

**“AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO PARA ANÁLISIS DE LA
ACELERACIÓN DE CORIOLIS CON ANALOGÍA HIDRÁULICA PARA EL
LABORATORIO DE MECANISMOS DE LA ESPE”**

Quinteros Buitrón Alex Paul, Villagómez Garzón Silvia Cristina

Ing. Jaime Echeverría, Ing. Hugo Ortiz

Departamento de Energía y Mecánica – Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

Diciembre 2014

I. RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto de grado recopila el trabajo realizado para la automatización de un equipo de laboratorio para análisis de la aceleración de Coriolis mediante analogía hidráulica. El desarrollo del proyecto consta de una parte mecánica, la cual se basa en el diseño de un mecanismo de elevación tipo tijera con accionamiento neumático. Presenta además una etapa electrónica, de instrumentación selección e implementación correcta de sensores y actuadores, para finalizar con el desarrollo de un control PI para mantener constante el nivel de líquido en un tubo. Todas las etapas presentan un diseño, selección y fabricación, de ser el caso, que permiten obtener los resultados más óptimos para el equipo. Finalmente, para facilitar el proceso de toma de datos en la práctica de laboratorio, brindando efectividad y rapidez, se centralizaron los valores de la práctica implementando una pantalla

HMI que registra valores requeridos. Junto con el diseño y automatización del equipo se presentan los respaldos de planos y manuales para la correcta manipulación del mismo, y una guía de práctica para facilitar la enseñanza de los cálculos que se realizan.

PALABRAS CLAVE

Aceleración de Coriolis, Mecanismo tipo Tijera, Control PI, Control de Nivel, Automatización.

II. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el Gobierno ecuatoriano se ha enfocado en brindar una educación de excelencia. A niveles universitarios, los estudios se encaminan hacia la investigación científica, la cual brinda facilidad de resolver problemas que involucren de una u otra manera a la sociedad.

Por lo tanto los equipos de laboratorio son herramientas indispensables para

que los estudiantes puedan comprender y evidenciar de manera experimental como se producen los fenómenos en la realidad y no solo teóricamente. Por lo que este proyecto va enfocado a rehabilitar el equipo de laboratorio de aceleración de Coriolis, el cual permitirá que los alumnos de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, principalmente a los estudiantes de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, trabajen con equipos automatizados que se encuentren en óptimas condiciones y brinden resultados precisos.

III. METODOLOGÍA

Se ha dividido este proyecto de tesis en tres aspectos fundamentales que se detallan a continuación:

1) SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico está compuesto por un mecanismo tipo tijera que consta básicamente de cuatro brazos móviles, dispuestos en forma de dos X paralelas, con un pivote en el centro. Además presenta un soporte inferior y un superior con sus respectivas rieles para el deslizamiento de los brazos durante la apertura y cierre.



Ilustración 1 Mecanismo tipo tijera Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

Componentes del sistema:

Brazos móviles

Los brazos son construidos en platinas, luego de haber seleccionado el espesor a partir de cálculos de los esfuerzos generados por el mecanismo. Existen tres perforaciones para la unión entre los brazos y la sujeción a los soportes tanto superior como inferior.

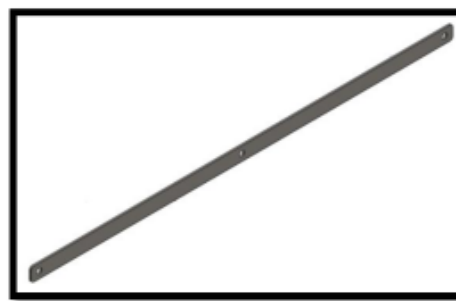


Ilustración 2 Brazos móviles Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

Soportes superior e inferior

Los soportes tanto superior como inferior son considerados como perfiles tipo C. Este perfil facilita el movimiento de los brazos ya que puede ubicarse una ranura de deslizamiento en su cara lateral, y de esta manera puede ser guiado un rodamiento en su parte interior.

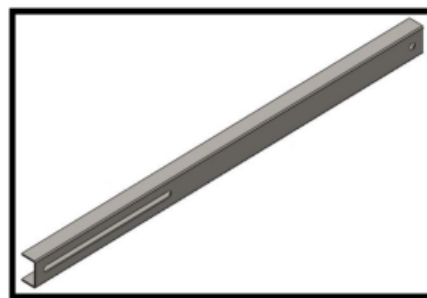


Ilustración 3 Soportes de mecanismo Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

Actuador: Cilindro neumático

El cilindro neumático es capaz de generar la fuerza necesaria para garantizar la correcta apertura del mecanismo. Se fabrica un acople tipo L sujeto por un extremo al eje del rodamiento que se encuentra apoyado en el perfil en C y por otro extremo sujeto al vástago del pistón.



Ilustración 4 Cilindro neumático Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

Además del mecanismo se requerían varios elementos extra para el correcto funcionamiento de la máquina. Estos se detallan a continuación

Guía para rodamiento central

La irregularidad en la rotación del tubo central, causa turbulencias en la columna de agua. Por lo que se requiere un rodamiento que guíe el movimiento. Este elemento facilita el sentido de nivel y su posterior control.

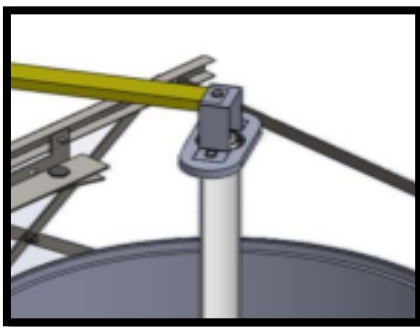


Ilustración 5 Guía de rodamiento Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

Tubo de plexiglass

El tubo de plexiglás canaliza el líquido hacia el exterior del tubo central. Está constituido por un material denominado plexiglás con una densidad de 1,18 g/cm³ y con una dureza rockwell de 89M.



Ilustración 6 Tubo de plexiglas Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

2) SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

Un equipo automatizado requiere de un sistema eléctrico/electrónico, donde el trabajo manual es omitido o se reduce brindando un trabajo eficiente.

Placa Arduino

Las placas Arduino en su mayoría utilizan un microcontrolador ATmega168. Posee 14 puertos digitales de los cuales 6 de ellos pueden ser utilizados como salidas PWM. Posee 6 entradas analógicas y admiten una corriente de 40mA.

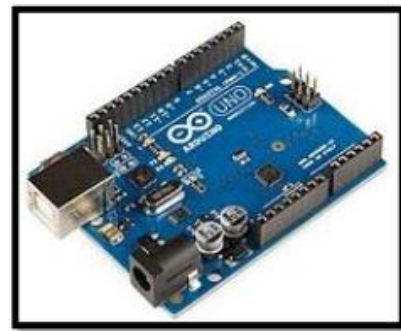


Ilustración 7 Placa Arduino Fuente: (Arduino, 2014)

Sensor de Nivel

El sensor de nivel permite conocer el estado del líquido en el tubo central. La altura de sensado necesaria para este equipo es de 500 [mm] al momento de la instalación.



Ilustración 8 Sensor ultrasónico Arduino HC-SR04
Fuente: (Arduino, 2014)

El sensor ultrasónico emite cíclicamente un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración. Este impulso se propaga a la velocidad del sonido por el aire. Al encontrar un objeto, es reflejado y vuelve como eco al sensor ultrasónico. Este último calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal acústica y la recepción de la señal de eco.

Sensor palpador

Este sensor permite medir la deflexión de una platina que es perturbada por el torque generado por el motor. Siendo un dato importante durante el desarrollo de la práctica del equipo.



Ilustración 9 Sensor palpador
Fuente: (Novotechnic, 2014)

Este instrumento es capaz de medir distancias o desplazamientos por contacto sobre las superficies a medir. Es un sensor de posición con resorte, el muelle de retorno ejerce una fuerza sobre el punto de medida o apoyo, lo que permite asegurar el contacto en todo momento.

Sensor contador de revoluciones

El sensor de efecto Hall permite contar el número de vueltas que da el tubo central para posteriormente calcular la velocidad a la que gira complementado con el tiempo.

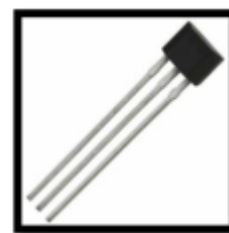


Ilustración 10 Sensor de efecto Hall
Fuente: (Diodes Incorporated)

El sensor de efecto Hall se caracteriza por generar un campo eléctrico en un material conductor o semiconductor por el cual circula una corriente, este es atravesado perpendicularmente por un campo magnético el cual desvía las cargas y genera una diferencia de potencial.

Válvula Proporcional

Una válvula proporcional motorizada permite una apertura variable proporcional a la señal de mando, presentan la ventaja de un bajo consumo eléctrico. Ante un corte de alimentación mantienen su posición previa.



Ilustración 11 Válvula proporcional Fuente: (Winner Hydraulics Corporation, 2006)

Su funcionamiento es igual al de una válvula de bola, con la diferencia de que el actuador en lugar de ser manual es un servomotor que permite controlar el flujo de acuerdo al giro que da el motor.

Válvula Neumática

La electroválvula neumática permite controlar la apertura y cierre del mecanismo a través de una señal eléctrica.



Ilustración 12 Electroválvula neumática Fuente: (Unitech-Ecuador, 2008)

La electroválvula neumática 5/2 marca Midman realiza el cambio de posición por medio de una señal de entrada de 24 [VDC]. El retorno lo realiza por medio de un resorte luego que la señal inicial sea desactivada.

3) SISTEMA DE CONTROL

Diseño del controlador

Los parámetros de control se calculan de acuerdo a como reaccione la planta del sistema. Para ello se realizó un muestreo de 2500 datos con un PWM inicial de 58.6%, velocidad del motor 40% y un tiempo de muestreo de 0.05s.

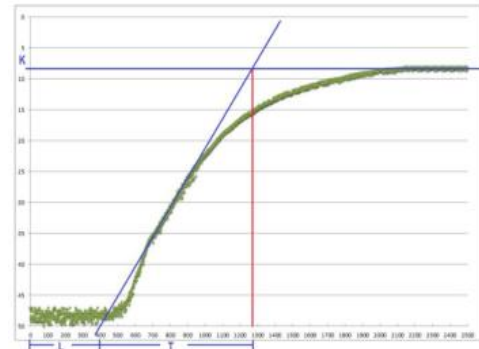


Ilustración 13 Respuesta ante un escalón unitarios Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

Luego de obtener la gráfica se reflejan los valores obtenidos en la siguiente gráfica:

Tabla 1 Parámetros del controlador de la planta Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

Controlador PI	Fórmula	Reemplazo	Valores Finales
Kp	0.9T/L	0.9*(43,5/20)	1,9575
Ti	L/0.3	(20)/0.3	66,6667

Diseño del HMI

El control se lo realiza por medio de un sistema HMI que está constituido por una pantalla de manipulación que se visualiza en Ilustración 14. La programación de esta sección está constituida por cinco puntos:

- Asignación de puertos de entrada y salida.
- Programación para medir revoluciones.

- c) Programación para medir el nivel de agua.
- d) Programación para el controlador.
- e) Programación para medir la deflexión.



Ilustración 14 Pantalla HMI

IV. RESULTADOS

Los resultados pueden ser evidenciados en tres etapas:

A. Calibración del palpador con pesas

En la etapa de calibración con pesas se tomó tres muestras para cada peso con el fin de confirmar los valores del nuevo sensor. Los valores tomados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 Toma de datos: Calibración de pesas
Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

PESO	FUERZA	DEFLEXIÓN			Promedio
gr	N	centésimas mm			centésimas mm
100	0,98	4	4	5	4
120	1,18	5	5	6	5
140	1,37	12	6	7	8
160	1,57	13	10	10	11
180	1,77	14	11	13	13
200	1,96	19	16	17	17
220	2,16	21	20	21	21
240	2,35	24	21	23	23
260	2,55	27	24	26	26
280	2,75	29	27	28	28
300	2,94	35	32	34	34

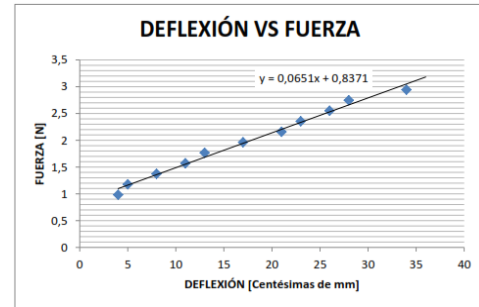


Ilustración 15 Gráfica Deflexión vs Fuerza
Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

B. Toma de datos en vacío

Los datos en vacío se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3 Toma de datos: Prueba en vacío
Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

RPM	CENTÉSIMAS
98,15	4,04
105,39	4,11
116,88	4,23
121,79	4,28
128,39	4,34
131,39	4,37
132,55	4,39
140,63	4,47

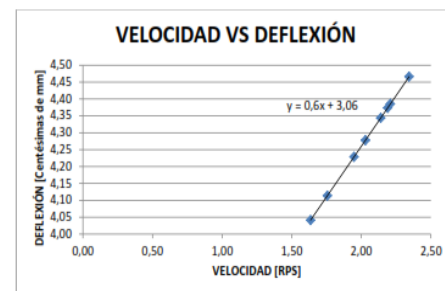


Ilustración 16 Gráfica Velocidad vs Deflexión
Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez, Cristina

C. Toma de datos con agua

Finalmente se realiza la práctica con líquido, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4 Toma de datos: Prueba con agua
Elaborado por: Quinteros, Alex y Villagómez,
Cristina

Reóstato	Vueltas	Tiempo	Caudal	Palpador
%	N°	s	cm	Centésimas mm
25,0%	15	9,17	10,8	33
27,5%	15	8,54	11,5	37
30,0%	15	7,7	12,4	44
32,5%	15	7,39	12,5	47
35,0%	15	7,01	12,9	51
37,5%	15	6,85	13,4	53
40,0%	15	6,79	13,7	54
42,5%	15	6,4	13,9	59

Resultados finales

La reducción del error puede ser evidenciada en la Tabla 5.

Tabla 5 Resultados finales

Reóstato	Coriolis	Coriolis	ERROR
%	2°V*w	T/p*a*12	%
25,0%	42,04	41,89	<u>0,37</u>
27,5%	47,72	45,85	<u>3,93</u>
30,0%	56,65	52,93	<u>6,57</u>
32,5%	59,62	55,95	<u>6,17</u>
35,0%	63,48	60,01	<u>5,47</u>
37,5%	67,54	61,86	<u>8,41</u>
40,0%	69,43	62,57	<u>9,88</u>
42,5%	75,04	67,54	<u>9,99</u>

V. DISCUSIÓN

Analizando los resultados de la toma de datos del palpador se calculó el promedio de dichas muestras y por consiguiente se realiza la gráfica Deformación vs Fuerza, mostrada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** La gráfica requiere manejar una línea de tendencia que permite determinar el torque del motor de acuerdo a los valores de deflexión de la práctica.

Los datos tomados en vacío generan un torque sumamente bajo, y al dar un valor oscilante el sensor no permitió

tomar dichos valores por lo cual se utilizó la curva de Velocidad vs Deflexión otorgada por el manual del equipo, transformando dichos valores a unidades del SI. Dichos datos se muestran en la Tabla 3 y su gráfica correspondiente con la tendencia lineal se representa en la Ilustración 16.

Luego de realizar la práctica con agua y comparando las dos alternativas de cálculo, se tiene que los resultados finales evidenciando la corrección de los resultados de la práctica donde se muestran errores entre 0.37% y 9.2%.

Por lo que la automatización del equipo de aceleración de Coriolis fue un punto importante para evidenciar los resultados aproximándose a lo más real posible.

VI. CONCLUSIONES

La automatización del equipo mejora la efectividad de los resultados durante la práctica. Esto se evidencia en la disminución de errores del rango entre 20% a 37 % a valores entre 0.3% a 9.2%.

Los dispositivos eléctricos y electrónicos implementados en la máquina son el principal aporte a este proyecto, puesto que repotencia las deficiencias que tenía el equipo.

La selección de una tarjeta electrónica para adquisición de datos brinda flexibilidad y confiabilidad.

El rediseño de la caja de control mejoró las prestaciones de la misma. Se mantiene la carcasa original, creando un diseño compacto y a su vez conservando la estructura del equipo que se ajusta a dicha carcasa.

La centralización de todos los valores correspondientes a la práctica en una pantalla HMI, brindan efectividad, rapidez y precisión en la toma de resultados.

El diseño de un mecanismo tipo tijera con accionamiento neumático fue el método más eficiente para el levantamiento de la tapa. Logrando así que no exista ningún daño, desgaste o ruptura de otro elemento del equipo al momento de manipular la tapa.

VII. REFERENCIAS

- [1] Arduino. (2014). *Arduino*. Recuperado el 2014 de 03 de 19, de http://arduino.cc/es/Guide/Introduction#Uym8T_15Nxxw
- [2] *Automatización Industrial*. (04 de Septiembre de 2010). Obtenido de <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/elementos-de-fuerza-cilindros-y-motores.html>
- [3] Bolton, W. (2001). *Mecatrónica*. En W. Bolton, *Mecatrónica* (págs. 423-447, 483). Alfaomega.
- [4] Mott, R. L. (2006). Cojinetes con contacto de rodadura. En R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas* (págs. 597-615). México: Pearson.
- [5] NOVOTECHNIC. (2014). *Novotechnik U.S. Inc*. Obtenido de <http://novotechnik.com/>
- [6] San Miguel, P. A. (2011). Electrotécnica. En *Instalaciones eléctricas y automáticas* (págs. 123-124). España: Paraninfo
- [7] Shigley, J. E., & Uicker, J. J. (2001). *Teoría de Máquinas y Mecanismos*. Mexico: Mc Graw Hill.
- [8] Tecquipment Limited. (s.f.). An Apparatus for the Direct Measurement of the Coriolis Component of Acceleration. *Technical Bulletin*. Nottingham, Long Eaton, Reino Unido.
- [9] Valencia Clement, G. (2006). Estructuras de acero. Introducción al diseño. En G. Valencia Clement, *Estructuras de acero. Introducción al diseño* (págs. 41-44). Universidad Nacional de Colombia
- [10] Winner Hydraulics Corporation. (2006). *Winner*. Obtenido de <http://www.winnerhydraulics.com/joomla/index.php?lang=english>

