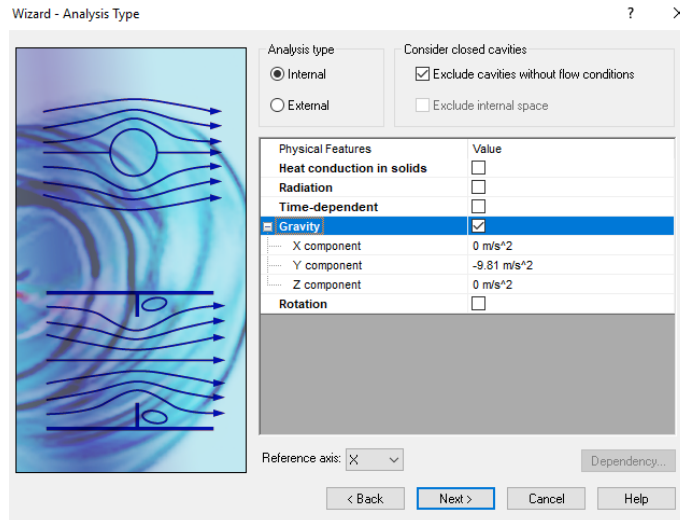


Figura 11-7. Tipo de análisis.

Fuente: Autores

7.6.4.4 Seleccionamos el tipo de fluido y añadimos a nuestro proyecto, en el caso de estudio de este proyecto se añadirá agua, y continuamos en next.

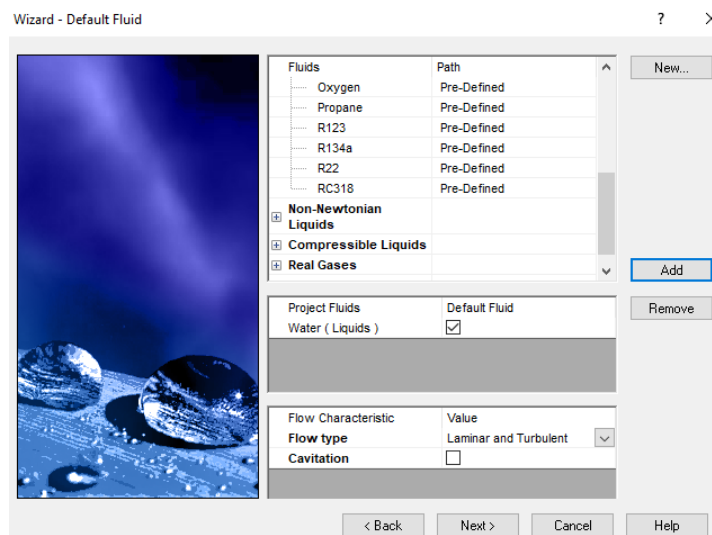


Figura 12-7. Selección del tipo de fluido

Fuente: Autores

7.6.4.5 *Condiciones de pared la cual se deja la opción para condición térmica por defecto de pared en Adiabatic Wall y Roughness en 0*

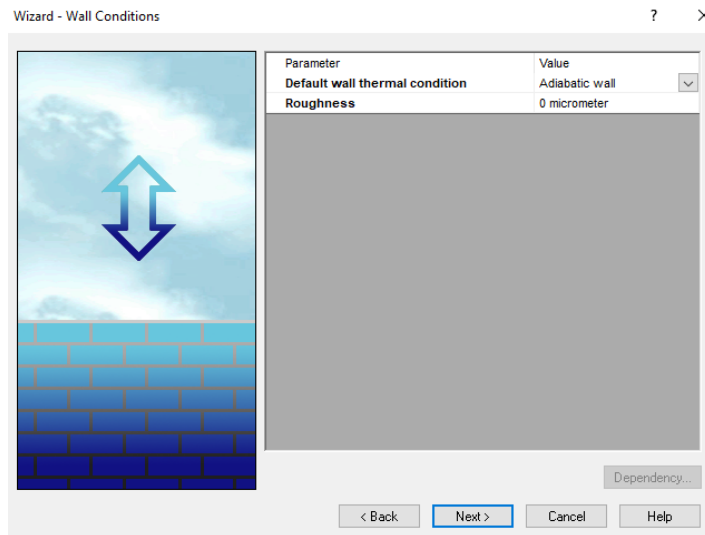


Figura 13-7. Condiciones de pared

Fuente: Autores

7.6.4.6 *Condiciones iniciales dejamos como nos aparece en la ventana y finalizamos donde ya nos saldrá nuestro objeto de análisis en un volumen de control.*

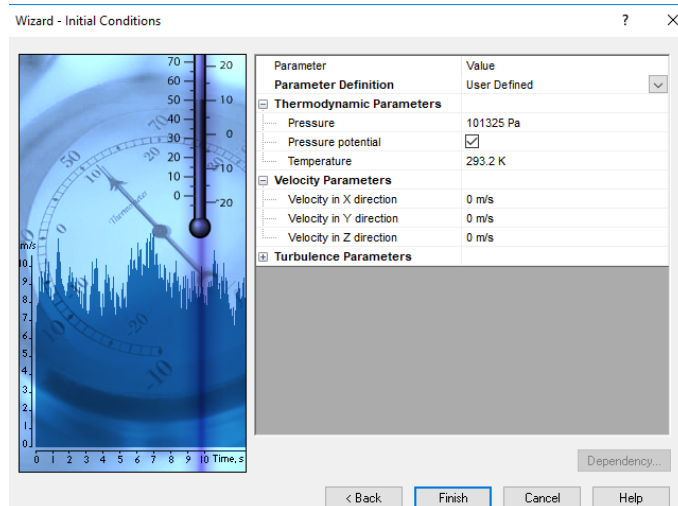


Figura 14-7. Condiciones iniciales.

Fuente: Autores

7.6.5 Condiciones de frontera de flujo volumétrico

Una vez realizado nuestro proyecto configurado tenemos que dar condiciones de frontera.

7.6.5.1 *Condición de frontera de flujo volumétrico en las salidas de hidrociclón, así como la de presión en la entrada del mismo se realizó con datos tomados en la tesis, en la cual nos especifica los valores para la respectiva simulación.*

En los tres casos de condiciones de frontera se realizó de la misma manera:

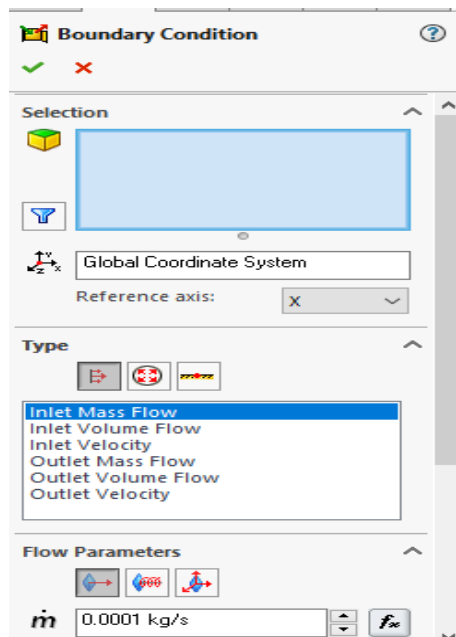


Figura 15-7. Condiciones de frontera volumen de control

Fuente: Autores

7.6.6 Condiciones de frontera de presión

7.6.6.1 *Después de desplegar esta ventana escogemos la opción de Outlet Volume Flow e ingresamos la cantidad de $0.001014 \text{ m}^3/\text{s}$, que es a la salida superior del hidrociclón.*

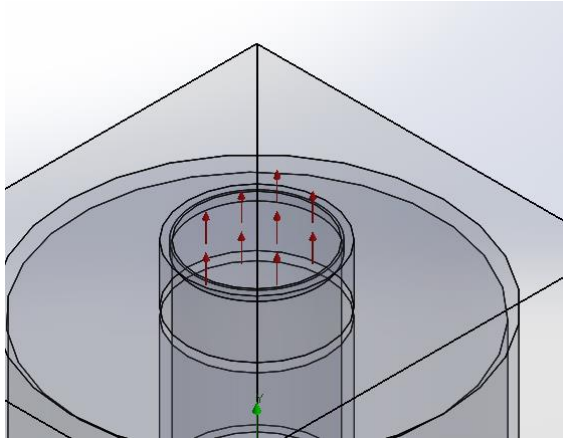


Figura 16-7. Condiciones de frontera de flujo volumétrico parte superior

Fuente: Autores

7.6.6.2 *Continuando con las condiciones de frontera seguimos el mismo trámite para la parte inferior del hidrociclón colocando una cantidad de $0.000238 \text{ m}^3/\text{s}$.*

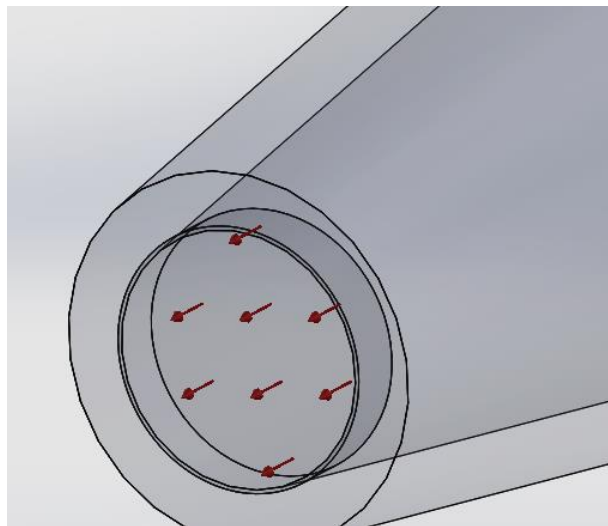


Figura 17-7. Condiciones de frontera de flujo volumétrico.

Fuente: Autores

7.6.7 *Datos de presión generada por la bomba*

7.6.7.1 *Al final designaremos una presión generada por la bomba de 177884.75 Pa .*

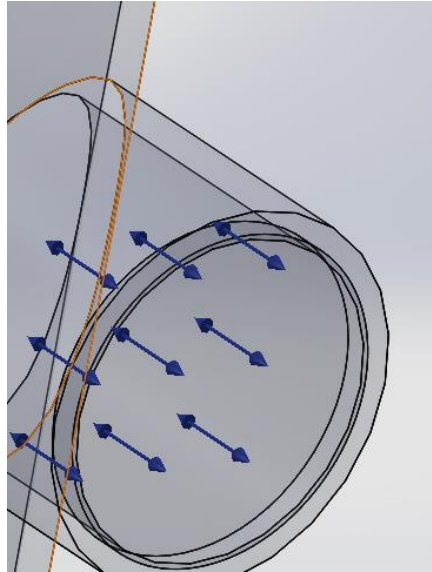


Figura 18-7. Condiciones de frontera de presión

Fuente: Autores

7.7 Ejecución de la simulación

Una vez que ya tenemos las condiciones de frontera realizamos la ejecución de la simulación dando play en la flecha, que está ubicada en el menú del Flow Simulation, el cual nos despliega esta imagen a la cual aceptaremos picando en run.

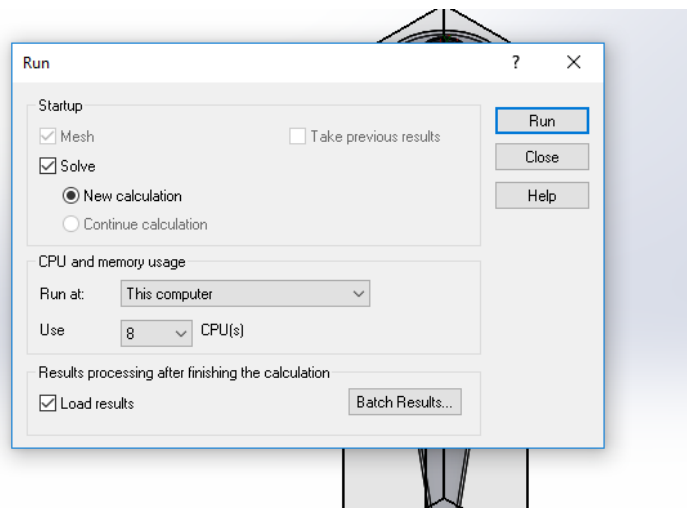


Figura 19-7. Ejecución de simulación

Fuente: Autores

7.8 Resultado

Una vez que realizamos la simulación nos da los resultados siguientes:

Tabla 1-7. Resultados de la simulación SOLIDWORKS Flow Simulation

Parameter	Value
Status	Solve in finished
Cell	18.172
Fluid Cell	9.459
Solid Cell	8.713
Partial Cell	4.968
Iterations	135
Last iterations finished	21:31:21
CPU time per last iterations	00:00:06
Travels	
Iterations per travels	47
CPU time	0:0:48
Calculation time left	0:0:0
Run at	DESKTOP-310S11C3
Warnig	Comment
No Warnig	

Fuente: Autores

7.9 Trayectoria del fluido

Una vez realizado la simulación y obtenido los resultados, podemos ver la trayectoria del fluido dentro del hidrociclón para lo cual seguiremos los siguientes pasos:

7.9.1 Insertar trayectoria

Picamos en la ventana izquierda en la opción resultado y cuando nos despligue el menú seleccionamos Flow trajectory lo cual llenaremos seleccionando la entrada del fluido y aceptamos.

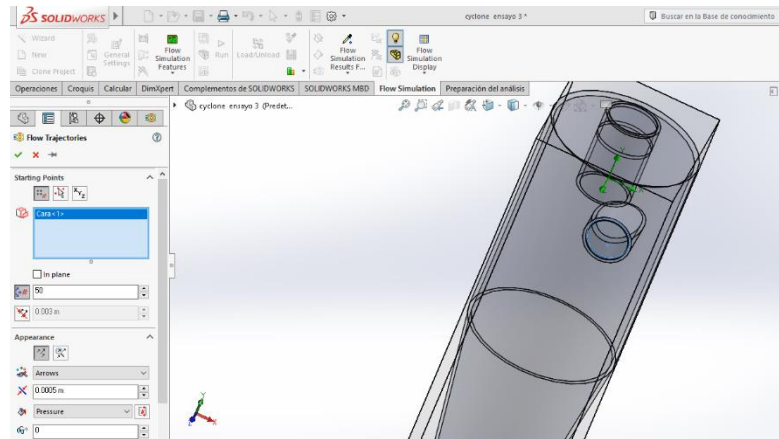


Figura 20-7. Trayectoria de fluido

Fuente: Autores

Una vez que aceptamos nos muestra el programa un análisis de barra de colores visualizando la presión máxima y mínima que soporta el hidrociclón, así como también de como el fluido está dentro del mismo.

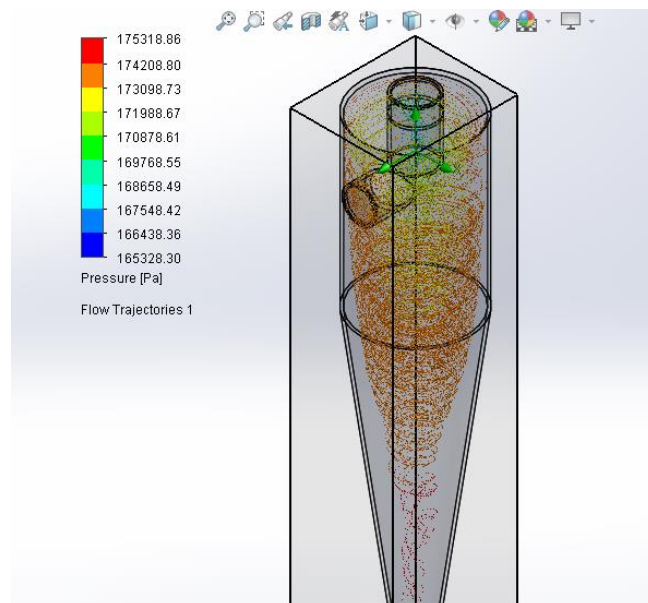


Figura 21-7. Análisis de Trayectoria

Fuente: Autores

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

La automatización de datos que se realizó en el banco de hidrociclón permite al estudiante obtener las medidas de una manera fácil, con mayor rapidez y exactitud de las variables físicas que influyen en el funcionamiento a diferente apertura de la válvula de caudal.

Al concluir el estudio del arte del banco hidrociclón en la toma de datos en tiempo real, e logro adquirir la medición de presión y caudal en función del tiempo.

Después de un análisis de los componentes constitutivos del banco de hidrociclón se determinó de realizar un mantenimiento de algunos elementos, así también como la sustitución de otros componentes.

Una vez realizado la simulación en el software SOLIDWORKS Flow Simulation se pudo observar el funcionamiento interno del fluido recorriendo dentro del hidrociclón, así como también los puntos con mayor esfuerzo debido a la presión del fluido.

Las curvas de distribución granulométrica de arena no representaron grandes diferencias entre las muestras conectadas en la alimentación, y en el concentrado, ya que la gran cantidad de arena que entra al hidrociclón sale del mismo sin cambiar sus propiedades físicas.

El poder de separación del hidrociclón presenta mayores eficiencias totales, operando con bajas diferencias de presión, esto demuestra el potencial del equipo para su uso en la prefiltración del agua, además de ser un equipo netamente limpio, el cual no contamina el medio ambiente.

8.2 Recomendaciones

Manipular los elementos constitutivos del banco con mucho cuidado ya que elementos como los sensores son muy sensibles a corrientes estáticas y mal manejo lo dejarían defectuosos.

No cerrar la válvula menos de un 25% de apertura para evitar problema con el conjunto de motobomba, ya que podría generar una sobrepresión en la misma lo que provocaría un posible daño de los elementos constitutivos de la misma.

Verificar que la toma de energía esté conectada y en pleno funcionamiento, para un rendimiento óptimo del banco de hidrociclón.

Utilizar el equipo de seguridad para la persona que manipule los instrumentos ya que la recirculación del fluido puede salpicar la vestimenta del operador.

BIBLIOGRAFÍA

AMETEK. *Directindustry*. [En línea] 2016 [Consultado en:10 de Agosto de 2016] . Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/us-gauge/product-14266-1711421.html>.

BOUSO, Juan Luis. *Eral, Equipos y Procesos, S.A.* [En línea] 1990 [Consultado en:1 de Noviembre de 2016] . Disponible en: <http://www.ralchile.com/pdf/18.pdf>.

CHICALA, Carlos. . *Adquisición de datos.* Buenos Aires .Soluciones en control.S.R.L, 2. pp.383.

MATAIX ,Claudio. *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas.* Mexico , 1982.Cap1-Cap4

D'AGUA. *Bombas.* [En línea] 2016. [Consultado en: 5 de Noviembre de 2016]. Disponible en: <http://www.acasadagua.com.br/produtos/27>.

LABORATORIO DE FLUIDOS. *Fluidos.* [En línea] 2016 [Consultado en:11 de Noviembre de 2016]. Disponible en: <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm>.

IMPEX. *Filtros de agua.* [En línea] [Consultado en:15 de Enero de 2017]. Disponible en: <http://www.impex.nl/es/controles-de-regulacion/medidores-de-agua-y-filtros-de-agua>.

NATIONAL INSTRUMENTS. *LabVIEW.* [En línea] 2015 [Consultado en: 17 de Enero de 2017]. Disponible en: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa..>

KELLY. *Introducción al procesamiento de minerales,* Noriega-Limusa. Mexico: 1990, pp. 227-260.

KREBS. *SmartCyclone.* [En línea] 2009 [Consultado en: 5 de Noviembre de 2016]. Disponible en: <http://www.krebs.com/products.php/product/26/Krebs+CycloWash%AE>.

MARQUEZ, Alejandro. *Sensores digitales.* [En línea] 2014 [Consultado en: 10 de Diciembre de 2016]. Disponible en: <https://www.hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-flujo/>.

OMEGA. *Intrumentación industrial.* [En línea] [Consultado en: 17 de Noviembre de 2016]. Disponible en: <http://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>.

PACÍFICO, FUNDICIÓN. *Válvulas.*[En línea] 2011[Consulta en: 11 de Junio de 2017]. Disponible en : <http://www.fundicionpacifico.com/ferreteria/valvulas-compuerta/valvulas-de-compuertas.html>.

RIETEMA. *Performance and desing of Hidrocyclones.* 1960. pp. 298-320.

PIXES. *Reservorios.*[En línea] [Consultado en: 11 de Febrero de 2017]. Disponible en: http://pt.made-in-china.com/co_mirrorplastic/product_Acrylic-Square-Fish-Tank-Mr020_eygnsnyug.html.

REYES. *Hidrociclón*. [En línea] 2010 [Consultado en: 6 Agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3947/doroteoreyes.pdf?sequence=1..>

RODRIGUEZ, Arturo . *SolidWorks nivel III*. Facultad de Mecánica de fluidos, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2010.

SOLIDWORKS. *Solidworks*. [En línea] 2012[Consultado en: 18 de Agosto de 2017]. Disponible en: http://www.solidworks.es/sw/docs/Flow_Basis_of_CAD_Embedded_CFD_Whitepaper_ESP.pdf.

TARINOS. *Hidrociclón*. [En línea] 2009.[Consultado en: 22 de Marzo de 2017]. Disponible en: <http://taninos.tripod.com/hidrociclón.htm>.

TERMINESP. *Terminesp*. [En línea] [Consultado en: 20 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://www.wikilengua.org/index.php/Terminesp:hidrocicl%C3%B3n>.

THERMOPEDIA. *Hidrociclón*. [En línea] 2011 [Consultado en: 12 Octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.thermopedia.com/es/content/862/>.

VAL-SA. *Comercio Valsa*. [En línea] [Consultado en: 2 de Noviembre de 2016]. Disponible en: http://www.val-sa.com.mx/tiendavirtual/product_info.php?products_id=3817.

VALSUM. *Válvulas y Suministros*. [En línea] [Consultado en: 13 de Diciembre de 2016]. Disponible en: http://www.valsum.es/index.php?route=product/product&product_id=67.

VALVE, DOROT CONTROL. *Medidores de caudal*. [En línea] [Consultado en: 8 de Abril de 2017]. Disponible en: <http://www.dorot.com/files/bcf5c3e4b00db51cd96482543d1ba5cd.pdf>.

VILLA, Jorge. *Fluidos*. [En línea] 2015[Consultado en: 20 de Septiembre de 2016]. Disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/manometro/manometro.html>.

WIKA. *Directindustry*. [En línea] [Consultado en: 01 de Febrero de 2017].Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/wika-alexander-wiegand-se-co-kg/product-6196-1789052.html>.