

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**



## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **ARTÍCULO CIENTÍFICO**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA EL  
CONTROL AUTOMATICO DE VELOCIDAD PARA UN GRUPO  
DE 4 PLANTAS HIDROELÉCTRICAS TIPO FRANCIS DE 200 KW  
CADA UNA PERTENECIENTES AL PROYECTO  
HIDROELÉCTRICO BORJA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**FABIÁN ENRIQUE JÁTIVA ALMEIDA  
EDISON DAVID LOOR CARVAJAL**

**DIRECTOR: ING. HERNAN LARA  
CODIRECTOR: ING. OSWALDO MARIÑO**

**Sangolquí-Ecuador**

## RESUMEN

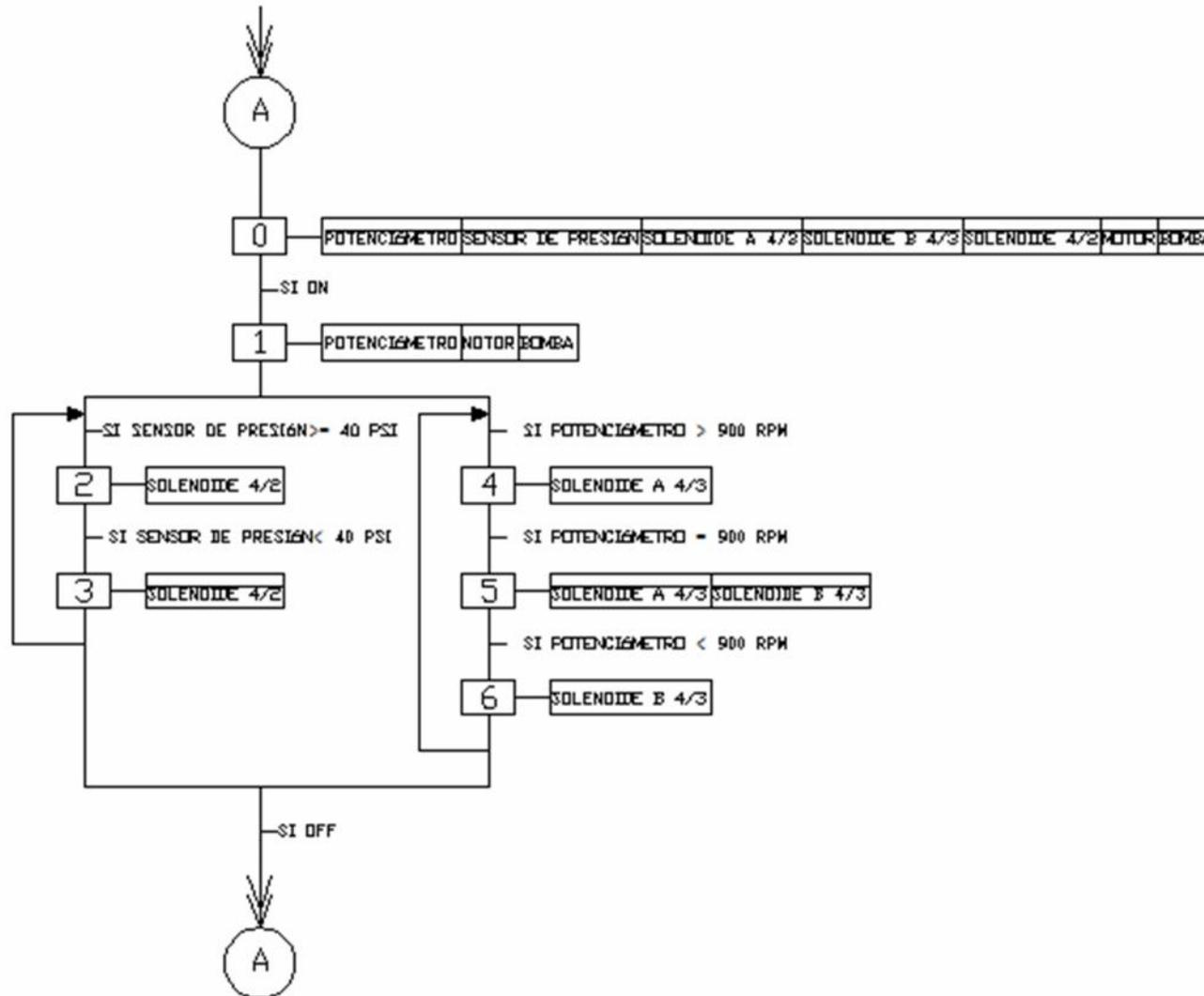
La visión del proyecto **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA EL CONTROL AUTOMATICO DE VELOCIDAD PARA UN GRUPO DE 4 PLANTAS HIDROELÉCTRICAS TIPO FRANCIS DE 200 KW CADA UNA PERTENECIENTES AL PROYECTO HIDROELÉCTRICO BORJA”** es proporcionar a la empresa auspiciante una herramienta con la cual se facilite el control de velocidad en la turbina mejorando así la eficiencia de la misma y siendo aplicable en cualquier tipo de planta hidroeléctrica de la misma índole.

El primer paso es el diseño de todos los elementos que constituyen el banco automático de control de velocidad, los mismo que son el pistón el eje, la biela, el sistema de tuberías y el sistema hidráulico el cual proporcionara el movimiento al pistón para que inicie todo el ciclo, el siguiente paso es el diseño de todo el sistema automático es decir toda la parte de control electrónico, todo este procedimiento se lo realiza con visitas periódicas a la empresa para poder familiarizarnos con todos los equipos y sistemas con los que van a ser construidas las piezas necesarias para el banco de control automático, así como también con las personas encargadas de la supervisión, operación y mantenimiento de las mismas.

Conforme se realizaron las visitas fue muy importante la asesoría directa de los técnicos especializados, los cuales brindaban la información necesaria para desarrollar el trabajo de la mejor manera el mismo que será acoplado en la turbina para un control automático de la misma.

Mediante una metodología de investigación se recopila la información existente y necesaria así como las experiencias vividas por los trabajadores en trabajos similares.

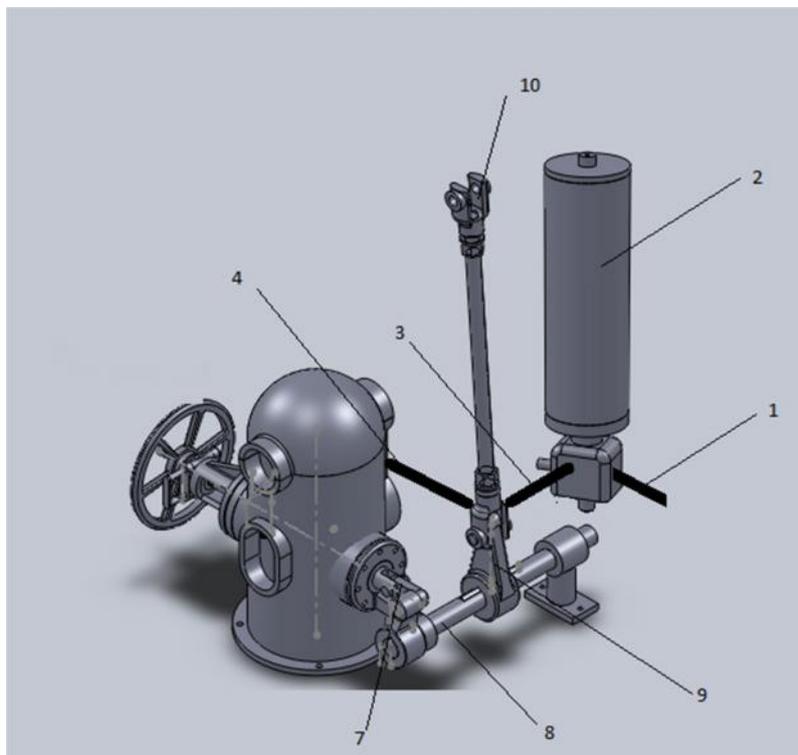
## DIAGRAMA DE GRAFSET DEL PROCESO



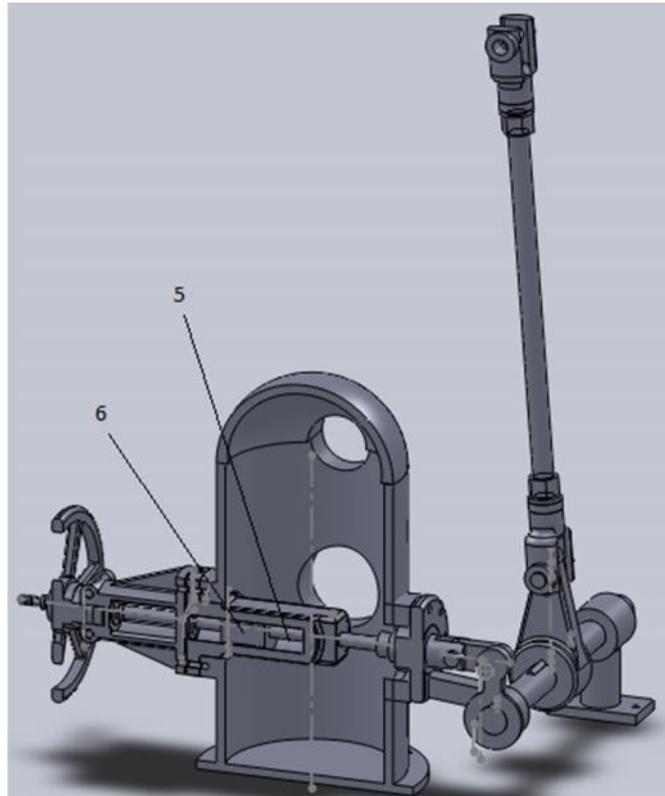
## DISEÑO DE LA LÍNEA HIDRÁULICA Y ELÉCTRICA

Es importante comenzar con el diseño del circuito hidráulico, ya que este circuito permitirá conocer qué y cuántos elementos hidráulicos y eléctricos se necesitará para el cumplimiento de las necesidades de la máquina, a continuación se explicará el principio de funcionamiento banco para el control automático de arranque y velocidad para la planta hidroeléctrica.

Desde una bomba hidráulica ingresa el aceite hidráulico por la tubería (1) hacia el recipiente de presión donde se acumulará para obtener la presión necesaria (2) para salir por la tubería pasando por una solenoide que regulará el movimiento (3) este irá en dirección al pistón (4) donde se acumulará el aceite en la cámara (5) y generará el movimiento del pistón (6), este generará el movimiento del móvil (7) y del eje (8) el cual mediante un mecanismo (9) generará el movimiento de la biela (10) la cual abrirá o cerrará los álabes de regulación de la turbina según sea la necesidad.

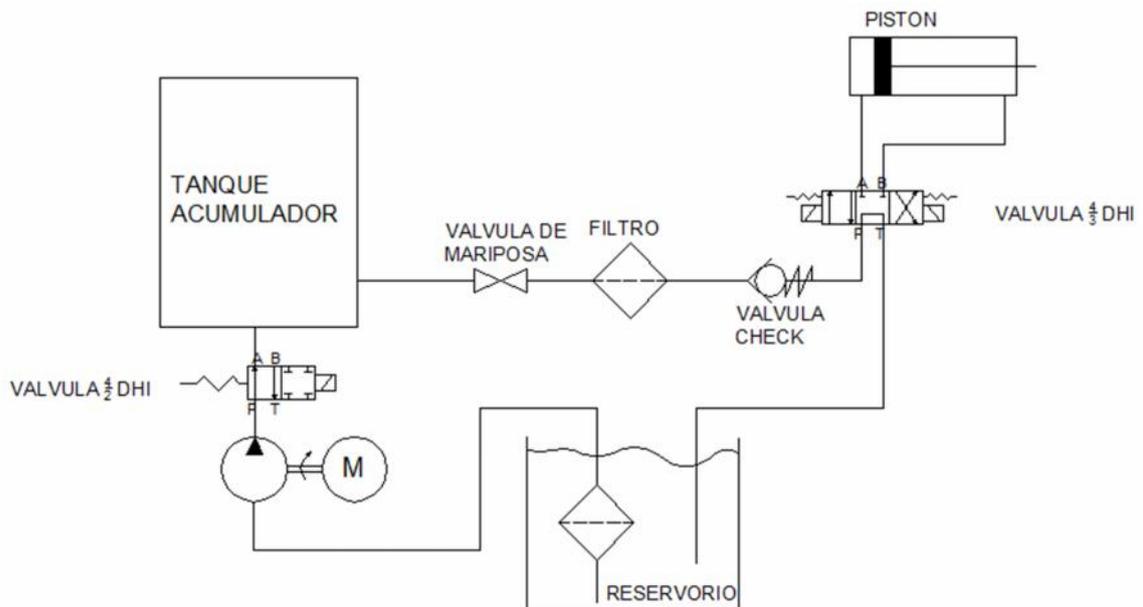


*Prototipo del banco para el control automático de velocidad para la planta hidroeléctrica.*

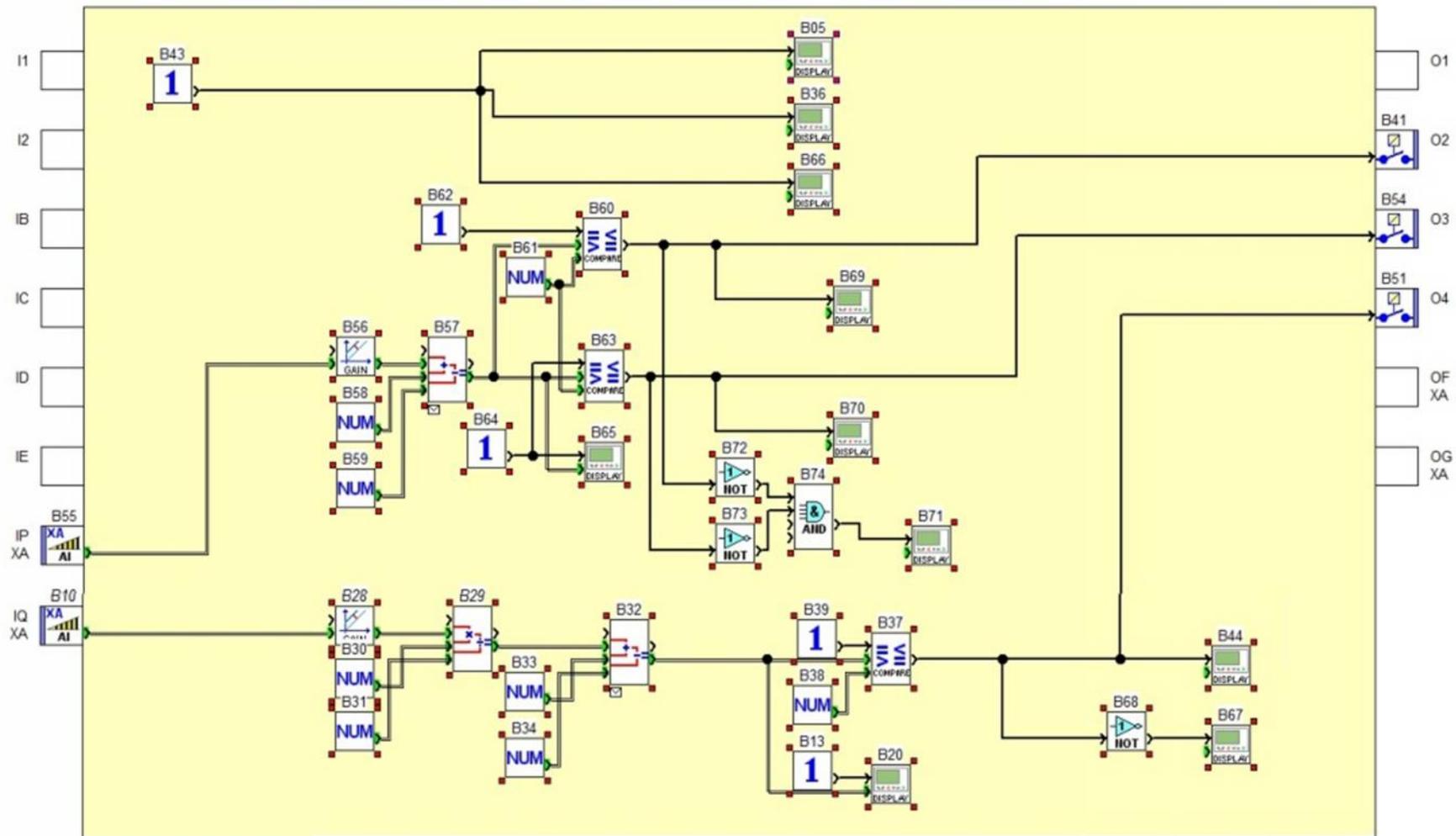


***Prototipo del banco para el control automático de velocidad para la planta hidroeléctrica (Cortes).***

El circuito de potencia y de control se mostrará en los siguientes diagramas:



***Diagrama de potencia hidráulico***



*Diagrama de Control*

Se puede observar el sistema de control que se implementará a la máquina. Esta programación es realizada a través de un PLC marca CROUZET MILLENIUM, el cual debe tener 6 entradas y 4 salidas digitales más un módulo de expansión de 2 entradas y 2 salidas analógicas.

### **PLAN DE OPERACIÓN**

La puesta en marcha del equipo significa poner en funcionamiento toda la picrocentral hidroeléctrica. Para ello se requiere seguir los siguientes pasos:

**Paso 1.-** La tubería de presión debe estar llena de agua garantizando un flujo permanente del caudal requerido desde la obra de toma.

**Paso 2.-** el equipo electromecánico debe estar libre de cualquier objeto o material que no sea parte del mismo.

**Paso 3.-** Controlar y verificar que todas las partes del equipo estén muy bien fijadas sin que existan partes sueltas o desajustadas.

**Paso 4.-** Hacer girar manualmente el volante de inercia de la tubería en sentido de las manecillas del reloj, para verificar que no exista impedimento alguno y que todo el equipo pueda girar libremente.

**Paso 5.-** controlar que el interruptor de conexión principal (de salida a las cabañas) este en posición OFF o apagado.

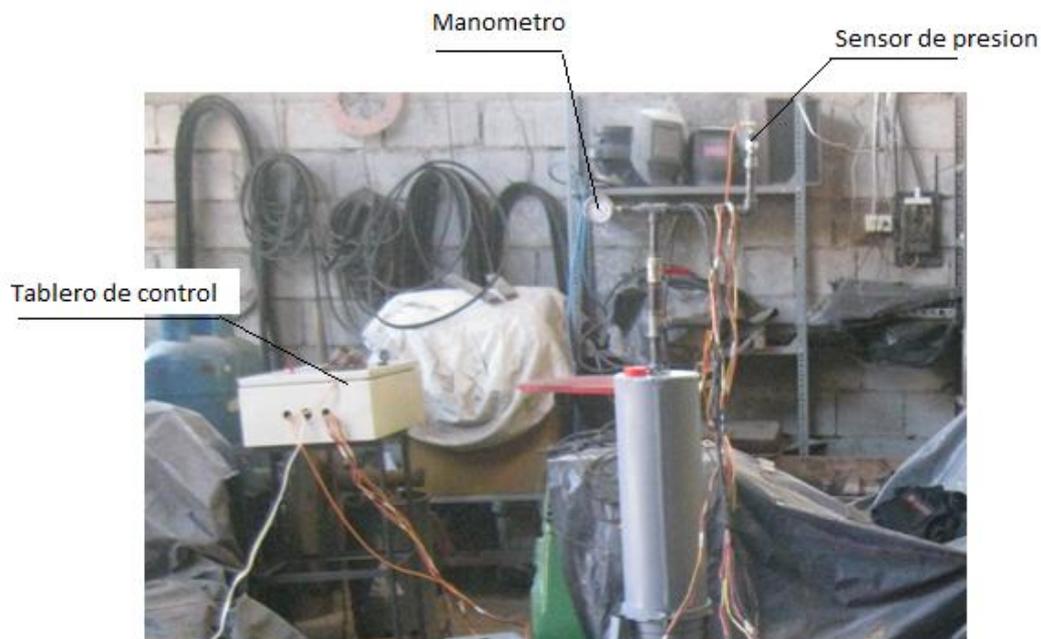
**Paso 6.-** Después de estas simples acciones, se procede a la apertura de la válvula principal, manualmente hasta alcanzar la velocidad necesaria, fijándose la frecuencia y el voltaje en el tablero de control hasta que los valores alcanzados en el mismo sean los adecuados, es decir: la frecuencia en 60 Hz y el voltaje alcance los 120 voltios por ser un sistema monofásico.

**Paso 7.-** Una vez que el equipo se encuentra funcionando de manera estable y haya alcanzado el voltaje y la frecuencia necesarios, se procede a energizar las cabañas accionando el interruptor de salida y llevándolo a la posición ON.

**Paso 8.-** Para detener o parar el equipo, es necesario desconectar la conexión principal del sistema llevando el interruptor del tablero de control a la posición OFF, es decir desconectar la carga del sistema, para luego cerrar manualmente la válvula.

Después de la puesta en marcha del equipo electromecánico, la operación de la turbina se reduce simplemente a un control y seguimiento del funcionamiento del equipo.

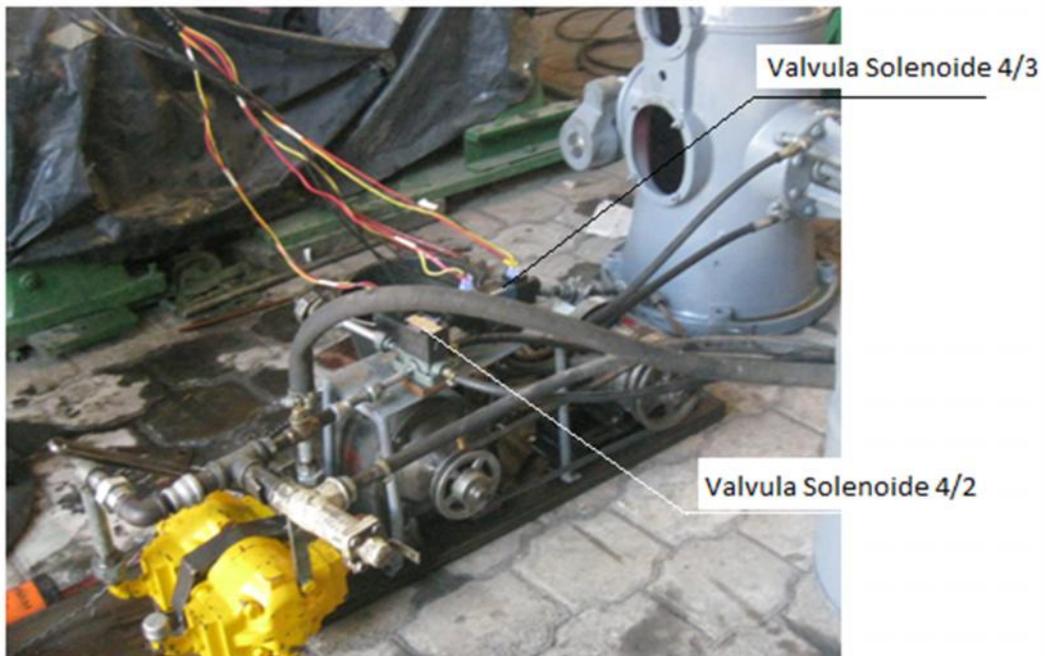
El operador del sistema, deberá tener un libro de registro de operación del equipo donde se registre el comportamiento y sus parámetros, pero principalmente las tareas de mantenimiento realizadas o por realizar.



*Sensor de Presión*



*PLC*



*Válvulas Solenoides*

## CONCLUSIONES

- Para el diseño y la construcción de un banco de control automático de velocidad para un grupo de 4 plantas hidroeléctricas tipo Francis de 200 KW cada una, pertenecientes al proyecto hidroeléctrico Borja fue necesario investigar acerca del funcionamiento de las turbinas tipo Francis, varios parámetros de diseño y construcción como son la fuerza, resistencia y velocidad requeridas; de esta manera se pudo seleccionar los materiales necesarios para el control y la programación.
- Al conocer el funcionamiento y operación de los sistemas de generación hidroeléctrica, sobre todo de las turbinas tipo Francis y más específicamente de la del proyecto hidroeléctrico Borja se pudo determinar y conocer los parámetros de diseño y operación.
- Se seleccionó el mejor sistema de control para la regulación de la velocidad de la máquina, el sistema seleccionado fue un sensor de velocidad con señal de voltaje y un regulador de velocidad electrónico ya que son los de menor costo, mejor manejo de señal y la mayor velocidad de respuesta.
- Se diseñó el sistema oleohidráulico para trabajar con una bomba de 1 Hp para producir una fuerza de empuje de 36 KN, ya que la fuerza necesaria es el peso del sistema más la fuerza del impacto a chorro.
- Los parámetros necesarios para el control del banco de velocidad son a 900 rpm y la presión necesaria para producir el movimiento de la biela y los álabes, ya que al ser un objeto de prueba se programó a 40 PSI para evitar cualquier tipo de accidente.
- Se diseñaron dos tipos de pruebas, una basada en la presión y otra en las revoluciones por minuto debido a que los dos parámetros trabajan independientemente el uno del otro. Al realizar las pruebas observamos que la máquina funciona de acuerdo a los parámetros necesarios.

- A pesar de que el costo de fabricación de la máquina es alto, debido a que se utilizan elementos que puedan cumplir satisfactoriamente con los requerimientos de la máquina, la evaluación económica y financiera arroja que la demanda permitirá que la inversión realizada se pueda recuperar en poco tiempo.

### **RECOMENDACIONES**

- Al momento de manipular la máquina tener mucho cuidado con la presión, ya que cuando se manejan máquinas hidráulicas se producen muchos accidentes por la presión de trabajo.
- Siempre se debe tener en cuenta un plan de mantenimiento, ya que ningún elemento es eterno y todas sus partes son indispensables.
- Tener siempre en cuenta los planos de construcción, diagramas de montaje para cuando exista algún problema en la máquina poder realizar el mantenimiento respectivo.
- Para la fabricación de la máquina se recomienda utilizar materiales certificados, que cumplan las especificaciones y estándares pertinentes para obtener el máximo beneficio de ellos en propiedades físicas, mecánicas y durabilidad.
- Es necesario implementar proyectos de automatización en procesos antiguos y anticuados ya que se optimizan recursos y procesos para tener una mejor calidad de trabajo a un menor costo.