



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TÍTULO DE LA TESIS DE GRADO**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO PARA CONTROL DE  
NIVEL DE LIQUIDOS.”**

**Previo a la obtención del Título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**JOHNNY MARLON BORJA BORJA**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**2011-2012**

## *AGRADECIMIENTO*

*La presente investigación refleja los conocimientos adquiridos durante mi vida estudiantil en la Facultad de CIENCIAS de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO y de la ayuda técnica de los docentes de la misma.*

*Mi agradecimiento sincero y a la vez grato al Ing. MARIO VILLACRES, Director de la Escuela de Ingeniería Química, quien me guió para sacar adelante este trabajo, a mi asesor Ing. AIDA GRANJA quien supo brindarme orientación durante el tiempo de realización de mi investigación, gracias a su colaboración y apoyo fue posible la realización y finalización de dicha Investigación.*

## DEDICATORIA

*Ese trabajo de investigación va dirigido a mis queridos padres Raúl y Judith, por el apoyo brindado desde mis primeros pasos hasta hoy gracias a ustedes queridos padres por su comprensión y apoyo a ustedes les dedico todo mi esfuerzo.*

*JOHNNY*

**HOJA DE FIRMAS**

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Yolanda Díaz		
<b>DECANA FAC. CIENCIAS</b>	_____	_____
Ing. Mario Villacrés		
<b>DIRECTOR ESC. ING. QUIM.</b>	_____	_____
Ing. Mario Villacrés		
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>	_____	_____
Ing. Aida Granja		
<b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
Sr. Carlos Rodriguez		
<b>DIRECTOR CENTRO DOCUMENT.</b>	_____	_____
<b>NOTA DELA TESIS</b>	_____	

Yo, Johnny Marlon Borja Borja soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

cm	Centímetros
cm <sup>3</sup>	centímetro cúbico
Fig.	Figura
g	Gramos
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
kg	Kilogramos
mm	Milímetros
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
m <sup>3</sup>	metros cúbicos
°C	Grados centígrados
s	Segundos
$\rho$	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
%	Porcentaje
Q	caudal (L/s)
A	área (m <sup>2</sup> )
H	altura (m)
a	ancho (cm)
l	largo (cm)
$\Delta P$	diferencia de presión (Psi)
Cv	es el flujo de agua a 15°C en gal/min que pasa a través de una válvula completamente abierta y con una caída de presión de 1Psi.

G	gravedad específica del fluido que pasa a través de la válvula. (m/s <sup>s</sup> )
Y	función de compresibilidad.
T	temperatura a la que se encuentra el líquido. (°C)
K <sub>v</sub>	ganancia de la válvula
F	flujo (L/s)
Δ	diferencial derivativo
£	Transformada de La Place
Kg	kilogramos
KP	kilo Pascales
R	rango (adimensional)
F <sub>i(s)</sub>	flujo de entrada (L/s)
K <sub>1</sub>	ganancia o sensibilidad del proceso y viene dada por la siguiente ecuación
C <sub>1</sub>	relaciona la constante de la válvula con la altura de la siguiente manera
A <sub>1</sub>	área del tanque de medida (m <sup>2</sup> )
τ	Constante de tiempo del proceso se relaciona con la velocidad de respuesta. (1/s)
L	litros
ℒ	Transformada de La Place
γ	peso específico del agua

# TABLA DE CONTENIDOS

	Pp.
<b>AGRADECIMIENTO</b>	
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>HOJA DE FIRMAS</b>	
<b>HOJA DE RESPONSABILIDAD</b>	
<b>RESUMEN.....</b>	<b>I</b>
<b>SUMARY.....</b>	<b>II</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>III</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>IV</b>
<b>JUSTIFICACION.....</b>	<b>V</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>VI</b>
<b>GENERAL.....</b>	<b>VI</b>
<b>ESPECIFICOS.....</b>	<b>VI</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>- 30 -</b>
<b>1.-MARCO TEORICO.....</b>	<b>- 30 -</b>
<b>1.1.- LÍQUIDOS.....</b>	<b>- 30 -</b>
<b>1.1.1.- PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS.....</b>	<b>- 30 -</b>
<b>1.1.1.1.- COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.....</b>	<b>- 30 -</b>
<b>1.1.1.2.-DIFUSIÓN.....</b>	<b>- 31 -</b>
<b>1.1.1.3.-FORMA Y VOLUMEN.....</b>	<b>- 31 -</b>
<b>1.1.1.4.-VISCOSIDAD.....</b>	<b>- 32 -</b>



	Pp.
<b>1.1.2.- MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS .....</b>	<b>- 32 -</b>
<b>1.1.2.1.-MÉTODOS DE MEDICIÓN .....</b>	<b>- 32 -</b>
<b>1.2.- SISTEMAS DE CONTROL .....</b>	<b>- 35 -</b>
<b>1.2.1.-SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO.....</b>	<b>- 35 -</b>
<b>1.2.2.-COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CONTROL.....</b>	<b>- 38 -</b>
<b>1.2.3.-CARACTERISTICAS DE FLUJO DE LAS VALVULAS.....</b>	<b>- 42 -</b>
<b>1.2.4.- DIMENSIONAMIENTO DE LA VALVULA DE CONTROL.....</b>	<b>- 43 -</b>
<b>1.2.5.- GANANCIA DE LAS VALVULAS.....</b>	<b>- 44 -</b>
<b>1.2.6.- ALGUNAS APLICACIONES DEL CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS ....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>1.2.6.1.- EN TANQUES DE INODOROS .....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>1.2.6.2.- EN CISTERNAS.....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>1.2.6.3.- EN LAS EMBOTELLADORAS .....</b>	<b>- 46 -</b>
<b>1.2.6.4.- INDUSTRIA PAPELERA .....</b>	<b>- 46 -</b>
<b>1.2.6.5.- INDUSTRIA DE QUIMICOS .....</b>	<b>- 46 -</b>
<b>1.2.6.6.- NIVELIMETRÍA EN GRANDES TANQUES .....</b>	<b>- 47 -</b>
<b>1.3.- DISEÑO.....</b>	<b>- 47 -</b>
<b>1.3.1.-BALANCE DE MASA PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL .....</b>	<b>- 48 -</b>
<b>1.3.2.-ESTRUCTURA METALICA.....</b>	<b>- 55 -</b>
<b>1.3.3.-TANQUES PARA EL EQUIPO.....</b>	<b>- 56 -</b>
<b>1.3.3.1.-TANQUE DE ALMACENAMIENTO.- .....</b>	<b>- 56 -</b>
<b>1.3.3.2.-TANQUE DE MEDICION.-.....</b>	<b>- 56 -</b>
<b>1.3.4.-BOMBA .....</b>	<b>- 57 -</b>
<b>1.3.5.-SERVOVALVULA.- .....</b>	<b>- 58 -</b>

	Pp.
1.3.5.1.-PARTE MOTRIZ: MOTOR DC .....	- 59 -
1.3.5.2.-VÁLVULA DE CONTROL.....	- 59 -
1.3.5.3.-ACOPLAMIENTO MOTOR-VÁLVULA .....	- 61 -
1.3.6.-TUBERIA PVC .....	- 62 -
1.3.7.-ACCESORIOS.....	- 62 -
1.3.7.1.-CODOS.....	- 63 -
1.3.7.2.-REDUCCIÓN BUSHING. ....	- 63 -
1.3.7.3.-REDUCCIÓN CAMPANA.....	- 63 -
1.3.7.4.-UNIÓN UNIVERSAL. ....	- 64 -
1.3.7.5.-VÁLVULAS DE ESFERA O BOLA.....	- 65 -
1.3.7.6.-TAPÓN.....	-64-65-
1.3.8.-SENSORES DE NIVEL .....	- 66 -
1.3.8.1.-SENSOR DE BOYA .....	- 66 -
1.3.9.-PANEL DE CONTROL.....	- 68 -
1.3.9.1.-SWICH DE ALIMENTACIÓN PRINCIPAL DE ENERGÍA. ....	- 69 -
1.3.9.2.-SWICH DE ENCENDIDO DE LA BOMBA .....	- 69 -
1.3.9.3.-SWICH DE ENCENDIDO DE LA VÁLVULA DE CONTROL .....	- 69 -
1.3.9.4.-SWICH PARA ABRIR Y CERRAR LA VÁLVULA DE CONTROL.....	- 70 -
1.4.- DIAGNOSTICO .....	- 70 -
CAPÍTULO II .....	- 71 -
2.-DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN:.....	- 71 -
2.1.-PARTE EXPERIMENTAL.....	- 71 -

	Pp.
2.1.1.-MUESTREO .....	71 -
2.1.2.-METODOLOGIA.....	72 -
2.1.2.1.- METODOS Y TÉCNICAS .....	72 -
2.1.2.1.1.- METODOS.....	72 -
2.1.2.1.2.-TECNICAS .....	73 -
2.2.-DATOS EXPERIMENTALES.....	77 -
2.2.1.-DATOS PARA LA BOMBA.....	77 -
2.2.2.- DATOS PARA LA VÁLVULA .....	78 -
2.3.-DATOS ADICIONALES .....	80 -
CAPITULO III.....	81 -
3.-DISEÑO.....	81 -
3.1.-CALCULOS.....	81 -
3.1.1.- CALCULOS REALIZADOS PARA EL DISEÑO DE LOS TANQUES.-	81 -
3.1.1.1.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	81 -
3.1.1.2.- TANQUE DE MEDICION.....	81 -
3.1.2.-BOMBA.....	82-83-
3.1.3.- CALCULO REALIZADOS PARA LA SERVOVALVULA.....	83-84-
3.1.4.- CALCULOS REALIZADOS PARA EL SENSOR.....	84-85-
3.1.5.- CÁLCULOS REALIZADOS A LA BOMBA.....	86 -
3.1.6.- CÁLCULOS REALIZADOS A LA VÁLVULA.....	87 -
3.1.7.- CÁLCULOS REALIZADOS AL SENSOR.....	89 -

	<b>Pp.</b>
<b>3.1.9.- CÁLCULOS REALIZADOS DE LA INVERSIÓN.....</b>	<b>- 90 -</b>
<b>3.2.- RESULTADOS.....</b>	<b>- 93 -</b>
<b>3.2.1.- RESULTADOS OBTENIDOS DEL CÁLCULO DE DISEÑO .....</b>	<b>- 93 -</b>
<b>3.2.2.- CURVAS OBTENIDAS CON LOS DATOS ADQUIRIDOS PARA LA BOMBA.....</b>	<b>- 93 -</b>
<b>3.2.3.- CURVAS OBTENIDAS A PARTIR DE LOS DATOS ADQUIRIDOS PARA EL SENSOR.....</b>	<b>- 94 -</b>
<b>3.2.4.- RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CALCULOS REALIZADOS A LA BOMBA.....</b>	<b>- 95 -</b>
<b>3.2.5.- RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CALCULOS REALIZADOS PARA LA VALVULA.....</b>	<b>- 98 -</b>
<b>3.2.6.- RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CALCULOS GENERALES .....</b>	<b>- 100 -</b>
<b>3.3.-ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>- 100 -</b>
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>- 103 -</b>
<b>4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>- 103 -</b>
<b>4.1.- CONCLUSIONES .....</b>	<b>- 103 -</b>
<b>4.2.- RECOMENDACIONES .....</b>	<b>- 105 -</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>- 106 -</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura:</b>	<b>Pp.</b>
1.1.2.1-1.- MEDIDOR ACTUADO POR PRESIÓN HIDROSTÁTICA.....	33
1.1.2.1-2.- MANÓMETRO .....	33
1.1.2.1-3.- MEDIDOR POR FLOTADOR BOYA.....	34
1.2.1-1.- SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO. ....	34
1.2.1-2.- SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO .....	36
1.2.2-1.- ACTUADOR DE UNA VÁLVULA DE CONTROL. ....	36
1.2.2-2.- PARTES DE UNA VÁLVULA DE CONTROL .....	40
1.2.2-3.- VÁLVULAS DE CONTROL PARA FLUIDOS INCOMPRESIBLES .....	41
1.3-1.- EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL.....	41
1.3.1-1.-BALANCE DE MASA PARA SISTEMAS DE CONTROL DE NIVEL. ....	48
1.3.2-1.- ESTRUCTURA METÁLICA .....	48
1.3.5-1: SERVOVÁLVULA .....	55
1.3.5.2-1: RESPUESTA DE UNA VÁLVULA DE COMPORTAMIENTO LINEAL .....	59
1.3.6-1.- TUBERÍA PVC .....	60
1.3.7.1-1.- CODO.....	62
1.3.7.2-1.- REDUCCIÓN BUSHING.....	62
1.3.7.3-1.- REDUCCIÓN CAMPANA.....	63
1.3.7.4-1.- UNIÓN UNIVERSAL.....	63
1.3.7.5-1.- VÁLVULA DE ESFERA O DE BOLA.....	64
1.3.7.6-1.- TAPÓN.....	64

	<b>Pp.</b>
<b>1.3.8.1-1.-SENSOR DE BOYA.....</b>	<b>65</b>
<b>1.3.9-1.- PARTES CONSTITUTIVAS DEL PANEL DE CONTROL.....</b>	<b>66</b>
<b>3.1.1.1-1.- ÁREA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....</b>	<b>80</b>
<b>3.1.1.2-1 ÁREA DEL TANQUE DE MEDICIÓN.....</b>	<b>81</b>
<b>3.1.2-1.- BOMBA.....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla:</b>	<b>Pp.</b>
<b>2.1.2.1.2-1PRUEBAS REALIZADAS A LA BOMBA.....</b>	<b>73</b>
<b>2.1.2.1.2-2 PRUEBAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LA VÁLVULA DE CONTROL .....</b>	<b>74</b>
<b>2.1.2.1.2-3 PARA DETERMINAR LAS VARIABLES GENERALES DEL EQUIPO.....</b>	<b>75</b>
<b>2.2.1-1 DATOS DE TIEMPO EN FUNCIÓN DE LA ALTURA.....</b>	<b>76</b>
<b>2.2.1-2 DATOS DE VOLUMEN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....</b>	<b>77</b>
<b>2.2.2-1 TIEMPO EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE VACIADO .....</b>	<b>78</b>
<b>2.2.2-2 ALTURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS QUE DETECTA EL SENSOR .....</b>	<b>78</b>
<b>2.3-1DATOS ADICIONALES .....</b>	<b>79</b>
<b>3.1.5-1 CAUDAL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LLENADO .....</b>	<b>85</b>
<b>3.1.5-2 OBTENCIÓN DE CAUDAL A PARTIR DEL VOLUMEN O EL TIEMPO .....</b>	<b>86</b>
<b>3.1.6-1 CAUDAL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE VACIADO .....</b>	<b>87</b>
<b>3.1.6-2 CAUDAL DE SALIDA A TRAVÉS DE LA VÁLVULA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE VACIADO.....</b>	<b>87</b>
<b>3.1.9-1 COSTO DE MATERIALES UTILIZADOS PARA EL ENSAMBLAJE DEL EQUIPO.....</b>	<b>90</b>
<b>3.1.9-2 GASTOS OPERACIONALES DEL EQUIPO .....</b>	<b>91</b>
<b>3.1.9-3 RECURSOS MATERIALES.....</b>	<b>91</b>
<b>3.2.1RESULTADOS OBTENIDOS DEL CÁLCULO DE DISEÑO.....</b>	<b>92</b>
<b>3.2.4-1CAUDAL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LLENADO .....</b>	<b>95</b>
<b>3.2.4-2 OBTENCIÓN DE CAUDAL A PARTIR DEL VOLUMEN O EL TIEMPO .....</b>	<b>96</b>
<b>3.2.5-1 CAUDAL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE VACIADO .....</b>	<b>97</b>

Pp.

<b>3.2.5-2 CAUDAL DE SALIDA A TRAVÉS DE LA VÁLVULA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE VACIADO.....</b>	<b>98</b>
<b>3.2.6-1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CÁLCULOS GENERALES. ....</b>	<b>99</b>



## ÍNDICE DE GRAFICAS

<b>Gráficas:</b>	<b>Pp.</b>
<b>3.2.2-1.- ALTURA VS TIEMPO.....</b>	<b>93</b>
<b>3.2.2-2.- ALTURA VS TIEMPO.....</b>	<b>93</b>
<b>3.2.3-1.- PUNTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE MEDICIÓN.....</b>	<b>94</b>
<b>3.2.4-1.- CAUDAL VS TIEMPO .....</b>	<b>95</b>
<b>3.2.4-2.- CAUDAL VS TIEMPO .....</b>	<b>96</b>
<b>3.2.5-1.- CAUDAL VS TIEMPO DE VACIADO.....</b>	<b>97</b>
<b>3.2.5-2.- RELACIÓN CAUDAL- ALTURA- TIEMPO DE VACIADO A TRAVÉS DE LA VÁLVULA.....</b>	<b>98</b>

## **INDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO:</b>	<b>PP.</b>
<b>I CUADROS COMPARATIVOS QUE SIRVEN PARA EL CONTROL DE NIVEL .....</b>	<b>107-108</b>
<b>II ESQUEMA GENERAL DEL EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL .....</b>	<b>109</b>
<b>III PLANOS DEL EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL DE LIQUIDOS.....</b>	<b>110</b>
<b>IV MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO .....</b>	<b>111-114</b>

**RESUMEN**

Diseño y Construcción de un Equipo para Control de Nivel de Líquidos para la Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El diseño consta de una bomba con una capacidad de 5HP y altura de succión de 40m la misma que se va a accionar cuando el sensor mida una altura mínima de 4,6cm y se apague cuando el sensor mida una altura máxima de 35,4cm, suministrando agua desde el tanque de almacenamiento con dimensiones de 35cm de ancho,40cm de largo,50cm de alto y un espesor de 6mm; al tanque principal con las misma características pero con una altura de 40cm, manteniendo un caudal constante; a través de una tubería de PVC resistiendo hasta de 80°C la cual es excelente ya que no vamos a trabajar con temperaturas mayores a 30°C.

Una servo válvula ubicada en la parte inferior del tanque principal retornando el agua formando un circuito cerrado, la misma que por sus costos elevados se construyó con un motor DC comúnmente utilizado en los taladros y plumas de los vehículos que es el actuador de la válvula acoplada a una válvula de globo.

Después de realizar el método analítico se adquiere y analiza los datos obtenidos dentro de un rango de operación de 7,69 llegando a las siguientes conclusiones caudal medio que sale a través de la bomba 0,58603216 L/s el cual se hace relación con el caudal obtenido al relacionar la altura con el tiempo de llenado y el área del tanque teniendo un valor de 0,52815833L/s con una eficiencia de 90,1%, mientras que la eficiencia que se tiene al utilizar una válvula de control para el tiempo de vaciado es de 78 % ya que el caudal va disminuyendo y el tiempo de vaciado aumenta entonces la presión de empuje

## I

también disminuye; se tiene una constante de válvula para este diseño es de 0.863 L/s que se obtiene para una altura máxima de 35,4 cm de altura. Para  $H_{1(s)}$  en función del flujo de entrada con valor de 17,25 cm se tiene una ganancia del sistema de  $0,07633\text{s/cm}^2$

Se recomienda utilizar otros equipos para medición de nivel de modo tal que se puedan establecer diferencias entre ellos, y analizar las ventajas y desventajas de los mismos determinando la eficiencia de cada uno.

## II

### SUMMARY

“Design and construction of equipment for Liquid Level Control for the Faculty of Science, School of Chemical Engineering at the Polytechnic School of Chimborazo”.

Motivated by that currently has the most automated industrial processes being the new line of investigation and on the grounds that is possible to control process variables in the laboratory through the design and construction of a level control equipment and provide a noble use to impart knowledge to students and relate them to many industrial applications. The aim of this study is to design and build a team for liquid level control.

The methodology used is quantitative by which it acquires, tabulates, and analyzes data from the process level measurement. The design consists of a pump with a capacity of 5 HP and suction height of 40 the same to be operated when the sensor measures a minimum height of 4,6cm and off when the sensor measures a maximum height of 35,4cm, providing water from the storage tank with dimensions of 35cm wide, 40cm long, 50cm high, and a thickness of 6mm; the main tank with the same features but with a height of 40cm, maintaining a constant flow through a PVC pipe to resist up to 80°C which is excellent and we are not going to work with temperatures above 30°C.

A servo valve at the bottom of the tank main returning the water to from a closed circuit, the same as for their high cost is constructed whit a Dc motor commonly used in the holes and feathers of vehicles is the valve actuator coupled to a globe valve.

After performing the analytical method is acquired and analyzed the data obtained within an operating range of 7,69, and reached the following conclusions: average flow coming through the pump 0,58603216 L/s, which is related with the flow ate obtained

## II

by linking up with the filling time, and the area of the tank having a value of 0,52815833L/s, with an efficiency of 90,1%, while the efficiency which has to use to control valve for emptying time is 78%, since the flow rate decreases and the emptying time increases , then the boots pressure also decreases, there is a constant valve for this design, it is 0,863L/s which is obtained to a maximum height of 35,4cm of height. For  $H_{1(s)}$  depending on the input stream with value of 17,25 cm, has a gain of 0,07633s/cm<sup>2</sup> system.

Other equipment is recommended for level measurement in a way, that can differentiate between them, and analyze the advantages and disadvantages of them, determining the efficiency of each.

### III

## INTRODUCCIÓN

A medida del paso de los años se ha hecho cada vez más imprescindible el estudio y la medición de las variables físicas que nos rodean, para su posterior tratamiento ya sea para la automatización o control de los sistemas.

Pero más común y necesario aun se ha vuelto el uso de métodos basados en controles a través de paneles de mando o software ya sea para monitoreo o control de dichos sistemas de manera manual o automatizada. El tema que aquí se presenta se denomina diseño y construcción de un equipo para control de nivel de líquidos.

El objetivo principal de este trabajo es la creación de un módulo o equipo en el cual se facilite el estudio de sistemas reales de instrumentación y control mediante el uso de sensores.

Específicamente con este trabajo se pretende la implementación de medios para realizaciones de pruebas de adquisición y generación de datos, manejando interfaces entre un medio real y un medio computarizado, lo cual permita el monitoreo y control de variables físicas reales.

Para llevar a cabo estos objetivos se plantea la creación de una planta de control de nivel en la cual se desarrolla un ambiente propicio para la medición de una variable física (nivel), uso de controladores, y manejo de equipos para control.

El procedimiento que se seguirá dentro de la realización de este trabajo comprende la correcta selección de equipos para el diseño y construcción de la planta, el

### III

análisis del comportamiento de esta mediante la identificación del modelo que la rige, para controlar su funcionamiento y comprobación de este.

La metodología que se utiliza es un muestreo simple con el cual se toma datos de acuerdo a las necesidades que se tenga, sin tener un horario fijo para ser tomadas.

El equipo de control de nivel de líquidos cumple con las expectativas planteadas debido a la facilidad de manipulación y a la facilidad con la que se puede adquirir datos para su posterior interpretación, sus partes están diseñadas para resistir temperaturas de 60°C lo cual es ideal ya que en el laboratorio se trabaja con temperatura no mayores a 35°C, teniendo una eficiencia de 90,1% determinando que la funcionalidad del equipo si es satisfactoria, mientras que la eficiencia que se tiene al utilizar una válvula de control para el tiempo de vaciado es de 78 % ya que mientras que el caudal va disminuyendo y el tiempo de vaciado aumenta porque la presión de empuje también disminuye. Luego de determinar altura máxima (35,4cm) y la altura mínima (4,6cm) estos datos van a ser la escala de la cual se obtiene un rango de medición de 7,69 siendo un valor bajo el cual va a ser nuestro intervalo de operación para no tener bajas eficiencias.



### ANTECEDENTES.

La carrera de Ingeniería Química inicia formalmente en el año de 1999, con las respectivas modificaciones al Pensum de Estudios, el cual, debía estar acorde al avance Tecnológico y Científico con miras a las necesidades y desarrollo del sector Industrial del País.

Por esta razón el Ingeniero Químico es el profesionalista que desempeña diversas funciones en los aspectos técnicos, científicos, administrativos y humanísticos entre otros dentro de los sectores económicos que tienen que ver con la implementación de procesos productivos que transforman materias primas y fuentes básicas de energía en productos útiles a la sociedad.

Es por eso que la Facultad de Ciencias conjuntamente con los estudiantes que han culminado su pensum académico ven la necesidad de contribuir en el avance científico y tecnológico de sus laboratorios implementando equipos experimentales que permitan una formación completa e integral, de esta manera se procura brindar a la sociedad profesionales altamente capacitados en lo científico y tecnológico en el área de Ingeniería Química y todas las que están asociadas a la misma.

En la actualidad los Laboratorios de la Facultad de Ciencias tiene varios equipos como secadores, hornos de combustión, sistemas de bombeo, destiladores, entre otros; que permiten realizar prácticas experimentales, pero no se cuenta con equipos para el control de los procesos, como control: de nivel, de caudal, de temperatura, de presión entre otros, es por esto que se ha optado por el diseño y construcción de un módulo básico para el control de nivel, para evitar que el control sea netamente

## IV

manual y tener una noción básica pero clara de la función que cumplen los sensores y demás componentes de un control automatizado, así estar preparados para la gradual complejidad con la que estos procesos se desarrollan exigiendo automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control casi en la totalidad de sus componentes en condiciones estables de calidad y de características.

## JUSTIFICACIÓN.

En la actualidad la industria posee cada vez procesos productivos más automatizados, complejos y en los que coexisten una gran diversidad de elementos: PLCs, computadores, accionamientos neumáticos o eléctricos, etc. Esto dio lugar a la aparición de los sistemas de producción flexibles que proporcionan respuestas rápidas al mercado fuertemente cambiante de hoy en día.

Como resultado de todas estas necesidades se originaron los llamados sistemas de control "inteligentes" basados en conceptos de: descentralización, autonomía, monitorización, los mismos que han llevado a todas las entidades e instituciones, que están vinculados con el campo tecnológico a incursionar en la investigación del desarrollo industrial es por eso que en los laboratorios de la Facultad de Ciencias existen varios equipos con los cuales los estudiantes en su etapa de formación académica van adquiriendo sus conocimientos en la parte práctica.

Sin embargo no tenemos un equipo para laboratorio de control de procesos, por lo que es necesario diseñar y construir un equipo para control de nivel de líquidos con la finalidad de representar en parte uno de estos procesos y obtener una aplicación real realizando acciones de control sobre la variable nivel, de esta manera incentivaremos a que los estudiantes tengan una mayor motivación en este tipo de tecnologías logrando satisfacer las investigaciones que a este tema se refieren, y contribuyan a mejorar la calidad de la enseñanza y el bienestar de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias con el conocimiento sobre la importancia que implica la aplicación de un equipo de control de procesos industriales que facilite la comprobación de manera práctica de estos fenómenos, se ve la necesidad de realizar esta investigación para que un equipo de estas

características sea utilizado como patrón para procesos a nivel industrial, mismo que servirá también para el avance y desarrollo práctico, productivo y científico del intelecto de los alumnos de Ingeniería Química.

**OBJETIVOS.**

**GENERAL.**

- **Diseñar y construir un equipo para control de nivel de líquidos.**

**ESPECIFICOS.**

- Simular el proceso de control de nivel de líquidos en los laboratorios de la Facultad.
- Identificar las variables de proceso que involucran controlar el nivel de líquidos dentro de un tanque.
- Plantear los cálculos de ingeniería para el módulo de control de nivel de líquidos, en base a las variables de proceso identificadas.
- Determinar la capacidad o dimensionamiento del equipo de control de nivel.
- Establecer el tipo de materiales y controles del equipo de control de nivel para su correcta utilización.
- Determinar requerimiento presupuestario de las partes y componentes del equipo de control de nivel.
- Construir y ensamblar el equipo en base al diseño de ingeniería y a los requerimientos establecidos.

## **CAPÍTULO I**

### **1.-MARCO TEORICO**

#### **1.1.- LÍQUIDOS**

Los líquidos, al igual que los sólidos, tienen volumen constante. En los líquidos las partículas están unidas por unas fuerzas de atracción menores que en los sólidos, por esta razón las partículas de un líquido pueden trasladarse con libertad.

El número de partículas por unidad de volumen es muy alto, por ello son muy frecuentes las colisiones y fricciones entre ellas.

Así se explica que los líquidos no tengan forma fija y adopten la forma del recipiente que los contiene. También se explican propiedades como la fluidez o la viscosidad. En los líquidos el movimiento es desordenado, pero existen asociaciones de varias partículas que, como si fueran una, se mueven al unísono. Al aumentar la temperatura aumenta la movilidad de las partículas (su energía).

#### **1.1.1.- PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS**

##### **1.1.1.1.- COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN**

A los líquidos se les considera incompresibles debido a que dentro de ellos existen fuerzas extremas de atracción entre sus moléculas. Por otra parte cuando a un líquido se le aplica una presión, su volumen no se ve afectado en gran cantidad, ya que sus moléculas tienen poco espacio entre sí. Si se aplica un cambio de temperatura su volumen no sufrirá cambios considerables. Cuando las moléculas de

un líquido están en continuo movimiento es por causa de la temperatura que está experimentando, lo cual inclina al líquido a aumentar la distancia de sus moléculas; a pesar de esto las fuerzas de atracción que existen en el líquido se oponen a ese distanciamiento de sus moléculas.

#### 1.1.1.2.-DIFUSIÓN

Al realizar la mezcla de dos líquidos, las moléculas de uno de ellos se difunden en las del otro a menor velocidad que en los gases. Si se desea ver la difusión de dos líquidos, se puede hacer, dejando caer una pequeña cantidad de tinta china en un poco de agua. Debido a que las moléculas en ambos líquidos están muy cerca, cada molécula conlleva una inmensidad de choques antes de alejarse, puede decirse que millones de choques. La distancia promedio que se genera en los choques se llama trayectoria libre media y, en los gases es más grande que en los líquidos, esto sucede porque las moléculas están bastante separadas.

#### 1.1.1.3.-FORMA Y VOLUMEN

En un líquido, las fuerzas de atracción son suficientemente agudas para limitar a las moléculas en su movimiento dentro de un volumen definido. A pesar de esto las moléculas no pueden guardar un estado fijo, es decir, las moléculas del líquido no permanecen en una sola posición. Las moléculas, dentro de los límites del volumen del líquido, tienen la libertad de moverse unas alrededor de otras; a causa de esto, permiten que el líquido fluya. Los líquidos poseen un volumen definido, pero debido a su capacidad para fluir, su forma depende del contorno del recipiente que los contiene.

#### 1.1.1.4.-VISCOSIDAD

Algunos líquidos fluyen lentamente, mientras que otros fluyen con facilidad; la resistencia a fluir se conoce con el nombre de viscosidad. Si existe una mayor viscosidad, el líquido fluye más lentamente. Los líquidos como el aceite de los motores son relativamente viscosos; el agua y los líquidos orgánicos como el tetracloruro de carbono, no lo son. La viscosidad puede medirse tomando en cuenta el tiempo que transcurre cuando cierta cantidad de un líquido fluye a través de un delgado tubo, bajo la fuerza de la gravedad.

#### 1.1.2.- MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS

La medición de nivel, su detección o su monitoreo, es fundamental en la industria, especialmente en la industria química de tratamiento de las aguas y de almacenamiento de líquidos en tanques. Es igualmente parte integrante en la medición de otros parámetros como el caudal. La determinación del nivel permite evaluar la cantidad de líquido en un reservorio o recipiente industrial de dimensiones conocidas. En consecuencia, los medidores de nivel podrían tener sus escalas directamente en unidades de longitud, de masa, de peso o de volumen. Para medir nivel en un líquido se determina la distancia existente entre una línea de referencia y la superficie del fluido y generalmente dicha línea de referencia se toma como el fondo del recipiente.

##### 1.1.2.1.-MÉTODOS DE MEDICIÓN

Los métodos más sencillos de medición indirecta de nivel son:



a.- Método de medidores actuados por presión hidrostática

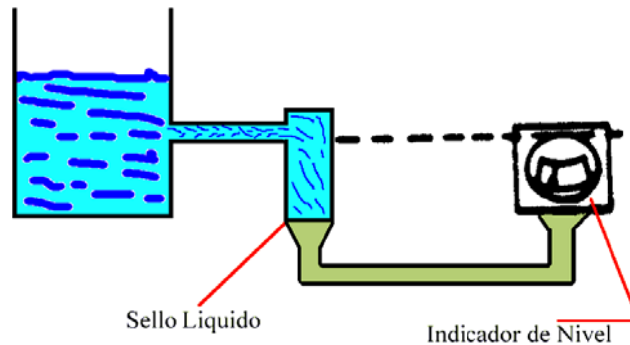


Fig. 1.1.2.1-1.- Medidor Actuado Por Presión Hidrostática

Existe una fórmula por la cual se establece que la presión en cualquier punto debajo de la superficie de un líquido depende solamente de la profundidad a la que se encuentre el punto en cuestión y del peso específico del líquido, es decir, que  $P = P_e * H$ . La figura 1.1.2.1-1 muestra este tipo de medidor. Existen varios tipos de medidores de nivel que trabajan y operan bajo este principio, de los cuales los más comunes son:

b.- Sistema básico o Manómetro

Entre los medidores de nivel actuados por presión hidrostática, el sistema básico o manómetro es el más sencillo. Consta solamente de un manómetro y en el caso de que el líquido cuyo nivel se desea medir sea corrosivo o viscoso, es necesario, además del manómetro, un equipo de sello con la finalidad de aislar el instrumento de dicho fluido. El manómetro puede ser uno convencional, con la diferencia de que la escala en lugar de ser graduada en unidades de presión, es graduada en unidades de nivel.

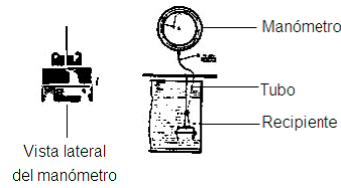


Fig.1.1.2.1-2.- manómetro

El método de medición directa

c.- Método de medición flotador-boya

Los instrumentos que utilizan un flotador-boya no dependen de la presión para medir el nivel de líquidos. De todos modos la presión debe tomarse en cuenta al proyectar el flotador, ya que siendo éste hueco, ha de construirse lo suficientemente robusto como para soportarla sin deformarse.

El flotador se suspende de una cinta sometida a leve tensión. Conforme aquel se desplaza hacia arriba o abajo, siguiendo el nivel del líquido, arrastra la cinta que hace girar una rueda catalina, como se indica en la figura 1.1.2.1-3<sup>1</sup>

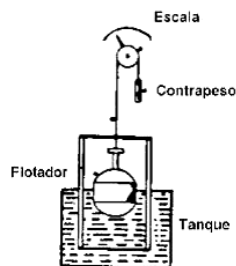


Fig.1.1.2.1-3.- Medidor Por Flotador Boya

---

1 [www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml](http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml)

## 1.2.- SISTEMAS DE CONTROL

### 1.2.1.-SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, biológicos, etc. Va ligado a prácticamente todas las ingenierías (eléctrica, electrónica, mecánica, sistemas, industrial, química, etc.) Son sistemas que pretenden la ausencia de un operador para que se realicen las operaciones necesarias dentro de un proceso cualesquiera. Pueden ser en lazoabierto o en lazo cerrado los cuales se describen a continuación.

#### a.-Sistemas de control en lazo cerrado

También llamado sistema de control realimentado, es aquel que compara la salida del sistema con la entrada de referencia y usa la diferencia como medio de control para poder obtener una salida deseada. Dicha señal de error es llevada al controlador a fin de reducir el error y llevar al sistema a un valor conveniente.

Tienen además la característica de que no requieren de un operador al poseer un sistema de medición y actuación, por lo que también se los llama sistemas de control automático.

Son sistemas de tipo robusto que resisten perturbaciones internas y externas por lo que debido a la realimentación la salida se mantendrá en valores convenientes.

El diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado se muestra en la figura **1.2.1-1**.

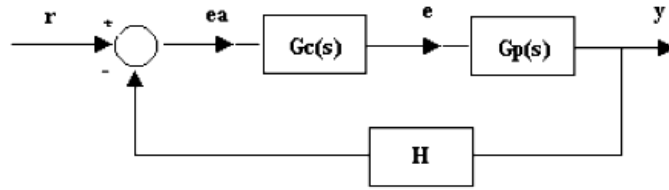


Fig.1.2.1-1.- Sistema De Control En Lazo Cerrado.

b.- Sistema de control en lazo abierto.

Son sistemas en los cuales la salida no afecta la señal de control, es decir, que el sistema de control en lazo abierto no mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia, por tanto a cada entrada de referencia, le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, este sistema de control no realiza la tarea deseada. En la práctica, este tipo de sistema de control solo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones externas e internas. El diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto se muestra en la figura 1.2.1-2.

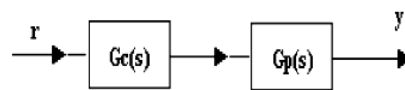


Fig.1.2.1-2.- Sistema De Control En Lazo Abierto

c.-Comparación entre estos dos tipos de sistemas

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Por tanto, es

posible usar componentes relativamente precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, en tanto que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto.

Desde el punto de vista de la estabilidad, el sistema de control en lazo abierto, es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es una función principal en el sistema de control en lazo cerrado, lo cual puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante.

Para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable usar un control en lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado solo tienen ventajas cuando se presentan perturbaciones impredecibles en los componentes del sistema. La cantidad de elementos utilizados en un sistema de control en lazo cerrado es mayor que la que se utiliza para un sistema de control en lazo abierto equivalente.

Por lo tanto, el sistema de control en lazo cerrado suele tener costos y potencias más grandes. Para disminuir la energía requerida de un sistema, se emplea un control en lazo abierto cuando puede aplicarse. Por lo general, una combinación adecuada de controles en lazo abierto y lazo cerrado es menos costosa y ofrecerá un desempeño satisfactorio del sistema en general.”<sup>2</sup>

---

2 Ogata K. “INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA”; Año 2003; Cuarta Edición. Pp. 7 y8

## 1.2.2.-COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CONTROL

### a.- sensor-transmisor.-

Realizan la medición en el sistema de control y se transmite el valor de transmisión correspondiente.

En el sensor se produce un efecto mecánico eléctrico o electrónico, el cual se relaciona con la variable medida

El transmisor a su vez, convierte este fenómeno en una señal que se puede transmitir por tanto esta señal tiene relación con la variable de proceso. Existen tres términos importantes que se relacionan con la combinación sensor/transmisor, estos tres términos importantes son la escala, el rango, el cero instrumento.

**La escala.-** como escala del instrumento se define por los valores superiores e inferior de la válvula medida.

**El rango.-** es la diferencia entre el valor superior y el inferior de la escala.

**El cero instrumento.-** es siempre el valor inferior de la escala.

**La ganancia del sensor/transmisor.-** es fácil de calcular una vez que se conoce el rango.

$$K = \frac{\Delta entrada}{\Delta salida} \text{Ec. 1.2.2-1}$$

**b.- controlador.-**

El controlador es el cerebro del sistema de control, compara la medición de la variable controlada que realiza el sensor/transmisor con el punto de control, y en base a esa comparación, decide qué hacer, y esa decisión la envía al elemento final de control.

Existen dos tipos de controladores como son los continuos y los discontinuos.

Controladores discontinuos de dos posiciones.-conocido como controlador on-off mientras más pequeña es la banda proporcional el control tiene que ser preciso y cuando es muy pequeña el controlador se vuelve inestable, es el más barato y utilizado cuando no se requiere un control exacto.

**c.- elemento final de control.-**

El 90% de los elementos finales de control utilizados en las industrias son las válvulas pero en una minoría tenemos que son también bombas, transportadores motores, etc.

Las válvulas automáticas de control generalmente constituyen el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comportan como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar uncaudal en una forma determinada.

Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la partemotriz o actuador y el cuerpo.

i.- Actuador

El actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros por ser los más sencillos y de rápida acción. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte tal como se muestra en la Figura 1.2.2-1. Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 psi, en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma y la constante del resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 psi, produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera.”<sup>3</sup>”

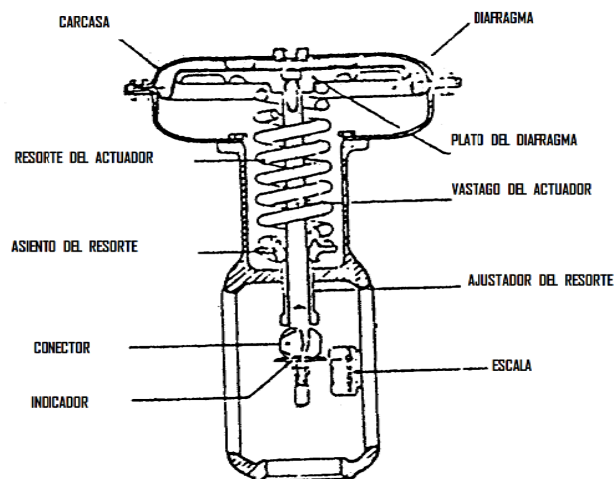
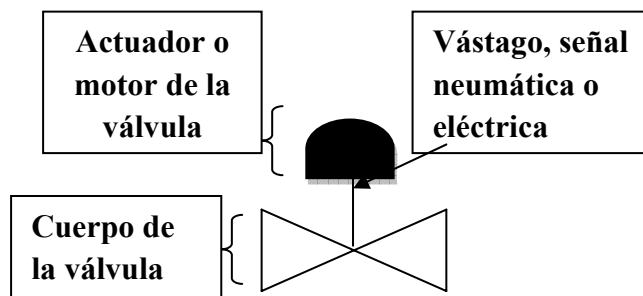


Fig.1.2.2-1.- Actuador De Una Válvula De Control.



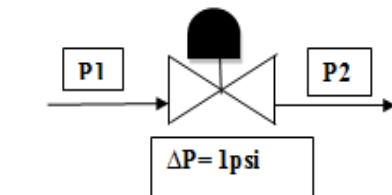
ii.-Cuerpo de la válvula

Está provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento exacto.



Fuente: BORJA J.;2012

Fig.1.2.2-2.- Partes de una válvula de control



Fuente: BORJA J.; 2012

Fig.1.2.2-3.- válvulas de control para fluidos incompresibles

**Para fluidos líquidos incompresibles.**

$$F = kA \frac{\sqrt{2g\Delta P}}{\gamma} \quad \text{Ec. 1.2.2-2}$$

$$F = Cv \frac{\sqrt{\Delta P}}{G} \quad \text{Ec. 1.2.2-3}$$

**Donde:** G= gravedad especifica del fluido

Cv = el flujo en galones de agua a 60 °F que pasa por un minuto a través de una válvula completamente abierta y que tiene una caída de presión constante de 1 Psi. Según Mazoneilan la ecuación para calcular el Cv es.

$$Cv = \frac{F\sqrt{c.T}}{836C_f P_1(Y-0.148Y^3)} \quad \text{Ec. 1.2.2-4}$$

### 1.2.3.-CARACTERISTICAS DE FLUJO DE LAS VALVULAS

Es la relación entre el flujo de la válvula y la posición del vástago de la misma conforme varía la posición de 0% a 100%.

Se distinguen dos tipos de características.

**a.-características de flujo inherente.-** es la relación entre el flujo y la posición de la válvula a una caída de presión constante de la válvula.

Dentro de estas tenemos tres tipos de válvulas.

**Válvulas lineales.-** se usan generalmente en circuitos de nivel de líquido y en otros procesos en la que la caída de presión a través de la válvula sean prácticamente constante.

**Válvulas de porcentaje igual o iso-porcentuales.-** son las más comunes se usan generalmente en sitios donde se espera grandes variaciones en la caída de presión. Se utilizan en los procesos rápidos cuando no se conoce bien la dinámica del sistema.

**Válvulas de apertura rápida.**-no son buenas para regulación ya que no afecta al flujo en la mayor parte de su desplazamiento.

**b.-características del flujo de instalación.**- es la que se observa cuando la válvula instalada ya entra en servicio, y hay variaciones en la caída de presión.

De acuerdo al funcionamiento de y seguridad de la instalación tenemos:

**Abierta en falla.**- si se va la energía la válvula queda abierta, son válvulas que necesitan aire para cerrar.

**Cerradas en falla.**- si se va la energía la válvula queda cerrada, son válvulas que necesitan aire para abrir.

#### 1.2.4.- DIMENSIONAMIENTO DE LA VALVULA DE CONTROL

**Siguiendo el método Cv**

**Ajuste del rango.**- se define como la relación entre el flujo máximo que se puede controlar y el flujo mínimo que se puede controlar.

$$R = \frac{F \text{ max. que se puede controlar}}{F \text{ min que se puede controlar}} \quad \text{Ec. 1.2.4-1}$$

El flujo máximo que se puede controlar es del 90-95 % de la apertura de la válvula.

El flujo min que se puede controlar es el 10-15 % de la apertura de la válvula

**Flujo de diseño = flujo nominal \* el factor de seguridad**

$$F = Cv \sqrt{\frac{\Delta P}{G}} \quad \text{Ec. 1.2.4-2}$$

$\Delta P$ = la caída de presión de todo el sistema.

Reglas prácticas para seleccionar la caída de presión de la válvula.

**1 regla.-** la caída de presión de la válvula debe ser del 20% al 50% de la caída dinámica de presión total de todo el sistema.

**2 regla.-** otra regla consiste en especificar la caída de presión de diseño de la válvula al 25% de la caída dinámica total de todo el sistema o 10 Psi escogiendo la que sea mayor.

Las válvulas de apertura rápida tienen bajo ajuste de rango 1-5

Las válvulas lineales o de porcentaje igual tienen ajustes de rango altos de 15-1 de 20-1 o más.

### 1.2.5.- GANANCIA DE LAS VALVULAS

#### Ganancia de las válvulas.-

$$F = Cv \int (vp) = 1 \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$$

$$Cv \int (vp) = 1 (VP)$$

$$F = Cv \int (vp) = 1 (VP) \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$$

$$K = \frac{\delta Cv \int (vp) = 1 (VP) \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}}{\delta (VP)}$$

$$Kv = \frac{\delta F}{\delta (VP)}$$

$$Kv = \frac{\delta(Cv)_{VP=1}(VP) \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}}{VP}$$

$$Kv = Cv \sqrt{\frac{\Delta P}{G}} \quad \text{Ec. 1.2.5-1}$$

## 1.2.6.- ALGUNAS APLICACIONES DEL CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS

### 1.2.6.1.- EN TANQUES DE INODOROS

Este es un ejemplo básico del control de nivel de agua que puede ser apreciado con facilidad en cada casa. El sistema mecánico consta de un flotador con un brazo que obstruye el paso del agua al tanque cuando ha llegado a una determinada posición por acción del empuje del agua y que permite el paso del agua al tanque cuando el nivel baja.

### 1.2.6.2.- EN CISTERNAS

En cisternas interesa que se tenga una buena cantidad de agua almacenada. Generalmente el control se realiza mediante sensores conductivos que indican los niveles máximos y mínimos permitidos, siendo estas señales procesadas para tomarse las respectivas acciones de control como por ejemplo prender o apagar bombas.

#### 1.2.6.3.- EN LAS EMBOTELLADORAS

En el caso de las embotelladoras como por ejemplo: Cervecería, Coca Cola, Bebidas en general, se controla el nivel apropiado del líquido dentro del envase ya que si es mayor al deseado se tendrían pérdidas que pueden llegar a ser significativas. Por otro lado, si el nivel es menor al deseado la empresa perdería credibilidad en su medio. Esto indica que la medición del nivel debe ser exacta.

#### 1.2.6.4.- INDUSTRIA PAPELERA

A partir de la medición del nivel se controla la correcta relación entre papel usado o celulosa y agua. Para esto, se utilizan transmisores de nivel basados en presión.

#### 1.2.6.5.- INDUSTRIA DE QUIMICOS

En la producción de químicos existe la necesidad de almacenar los productos más diversos: hay que mantener provisiones de materias primas para garantizar la continuidad de la producción. Es preciso almacenar temporalmente diferentes productos semielaborados para continuar con su procesamiento en nuevos procesos químicos, y hay que almacenar el producto final mientras no sale de fábrica. Todo esto requiere una medición perfectamente exacta del contenido de los tanques.

Además de la medición continua de los niveles, la detección de nivel límite constituye una característica de seguridad esencial para los tanques de almacenamiento de productos. Aunque muchos sensores modernos destinados a la medición continua de niveles han sido homologados como sistemas anti desbordamiento, no deja de ser cierto que el uso de un segundo principio de medición proporciona una seguridad óptima redundante.

#### 1.2.6.6.- NIVELIMETRÍA EN GRANDES TANQUES

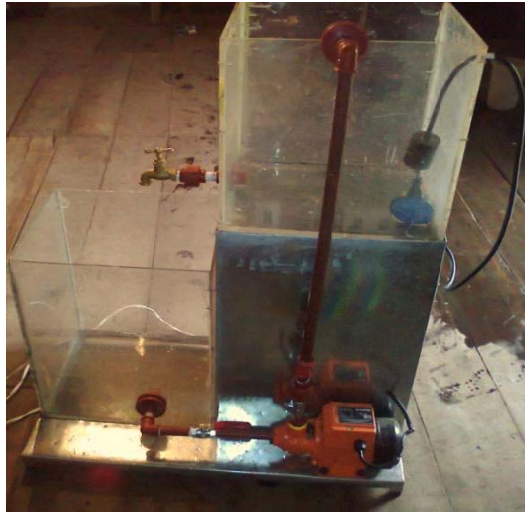
Para medir Movimientos y Operaciones se puede utilizar masa o volumen. El volumen puede ser derivado de la medición de nivel, mientras que la masa se puede medir en forma directa, por medio de transmisores de presión.

### 1.3.-DISEÑO

El Módulo Didáctico para Control de Nivel de Líquidos, tiene como objetivo fundamental, comenzar a implementar el laboratorio de control de proceso, con el diseño y construcción de un equipo en el cual los estudiantes puedan realizar prácticas.

La operación de la planta de control de nivel consiste en el control de nivel de un líquido en un tanque por medio de un controlador, el tanque en el cual se va a realizar el control de nivel es alimentado a través de una bomba. La medición del nivel de líquido en el tanque es realizada a través de un sensor medidor tipo electro nivel.

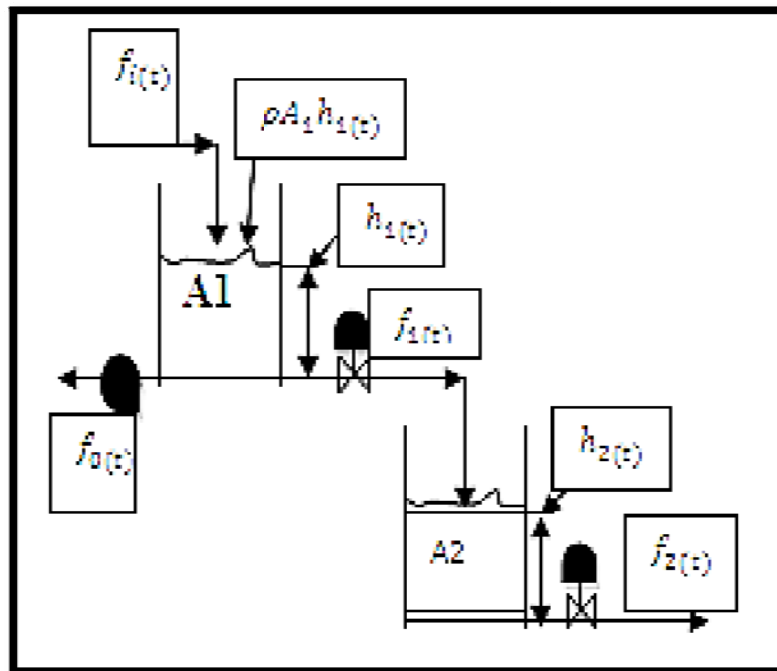
La perturbación del sistema, que sirve para observar la capacidad de respuesta de la planta, está a cargo de una válvula proporcional que simula el caudal de consumo del tanque. Variando la apertura de esta válvula logramos perturbar el sistema, y observar la respuesta del mismo.



Fuente: BORJA J.;2012

Fig.1.3-1.- Equipo para control de nivel

### 1.3.1.-BALANCE DE MASA PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL



Fuente: BORJA,J.

Fig.1.3.1-1.-balance de masa para sistemas de control de nivel.



Donde:

$\rho = \text{densidad del fluido}$

$A_1 = \text{area transversal del tanque 1}$

$A_2 = \text{area transversal del tanque 2}$

Como afecta al nivel del segundo tanque los cambios que se producen en el flujo de entrada al primer tanque  $f_{i(t)}$ , y el flujo de salida del primer tanque a través de la bomba  $f_{o(t)}$ .

**Altura de desviación del tanque 2**  $H_{2(s)} = h_{2(t)} - \bar{h}_2$

**Flujo de desviación del tanque 2**  $F_{2(s)} = f_{i(t)} - f_i$

$F_{0(s)} = f_{o(t)} - f_o$

$$f = Cv \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$$

Donde: Cv= es el flujo de agua a 15°C en gal/min que pasa a través de una válvula completamente abierta y con una caída de presión de 1Psi.

G= gravedad especifica del fluido que pasa a través de la válvula.

$\Delta P$ = es la caída de presión a través de la válvula.

$$f_1 = Cv_1 \sqrt{\frac{(\Delta P)_1}{G}} \Delta P = P_1 - P_2$$

$$f_2 = Cv_2 \sqrt{\frac{(\Delta P)_2}{G}}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 \text{ Ec. 1.3.1-1}$$

$$\Delta P = P_a + \rho g h_{1(t)} - P_2$$

$$f_{1(t)} = Cv_1 \cdot c \sqrt{h_{1(t)}} Cv'_1 = Cv_1 \cdot c$$

$$f_{1(t)} = Cv'_1 \sqrt{h_{1(t)}}$$

$$f_{2(t)} = Cv'_2 \sqrt{h_{2(t)}} \text{ Ec. 1.3.1-2}$$

Este es un caso típico de un proceso de segundo orden.

**Balance dinámico de masa**

$$fm \text{ entra} - fm \text{ sale} = fm \text{ acumulada} \text{ Ec. 1.3.1-3}$$

$$\rho f_{i(t)} - \rho f_{1(t)} - \rho f_{0(t)} = \frac{\delta(\rho A_1 h_{1(t)})}{\delta t}$$

$$\rho f_{i(t)} - \rho f_{1(t)} - \rho f_{0(t)} = \frac{\rho A_1 \delta(h_{1(t)})}{\delta t}$$

$$f_{i(t)} - f_{1(t)} - f_{0(t)} = \frac{A_1 \delta(h_{1(t)})}{\delta t} \quad \text{Ec. 1.3.1-4}$$

**Balance de masa alrededor del tanque 2**

$$\rho f_{1(t)} - \rho f_{2(t)} = \frac{\rho A_2 \delta(h_{2(t)})}{\delta t}$$

$$f_{1(t)} - f_{2(t)} = \frac{A_2 \delta(h_{2(t)})}{\delta t} \quad \text{Ec. 1.3.1-5}$$

Del balance de masa realizado a los dos tanques obtenemos las dos ecuaciones principales:

$$f_{i(t)} - f_{1(t)} - f_{0(t)} = \frac{A_1 \delta(h_{1(t)})}{\delta t} \quad (\text{a})$$

$$f_{1(t)} - f_{2(t)} = \frac{A_2 \delta(h_{2(t)})}{\delta t} \quad (\text{b})$$

Ahora reemplazamos los  $f_{1(t)}$  y  $f_{2(t)}$  obtenidos de la ecuación de la constante de la válvula en las ecuaciones de los balances realizados de la siguiente manera:

$$f_{i(t)} - C v_1' \sqrt{h_{1(t)}} - f_{0(t)} = \frac{A_1 \delta(h_{1(t)})}{\delta t} \quad (1)$$

$$C v_1' \sqrt{h_{1(t)}} - C v_2' \sqrt{h_{2(t)}} = \frac{A_2 \delta(h_{2(t)})}{\delta t} \quad (2)$$

$f_{1(t)} = C v_1' \sqrt{h_{1(t)}}$  Esta ecuación no lineal, vamos a linealizar por el método de aproximación lineal de las series de Taylor.

$$H_{1(t)} = h_{1(t)} - \bar{h}_1$$

$$f_{1(t)} \simeq f_1 + \frac{\delta f_{1(t)}}{\delta h_{1(t)}} (h_{1(t)} - \bar{h}_1) \quad C_1 = \frac{\delta f_{1(t)}}{\delta h_{1(t)}}$$

$$f_{1(t)} \simeq f_1 + C_1 (h_{1(t)} - \bar{h}_1) \quad C_1 = \frac{\delta C v_1' \sqrt{h_{1(t)}}}{\delta h_{1(t)}}$$

$$f_{1(t)} \simeq f_1 + C_1 H_{1(t)} \quad C_1 = \left(\frac{1}{2}\right) C v_1' \bar{h}^{-1/2}$$

$$f_{2(t)} \simeq f_2 + C_2 H_{2(t)} \quad C_2 = \left(\frac{1}{2}\right) C v_2' \bar{h}^{-1/2}$$

En las ecuaciones a y b volvemos a reemplazar  $f_{1(t)}$  y  $f_{2(t)}$  que acabamos de calcular:

$$f_{i(t)} - (f_1 + C_1 H_{1(t)}) - f_{0(t)} = \frac{A_1 \delta(h_{1(t)})}{\delta t} \quad (1')$$

$$f_1 + C_1 H_{1(t)} - (f_2 + C_2 H_{2(t)}) = \frac{A_2 \delta(h_{2(t)})}{\delta t} \quad (2')$$

Realizamos un balance en condiciones iniciales estables

$$\rho f_{i(t)} - \rho f_{0(t)} - \rho f_{1(t)} = 0$$

$$f_{i(t)} - f_{0(t)} - f_{1(t)} = 0 \quad \text{Ec. 1.3.1-5}$$

A las ecuaciones 1' y 2' le restamos la ecuación del balance de masa estándar

De la ecuación 1' tenemos:

$$\left( f_{i(t)} - (f_1 + C_1 H_{1(t)}) - f_{0(t)} = \frac{A_1 \delta(h_{1(t)})}{\delta t} \right) - (f_{i(t)} - f_{0(t)} - f_{1(t)} = 0)$$

$$(f_{i(t)} - f_{i(t)}) - C_1 H_{1(t)} - (f_{0(t)} - f_{0(t)}) = \frac{A_1 \delta(h_{1(t)})}{\delta t} \quad (1'')$$

$$F_{1(t)} - C_1 H_{1(t)} - F_{0(t)} = \frac{A_1 \delta(H_{1(t)})}{\delta t}$$

$$\frac{A_1 \delta(H_{1(t)})}{\delta t} + C_1 H_{1(t)} = F_{1(t)} - F_{0(t)}$$

$$\frac{1}{C_1} \left( \frac{A_1 \delta(H_{1(t)})}{\delta t} \right) + C_1 H_{1(t)} = \frac{1}{C_1} (F_{1(t)} - F_{0(t)})$$

$$\frac{1}{C_1} \frac{A_1 \delta(H_{1(t)})}{\delta t} + \frac{1}{C_1} C_1 H_{1(t)} = \frac{1}{C_1} F_{1(t)} - \frac{1}{C_1} F_{0(t)} \quad K_1 = \frac{1}{C_1}$$

$$\frac{1}{c_1} \frac{A_1 \delta(H_{1(t)})}{\delta t} + H_{1(t)} = \frac{1}{c_1} F_{1(t)} - \frac{1}{c_1} F_{0(t)} \quad \tau_1 = \frac{A_1}{c_1}$$

$$\boxed{\tau_1 \frac{\delta(H_{1(t)})}{\delta t} + H_{1(t)} = K_1 F_{1(t)} - K_1 F_{0(t)}} \quad (1^*) \quad \text{Ec. 1.3.1-6}$$

De la ecuación 2' tenemos:

$$\left( f_1 + C_1 H_{1(t)} - (f_2 + C_2 H_{2(t)}) = \frac{A_2 \delta(h_{2(t)})}{\delta t} \right) - (f_{i(t)} - f_{0(t)} - f_{1(t)} = 0)$$

$$C_1 H_{1(t)} - C_2 H_{2(t)} = \frac{A_2 \delta(H_{2(t)})}{\delta t} \quad (2')$$

$$\frac{A_2 \delta(H_{2(t)})}{\delta t} + C_2 H_{2(t)} = C_1 H_{1(t)}$$

$$\frac{1}{c_2} \left( \frac{A_2 \delta(H_{2(t)})}{\delta t} + C_2 H_{2(t)} \right) = \frac{1}{c_2} C_1 H_{1(t)} \quad \tau_2 = \frac{A_2}{c_2}$$

$$\frac{1}{c_2} \frac{A_2 \delta(H_{2(t)})}{\delta t} + H_{2(t)} = \frac{1}{c_2} C_1 H_{1(t)} \quad K_2 = \frac{C_1}{c_2}$$

$$\boxed{\tau_2 \frac{\delta(H_{2(t)})}{\delta t} + H_{2(t)} = K_2 H_{1(t)}} \quad (2^*) \quad \text{Ec. 1.3.1-7}$$

Se resuelven las ecuaciones 1\* y 2\* utilizando el método de las transformadas de La-Place como se explica a continuación:

Para la ecuación 1\* tenemos:

$$\tau_1 \frac{\delta(H_{1(t)})}{\delta t} + H_{1(t)} = K_1 F_{1(t)} - K_1 F_{0(t)}$$

$$\tau_1 \mathcal{L}\left\{\frac{\delta(H_{1(t)})}{\delta t}\right\} + \mathcal{L}\{H_{1(t)}\} = K_1 \mathcal{L}\{F_{1(t)}\} - K_1 \mathcal{L}\{F_{0(t)}\}$$

$$\tau_1 s H_{1(s)} + H_{1(s)} = K_1 F_{1(s)} - K_1 F_{0(s)}$$

$$H_{1(s)}(\tau_1 S + 1) = K_1 F_{1(s)} - K_1 F_{0(s)}$$

$$H_{1(s)} = \frac{K_1}{(\tau_1 S + 1)} F_{1(s)} - \frac{K_1}{(\tau_1 S + 1)} F_{0(s)} \quad \text{Ec. 1.3.1-8}$$

Para la ecuación 2\* tenemos:

$$\tau_2 \frac{\delta(H_{2(t)})}{\delta t} + H_{2(t)} = K_2 H_{1(t)}$$

$$\tau_2 \mathcal{L}\left\{\frac{\delta(H_{2(t)})}{\delta t}\right\} + \mathcal{L}\{H_{2(t)}\} = K_2 \mathcal{L}\{H_{1(t)}\}$$

$$\tau_2 S H_{2(s)} + H_{2(s)} = K_2 H_{1(s)}$$

$$H_{2(s)}(\tau_2 S + 1) = K_2 H_{1(s)}$$

$$H_{2(s)} = \frac{K_2}{(\tau_2 S + 1)} H_{1(s)} \quad \text{Ec. 1.3.1-9}$$

Reemplazo la ecuación  $H_{1(s)}$  en la ecuación  $H_{2(s)}$ .

$$H_{2(s)} = \frac{K_2}{(\tau_2 S + 1)} \left( \frac{K_1}{(\tau_1 S + 1)} F_{1(s)} - \frac{K_1}{(\tau_1 S + 1)} F_{0(s)} \right)$$

$$H_{2(s)} = \frac{K_1 K_2}{(\tau_1 S + 1)(\tau_2 S + 1)} F_{1(s)} - \frac{K_1 K_2}{(\tau_1 S + 1)(\tau_2 S + 1)} F_{0(s)} \quad \text{Ec. 1.3.1-10}$$

$$\frac{H_{2(s)}}{F_{1(s)}} = \frac{K_1 K_2}{(\tau_1 S + 1)(\tau_2 S + 1)} \text{ Cuando más grande es } F_{1(s)} \text{ aumenta } H_{2(s)}$$

$$\frac{H_{2(s)}}{F_{0(s)}} = - \frac{K_1 K_2}{(\tau_1 S + 1)(\tau_2 S + 1)} \text{ Disminuye } H_{2(s)} \text{ con el aumento de } F_{0(s)} \text{ es decir cuando}$$

descarga  $F_{0(s)}$ .

Al resolver las ecuaciones diferenciales se han encontrado las funciones de transferencia entre la variable de salida  $H_2(s)$  y las dos variables de entrada  $F_i(s)$  y  $F_o(s)$ . Son funciones de transferencia de segundo orden.

De acuerdo a este análisis de diseño se opta por proponer las siguientes partes para el equipo las mismas que se describen a continuación:

### **1.3.2.-ESTRUCTURA METALICA**

Para el montaje de la planta de control de nivel se diseñó una estructura metálica con forma de escalera de acuerdo al diseño del equipo y al área que el Sr. Director de Escuela asignó en el laboratorio. La estructura cuenta con dos compartimientos uno en su parte inferior (donde se ubica el tanque de reserva, la bomba y el panel de control) y otro en la superior, donde se ubican el tanque de medición con el sensor.



Fuente: BORJA J.; 2012

Fig.1.3.2-1.- estructura metálica

### 1.3.3.-TANQUES PARA EL EQUIPO.

#### 1.3.3.1.-TANQUE DE ALMACENAMIENTO.-

Se trata del tanque que será utilizado para almacenar agua el mismo que está construido de una lámina de acrílico de 6mm de espesor. Posee una base rectangular de 35cm de ancho por 40cm de largo y una altura de 50cm, en la base se hizo un orificio de ½” de diámetro para la conexión de la bomba que se utiliza para transportar el agua desde este tanque hacia el tanque de medición.

Área transversal del tanque 1

$$A = a * l \quad \text{Ec. 1.3.3.1-1}$$

Volumen del tanque 1

$$V_{\text{tanque1}} = a * L * h \quad \text{Ec. 1.3.3.1-2}$$

#### 1.3.3.2.-TANQUE DE MEDICION.-

Se trata del tanque en el cual se va a realizar el control de nivel de un líquido. Este tanque está construido de una lámina de acrílico de 6mm de espesor. Posee una base rectangular de dimensión 35cm por 40cm y una altura de 40cm. Se hizo un orificio de ½” de diámetro en la parte frontal inferior del tanque, donde sale una tubería que se conecta con una electroválvula con su respectivo controlador de presión, que se utiliza para realizar las perturbaciones al sistema y para la recirculación del líquido. Del mismo modo por la cara lateral derecha, ubicada en la parte superior de la



misma se ha realizado un agujero de ½” para conectar la tubería que alimenta al tanque de medición a través de la bomba desde el tanque reservorio.

Calculo del área transversal del tanque:

$$A_{\text{tanque 1}} = A_{\text{tanque 2}} \quad \text{Ec. 1.3.3.2-1}$$

Volumen del tanque 2

$$V_{\text{tanque2}} = a * L * h \quad \text{Ec. 1.3.3.2-2}$$

El material escogido para construir este tanque es acrílico para que sea posible tener una buena presentación visual del nivel y de este modo hacer una comparación de los datos obtenidos con el sensor/transmisor, además de que facilitara su uso didáctico con fines académicos.

Las dimensiones del tanque se ajustaron tratando de cubrir el rango de operación de la bomba, pero al mismo tiempo existieron factores que influyeron como lo fueron el espacio, costo de fabricación del mismo y el hecho de ser un elemento para uso didáctico. Si se sobredimensionaba el tanque ocuparía mucho espacio y además se incomodaría su traslado y uso.

#### **1.3.4.-BOMBA**

El equipo posee una bomba, con la cual el agua es llevada del tanque reservorio al tanque principal a través de una tubería con caudal constante.

La bomba es un elemento que puede ser seleccionado a través de los siguientes criterios:

Modelo

Capacidad Máxima

Cabezal máximo (Altura máxima de descarga)

Altura máxima de succión

Potencia

Diámetro bomba

Peso neto

Dimensión general

### **1.3.5.-SERVOVALVULA.-**

Una servo-válvula permite hacer un control continuo del caudal entre sus valores máximo y mínimo, que dependen de las posiciones entre totalmente abierta y totalmente cerrada de la servo-válvula, respectivamente. En el caso del Proyecto planteado, servirá para controlar el nivel a través del control del caudal de salida del tanque principal. Los componentes principales de la servo válvula son: parte motriz y el cuerpo ; la parte motriz, que es en general un motor DC, es la que regula la abertura del actuador (válvula), controlando de esta manera el caudal de salida. En el mercado se tienen servo válvulas de algunos fabricantes, pero su precio es elevado, está entre los 600 y 1200 dólares, por tratarse de elementos para trabajo en la industria; es decir, que no se fabrican con fines didácticos.

Este es el motivo por el cual se optó por construir una servo-válvula, teniendo ésta por elementos constitutivos: un motor DC (parte motriz), una válvula de control y un potenciómetro multi-vuelta, que servirá para sensar la posición de la válvula de control entre sus estados: totalmente abierta y totalmente cerrada, es decir entre 0%

y 100% de su apertura. A continuación en la figura 1.3.5-1 se presenta la servoválvula construida:



Fuente: BORJA J.; 2012

Figura 1.3.5-1: Servoválvula

Para construir la servoválvula se seleccionaron sus componentes: el motor de DC, la válvula de control y acoplamiento Motor-Válvula de la siguiente manera:

#### **1.3.5.1.-Parte Motriz: Motor DC**

Por la disponibilidad y por sus características, se escogió un motor DC que es usado normalmente en los taladros. Este tipo de motores son construidos para trabajo intermitente y (ó) continuo, y además tienen un buen torque, lo cual se acopla perfectamente con los fines del proyecto, ya que dicho motor será el encargado de accionar la válvula de control.

#### **1.3.5.2.-Válvula De Control**

Existen numerosos tipos de válvulas diseñadas para cierto tipo de uso, la mala elección de éstas puede llevar al mal funcionamiento, en general, de una planta y así

acortar la vida útil, lo que conlleva a un aumento excesivo de costos. En la selección de la válvula se requiere de los siguientes datos:

Tipo de fluido,

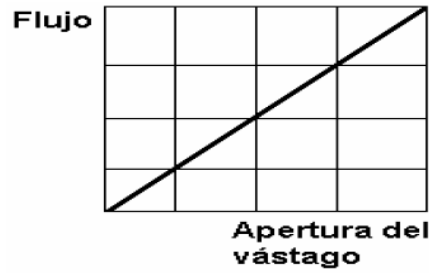
- material,
- presión,
- tipo de unión,
- temperatura,
- diámetro, etc.

Debido a esto al seleccionar una válvula se tiene la necesidad de recurrir a catálogos para ver algunas especificaciones técnicas como el peso, espacio disponible u otros factores para así ver si concuerda los objetivos planteados.

El tipo de fluido que se va a manejar en este proyecto es agua, la misma que para una altura de 40cm (máxima altura del tanque) provoca una presión de 0.57 psi a temperatura ambiente de 25°C.

En el tanque se tiene una disminución de presión debida a la salida de caudal a través de la servoválvula, y un incremento de carga debida al caudal ingresado por la bomba. Por lo que en este caso se requiere de una válvula de comportamiento lineal del flujo con relación a la elevación del vástago, como se muestra en la figura

**1.3.5.2-1:**



Fuente: OGATA K.; 2004

Fig. 1.3.5.2-1: Respuesta de una válvula de comportamiento lineal

Además, se requiere de una válvula de estrangulación (estrechamiento de la tubería de paso) y regulación de caudal, que esté diseñada para trabajo continuo, con desgaste mínimo debido a la erosión, y que los daños debidos a la cavitación (formación de burbujas de vapor o de gas en el líquido a causa de la variación de su presión) sean despreciables.

Luego de este análisis se selecciona una válvula de globo de marca CRANE 1/2" ya que el diámetro de la tubería es de 1/2",

### 1.3.5.3.-Acoplamiento Motor-Válvula

Se construyeron, con la ayuda de un torno, dos discos (uno de ellos es una polea) de hierro para lograr el acoplamiento entre el eje motor y la válvula. El motor se montó sobre una platina. Se construyó además una polea plástica, la misma que va acoplada al eje del potenciómetro multivuelta, con el objetivo de unirla a la polea de la válvula a través de una banda para la transmisión del movimiento. Así, el potenciómetro se convierte en el sensor de posición del vástago de la válvula entre 0% y 100% de su apertura de acuerdo a los valores de voltaje que posea, los mismos

que están entre 0 voltios y un valor máximo de voltaje, dado por el valor máximo de resistencia que se alcance cuando la válvula llegue al 100% de su apertura.

### **1.3.6.-TUBERIA PVC**

El caudal de salida del tanque principal es llevado al tanque reservorio a través de una tubería en la cual se tiene una servoválvula, formando así un circuito cerrado de agua.

Como se trata de agua se utiliza tubería pvc se caracteriza por sus altas propiedades físicas y resistencia a la corrosión, soporta temperaturas de hasta 60°C sin embargo es vulnerable a algunos hidrocarburos clorinados y aromáticos. Su apariencia es en el caso del Cedula 80 Gris oscuro y el Cedula 40 es de un color Crema Claro, se utiliza tubería de ½ “.



Fuente: BORJA J.; 2012

Fig.1.3.6-1.- Tubería PVC

### **1.3.7.-ACCESORIOS**

Los accesorios utilizados en la construcción del equipo son:

**1.3.7.1.-Codos:** Cambia la dirección del flujo original, con un ángulo específico ya se 180°.90°,45°, etc. Puede reducirse o conservar su mediada original.



Fuente: BORJA J.; 2012

Fig. 1.3.7.1-1.- Codo

**1.3.7.2.-Reducción bushing:** A diferencia de todas las reducciones que hemos visto que reducen dos conexiones macho la bushing reduce de hembra a macho. Por lo regular es roscada o cementar en los plásticos, aunque no es muy común, cuando socket well se le llama inserto.



Fuente: BORJA J.; 2012

Fig. 1.3.7.2-1.- reducción bushing

**1.3.7.3.-Reducción campana:** Cumple con la misma función de el Cople solo que une con medidas distintas, cabe aclarar que si es en acero forjado o se llama cople reducido, si es soldable, rasurado o brindado, se le llama reducción concéntrica y cuando sus

extremos son roscados se llama reducción campana pero todos cumplen la misma función solo es cuestión de semántica.



Fuente: BORJA J.; 2012

Fig. 1.3.7.3-1.- reducción campana

**1.3.7.4.-Unión universal:** Su función es la de unir dos conexiones con terminación macho de el mismo diámetro, mantiene la misma dirección e invariablemente sus extremos son hembras.



Fuente: BORJA J.;2012

Fig. 1.3.7.4-1.- Unión universal



**1.3.7.5.-Válvulas de Esfera o bola:** Una esfera perforada en su centro es colocada en el interior de esta válvula, permitiendo que al girar 90° la esfera el flujo sea interrumpido inmediatamente, estas válvulas son más propensas a crear un golpe de ariete en fluido que no se comprimen.



Fuente: BORJA J.; 2012

Fig.1.3.7.5-1.- Válvula de esfera o de bola

**1.3.7.6.-Tapón:** Ya sea cachucha o macho su función es bloquear o terminar con una línea de tubería.



Fuente: BORJA J.; 2012

Fig. 1.3.7.6-1.- Tapón

### **1.3.8.-SENSORES DE NIVEL**

En un control de nivel de líquidos se debe tener una medida adecuada del nivel para que las acciones de control sean óptimas; por tanto, la selección de los sensores a utilizarse para la medición debe ser cuidadosa. El sensor que se utilizan en el presente proyecto es un sensor de boya.

#### **1.3.8.1.-SENSOR DE BOYA**

Dentro de las soluciones para medición de nivel se cuenta en el mercado con una amplia variedad de sensores bien sean tipo ultrasónicos, medidores tipo capacitivos, transmisores de presión. Ya sea para cualquiera de estas soluciones se realizó un análisis comparativo de precios entre los productos disponibles localmente, y a partir de eso se seleccionó un transmisor de presión para realizar la medición indirecta del nivel ya que este manda una señal a la válvula de control para abrir y cerrar cada vez que el agua llega a su nivel máximo.

Entre las opciones se encontraba un medidor de nivel de boya marca Rotoplas, que tiene varias ventajas entre las que se puede mencionar su precio bajo, su exactitud y su rango de medición de 40 a 140cm.

Este transmisor es de fácil instalación, no requiere una circuitería de acondicionamiento complicada, una vez obtenida la señal de medición de nivel a través de fórmulas matemáticas sencillas que relacionan la presión hidrostática con el nivel se calcula la medición en centímetros de nivel en el tanque.



Fuente: BORJA J.; 2012

Fig. 1.3.8.1-1.-Sensor de boya

Para su selección se procedió de la siguiente manera:

Como el nivel a ser medido es en un tanque abierto, la presión puede ser calculada de la siguiente manera:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{Ec. 1.3.8.1-1}$$

Donde:

P: Presión ejercida por el líquido

$\rho$ =Densidad del agua

g: gravedad 9.8 m/s<sup>2</sup>

h: Altura del líquido (agua)

Con la presión obtenida, se escoge el sensor ROTOPLAST que es un sensor de boya, el cual será adecuado para la presión ejercida por el empuje del agua, a medida que el nivel varíe; es decir, se mide indirectamente el nivel del líquido ya que el agua empuja el aire contenido en una sonda, cuyo extremo bajo se ubica en la base del

tanque y su extremo alto en el sensor. Dicho sensor se escogió por su costo, ya que resulta económico frente a un sensor de medición directa de presión diferencial en aplicaciones de nivel de líquidos. El sensor tiene las siguientes características:

Presión de operación 0-1 psi de presión relativa.

Presión de operación 0-20 psi de presión absoluta

Error en la escala completa de 18mv

### **1.3.9.-PANEL DE CONTROL**

El módulo didáctico de control de nivel de líquidos construido permite trabajar modo de operación MANUAL

Este modo de operación permite realizar las siguientes operaciones:

Prender bomba.

Apagar bomba.

Mover servoválvula.

Visualizar el nivel del líquido a través del tanque en el cual se coloca una cinta métrica.

Visualizar el estado de las variables del sistema mediante el encendido automático del sensor cuando se encuentra en el nivel mínimo y el apagado cuando llega al punto máximo.



Fuente: BORJA J.; 2012

Fig. 1.3.9-1.- Partes constitutivas del panel de control

### **1.3.9.1.-Swich de alimentación principal de energía.**

Este provoca el encendido o apagado total del equipo sirve como un paro de emergencia cuando se provoca algún corto circuito.

### **1.3.9.2.-Swich de encendido de la bomba**

Sirve para alimentar a la bomba de energía cabe recalcar que la bomba no funciona si el sensor no está conectado y viceversa.

### **1.3.9.3.-Swich de encendido de la válvula de control**

Al igual que los anteriores este proporciona u obstruye la energía que debe pasar a la servo válvula.

#### **1.3.9.4.-Swich para abrir y cerrar la válvula de control**

Esta nos sirve para abrir y cerrar la válvula de control liberando o bloqueando el paso de flujo a través de la misma.

#### **1.4.-DIAGNOSTICO**

Para la adquisición de datos en el laboratorio se realiza un montaje simple con el cual tomamos datos de llenado y de funcionalidad del sensor y de la bomba, estos datos fueron ordenados y tabulados.

Los inconvenientes que se tuvo es la utilización de vidrio para los tanques lo cual no dio buen resultado ya que debido a la fragilidad que estos poseen no se puede realizar agujeros sobre ellos ya que se fisura y rompe con facilidad, también se tuvo dificultad al realizar el diseño ya que iba a succionar el agua directamente de un tanque de almacenamiento pero no se podía observar la variación de niveles que se pretendía controlar por lo que se decide implementar también un tanque de almacenamiento formando un circuito cerrado de agua, llegando a la conclusión que la estructura tendrá la forma de escalera para tener diferencia de niveles con tanques construidos en acrílico por su facilidad de manipulación y transportación.

Mientras que una vez adquiridos los datos en el laboratorio se los analiza obteniendo un comportamiento lineal con una eficiencia del 95%, dando a conocer que el procedimiento si cumple con las expectativas planteadas esperando tener el mismo resultado o uno aparente una vez construido el equipo.

## **CAPÍTULO II**

### **2.-DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN:**

#### **2.1.-PARTE EXPERIMENTAL.**

##### **2.1.1.-MUESTREO**

Un modelo nunca puede ser aceptado como una verdadera descripción del sistema. Sin embargo puede ser reconocido como una descripción lo suficientemente buena de ciertos aspectos que son de particular interés para el usuario. El muestreo que se realiza es aleatorio simple en periodos de tiempo, sin afectar la hora en la que se dé el mismo ya que con este equipo se puede tomar directamente las variables que se necesitan.

Lo que se espera con la identificación de la planta es obtener un modelo que represente las características de la misma para las condiciones en las cuales esta va a trabajar. Una vez hallado un modelo se procederá a trabajar con este para así predecir el comportamiento de la planta ante ciertas situaciones.

Para la identificación de la planta de control de nivel se tuvo que llevar a cabo el diseño de una etapa de experimentación, en la cual se definió la variable a medirse, la señal estímulo a ser aplicada al sistema, el periodo de experimentación, en fin las condiciones bajo las cuales se realizaría el experimento.

Debemos tener en cuenta el efecto de la no linealidad de la planta de control de nivel. Sin embargo dentro de las estimaciones realizadas para la implementación de este experimento tenemos que:

Se escogerá un rango alrededor de un punto de operación, rango sobre el cual se tomaran las mediciones.

La apertura de la válvula de salida se mantendrá constante a lo largo de la realización del experimento.

El análisis del modelo teórico de la planta de nivel es muy importante ya que nos sirve de apoyo o guía dentro del proceso de la identificación de la planta. Además nos da un conocimiento previo de las leyes que rigen el comportamiento de dicha planta, lo que nos ayuda a mejorar el proceso de identificación.

## **2.1.2.-METODOLOGIA**

### **2.1.2.1.- METODOS Y TÉCNICAS**

A continuación se explican métodos y técnicas indispensables para poder cumplir con satisfacción este proyecto:

#### **2.1.2.1.1.- METODOS**

Se fundamenta en el método cuantitativo, utilizando como procesos lógicos la inducción y la deducción ya que es necesario conocer los hechos importantes que ocurren en el proceso, es decir las variables que presenta el equipo de control de nivel para poder llegar a lo general que está identificado como la construcción del equipo. Mediante estos se puede despejar muchas interrogantes que se crean durante el proceso de diseño y construcción así como altura a la que va a medir el nivel, valores de tiempo de llenado y vaciado del tanque de medición, para poder determinar rangos de medición.



#### **2.1.2.1.2.-TECNICAS**

Durante este proyecto utilizaremos algunas técnicas para poder obtener variable que necesitamos entre las cuales tenemos:

**TABLA 2.1.2.1.2-1**

**Pruebas realizadas a la bomba.**

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>SUSTANCIAS Y REACTIVOS</b>	<b>EQUIPOS Y MATERIALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>La bomba es el equipo encargado de suministrar el caudal de entrada al tanque principal, determinando su tiempo de llenado. Hallar el caudal de entrada efectivo, tomando el tiempo que se demora la bomba en llenar el tanque a diferentes alturas</p>	<p>Agua</p>	<p>Cronometro Probeta 500mL</p>	<p>Llenar la probeta de 500ml y tomar el tiempo que se demora con el cronometro. De la misma manera realizamos pero en el tanque tomamos el tiempo que se demora en llenar a diferentes alturas, realizando los análisis cada 5 cm de altura. Tabular los datos determinando medias que nos permitan determinar el comportamiento del equipo. Luego se realizan los cálculos del caudal de entrada en función del área transversal del tanque la altura y el tiempo que se demoró en llenar.</p>	<p>El caudal se calcula de la siguiente manera  <math display="block">Q = \frac{A \cdot h}{t} \text{ Ec. 2.1.2.1.2.1-1}</math> <math display="block">A = a * l \text{ Ec. 2.1.2.1.2.1-2}</math> <math display="block">Q = \frac{V}{t} \text{ Ec. 2.1.2.1.2.2-3}</math> <p>Donde:                      Q= caudal expresado en (L/s)                      A= área expresada en (m<sup>2</sup>)                      H= altura expresada en (m)                      t = tiempo de llenado (s)                      a = ancho del tanque (m)                      l = largo del tanque (m)                      V= volumen (L)</p> </p>

Fuente: BORJA J.; 2012

**TABLA 2.1.2.1.2-2**  
**Pruebas para determinar la eficiencia de la válvula de control**

FUNDAMENTO	SUSTANCIAS Y REACTIVOS	EQUIPOS Y MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>determinar el comportamiento de la válvula al momento del desalojo del agua</p>	<p>Agua</p>	<p>Cronometro                      Probeta 500mL</p>	<p>En el caso de la servo-válvula su correcto funcionamiento se determina realizando dos pruebas importantes: el caudal de salida para diferentes porcentajes de apertura de la servo-válvula y la segunda que corresponde al correcto posicionamiento del vástago de la servo-válvula.</p> <p>Para esta prueba se regula el porcentaje de apertura de la válvula de manera manual.</p> <p>Se procede a realizar un vaciado total del líquido a partir de varios niveles establecidos con de apertura total de la servo-válvula.</p> <p>La prueba de posición del vástago se asigna varios porcentajes de apertura de la servo-válvula y se toman los valores decimales correspondiente a la posición de la misma y con ello se saca el error. Para la prueba Desalojo se toma el tiempo que se tarda en desalojar 5, 10, 20 y 30 cm de líquido en el tanque principal para diferentes porcentajes de apertura de la servo-válvula.</p> <p>Con esto determinamos también el caudal de vaciado para determinar si el sistema es estable sistema estable.</p>	<p>El caudal se calcula de la siguiente manera</p> $Q = \frac{A \cdot h}{t} \text{ Ec. 2.1.2.1.2.2-1}$ $A = a * l \text{ Ec. 2.1.2.1.2.2-2}$ <p>Donde:</p> <p>Q= caudal en (L/s)                      A= área expresada en (m<sup>2</sup>)                      h= altura expresada en (m)                      t = tiempo de llenado (s)                      a = ancho del tanque (m)                      l =largo del tanque (m)</p> <p>Para calcular el rango tenemos la siguiente ecuación</p> $RANGO = \frac{\text{nivel maximo}}{\text{nivel minimo}}$

**TABLA 2.1.2.1.2-3**  
**Para determinar las variables generales del equipo.**

FUNDAMENTO	SUSTANCIAS Y REACTIVOS	EQUIPOS Y MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>Determinar los datos generales del equipo y saber cómo afecta la variación de nivel del tanque 1 al nivel del tanque 2</p>	<p>Agua</p>	<p>Equipo para control de nivel                      Flexómetro                      Termómetro                      Cronometro                      Probeta 500mL</p>	<p>Llenamos el equipo con agua en el tanque de almacenamiento hasta el límite señalado.                      Tomamos la temperatura del agua.                      Determinamos el área de los tanques tanto de almacenamiento como el tanque de control.                      Encendemos el equipo y determinamos con el flexómetro la altura a la que va a estar y actuar el sensor, lo realizamos varias veces para tener un valor exacto de las variables.                      Determinamos el flujo tanto a la salida de la bomba como a la salida de la válvula de control varias veces para poder obtener un valor medio.                      En una tabla colocamos los datos y procedemos a realizar los cálculos correspondientes para dar las respectivas conclusiones y recomendaciones.</p>	<p>Para calcular <math>H_{1(s)}</math> en función de <math>F_{i(s)}</math> tenemos:  <math display="block">\frac{H_{1(s)}}{F_{i(s)}} = \frac{K_1}{\tau_1 s + 1} \text{Ec. 2.1.2.1.2.3-1}</math>                     Donde  <math>K_1</math> = ganancia o sensibilidad del proceso y viene dada por la siguiente ecuación:  <math display="block">K_1 = \frac{1}{C_1} \text{Ec. 2.1.2.1.2.3-2}</math>                     Donde:  <math>C_1</math> = relaciona la constante de la válvula con la altura de la siguiente manera  <math display="block">C_1 = \frac{1}{2} C v_1^2 h^{-1/2} \text{Ec. 2.1.2.1.2.3-3}</math> <math display="block">C v_1' = C v_1 \cdot c</math>                     Donde:  <math>C v_1</math> es la constante de la válvula h: altura de medidas  <math display="block">\tau = \frac{A_1}{C_1} \text{Ec. 2.1.2.1.2.3-4}</math>                     Donde.  <math>A_1</math> = área del tanque de medida  <math>\tau</math> = constante de tiempo del proceso se relaciona con la velocidad de respuesta.</p>

Fuente: BORJA J.;

## 2.2.-DATOS EXPERIMENTALES

### 2.2.1.-Datos para la bomba

Se realiza pruebas del caudal que sale de la bomba y el tiempo que se demora en llenar el tanque a diferentes alturas para poder calcular que tan eficiente es la bomba y la eficiencia del equipo, luego de o tomar estos datos se procede a graficar una curva característica la misma que tiene un comportamiento lineal ascendente. A continuación se detalla los datos tomados

Tabla2.2.1-1

Datos de tiempo en función de la altura

h(cm)	t(s)
5	13,4
10	26,01
15	39,2
20	53,27
25	66,54
30	79,96
35,2	94,07

Fuente.BORJA J.; 2012

Donde:

h. altura de medición (cm)

t. tiempo adquirido a diferentes alturas (s)

Para la determinación del caudal que sale de la bomba también se lo realiza directamente de la tubería para tomar un valor de caudal real y poder obtener la eficiencia del equipo se lo realiza mediante la utilización de una probeta de 1000cm<sup>3</sup>.

Tabla 2.2.1-2

Datos de volumen en función del tiempo

muestra	volumen (L)	tiempo(s)
1	1	1,72
2	1	1,77
3	1	1,71
4	1	1,64
5	1	1,71
6	1	1,71
7	1	1,69

Fuente: BORJA J.; 2012

### 2.2.2.-Datos para la válvula

Para determinar la eficiencia de la válvula de control realizamos análisis de tiempo de vaciado del líquido a diferentes alturas sin válvula, luego repetimos el mismo procedimiento con válvula a diferentes porcentajes de apertura del vástago y hasta llegar a una apertura de 100% a continuación los datos tomados con sus respectivas curvas características.

Tabla. 2.2.2-1

Tiempo en función de la altura de vaciado

numero	h(cm)	t(s)
1	5	26,01
2	10	55,32
3	15	86
4	20	121,32
5	25	160,32
6	30	226,76

Fuente. BORJA J.;2012

Donde:

h. altura de vaciado (cm)

t. tiempo que se demora en vaciar a diferentes alturas (s)

Tabla.2.2.2-2

Alturas máximas y mínimas que detecta el sensor

h max(cm)	h min(cm)
35	4,8
34,5	4,6
34,6	4,9
35,4	4,8
35,1	4,8
34,9	4,9

Fuente: BORJA J.; 2012

Donde: h.max. Altura máxima (cm)

h.min. altura mínima (cm)

Para determinar los datos generales asociamos todos los datos obtenidos y relacionamos la manera en que afecta el nivel del tanque 1 al nivel del tanque 2

### 2.3.-DATOS ADICIONALES

A más de los datos obtenidos se necesita conocer las dimensiones del tanque para poder desarrollar los cálculos.

Tabla. 2.3-1

Datos adicionales

a(cm)	l(cm)	hta (cm)	htm (cm)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )
35	40	50	40	1000

Fuente: BORJA J.; 2012

Donde:

l. largo de los tanques (cm)

a. ancho de los tanques(cm)

hta. Altura del tanque de almacenamiento (cm)

htm. Altura del tanque de medición (cm)

$\rho$ . Densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>)



### CAPITULO III

#### 3.-DISEÑO

##### 3.1.-CALCULOS

##### 3.1.1.- CALCULOS REALIZADOS PARA EL DISEÑO DE LOS TANQUES

##### 3.1.1.1.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El área transversal de este tanque que se calculó de acuerdo a la ecuación 1.3.3.1-1 es la siguiente:

Dimensiones para el tanque de almacenamiento

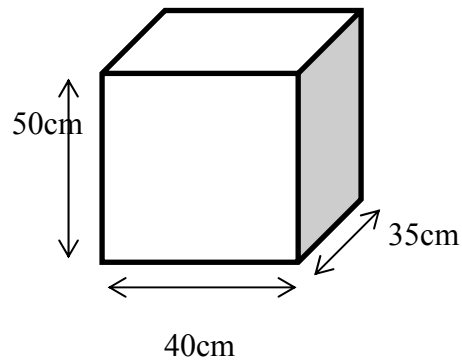


Fig. 3.1.1.1-1.- área del tanque de almacenamiento

Área transversal del tanque 1

$$A = (35 * 40)cm^2$$

$$A = 1400 cm^2$$

Volumen del tanque 1 de acuerdo a la ecuación 1.3.3.1-1 es el siguiente

$$V_{\text{tanque1}} = (35 * 40 * 50) \text{cm}^3$$

$$V_{\text{tanque1}} = 70000 \text{cm}^3 \frac{L}{1000 \text{cm}^3}$$

$$V_{\text{tanque1}} = 70L$$

### 3.1.1.2.- TANQUE DE MEDICION

Dimensiones para el tanque de control

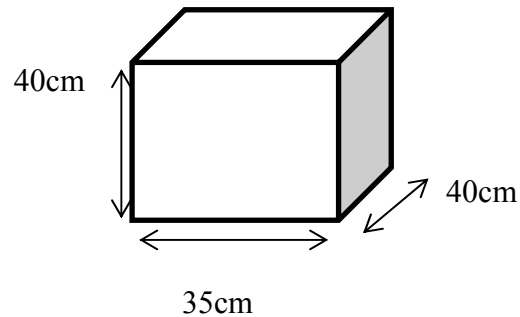


Fig. 3.1.1.2-1 área del tanque de medición

Calculo del área transversal del tanque de medición es igual al área calculada para el tanque de almacenamiento es la siguiente.

$$1400 \text{ cm}^2 = 1400 \text{ cm}^2$$

Volumen del tanque 2

$$V_{\text{tanque2}} = (35 * 40 * 40) \text{cm}^3$$

$$V_{\text{tanque2}} = 56000 \text{cm}^3 \frac{L}{1000 \text{cm}^3}$$

$$V_{\text{tanque2}} = 56L$$

El área total de los dos tanques (para diseñar el soporte)

$$A_{\text{total}} = 2 * (1400) \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{total}} = 2800 \text{ cm}^2 \frac{1\text{m}^2}{10000\text{cm}^2}$$

$$A_{\text{total}} = 0,28 \text{ m}^2$$

### 3.1.2.- BOMBA

La bomba marca STRUPER que se escogió es la que se muestra en la figura



Fig. 3.1.2-1.- Bomba

Las características de esta bomba son las siguientes:

Modelo: BOAP-1/2

Capacidad Máxima (L/min): 40

Cabezal Max (m): 40

Altura máxima de succión (m): 40

Potencia (HP): 0.5

Diámetro bomba (1"): 1" \* 1"

Peso neto (Kg): 5.3

Dimensión general (mm): 265 \* 120 \* 155

### 3.1.3.- CALCULO REALIZADOS PARA LA SERVOVALVULA

Mediante el despeje de la ecuación siguiente podemos calcular el Cv para este diseño.

$$F = Cv \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$$

Caída de presión:

De acuerdo a la ecuación 1.3.8.1-1 se tiene.

$$P = 1000 \frac{Kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0,30m = 2940 \frac{Kg}{ms^2}$$

$$\Delta P = (3920 - 2940) \frac{Kg}{ms^2}$$

$$\Delta P = 980 \frac{Kg}{ms^2} * \frac{Pas}{\frac{Kg}{ms^2}} * \frac{KPas}{1000Pas} * \frac{Bar}{100KPas} * \frac{0.069Psi}{Bar} = 6,762 * 10^{-4} Psi$$

Constante de la válvula

$$F = 0,184 \frac{L}{s}$$

Gravedad.

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

Calculo:

$$Cv = \frac{\text{factor de seguridad} * F}{\sqrt{\frac{\rho * g * h}{\gamma}}} \text{Ec.3.1.3-1}$$

$$Cv = \frac{1,5 * 0,182 \frac{L}{s}}{\sqrt{\frac{3430 \frac{Kg}{m^3}}{9,8 \frac{m}{s^2} * 1000 \frac{Kg}{m^3}}}}$$

$$Cv = 0,591$$

### 3.1.4.- CALCULOS REALIZADOS PARA EL SENSOR

Para este caso se tiene según la ecuación 1.3.8.1-1 se tiene los siguientes cálculos.

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h \text{ máxima} = 0,4 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$P = 1000 * 9,8 * 0,4$$

$$P = 3,92 \text{ KPa}$$

Como: 1 Bar = 100 KPa

Entonces se tiene:

$P=0,0392$  bar

Como  $1\text{psi}=0,069\text{bar}$

Entonces se tiene que la presión relativa máxima que debe soportar el sensor es:

$P=0,57$  psi

### 3.1.5.- CÁLCULOS REALIZADOS A LA BOMBA.

Para la bomba se realiza cálculos para encontrar el caudal en L/s para determinar la diferencia de caudales entre la entrada y la salida del tanque además determinamos que tiempo se demora en llenar el tanque a diferentes alturas mediante la ecuación 2.1.2.1.2.1-1 y ecuación 2.1.2.1.2.1-2.

Tabla.3.1.5-1

Caudal en función del tiempo de llenado

h(cm)	t(s)	Q(cm <sup>3</sup> /s)
5	13,4	522,38806
10	26,01	
15	39,2	
20	53,27	
25	66,54	
30	79,96	
35,2	94,07	

Se realiza los análisis de caudal en función de volumen y tiempo reemplazando datos en la ecuación 2.1.2.1.2.1-3.

Tabla. 3.1.5-2

Obtención de caudal a partir del volumen o el tiempo

muestra	volumen (L)	tiempo(s)	Q(L/s)
1	1	1,72	0,58139535
2	1	1,77	
3	1	1,71	
4	1	1,64	
5	1	1,71	
6	1	1,71	
7	1	1,69	

Fuente. BORJA J.;2012

### 3.1.6.- CÁLCULOS REALIZADOS A LA VÁLVULA.

De la misma manera se realiza los cálculos para determinar el tiempo que se demora en vaciar el tanque a diferentes alturas y saber el caudal que tenemos para posteriormente calcular la eficiencia de la válvula, mediante la ecuación 2.1.2.1.2.2-1 y la ecuación.1.2.1.2.2-2

Tabla.3.1.6-1

Caudal en función del tiempo de vaciado

Número	h(cm)	t(s)	Q(cm <sup>3</sup> /s)
1	5	26,01	269,127259
2	10	55,32	
3	15	86	
4	20	121,32	
5	25	160,32	
6	30	226,76	

Fuente: BORJA J.;2012

De la misma manera se mide el tiempo que se demora en descargar el agua del tanque a través de la válvula tomando como base diferentes alturas las mismas con la ecuación 2.1.2.1.2.2-1 y la ecuación.1.2.1.2.2-2

Tabla. 3.1.6-2

Caudal de salida a través de la válvula en función del tiempo de vaciado

h(cm)	t(s)	Q cm <sup>3</sup> /s
30	69,26	568,050823
25	151,48	
20	241,38	
15	341,87	
10	477,6	
5	692,18	

Fuente.BORJA J.; 2012



### 3.1.7.- CÁLCULOS REALIZADOS AL SENSOR.

Para medir y obtener el rango de medición del sensor se procede a tomar medidas de la altura máxima y mínima que en la que detecta la medición de nivela través del sensor.

Según los resultados tenemos la altura máxima que el sensor mide de 35,4cm y una altura mínima de 4,6cm con estos datos calculamos el rango de medición

$$\text{Escala} = 4,6\text{cm} - 35,4\text{cm}$$

$$\text{Cero instrumento} = 4,6\text{cm}$$

$$\text{rango} = \frac{35,4\text{cm}}{4,6\text{cm}} = 7,69 \text{ adimensional}$$

### 3.1.8.- CALCULOS GENERALES REALIZADOS AL EQUIPO

Mientras que para hallar la relación que existe entre la altura y el flujo tenemos los siguientes cálculos luego de remplazar en las ecuaciones 2.1.2.1.2.3-1, 2.1.2.1.2.3-2, 2.1.2.1.2.3-3, 2.1.2.1.2.3-4 obteniendo los siguientes resultados.

$$C_1 = \frac{1}{2} 0,863 \frac{\text{lt}}{\text{s}} * \frac{1000\text{cm}^3}{\text{lt}} * (35 \text{ cm})^{-1/2} * (30 \text{ cm})^{-1/2} = 13.31 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

$$A = (35 * 40)\text{cm}^2 = 1400\text{cm}^2$$

$$\tau = \frac{1400\text{cm}^2}{13.31 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}} = 105,18 \text{ s}$$

$$K_1 = \frac{1}{13.31 \frac{cm^2}{s}} = 0,07633 \frac{s}{cm^2}$$

Estos datos reemplazamos en la ecuación principal

$$H_{1(s)} = \frac{K_1}{\tau_1 s + 1} F_{i(s)}$$

$$H_{1(s)} = \frac{0,07633 \frac{s}{cm^2}}{105,18 s * \frac{1}{78,74s} + 1} * 528 \frac{cm^3}{s} = 17.25cm$$

Aplicando la transformada inversa a esta ecuación se tiene se tiene

$$H_{1(t)} \mathcal{L}^{-1}\{H_{1(s)}\} = K_1 \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{\tau_1 s + 1} F_{i(s)}\right\} \quad \text{Ec. 3.1.8-1}$$

$$H_{1(t)} = -K_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \text{Ec. 3.1.8-2}$$

$$H_{1(t)} = 0.07633 \left(1 - e^{-\frac{94,07}{105,18} t}\right)$$

$$H_{1(t)} = 0,045$$

### 3.1.9.- CÁLCULOS REALIZADOS DE LA INVERSIÓN.

En la siguiente tabla se detalla los costos del equipo en los cuales se incluye costos de las partes del equipo, como costos por mano de obra funcionamiento y gastos extras en insumos que se ha tenido durante la elaboración de este proyecto.

Tabla.3.1.9-1

Costo de materiales utilizados para el ensamblaje del equipo

Material	Dato	Cant.	unidad	Costounit.	costo total
codo	propileno roscado 1/2"x90	6	unidades	0,375	2,25
neplo	polipropileno corrido 1/2"	4	unidades	0,285	1,14
neplo	polipropileno 1/2" 10cm	4	unidades	0,276	1,104
neplo	polipropileno 1/2" 15cm	4	unidades	0,33	1,32
bushing	polipropileno 1" A 1/2"	1	unidades	0,901	0,901
tapón	polipropileno M 1"	1	unidades	0,642	0,642
unión red	polipropileno 1"X1/2"	1	unidades	1,669	1,669
uniónUni.	polipropileno 1/2"	2	unidades	0,857	1,714
válvula	471,04 bronce FV	1	unidades	7,74	7,74
válvula	1/4 vuelta pegler	2	unidades	4,5	9
cinta	teflón 1/2" 10m	2	unidades	0,258	0,516
bomba	Periférica 1/2 HP truper	1	unidades	62,366	62,366
sensor	para cisterna Rotoplast	1	unidades	19,223	19,223
cable	multifilar 12 AWG	5	metros	0,58	2,9
taipe	18m X19mmX0,13mm	1	unidades	0,803	0,803
Adaptador/ tanque	polipropileno 1/2"	3	unidades	1,767	5,301
enchufe	15A-125V 2P 2WCOOPER	1	unidades	1,089	1,089
taladro	ultracraftPVR 550W HO	1	unidades	18,83	18,83
Llave/tubo	10" 95IB-87 STANLE	1	unidades	12,544	12,544
plancha	Acrílico	1	unidades	215,3	215,3
plancha	tol 245X 200mm	1	unidades	14,5	14,5
swich	200 V	1	unidades	10,38	10,38
swich	125V	2	unidades	1,75	3,5
angulo	acero 8"	1	unidades	12,3	12,3
				<b>total</b>	<b>407,032</b>

Fuente.BORJA J.; 2012

Se tiene un total de gastos por concepto de partes para el equipo de \$ 407,032 dólares americanos.

Tabla. 3.1.9-2

Gastos operacionales del equipo

dato	partes del equipo	costo
construcción	estructura metálica	100
construcción	Tanques	90
Instalación	sensor bomba	10
	<b>Total</b>	<b>200</b>

Fuente. BORJA J.;2012

En cuanto a ensamblaje y funcionamiento del equipo se tiene \$200, oo dólares en gastos incluidos pruebas realizadas.

Tabla. 3.1.9-3

Recursos materiales

dato	costo
Transporte	245
materialdidáctico	50
Internet	36,4
Impresiones	100
<b>Total</b>	<b>431,4</b>

Fuente. BORJA J.; 2012

En cuanto a insumos y gastos varios se invierte \$431,40 dólares desde el inicio del proyecto hasta su culminación.

### 3.2.- RESULTADOS

#### 3.2.1.-RESULTADOS OBTENIDOS DEL CÁLCULO DE DISEÑO

Después de realizar los respectivos cálculos se llega a obtener los siguientes resultados.

Tabla. 3.2.1

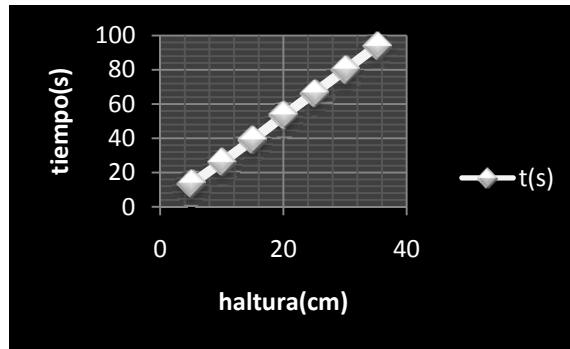
Resultados obtenidos del cálculo de diseño

Área tanque 1 (cm <sup>2</sup> )	Volumen tanque 1 (L)	Área tanque 2 (cm <sup>2</sup> )	Volumen tanque 2 (L)	Área total (m <sup>2</sup> )	Cv	Presión(Psi)
1400	70	1400	56	0,28	0,591	0,57

Fuente: BORJA J.; 2012

#### 3.2.2.- CURVAS OBTENIDAS CON LOS DATOS ADQUIRIDOS PARA LA BOMBA

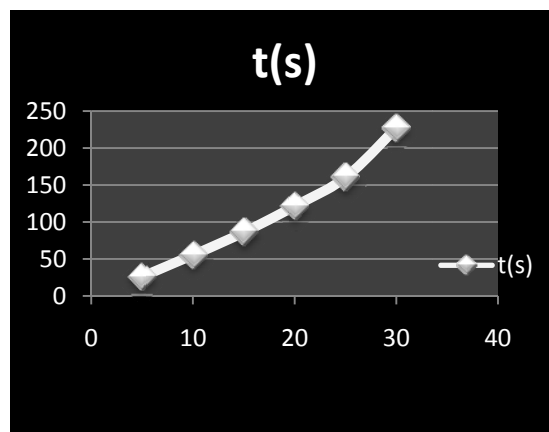
Para la tabla 2.2.1-1 datos de tiempo en función de la altura se tiene una curva de tipo lineal ascendente que relaciona el tiempo en función de la altura.



Fuente: BORJA J.; 202

Graf. 3.2.2-1.- altura VS tiempo

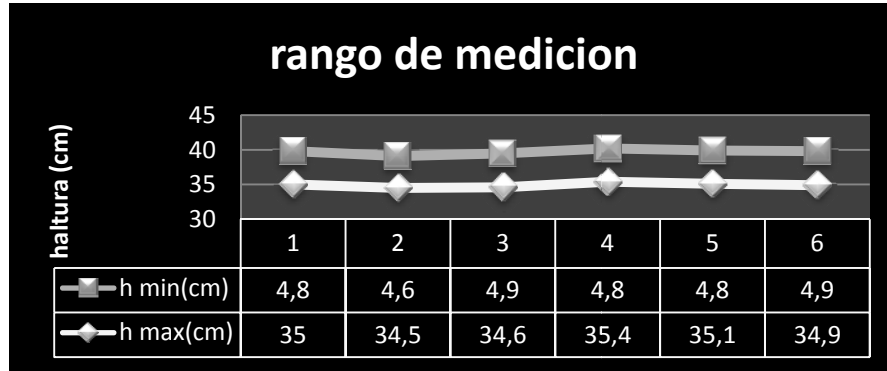
Para la tabla 2.4.2-1 que relaciona el tiempo de vaciado en función de la altura se tiene un incremento de tiempo a medida que baja la altura ya que la presión de empuje va a disminuir



Graf. 3.2.2-2.- Altura Vs tiempo

### 3.2.3.- CURVAS OBTENIDAS A PARTIR DE LOS DATOS ADQUIRIDOS PARA EL SENSOR

Mediante la utilización de los datos de la tabla 3.1.3-1 se tiene las curvas que nos permite encontrar un rango de control que tiene el sensor con su nivel máximo y mínimo como se observa en la siguiente figura.



Graf. 3.2.3-1.- puntos máximos y mínimos de medición.

### 3.2.4.- RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CALCULOS REALIZADOS A LA BOMBA

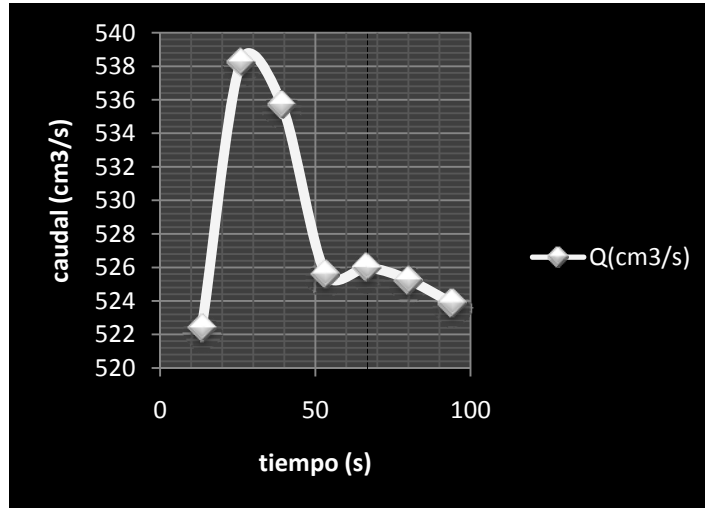
Luego de realizar los cálculos de caudal en función del tiempo y la altura se tiene los siguientes datos:

Tabla.3.2.4-1

Caudal en función del tiempo de llenado

h(cm)	t(s)	Q(cm <sup>3</sup> /s)	Q(L/s)
5	13,4	522,38806	0,52238806
10	26,01	538,254517	0,53825452
15	39,2	535,714286	0,53571429
20	53,27	525,624179	0,52562418
25	66,54	525,999399	0,5259994
30	79,96	525,262631	0,52526263
35,2	94,07	523,865207	0,52386521
		<b>Q medio</b>	<b>0,52815833</b>

Se observa una ligera desviación en la curva ya que por la presencia del adaptador ubicado en la base del tanque se demora en llenar ese tramo un poco más que los anteriores.



Fuente: BORJA J.; 2012

Graf. 3.2.4-1.- caudal VS tiempo

Mediante la figura que se muestra a continuación se observa que hay una pequeña variación de caudal que se puede dar por varios motivos como puede ser fuga de presión o la mala técnica al momento de tomar los datos.



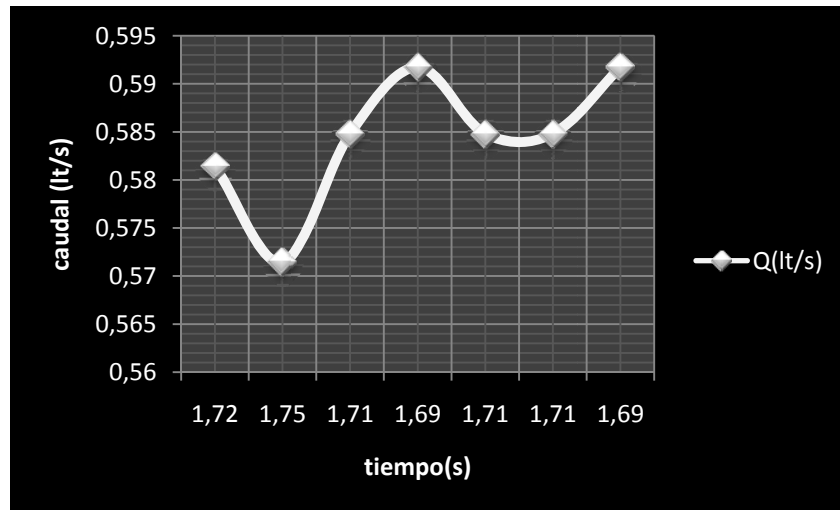
Tabla. 3.2.4-2

Obtención de caudal a partir del volumen o el tiempo

muestra	volumen (L)	tiempo(s)	Q(L/s)
1	1	1,72	0,58139535
2	1	1,77	0,56497175
3	1	1,71	0,58479532
4	1	1,64	0,6097561
5	1	1,71	0,58479532
6	1	1,71	0,58479532
7	1	1,69	0,59171598
Q medio			0,58603216

Fuente: BORJA J.; 2012

Teniendo de esta manera la curva característica del comportamiento de la bomba



Graf. 3.2.4-2.- Caudal VS tiempo

### 3.2.5.- RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CALCULOS REALIZADOS PARA LA VALVULA

Una vez realizado los cálculos pertinentes se observa el siguiente comportamiento de la válvula.

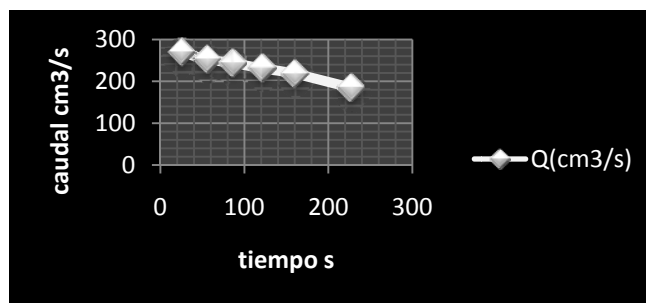
Tabla.3.2.5-1

Caudal en función del tiempo de vaciado

Número	h(cm)	t(s)	Q(cm <sup>3</sup> /s)	Q(L/s)
1	5	26,01	269,127259	0,26912726
2	10	55,32	253,07303	0,25307303
3	15	86	244,186047	0,24418605
4	20	121,32	230,794593	0,23079459
5	25	160,32	218,313373	0,21831337
6	30	226,76	185,217851	0,18521785
			Q medio	0,23345203

Fuente. BORJA J.; 2012

A continuación se detalla la curva característica del caudal en función del tiempo de vaciado.



Fuente: BORJA J.; 2012

Graf. 3.2.5-1.- caudal VS tiempo de vaciado

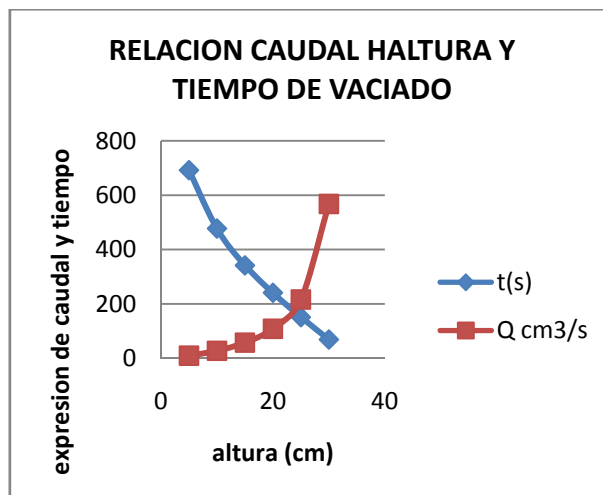
Tabla. 3.2.5-2

Caudal de salida a través de la válvula en función del tiempo de vaciado

h(cm)	t(s)	Q cm <sup>3</sup> /s	Q L/s
30	69,26	568,050823	0,56805082
25	151,48	216,437814	0,21643781
20	241,38	108,661861	0,10866186
15	341,87	57,5411706	0,05754117
10	477,6	27,4589615	0,02745896
5	692,18	9,4732584	0,00947326
Q medio			0,16460398

Fuente: BORJA J.; 2012

Realizando la curva característica observamos una disminución de caudal a medida que la altura disminuye ya que la presión de empuje también va a disminuir, por otra parte el tiempo de vaciado va a ser mayor a medida que disminuye la altura. En la siguiente grafica relacionamos altura, tiempo y caudal de vaciado para determinar su comportamiento.



Fuente: BORJA J.; 2012

Graf. 3.2.5-2.- Relación caudal- altura- tiempo de vaciado a través de la válvula

### 3.2.6.- RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CALCULOS GENERALES

Tabla. 3.2.6-1

Resultados obtenidos de los cálculos generales.

RANGO	C1 (cm <sup>2</sup> /s)	$\tau$ (min)	$K_1$ (s/cm <sup>2</sup> )	$H_{1(s)}$ (cm)	$H_{1(t)}$ (cm)
7,69	13,31	1,15	0,07633	17,25	0,045

Fuente: BORJA J.;2012

### 3.3.-ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez culminado el proyecto se tiene la satisfacción de haber cumplido y alcanzado los objetivos propuestos, desde la simulación de un equipo piloto para determinar cuál es el modelo que más nos conviene, estableciendo el diseño respectivo para la construcción y ensamblaje del equipo y culminando con la toma de datos y el análisis respectivo de los mismos en tiempo real.

En cuanto a las áreas que ocupo el equipo se las realizo un descuento de 1,2cm ya que el espesor del acrílico es de 6 mm esto por las dos paredes nos da el respectivo descuento, esto se realiza tanto para el tanque de almacenamiento como para el tanque de medición ya que si no se hubiese realizado este procedimiento tendríamos problemas en el montaje sobre la estructura metálica la misma que está diseñada de acuerdo al área que tenemos a nuestra disposición.

En la gráfica **3.2.2-1** o curva característica del tiempo de llenado en función de la altura se observa que va en sentido ascendente, lo que quiere decir que mientras mayor altura se tiene el tiempo de llenado también va a ser mayor teniendo un comportamiento lineal, actuando directamente proporcional el tiempo con la altura,

ya que mientras mayor es la altura el área de llenado va a ser mayor y por lo tanto va a demorarse más en llenar ese volumen.

En cuanto al caudal que sale de la bomba tenemos una media de 0,58603216 L/s el cual se lo hace relación con el caudal que se obtiene de relacionar la altura con el tiempo de llenado y el área del tanque que tiene un valor medio de 0,52815833L/s obteniendo una eficiencia de 90,1% del equipo además en la curva se observa una variación de caudal y de tiempo de llenado es porque a los 5cm se encuentra instalado un adaptador y este va a provocar que el área de llenado aumente. Pudiendo el mismo ser comparado con valores obtenidos al utilizar otros equipos de control de nivel.

De la misma manera se realiza para determinar la eficiencia de la válvula para lo cual se realizó la medición del tiempo que se demora en vaciar el tanque a diferentes alturas sin presencia de la válvula a lo que se conocerá como tiempo de vaciado real obteniendo un valor medio de 0,23345203 L/s además se observa que la curva va en sentido descendente determinando que mientras menor altura de vaciado tenemos el tiempo que se demora va a ser mayor porque la presión también va a disminuir y vamos a tener una menor fuerza de empuje. Luego realizamos el mismo procedimiento cuando la válvula está instalada y a diferentes porcentajes de apertura del vástago determinando que la eficiencia es muy pequeña tocando instalar una válvula de mayor caudal al que se tiene cuando sale por el adaptador de media acondicionado al tanque. El valor medio del caudal que sale a través de la válvula se lo hace relación con el caudal real obteniendo la eficiencia que tenemos a diferentes porcentajes de apertura del vástago

En cuanto a análisis de sensor como se trata de un modelo manual procedemos a tomar solamente la altura máxima(35,4cm) y la altura mínima (4,6cm) que este sensor mide obteniendo un rango de medición de 7.69 con lo que respecta a alturas.

Se tiene valores de respuesta lentos debido al valor que presenta  $\tau$  que es de 105,18 s lo que nos quiere decir que la velocidad de respuesta va a ser lenta. Además encontramos el valor de  $H_1$  en función del flujo de entrada que tiene un valor de 17,25 cm y al realizar la transformada inversa de La-Place se tiene un valor de  $H(t)=0,045$  con una ganancia del sistema de  $0,07633 \text{ s/cm}^2$

Todo este proyecto fue financiado con recursos propios desde el inicio hasta la culminación total del proyecto, no se tuvo gastos mayores ya que algunas partes fueron acopladas y ensambladas por el autor del proyecto tales como la válvula de control ya que su costo es elevado, pero se tiene la misma funcionalidad y eficiencia que se tendría al tomar datos de una planta industrial por lo que el objetivo que se pretendía con el trabajo se cumple satisfactoriamente.

## CAPITULO IV

### 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1.- CONCLUSIONES

Durante la toma de datos y los cálculos realizados se llega a las siguientes conclusiones:

- Los tanques están constituidos en acrílico de 6 mm de espesor para resistir 0,57 psi de presión la misma que es la máxima que se puede tener.
- La bomba utilizada es una bomba de tipo centrífuga con una altura de descarga de 40m y 0,5 HP de potencia la misma que por lo general es utilizada para cisternas, además las conexiones del equipo son de PVC la misma que resiste temperaturas de 60°C el cual es ideal ya que a nivel de laboratorio se trabaja con temperatura no mayores a 35°C.
- Luego de relacionar los caudales obtenidos por dos métodos se tiene una eficiencia de 90,1% determinando que la funcionalidad del equipo si es satisfactoria.
- El sensor mide altura máxima (35,4cm) y la altura mínima (4,6cm)obteniendo un rango de medición de 7.69 siendo un valor bajo el cual va a ser nuestro intervalo de operación.
- La eficiencia que se tiene al utilizar una válvula de control para el tiempo de vaciado es de 78 % porque mientras la altura disminuye vamos a tener que la presión de empuje también disminuye obteniendo valores menores a 1 PSI.

- El valor de la constante de la válvula obtenido para este diseño es de 0.863 L/s que se obtiene para una altura máxima de 35,4 cm de altura.
- Para  $H_{1(s)}$  en función del flujo de entrada con valor de 17,25 cm se tiene una ganancia del sistema de  $0,07633 \text{ s/cm}^2$ .
- Luego de realizar la transformada de La-Place se tiene para  $H_{1(t)}$  un valor de 0,045 a las mismas condiciones de operación.
- La velocidad de respuesta a los cambios es de 1,75 min la cual es un poco lenta la misma que puede ser provocada por falta de calibración del sensor y por la altura que debe recorrer para dar la señal de encendido o apagado del elemento final de control como la bomba y la electroválvula.



#### 4.2.- RECOMENDACIONES

- Ya que el modulo diseñado tiene fines didácticos se recomienda añadir equipos de medición de otras variables, como por ejemplo de caudal, para así implementar las aplicaciones de control de dichas variables.
- Se recomienda el uso de otros equipos para medición de nivel de modo tal que se puedan establecer diferencias entre ellos, y analizar las ventajas y desventajas de los mismos.
- Adicionalmente se recomienda que en el futuro los estudiantes utilicen este módulo didáctico como base para el estudio, investigación e implementación de estructuras de control más avanzadas y modernas.
- Se recomienda encender la bomba y succionar agua cada cierto tiempo ya que internamente está constituida de partes metálicas las mismas que pueden oxidarse y dañarse si no se le da uso esto debido a que el agua que se utiliza en los laboratorios es dura y presenta gran cantidad de sales como carbonatos.
- Se debe tener cuidado al transportar el equipo de un lugar a otro ya que puede romperse el acrílico utilizado para los tanques y puede tener el mismo efecto que el vidrio provocando lesiones en la epidermis.
- Para tener una mejor confiabilidad de datos se recomienda tomar varias veces ya que tendremos un rango de error mucho menor.
- Se recomienda la implementación de software para poder tener un control más automatizado y poder asignar set points que permitan el mejor desenvolvimiento del equipo.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. **CREUSS, A.**, Instrumentación Industrial., 7<sup>a</sup> Ed., Cataluña-España., Editorial Marcombo., 2005., Pp.193-225, 361-413
2. **DORF, R.**, Sistemas Modernos de Control Teoría y Práctica., 4<sup>a</sup> Ed., Addison-Wesley., Iberoamericana., 1989., Pp. 33-201
3. **GOODWIN, G., y otros.**, Control Design Systems., 2<sup>a</sup> Ed., Madrid-España., Prentice Hall., 2001., Pág. 22-107
4. **MAZZONE, V.**, Controladores PID., Artículo Técnico., Universidad Nacional de Quilmes., Departamento de Automatización y Control Industrial., Buenos Aires- Argentina., 2002., Pp. 3-15
5. **OGATA, K.**, Ingeniería De Control Moderna., 4<sup>a</sup> Ed., Madrid-España., 2003., Pp. 7-8, 212-213
6. **SMITH, C. y otros.**, Control Automático de Procesos Teoría y Práctica., 1<sup>a</sup> Ed., México D.F-México Editorial Limusa., 1991.Pp.27-116

## **BIBLIOGRAFÍA INTERNET**

### **7. BOMBAS CENTRÍFUGAS Y VOLUMÉTRICAS.,**

<http://www.termica.webhop.info>.

2012-01-12

## **8. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL**

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2774/1/CD-0578.pdf>

2011-09-22

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3031/1/5548.pdf>

2011-09-22

<http://www.elmasa.es/elmasa/pdf/tecnologia/EspTecBomRes.pdf>

2011-09-24

<http://www.didatec-technologie.com/medida-regulacion/medida/ banco-de-medicion-de-nivel-BMN100.htm>

2011-09-24

## **9. SISTEMAS DE CONTROL MUESTREADOS**

<http://www.mstarlabs.com/docs/tn031.html>

2012-01-12

## **10. “VÁLVULAS: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL”**

[www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml](http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml)

2011-09-22



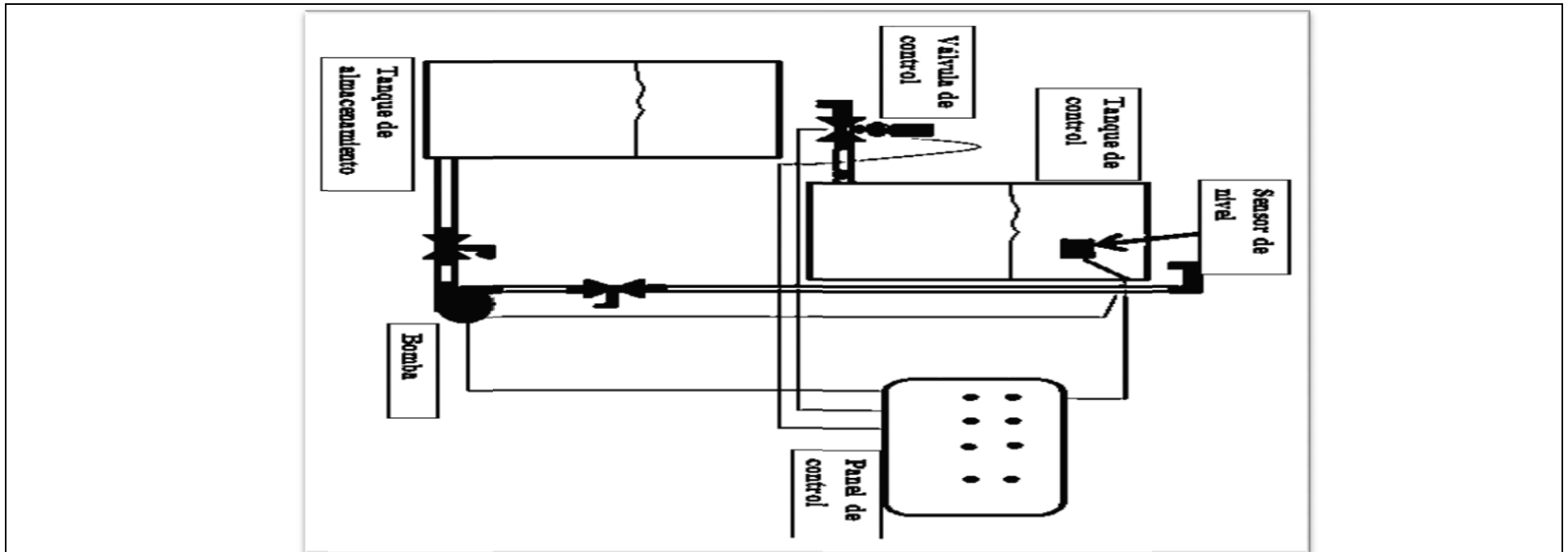
ANEXO I

CUADROS COMPARATIVOS QUE SIRVEN PARA EL CONTROL DENIVEL

CUADROS COMPARATIVOS QUE SIRVEN PARA EL CONTROL DE NIVEL	CALIFICADO POR CALIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL		
			ESCALA	FECHA	LAMINA
	RECHAZADO POR RECHAZAR	ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA		01-06-2012	1
		JOHNNY MARLON BORJA BORJA			

ANEXO II

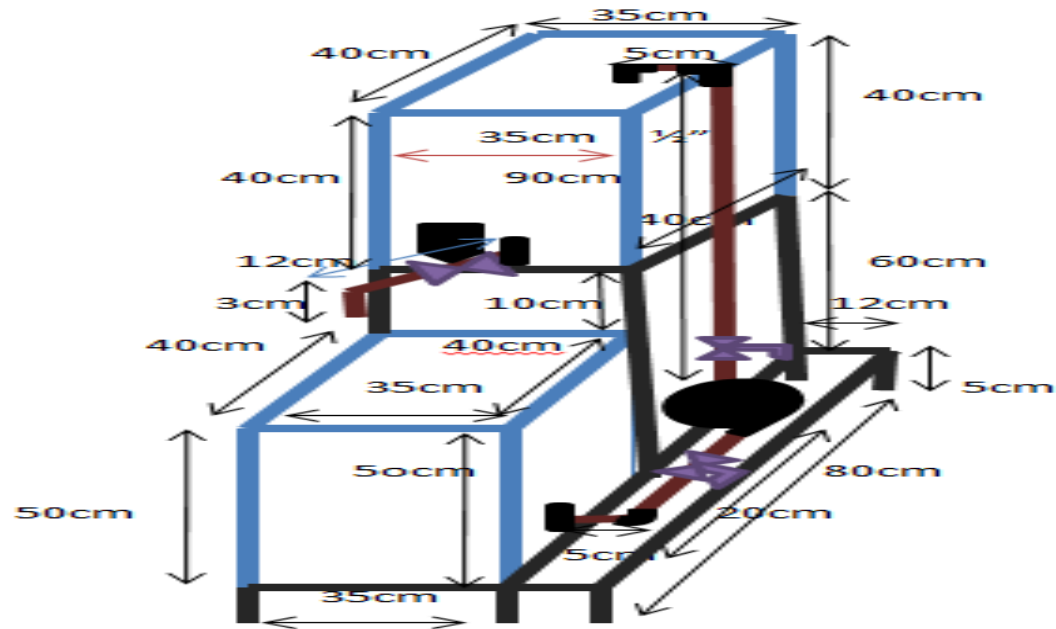
ESQUEMA GENERAL DEL EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL



ESQUEMA GENERAL DEL EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL	CALIFICADO POR CALIFICAR RECHAZADO POR RECHAZAR	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  JOHNNY MARLON BORJA BORJA	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL		
			ESCALA	FECHA	LAMINA
				01-06-2012	2

ANEXO III

PLANOS DEL EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL DE LIQUIDOS



PLANOS DE DISEÑO DEL EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS	CALIFICADO POR CALIFICAR RECHAZADO POR RECHAZAR	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  JOHNNY MARLON BORJA BORJA	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL		
			ESCALA	FECHA	LAMINA
				01-06-2012	3

## ANEXO IV

### MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO PARA CONTROL DE NIVEL DE LIQUIDOS.**

**OBJETIVO: Diseñar Y Construir Un Equipo Para Control De Nivel**

#### **CARACTERISTICAS:**

El equipo sirve para controlar el nivel de un líquido, el mismo que esta constituido de las siguientes partes:

- Estructura metálica de acero en forma de escalera para tener una diferencia de alturas entre los tanques.
- Dos tanques en acrílico de 6mm de espesor y un área transversal de 40cm x 35cm cada uno.
- Una bomba con una potencia de 5HP ya que la altura de succión no es elevada.
- Un sensor de boya marca rotoplast el cual acciona la bomba a una altura mínima y la activa a una altura máxima.
- Tubería en PVC ya que no vamos a trabajar con temperaturas mayores a 30°C.
- Un panel de control con un funcionamiento básico y sencillo de entender por la finalidad didáctica que tiene.

#### **MODO DE FUNCIONAMIENTO:**

Se tiene un tanque de almacenamiento el cual se debe llenar de agua suficiente para suministrar al tanque de medición.

Se conecta el enchufe a un alimentador de energía de acuerdo al voltaje que se necesite en este caso es suficiente 120 voltios.

En el panel de control tenemos un swich principal y cuatro secundarios, cumpliendo cada uno una función importante sobre cada parte del equipo,





A continuación se detalla cómo funciona cada uno de ellos:

Swich de alimentación principal sirve para suministrar energía a cada una de las partes del equipo se lo acciona tirando la palanca hacia arriba cuando se necesite y se baja la palanca cuando se complete el trabajo para evitar accidentes.



Swich para la bomba, se utiliza para proporcionar energía a la bomba se presiona en la parte inferior del swich para encender y se presiona en la parte superior para apagar la misma que se identifica cuando se enciende una luz roja, cabe recalcar que la bomba no se acciona si la par no se acciona el sensor.



Swich para el sensor, tiene la misma funcionalidad del swich para la bomba se presiona en la parte inferior para accionarlo y en la parte superior para cortar el suministro de energía el mismo que es fácil de observar ya que se enciende una luz roja, este sensor acciona la bomba cuando el nivel es mínimo y la apaga cuando llega a un nivel máximo, evitando que el agua se desborde fuera del tanque.



Swich para la electroválvula, se encarga de suministrar energía a la electroválvula ésta a más de tener este componente posee otro swich que nos sirve para abrir y cerrar la misma de acuerdo a la necesidad formando un circuito cerrado de agua, se tira la palanca a la izquierda para cerrar la válvula o se tira la palanca ala derecha para abrir la válvula permitiendo el paso del agua a través de ella.



Luego de realizar la práctica se retira toda el agua de los tanques y se deja todo el equipo seco para que no sea afectada por la corrosión las partes metálicas del mismo.

#### **CONCLUSIONES:**

Se pretende obtener datos del equipo y servo-válvula que representen una eficiencia del 70% min de funcionalidad del equipo para un rango de operación de 7,69 que es la diferencia entre el límite superior e inferior de medición.

#### **RECOMENDACIONES:**

Ya que es un equipo que tiene fines educativos se recomienda rediseñar para la instalación de nuevos equipos de medición de nivel para ver la velocidad de respuesta de cada uno y determinar cuál es el más eficiente, además se recomienda el encendido y funcionamiento del equipo para evitar la oxidación de las partes metálicas ocasionadas por las sales y carbonatos presentes en el agua de Riobamba y su posterior secado después de cada practica realizada.