

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACION DE TECNÓLOGOS

**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DEL MOLINETE
UNIVERSAL PARA LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AGUA
EN RÍOS, BASADO EN EL MOLINETE UNIVERSAL UTILIZADO EN
EL INAMHI**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTROMECAÁNICA**

LILIANA ANDREA POZO DÍAZ
e-mail: lily12_andre@yahoo.com

DIRECTOR: ING. VICENTE TOAPANTA
e-mail: vicentoapanta@yahoo.es

Quito, Octubre de 2011

DECLARACIÓN

Yo, Liliana Andrea Pozo Díaz, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

LILIANA POZO DÍAZ

171841304-8

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Liliana Andrea Pozo Díaz, bajo mi supervisión.

**ING. VICENTE TOAPANTA
DIRECTOR DE PROYECTO**

CONTENIDO

RESUMEN

CAPITULO 1

PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 MEDICIÓN DEL CAUDAL EN RÍOS.....	2
1.2.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2.2 GENERALIDADES.....	3
1.2.3 INSTRUMENTOS PARA LA MEDICION DEL CAUDAL EN RÍOS...	3
1.2.3.1 Método de Molinete o Correntómetro Universal.....	4
1.2.3.2 Método del Flotador.....	4
1.2.3.3 Micromolinete.....	5
1.2.3.4 Método por Sensor de flujo.....	5
1.2.4 SELECCIÓN DEL INSTRUMENTO MODELO.....	6
1.2.4.1 Molinete Universal.....	6
1.2.4.2 Tipos de Molinete.....	7
1.2.5 MOLINETE TIPO HÉLICE.....	7
1.2.5.1 Utilización del Molinete.....	8
1.2.5.2 Medición de la Velocidad usando el Molinete.....	9
1.2.5.3 Principio de Funcionamiento del Molinete Universal.....	10
<i>1.2.5.3.1 “Reed Switch”.....</i>	<i>10</i>

1.2.5.4 Hélice.....	12
<i>1.2.5.4.1 Tipos de Hélices para aforos.....</i>	<i>14</i>
1.3 SISTEMAS DIGITALES.....	15
1.3.1 CIRCUITOS DIGITALES.....	15
1.3.1.1 Ventajas de los circuitos Digitales.....	15
1.3.2 CONTADOR ELECTRÓNICO DIGITAL.....	16
1.3.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).....	16
1.3.3.1 Contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados.....	18
1.4 MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS DE CONSTRUCCIÓN MECÁNICA.....	19
1.4.1 CLASIFICACION DE LAS MAQUINAS Y HERRAMIENTAS.....	19
1.4.1.1 Máquinas-herramientas de movimiento circular	19
1.4.1.2 Máquinas-herramientas de movimiento rectilíneo.....	20
1.4.2 MECANIZADO POR ARRANQUE DE MATERIAL.....	21
1.4.2.1 Movimiento de corte	22
1.4.2.2 Movimiento de penetración.....	22
1.4.2.3 Movimiento de avance.....	23
1.4.3 VELOCIDAD DE CORTE (Vc).....	24
1.4.4 VELOCIDAD DE AVANCE (A).....	26
1.4.5 PROFUNDIDAD DE PASADA (P).	27
1.4.6 OPERACIONES DE DESBASTE.....	28
1.4.7 OPERACIONES DE ACABADO.....	28
1.4.7.1 Superficies técnicas.....	29
<i>1.4.7.1.1 Discrepancias de forma</i>	<i>29</i>
<i>1.4.7.1.2 Ondulación.....</i>	<i>29</i>
<i>1.4.7.1.3 Aspereza.....</i>	<i>30</i>

1.4.8 TIEMPO DE TORNEADO.....	30
1.5 TOLERANCIA DE CONSTRUCCIÓN MECÁNICA.....	31
1.5.1 DEFINICIÓN.....	31
1.5.1.1 Medida Nominal.....	32
1.5.1.2 Línea de cero.....	32
1.5.1.3 Diferencia Superior.....	32
1.5.1.4 Diferencia Inferior.....	32
1.5.1.5 Zona de Tolerancia.....	32
1.5.1.6 Medida Efectiva (de una pieza).....	33
1.5.1.7 Medidas Límites.....	33
1.5.2 POSICIÓN DE LAS TOLERANCIAS.....	34
1.6 SISTEMAS DE AJUSTE.	35
1.6.1 DEFINICIONES.....	35
1.6.1.1 Eje.....	35
1.6.1.2 Agujero.....	35
1.6.1.3 Tolerancia del ajuste.....	36
1.6.1.4 Juego.....	36
1.6.1.5 Apriete.....	36
1.6.2 SÍMBOLOS.....	37
1.6.3 CLASES DE AJUSTES.....	38
1.7 FUNDICIÓN.	38
1.7.1 PRINCIPIO.....	38
1.7.2 PROCESOS DE FUNDICIÓN.....	39
1.7.2.1 Moldeo en arena verde.....	39
1.7.2.2 Moldeo en arena químico.....	39
1.7.2.3 Moldeo en arena seca.....	40

1.7.2.4 Moldeo mecánico.....	40
1.7.2.5 Moldeo a la cera perdida o microfusión.....	40
1.7.2.6 Fundición por inyección.....	41
1.7.2.7 Fundición prensada.....	41
1.7.3 FACTORES IMPORTANTES PARA LOS PROCESOS DE FUNDICIÓN.....	42
1.7.3.1 Diseño del modelo.....	42
1.7.3.2 Proceso de compactación de la arena alrededor del modelo en la caja de moldeo (moldeo por arena).....	44
1.7.3.3 Colocación del macho o corazones. (Moldeo por arena).....	44
1.7.3.4 Proceso de solidificación.....	44
1.7.3.5 Proceso de flujo de fluido.....	45

CAPITULO 2

TOMA DE MEDICIONES DEL MOLINETE UNIVERSAL.

2.1 INTODUCCIÓN.....	46
2.2 DESCRIPCIÓN DEL MOLINETE UNIVERSAL.....	46
2.2.1 FUNCIONAMIENTO DEL MOLINETE UNIVERSAL.....	47
2.3 DESCRIPCIÓN DE PARTES Y ELEMENTOS COMPONENTES DEL MOLINETE UNIVERSA.....	48
2.3.1 CUERPO DEL MOLINETE.....	48
2.3.2 CONTRAPESO.....	49
2.3.3 ROTOR.....	49

2.3.4 EJE MÉTRICO.....	50
2.3.5 HÉLICE.....	52
2.3.6 RODAMIENTOS.....	53
2.3.7 IMÁN PERMANENTE.....	53
2.3.8 REED SWITCH.....	54
2.3.9 PERNO DE TOPE.....	54
2.3.10 SEPARADOR.....	55
2.3.11 TUERCA DE SEGURIDAD.....	56
2.3.12 CONTADOR.....	56
2.4 MEDICIÓN DEL MODELO DE CONSTRUCCIÓN.....	57
2.4.1 INSTRUMENTO DE MEDIDA.....	57
2.4.1.1 Calibre de Cursor (Pie de Rey).....	57
2.4.1.2 Errores en las Mediciones.....	58
2.4.2 MEDICIÓN DE LAS PARTES COMPONENTES DEL MOLINETE....	60
2.5 REALIZACIÓN DE PLANOS DEL PROTOTIPO.....	66

CAPITULO 3

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

3.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO INDUSTRIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	69
3.2 SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	70
3.2.1 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA CONSTRUCCIÓN DE HÉLICE...	70
3.2.1.1 Aluminio.....	70
3.2.2 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA CONSTRUCCIÓN DE PARTES...	71
3.2.2.1 Acero Inoxidable.....	71
3.2.3 LUBRICACIÓN Y REFRIGERACIÓN.....	72
3.3 INICIO DE LA CONSTRUCCIÓN.....	73
3.3.1 MECANIZADO DEL EJE MÉTRICO.....	74
3.3.2 MECANIZADO DEL ROTOR.....	78
3.3.3 MECANIZADO DE CONTRAPESO.....	83
3.3.4 MECANIZADO DE EJE DE CONTRAPESO.....	85
3.3.5 MECANIZADO DE TOPE DE FONDO.....	88
3.3.6 MECANIZADO DEL SEPARADOR.....	89
3.3.7 MECANIZADO DE LA TUERCA DE SEGURIDAD.....	90
3.3.8 MECANIZADO DEL CUERPO.....	91
3.3.8.1 Mecanizado del Cuerpo en Torno.....	92
3.3.8.2 Mecanizado del Cuerpo en Fresadora.....	94
3.3.9 MECANIZADO DE LAS HÉLICES.....	102
3.3.9.1 Proceso de Fundición de la Hélice.....	102
3.3.10 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....	106
3.4 FINALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN.....	108

CAPITULO 4

SELECCIONAMIENTO DEL CONTADOR.

4.1 CONTADOR.....	110
4.1.1 RELÉ LÓGICO PROGRAMABLE.....	110
4.2. QUE ES UN LOGO!.....	111
4.2.1 FUNCIONES DE LOGO!.....	111
4.2.1.1 Constantes y bornes. Co.....	112
4.2.1.2 Lista de funciones básicas. GF.....	114
4.2.1.3 Nociones básicas de las funciones especiales (SF).....	115
4.2.1.4 Lista de funciones especiales.....	117
4.3 PROGRAMACIÓN DEL CONTADOR.....	117
4.3.1 PROGRAMACIÓN DEL CONTADOR POR MEDIO DEL PROGRAMA LOGO! SOFT CONFORT.....	118
4.3.2 PROGRAMACIÓN DEL CONTADOR POR PANTALLA DEL RELÉ LÓGICO.....	121
4.4 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE LA CAJA DE CONTROL.....	122
4.5 CONEXIÓN DE PARTES.....	123

CAPITULO 5

PRUEBAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS DEL PROTOTIPO

5.1 PRUEBAS ESTÁTICAS	128
5.1.1 RELACIÓN DE PESO	128
5.1.2 ROTACIÓN Y ROZAMIENTO	129
5.1.3 GENERACIÓN DE PULSOS ELÉCTRICOS	131
5.2. PRUEBAS DINÁMICAS	132
5.2.1. MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE AGUA	132
5.2.1.1 Laboratorio de pruebas	132
5.2.1.2 Montaje del prototipo	133
5.2.1.3 Conexión del prototipo	135
5.2.1.4 Procedimiento general para la prueba del molinete prototipo con hélice Ø80mm y paso 125mm	136
5.2.1.5 Prueba de funcionamiento con hélice Ø125mm y 250mm de paso, original y modelo construido	139
5.2.1.6 Resultados de la medición de velocidad de agua con las diferentes hélices	141
<i>5.2.1.6.1 Datos registrados en las pruebas con Hélice Ø80mm y paso 125mm</i>	143
<i>5.2.1.6.2 Datos de la prueba 1 con Hélice SEBA y Hélice construida Ø125mm y paso 250mm</i>	145
<i>5.2.1.6.3 Datos de la prueba 2 con Hélice SEBA Y Hélice construida Ø125mm y paso 250mm</i>	146
5.2.2 CÁLCULO DE ERROR EN LA MEDICIÓN DEL CAUDAL EN EL CANAL DE PRUEBAS	148
5.2.2.1 Cálculo de error en las mediciones realizadas con la hélice Ø80mm y paso 125mm	148
5.2.2.2 Cálculo de error en las mediciones con hélice SEBA Ø125mm paso 250mm	149

5.2.2.3 Cálculo de error en las mediciones con Hélice construida.....	150
5.2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS MATEMÁTICOS.....	151

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES.....	152
6.2 RECOMENDACIONES.....	155

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- 1. PLANOS FINALES Y PLANOS DE PROCESOS**
- 2. CUADROS DE BASES Y APLICACIONES DE LUBRICANTES Y REFRIGERANTES.**

3. TABLAS DE FIGURACIÓN DE FUNCIONES ESPECIALES DEL RELÉ LÓGICO PROGRAMABLE LOGO! SIEMENS.

4. CIRCUITO DE CONTROL DE CONTADOR DEL PROTOTIPO DEL MOLINETE UNIVERSAL.

5. ECUACIONES Y TABLAS DE CALIBRACIÓN DE LA HÉLICE Ø80 mm PASO 125 mm Y HÉLICE Ø125 mm PASO 250 mm.

6. TABLAS DE VALORES REFERENCIALES DE CAUDAL EN FUNCION DEL LIMNÍMETRO DEL VERTEDERO TRIANGULAR DE 90° DEL CIERHI.

CAPITULO 1

PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS TEORICOS.

1.1. INTRODUCCIÓN

Desde principios de nuestra era, ha sido fundamental y vital el uso del agua, con el pasar del tiempo este recurso natural ha sido utilizado en diferentes áreas, no solamente en la ingesta para el ser humano, sino en generación de electricidad, sistemas de riego, entre otros; por tal motivo se ha visto la necesidad de estudiar sus características, la fuerza con la que se mueve en cada afluente y así cuantificar su consumo evaluando la disponibilidad del recurso hídrico y planificar la respectiva gestión de la cuenca.

Esta ha sido la razón para que se empiece a desarrollar diferentes tipos de instrumentos de medida que registren el nivel, velocidad y caudal del agua. Se aplican algunas tecnologías y técnicas de medición según la magnitud física (campo magnético, ultrasonido, pulsos eléctricos, etc.), que esté siendo utilizada por el instrumento escogido.

En nuestro país el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, es una institución que se encarga del monitoreo y estudio de las cuencas hídricas, por tal razón, es de suma importancia el uso de instrumentos que proporcionen datos lo más exactos posibles, y así llevar un correcto seguimiento de cada afluente, para poder informar a quien requiera los parámetros obtenidos.

Para el presente caso, será la velocidad del agua en un cauce determinado, el parámetro a ser medido, utilizando como referencia uno de los instrumentos más utilizado por el INAMHI, como es el molinete, el cual es de gran precisión, pero sólo se adquiere por medio de importación a países que por su desarrollo tecnológico producen este tipo de instrumentos a gran escala. Tomando en cuenta que los costos de importación son muy altos, se ha visto en la necesidad de construir un prototipo experimental del molinete, ya que el país cuenta con los materiales, máquinas y herramientas necesarias, y la mano de obra calificada para este tipo de producción.

Para realizar este trabajo experimental debemos seleccionar adecuadamente los materiales, maquinaria especializada, dependiendo del o los materiales a usarse; efectuar una calibración adecuada del molinete, según el tipo de hélice, y cumplir con todas las normas de construcción.

A continuación se expone los principios teóricos básicos y características generales de los elementos, a usarse para la construcción del molinete.

1.2 MEDICIÓN DEL CAUDAL EN RÍOS

1.2.1 INTRODUCCIÓN ⁽¹⁾

La medida de caudal en cauces responde a diversas necesidades, todas ellas de gran valor para la sociedad. De forma sucinta recordamos el valor que el conocimiento del recurso tiene:

(1) III CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE

- Para la gestión del mismo en situación ordinaria ó extraordinaria.
- Para la correcta planificación y ordenación del medio y las actividades asociadas al mismo.

La competencia de planificar y gestionar el medio corresponde a las Instituciones encargadas del estudio de Aguas. Estas instituciones han desarrollado desde su creación la actividad de diseño e implantación de redes de medida del caudal en base a estaciones de aforo así como las actividades de recogida, análisis y validación de los datos. La información se utiliza para la planificación y gestión del medio y, cada vez más, se hace accesible a los distintos grupos de usuarios a través de sitios web que recogen series históricas y datos validados en tiempo real.

1.2.2 GENERALIDADES ⁽²⁾

El caudal de un río, es decir la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal, se expresa en volumen por unidad de tiempo. El caudal en un tiempo dado puede medirse por varios métodos diferentes y la elección del método depende de las condiciones de cada sitio.

1.2.3 INSTRUMENTOS PARA LA MEDICIÓN DEL CAUDAL EN RÍOS.

El caudal de un río, es decir la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal, se expresa en volumen por unidad de tiempo. El caudal en un tiempo dado puede medirse por varios métodos diferentes, y la elección del método depende de las condiciones de cada sitio.

(2) Guía de Prácticas Hidrológicas OMM-N°168 (QUINTA EDICIÓN 1994)

En la actualidad se cuenta con diferentes instrumentos para medición de caudal; cada uno con características propias de construcción y utilidad.

A continuación detallamos brevemente cada instrumento para mayor conocimiento.

1.2.3.1 Método de Molinete o Correntómetro Universal. ⁽³⁾

El correntómetro es un instrumento de precisión que mide la velocidad del agua en puntos específicos de una sección determinada. Su construcción robusta permite realizar aforos en ríos de gran magnitud y de diferentes características.

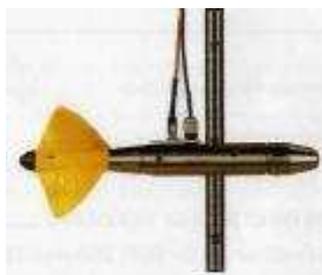


Figura 1.1. Molinete o correntómetro.

1.2.3.2 Método del Flotador

El flotador es un elemento natural o artificial que esté en condiciones de flotar, y ser arrastrado por las aguas ya sea parcial o totalmente sumergido en ella.

(3) Análisis de aforo de la Estación Hidrométrica de Obrajillo, 2000-2001, VERA Edilberto

Este método de aforo se realiza donde el curso del río tenga forma recta y del cual se debe conocer su distancia (se recomiendan distancias mayores a los 30 metros), debe usarse la mayor cantidad de flotadores posibles que cubran todo el ancho del río en franjas proporcionales, y además tengan forma y peso similares.

1.2.3.3 Micromolinete.

Es un instrumento concebido para el cálculo de velocidades de corriente de agua en laboratorios, modelos de ríos, pequeñas corrientes, riachuelos con bajo nivel.

Entre las principales ventajas tenemos:

- Baja velocidad de arranque
- Compuesto por materiales no corrosivos
- Fácil de transportar



Figura 1.2. Micromolinete.⁽⁴⁾

1.2.3.4 Método por Sensor de flujo

Es un pequeño sensor sin partes móviles, ha sido diseñado específicamente para su uso en canales abiertos, en los que tenemos algas o vertidos de aguas residuales con elevado contenido de sólidos suspendidos.

(4) Manual de productos, SEBA Hidrometrie.

Es un instrumento con altísima precisión ($\pm 0,5\%$ del valor de lectura), con el cual podemos obtener valores muy precisos.



Figura 1.3. Sensor de flujo. ⁽⁴⁾

El sensor de flujo se basa en el principio de medida de la Ley de Faraday, la cual establece que un líquido eléctricamente conductor al atravesar las líneas de fuerza magnéticas generadas en un campo magnético, produce una fuerza electromotriz. Esta tensión es detectada mediante electrodos y es lineal y proporcional a la velocidad del líquido.

1.2.4 SELECCIÓN DEL INSTRUMENTO MODELO.

Se ha tomado en consideración el Molinete Universal para la construcción de un prototipo de medidor de velocidad en ríos, debido a que este instrumento puede ser utilizado en cauces de diferentes características, y su funcionamiento y operación es de fácil comprensión.

1.2.4.1 Molinete Universal

En el caso del estudio hidrométrico se usa el molinete como un instrumento para medir la velocidad en ríos, canales abiertos, arroyos, mares, etc.

1.2.4.2 Tipos de Molinete ⁽⁵⁾

Existen dos tipos de molinetes: el molinete de cazoletas (Figura 1.4 a), de eje vertical, y el molinete de hélice (Figura 1.4 b), de eje horizontal.

En ambos casos, el molinete posee un tipo de interruptor en su rotor, el cual por cada giro que efectuó genera un pulso eléctrico; estos pulsos pueden ser visualizados en un contador electrónico que será el encargado de captar las pulsaciones por cada revolución del rotor en un tiempo determinado.

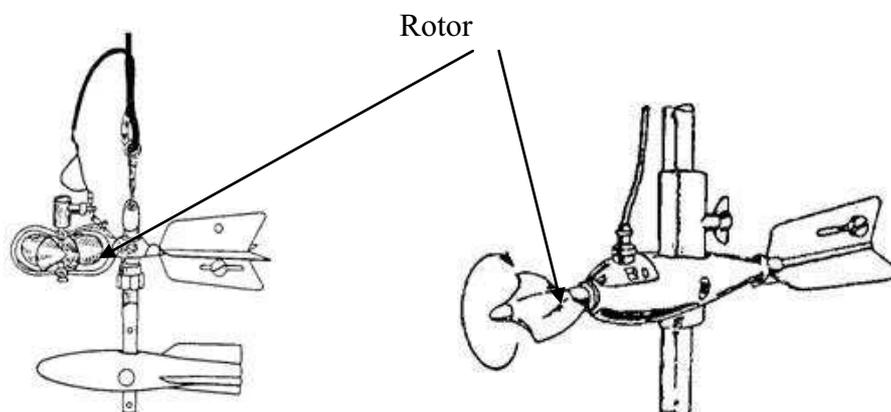


Figura 1.4 a. Molinete de Cazoletas

Figura 1.4 b. Molinete de Hélice

Para el trabajo experimental planteado se ha escogido el Molinete de Hélice.

1.2.5 MOLINETE TIPO HELICE.

El molinete es un instrumento que tiene una hélice, la cual gira al introducirla en una corriente de agua. La velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente.

(5) <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm>

1.2.5.1 Utilización del Molinete.

El molinete es usado para aforos de circulación de agua; existen varias formas de realizar los aforos, estos dependerán, del lugar en donde se vayan a realizar las mediciones y de las características propias del río.

En canales poco profundos, el molinete debe sostenerse en la posición deseada por medio de una varilla de vadeo. En canales demasiado profundos o muy rápidos para medirlo por vadeo, el molinete se debe suspender por un alambre o varilla desde un puente, teleférico o embarcación. Cuando se usa una embarcación, el molinete debe sostenerse de manera que no lo afecten las perturbaciones causadas por la embarcación.

Antes de ser usados en el campo, el molinete debe ser calibrado para determinar la relación que existe entre la velocidad de rotación de la hélice y la velocidad del agua. La calibración se realiza en canales de flujo regulado que se encuentran en laboratorios de hidráulica, por ejemplo, de la EPN.

El molinete de hélice se usa para mayores velocidades, de 6 a 9 metros por segundo contra 3 a 4.5 metros por segundo que el molinete de eje vertical. Otra ventaja del molinete de eje horizontal es que tiene menos posibilidades de ser atascado por las hierbas que flotan y los cuerpos en suspensión son menores

1.2.5.2 Medición de la Velocidad usando el Molinete. ⁽⁶⁾

El molinete es un instrumento que mide la velocidad en un único punto, es por esto que, se realizan diferentes mediciones en más de un punto; estos puntos o verticales de observación deben localizarse de modo que se pueda definir debidamente la variación en elevación del lecho de la corriente y la variación horizontal de la velocidad. Por tanto la distancia entre dos verticales sucesivas no debe superar 1/20 del ancho total del cauce, y la velocidad entre estas dos verticales no debe superar al 10% la velocidad máxima.

El ancho del cauce y la distancia entre las verticales deben ser obtenidos por mediciones hechas a partir de un punto fijo de referencia (generalmente un punto inicial en el margen), que deberá hallarse en el mismo plano de la sección transversal.

1.2.5.2.1 Determinación de la Velocidad de la Corriente de agua:

La velocidad se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V = k * n + \ddot{A} \quad (6)$$

Ecuación 1.1

Donde:

V = velocidad de la corriente (m/s)

k = paso hidráulico de la hélice (m)*

n = revoluciones de la hélice por segundo

\ddot{A} = constante del molinete (m/s)*

*determinados mediante ensayos en canal de tarado.

(6) Manual de productos, SEBA Hidrometrie.

1.2.5.3 Principio de Funcionamiento del Molinete Universal

Se genera un impulso por cada revolución de la hélice, mediante un imán permanente ubicado en el rotor de la misma, un elemento denominado “reed switch”, ubicado en el eje de medida, receptara el campo magnético al pasar el imán en cada revolución, cumpliendo así la función de interruptor en cada paso (fig. 1.5). Debido a la ausencia de fricción en esta operación, se incrementa la sensibilidad del instrumento. El mecanismo de contacto se puede cambiar rápidamente sin problemas. Los impulsos son recogidos en un contador electrónico.

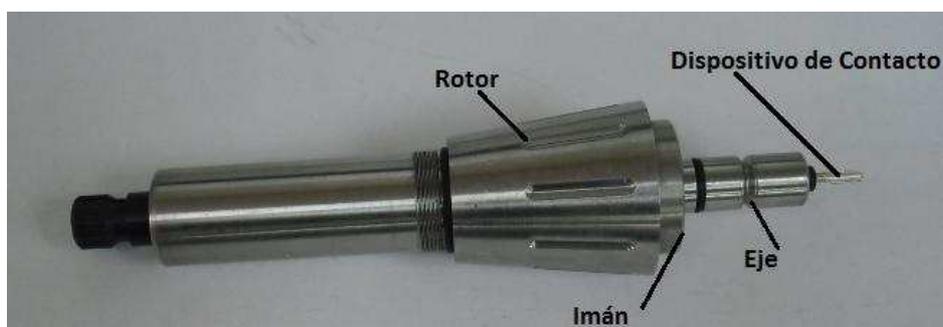


Figura 1.5. Partes principales de funcionamiento del Molinete.

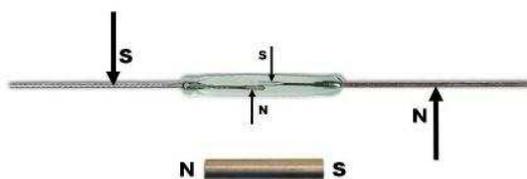
1.2.5.3.1 “Reed Switch”.

“Reed switch” (fig. 1.6) o interruptor de lengüeta, es un interruptor eléctrico, que se activa por la presencia de un campo magnético. Cuando los contactos están normalmente abiertos se cierran en la presencia de un campo magnético; cuando están normalmente cerrados se abren en presencia de un campo magnético. Fue inventado por W. B. Elwood en 1936 cuando trabajaba para Laboratorios Bell.



Figura 1.6

El “reed switch” consiste en un par de contactos ferrosos encerrados al vacío dentro un tubo de vidrio. Cada contacto está sellado en los extremos opuestos del tubo de vidrio. Al acercarse a un campo magnético, este inducirá sobre el metal de los contactos polos magnéticos (fig. 1.7), resultando una atracción entre ellos, producto del campo magnético, causando así que el “reed switch” se active; los contactos se unen cerrando un circuito eléctrico. La rigidez de los contactos hará que estos se separen al desaparecer el campo magnético.

Figura 1.7. Funcionamiento de “reed switch”. ⁽⁷⁾

La interacción del magneto con el “reed switch” es de suma importancia, debido a que van ligados uno del otro, el magneto induce flujo magnético sobre los contactos del “reed switch”, y este flujo tiene que ser alto, tal que produzca el cierre de los contactos. El proceso de operación estará regido por la fuerza del magneto y la sensibilidad de operación del “reed switch”.

(7) [www. Hamlin.com](http://www.Hamlin.com)

El campo magnético puede estar generado por un imán permanente o por una bobina.

Aplicaciones:

- Los “reed switch” son empleados en lugares con atmosferas explosivas, donde otros interruptores se consideran peligrosos, ya que sus contactos están sellados, la chispa que produce al cerrar o abrir sus contactos queda contenida en el tubo de vidrio.

- Los “reed switch” son utilizados ampliamente en el mundo moderno como partes de circuitos eléctricos. Un uso muy extendido se puede encontrar en los sensores de las puertas y ventanas de las alarmas antirrobo, el imán va unido a la puerta y el “reed switch” al marco.

- En los sensores de velocidad de las bicicletas el imán está en uno de los radios de la rueda, mientras que el “reed switch” va colocado en la horquilla.

1.2.5.4 Hélice.

La hélice es un dispositivo constituido por un número variable de aspas o palas (2, 3, 4...), que al girar alrededor de un eje producen una fuerza propulsora (fig. 1.8). Cada pala está formada por un conjunto de perfiles aerodinámicos que van cambiando progresivamente su ángulo de incidencia desde la raíz hasta el extremo (mayor en la raíz, menor en el extremo).

Su función es transmitir a través de las palas su propia energía cinética (que adquiere al girar) a un fluido, creando una fuerza de tracción; o viceversa, "tomar" la energía cinética de un fluido para transmitirla mediante su eje de giro a otro dispositivo.



Figura 1.8. Hélice de Molinete. ⁽⁸⁾

Las hélices tiene una nomenclatura propia, tienen dos cifras separadas por ejemplo: 12/8; la primera cifra corresponde a la longitud del diámetro entre aspas, y el segundo número refiere al paso entre aspas.



Figura 1.9. Diagrama de paso en las hélices. ⁽⁹⁾

(8) Manual de Instrumentos SEBA Hidrometrie

(9) www.monografias.com

El Paso de las hélices, es la curvatura o el ángulo que tiene la hélice. En la imagen 1.9 tenemos dos ejemplos. Las líneas de color rojo, representan el flujo de agua que es interceptado por la hélice. La imagen de la izquierda tan solo intercepta tres líneas de flujo de agua y la imagen de la derecha intercepta 5 líneas de flujo de agua. Entonces podemos concluir que a mayor "PASO" mayor cantidad de líneas de flujo de agua intercepta nuestra hélice.



Figura 1.10. Tipos de hélices para aforos. ⁽¹⁰⁾

1.2.5.4.1 Tipos de Hélices para aforos.

Para aforos existen diferentes tipos de hélices, cada una está diseñada para a medición del flujo de agua dependiendo las características propias del cauce.

Es muy poca la información técnica de cada hélice en relación a medida de velocidad en ríos usando el Molinete; tan sólo se tiene el conocimiento de que mientras el paso de la hélice sea menor, sirven para medir en ríos muy caudalosos, y para cauces de menor caudal se utilizan hélices de mayor paso (curvatura de aspas).

(10) Manual de instrumentos SEBA Hidrometrie

1.3 SISTEMAS DIGITALES. ⁽¹¹⁾

La electrónica digital fue creada para perfeccionar y mejorar la tecnología, para el beneficio de la humanidad.

Un sistema digital es una combinación de dispositivos diseñado para manipular información lógica o cantidades físicas que estén representadas en forma digital; es decir, las cantidades solo pueden tener valores discretos.

1.3.1 CIRCUITOS DIGITALES

Los circuitos digitales lógicos son aquellos que manejan la información en forma binaria, es decir con valores de “1” y “0”; estos valores lógicos fijos representan:

- “1”: nivel alto
- “0”: nivel bajo

Los circuitos lógicos están compuestos por compuertas lógicas: AND (Y), OR(O), NOT (NO), y combinaciones entre ellas.

1.3.1.1 Ventajas de los Circuitos Digitales

- Los circuitos digitales son por lo general más fáciles de diseñar.
- El almacenamiento de la información es fácil.
- Mayor exactitud y precisión.

(11) Sistemas Digitales, RONALD J. TOCCI - 6^{ta} Edición

- La operación se puede programar.
- Los circuitos digitales son menos susceptibles al ruido.
- Se puede fabricar más circuitería en los circuitos integrados.

1.3.2 CONTADOR ELECTRONICO DIGITAL

Es un circuito digital lógico secuencial, de salida binaria o cuenta binaria, característica de temporización y de memoria, por lo cual está constituido a base de flip-flops.

El contador es utilizado, como su nombre lo indica, para contar eventos; por ejemplo:

1. El número de pulsos de reloj.
2. Medidor de frecuencia
3. Como divisores de frecuencia.
4. Para almacenar datos.
5. Para direccionamiento secuencial y algunos circuitos aritméticos.

1.3.3 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC).⁽¹²⁾

Un **PLC (programmable logic controller)** en sí es una máquina electrónica la cual es capaz de controlar máquinas e incluso procesos a través de entradas y salidas.

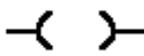
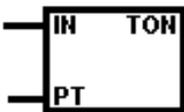
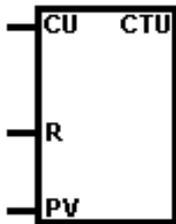
Las entradas y las salidas pueden ser tanto analógicas como digitales.

(12) Manual LOGO 2005

Los elementos importantes en un programa para **PLC** (en este caso utilizaremos como base un micro PLC siemens) al igual que un alambrado lógico con elementos eléctricos como relevadores son:

- Contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados.
- Bobinas.
- Temporizadores.
- Contadores.

A continuación se muestran los símbolos de cada elemento a través de siemens:

SIMBOLO	ELEMENTO
CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO	
CONTACTO NORMALMENTE CERRADO	
BOBINA	
TIMERS	
CONTADORES	

Cuadro 1.1. Elementos básicos de un PLC.

1.3.3.1 Contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados

Un contacto es un elemento eléctrico, el cual su principal función es abrir y cerrar un circuito eléctrico, ya sea para impedir el paso de corriente o para permitir el paso de la misma.

Un contacto es una entrada. Las entradas en el PLC son definidas por la letra I.

Cuando un contacto se energiza y se cierra, es decir pasa de estado lógico 0 a estado lógico 1 se denomina: contacto normalmente abierto.

Cuando un contacto se energiza y se abre, es decir pasa de estado lógico 1 a estado lógico 0 se denomina: contacto normalmente cerrado.

1.4 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS DE CONSTRUCCION MECÁNICA. ⁽¹³⁾

Las máquinas-herramientas tienen la misión fundamental de dar forma a las piezas por arranque de material.

El arranque de material se realiza gracias a una fuerte presión de la herramienta sobre la superficie de la pieza, estando:

- ✓ Bien la **PIEZA**,
- ✓ Bien la **HERRAMIENTA**
- ✓ O bien la **PIEZA** y la **HERRAMIENTA**; animadas de movimiento

1.4.1 CLASIFICACION DE LAS MAQUINAS Y HERRAMIENTAS.

Según sea la naturaleza del movimiento de corte, las máquinas-herramientas se clasifican en:

1.4.1.1 Máquinas-herramientas de movimiento circular.

- Con el movimiento de corte en la pieza: Torno (Fig. 1.11)
- Con el movimiento de corte en la herramienta: Fresadora, taladradora, mandriladora, (Fig. 1.12)

1.4.1.2 Máquinas-herramientas de movimiento rectilíneo: Cepillo, mortajadora, brochadora, (Fig. 1.13)

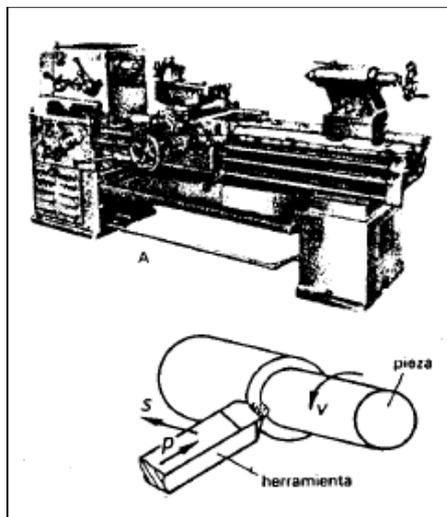


Figura 1.11 Torno paralelo



Figura 1.12 Fresadora

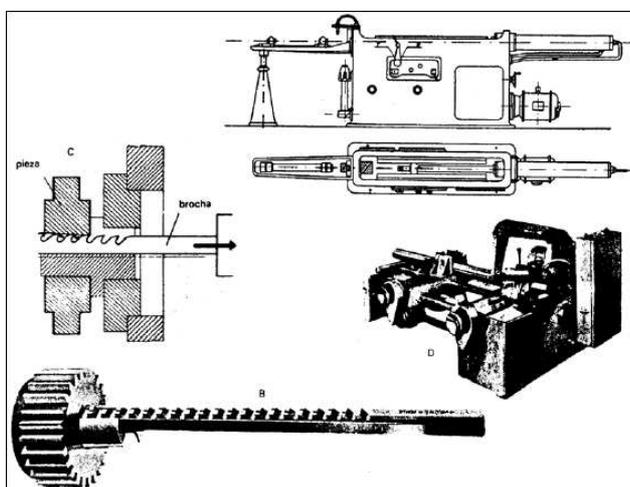


Figura 1.13 Brochadora y sierra

Las máquinas-herramientas de movimiento circular tienen una mayor aplicación en la industria debido a que su capacidad de arranque de material es superior a las máquinas con movimiento de corte rectilíneo y por tanto su rendimiento.

Las máquinas de movimiento rectilíneo que las de movimiento circular se pueden **controlar**:

- Por un operario (máquinas manuales).
- Neumática, hidráulica o eléctricamente.
- Mecánicamente (por ej. Mediante levas).
- Por computadora (Control numérico: CN)

1.4.2 EL MECANIZADO POR ARRANQUE DE MATERIAL.

Para que se produzca el corte de material, es preciso que

- La herramienta y la pieza
- La herramienta
- Ó la pieza

Estén dotados de unos movimientos de trabajo, y de que estos movimientos de trabajo tengan una velocidad. Los movimientos de trabajo necesarios para que se produzca el corte son:

- 1.4.2.1** **Movimiento de corte (M_c):** movimiento relativo entre la pieza y la herramienta. (Fig. 1.14).

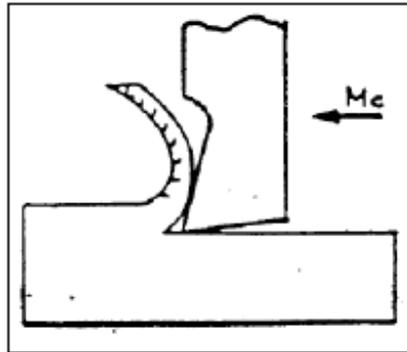


Figura 1.14

- 1.4.2.2** **Movimiento de penetración (M_p):** es el movimiento que acerca la herramienta al material y regula su profundidad de penetración. (Fig. 1.15)

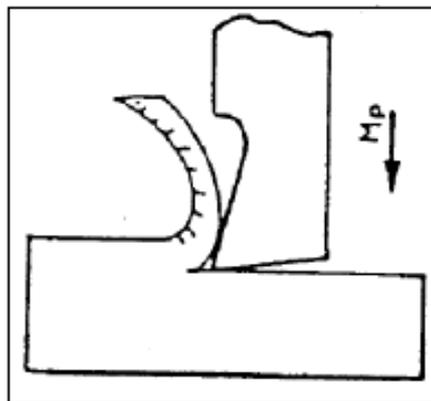


Figura 1.15

1.4.2.3 Movimiento de avance (M_a): es el movimiento mediante el cual se pone bajo la acción de la herramienta nuevo material a separar. (Fig. 1.16)

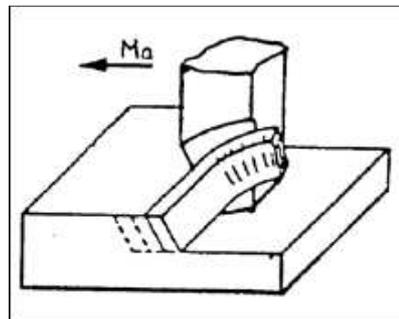


Figura 1.16

Los movimientos de trabajo en las distintas máquinas-herramientas convencionales son:

1. Torno. (Fig 1.17)

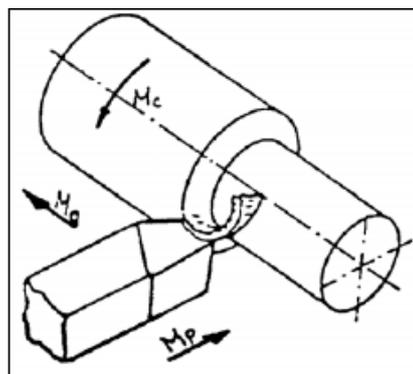


Figura 1.17

2. Fresadora. (Fig 1.18)

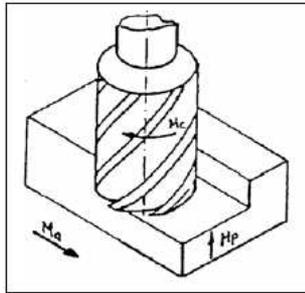


Figura 1.18

3. Taladadora. (Fig. 1.19)

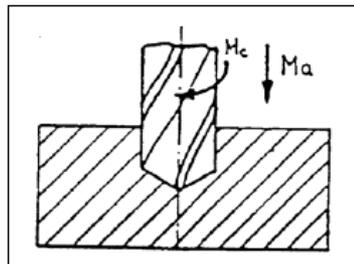


Figura 1.19

1.4.3 VELOCIDAD DE CORTE (VC).

Es la velocidad de los puntos de la pieza que están en contacto con la herramienta, respecto los unos de la otra, o viceversa.

Se mide en m/min_y en las máquinas muy rápidas (rectificadoras) en m/s.

La velocidad de corte depende, principalmente:

- Del material de la pieza a trabajar.
- Del material del filo de la herramienta.
- Del refrigerante.
- Del tipo de operación a realizar.
- De la profundidad de la pasada y del avance.

El valor de la velocidad de corte se encuentra en tablas en las que se entra por los factores apuntados. Estas tablas están sacadas de ensayos prácticos.

La velocidad de corte guarda una relación matemática con la velocidad de giro y con el diámetro del elemento que posee el M_c (la pieza o la herramienta):

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot N}{1000} \quad \Rightarrow \quad N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d}$$

Ecuación 1.2. Velocidad de corte

Donde: V_c = velocidad de corte (m/min)

d = diámetro de la pieza o de la herramienta (mm)

N = velocidad de giro (rpm.)

La máxima velocidad de corte corresponderá al diámetro máximo de los puntos de la pieza o de la herramienta que estén en contacto con la herramienta o la pieza respectivamente.

1.4.4 VELOCIDAD AVANCE (a).

El movimiento de avance se puede estudiar desde su velocidad o desde su magnitud.

- Velocidad de avance (a_{min}): Longitud de desplazamiento de la herramienta respecto a la pieza o viceversa, en la unidad de tiempo (generalmente en un minuto). (Fig. 1.20)
- Avance (magnitud) (av): Es el camino recorrido por la herramienta respecto a la pieza o por la pieza respecto a la herramienta en una vuelta o en una pasada. (Fig. 1.21).

$$F \text{ (mm/minuto)} = N \text{ (rpm)} \times F \text{ (mm/revolución)}$$

Ecuación 1.3. Velocidad de avance.

De donde:

F: Velocidad de avance

N: Número de revoluciones por minuto

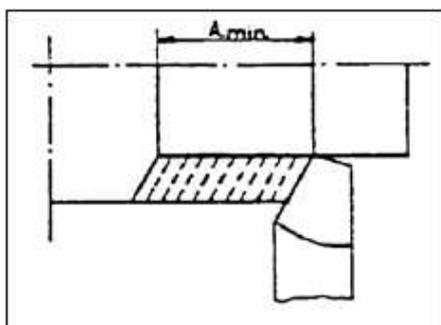


Figura 1.20

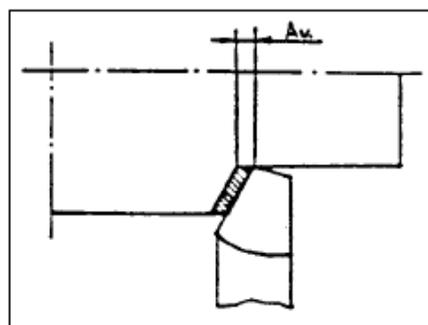


Figura 1.21

En ciertas máquinas-herramientas no es posible programar la magnitud del avance, por lo que se hace necesario programar la velocidad de dicho avance.

El avance depende, principalmente:

- Del estado superficial que se desee obtener
- De la potencia de la máquina
- De la sección del mango de la herramienta
- De la sujeción de la herramienta o plaquita
- De la rigidez de la máquina
- De su relación con la profundidad de pasada.

1.4.5 PROFUNDIDAD DE PASADA (p).

Generalizando, podemos definir la profundidad de pasada diciendo que:

Es la longitud que penetra la herramienta, en la pieza, en cada pasada; De este movimiento no se estudia su velocidad.

La profundidad de pasada depende, principalmente:

- De la cantidad de material a quitar
- Del grado de precisión dimensional
- De la potencia de la máquina
- De su relación con el avance.

1.4.6. OPERACIÓN DE DESBASTE.

Se entiende por operación de desbaste aquella en que no se exige, en la superficie mecanizada, ninguna tolerancia de medida ni calidad superficial determinada.

Con este tipo de operación se debe quitar la mayor parte del material sobrante en el momento de conformar una pieza por el procedimiento de arranque de material.

1.4.7 OPERACIÓN DE ACABADO.

Se entiende por operación de acabado aquella en que concurre una de las condiciones siguientes o ambas a la vez:

1. La medida a obtener debe quedar entre dos cotas bien definidas (tolerancia).
2. Ha de conseguirse una calidad superficial determinada, no pudiendo ésta ser más basta que la establecida.

Para cumplir las condiciones citadas será preciso que la sección de la viruta sea reducida. Consecuentemente, la velocidad de corte podría ser mayor que en la operación de desbaste.

1.4.7.1 Superficies técnicas.

La superficie real de una pieza presenta siempre discrepancias más o menos bastas o finas con la configuración geométrica ideal de la superficie. En las discrepancias de configuración se distingue principalmente entre discrepancias de forma, ondulaciones y asperezas.

1.4.7.1.1 Discrepancias de forma.

Las discrepancias de forma pueden producirse por defectos en las guías de la máquina herramienta, por incorrecta sujeción, por flexión de la pieza o por deformación al templearla.

1.4.7.1.2 Ondulación.

La ondulación de una superficie puede producirse, por ejemplo, por marcha “no redonda” de una fresa o de una muela. Así como también por vibraciones de la máquina-herramienta o del útil.

1.4.7.1.3 Aspereza.

La aspereza se compone en las superficies trabajadas mediante arranque de viruta de estrías, surcos, escamas, bombeamientos y también de la estructura (constitución estructural).

La aspereza de una superficie se manifiesta ya a simple vista en piezas desbastadas. Pero incluso las superficies finamente trabajadas, brillantes, nunca son completamente lisas. La aspereza se pone en manifiesto mediante instrumentos especiales de medición.

1.4.8 TIEMPO DE TORNEADO

Es el tiempo que tarda la herramienta en efectuar una pasada.

$$T \text{ (minutos)} = \frac{\text{Longitud de pasada (mm)}}{F \text{ (mm/minuto)}}$$

Ecuación 1.4. Tiempo de torneado

1.5 TOLERANCIA DE CONSTRUCCIÓN MECÁNICA: ⁽¹⁴⁾

La tolerancia se aplica a la fabricación de piezas en serie. Dada una magnitud significativa y cuantificable propia de un producto industrial, el margen de tolerancia es el intervalo de valores en el que debe encontrarse dicha magnitud para que se acepte como válida, lo que determina la aceptación o rechazo de los componentes fabricados, según sus valores queden dentro o fuera de ese intervalo.

El propósito de los intervalos es el de admitir un margen para las imperfecciones en la manufactura de componentes, ya que se considera imposible la precisión absoluta desde el punto de vista técnico, o bien no se recomienda por motivos de eficiencia: es factible especificar el mayor valor posible de tolerancia mientras el componente en cuestión mantenga su funcionalidad, dado que cuanto menor sea el margen de tolerancia, la pieza será más difícil de producir y por lo tanto más costosa.

La tolerancia puede ser especificada por un rango explícito de valores permitidos, una máxima desviación de un valor nominal, o por un factor o porcentaje de un valor nominal; por ejemplo, si la longitud aceptable de un barra de acero está en el intervalo $1m \pm 0.01m$, la tolerancia es de $0.01m$ (longitud absoluta) o 1% (porcentaje). La tolerancia puede ser simétrica, como en 40 ± 0.1 , o asimétrica como $40 + 0.2 / - 0.1$.

1.5.1 DEFINICION.

Es la diferencia entre la medida máxima y mínima.

(14) <http://es.scribd.com/doc/3320144/4-tolerancias-de-ajuste>

1.5.1.1 Medida Nominal.

A la pieza se le asigna una medida nominal, la cual sirve de referencia para definir las medidas límites.

1.5.1.2 Línea de cero.

Línea recta, a partir de la cual se representan las diferencias. La línea cero es la línea de diferencia cero, y corresponde a la medida nominal. (Fig. 1.22).

1.5.1.3 Diferencia Superior.

Diferencia algebraica entre la medida máxima y la medida nominal correspondiente.
(Fig. 22).

1.5.1.4 Diferencia Inferior.

Diferencia algebraica entre la medida mínima y la medida nominal correspondiente.
(Fig. 1.22).

1.5.1.5 Zona de Tolerancia.

En la representación gráfica de la tolerancia, es la zona comprendida entre las dos líneas que representan los límites de la tolerancia y que están definidas en magnitud (tolerancia) y en posición, con respecto a la línea de referencia.

1.5.1.6 Medida Efectiva (de una pieza).

Es la que se obtiene como resultado de una medición. La temperatura de referencia para efectuar las mediciones es de 20 grados, de acuerdo con las normas ISO, DIN, UNE, etc.

1.5.1.7 Medidas Límites.

Las dos medidas extremas admisibles de una pieza, entre las cuales debe encontrarse la medida efectiva.

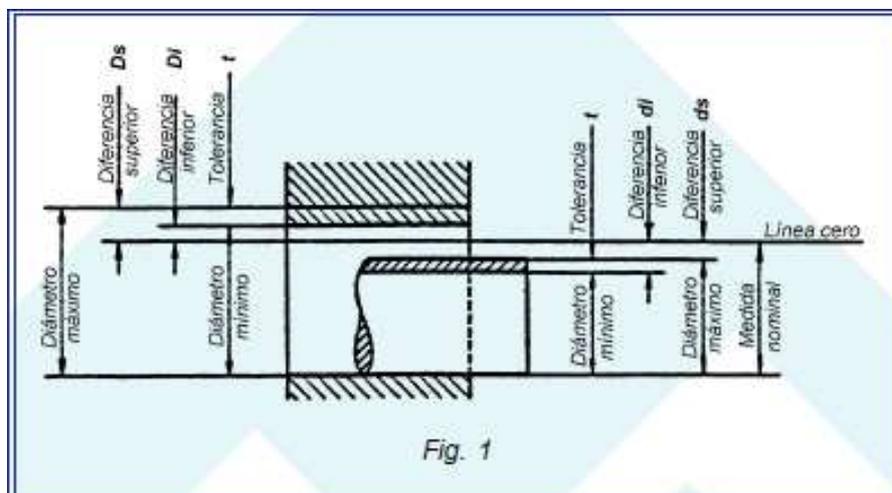


Figura 1.22

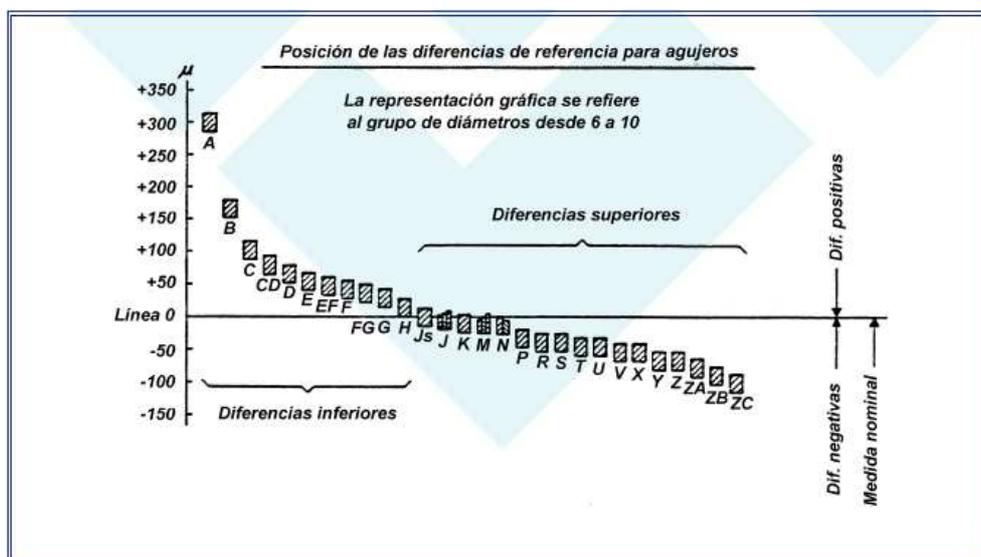


Figura 1.24

1.6 SISTEMAS DE AJUSTE

Cuando dos piezas deben ser montadas entre sí, la relación resultante de la diferencia sus medidas, antes del montaje, se denomina «ajuste».

1.6.1 DEFINICIONES

1.6.1.1 Eje:

Término utilizado para designar cualquier medida exterior de una pieza, aunque ésta no sea cilíndrica.

1.6.1.2 Agujero:

Término utilizado para designar cualquier medida interior de una pieza aunque ésta no sea cilíndrica.

1.6.1.3 Tolerancia del ajuste:

Suma aritmética de las tolerancias de los dos elementos de un ajuste.

1.6.1.4 Juego:

Diferencia entre las medidas, antes del montaje, del agujero y del eje, cuando esta diferencia es positiva. (fig. 1.25)

1.6.1.5 Apriete:

En un ajuste, es el valor absoluto de la diferencia entre las medidas, antes del montaje, del agujero y del eje, cuando esta diferencia es negativa. (fig. 1.25)

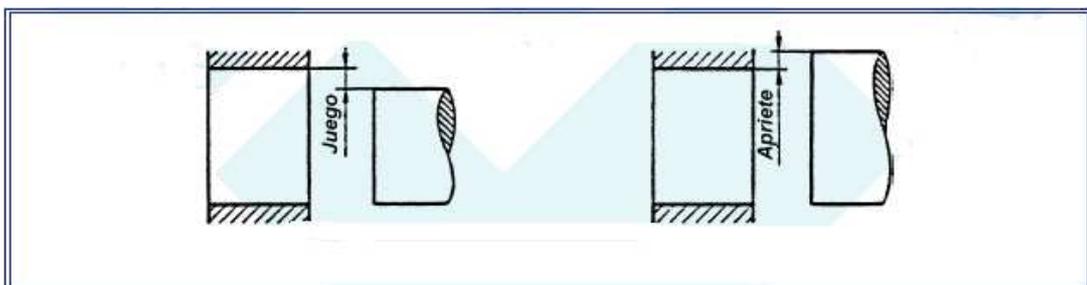


Figura 1.25

1.6.2 SIMBOLOS.

Las medidas con tolerancias quedan definidas por su valor nominal seguido de un símbolo, formado por una letra o dos, que indica la posición de la tolerancia y un número que indica la calidad. (fig. 1.26).

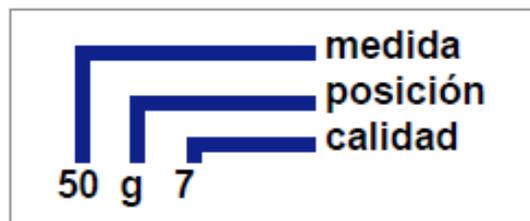


Figura 1.26

Análogamente, un ajuste queda definido por la medida nominal común a las dos piezas que lo forman, seguido por los símbolos correspondientes a cada pieza, empezando por el del agujero. (fig. 1.27)



Figura 1.27

1.6.3 CLASES DE AJUSTES.

Según la posición de la zona de tolerancia con respecto a la del eje, los ajustes suelen ser:

1. *Ajustes móviles (con agujero).*
2. *Ajustes fijos (con aprieto).*
3. *Ajustes indeterminados (al montar las piezas pueden resultar entre ellas un juego o apriete).*

1.7 FUNDICIÓN

1.7.1 PRINCIPIO.

Se denomina fundición al proceso de fabricación de piezas, metálicas o no metálicas; consiste en verter el material fundido o derretido en una cavidad, llamada molde, dejarlo solidificar y por último remover la pieza formada.



Figura 1.28. Proceso de fundición.

1.7.2 PROCESOS DE FUNDICIÓN

Los procesos de fundición se clasifican en dos grupos:

1. Procesos que usan moldes desechables
2. Procesos que usan moldes permanentes

A continuación detallamos los diferentes tipos de procesos de fundición:

1.7.2.1 Moldeo en arena verde.

La arena verde es una mezcla de arena de sílice, arcilla, humedad y otros aditivos. Este moldeo consiste en la elaboración del molde con arena húmeda y colada directa del metal fundido. Es el método más empleado en la actualidad, con todo tipo de metales, y para piezas de tamaño pequeño y medio.

No es adecuado para piezas grandes o de geometrías complejas, ni para obtener buenos acabados superficiales o tolerancias reducidas.

1.7.2.2 Moldeo en arena químico.

Consiste en la elaboración del molde con arena preparada con una mezcla de resinas, el fraguado de estas resinas puede ser por un tercer componente líquido ó gaseoso, ó por autofraguado. De este modo se incrementa la rigidez del molde, lo que permite fundir piezas de mayor tamaño y mejor acabado superficial.

1.7.2.3 Moldeo en arena seca.

La arena seca es una mezcla de arena de sílice seca, fijada con otros materiales que no sea la arcilla usando adhesivos de curado rápido. Antes de la colada, el molde se seca a elevada temperatura (entre 200 y 300°C). De este modo se incrementa la rigidez del molde, lo que permite fundir piezas de mayor tamaño, geometrías más complejas y con mayor precisión dimensional y mejor acabado superficial.

1.7.2.4 Moldeo mecánico.

Consiste en la automatización del moldeo en arena verde. La generación del molde mediante prensas mecánicas o hidráulicas, permite obtener moldes densos y resistentes que subsanan las deficiencias del moldeo tradicional en arena verde.

1.7.2.5 Moldeo a la cera perdida o microfusión.

En este caso, el modelo se fabrica en cera o plástico. Una vez obtenido, se recubre de una serie de dos capas, la primera de un material que garantice un buen acabado superficial, y la segunda de un material refractario que proporcione rigidez al conjunto. Una vez que se ha completado el molde, se calienta para endurecer el recubrimiento y derretir la cera o el plástico para extraerla del molde en el que se verterá posteriormente el metal fundido.

1.7.2.6 Fundición por inyección

En ingeniería, el *moldeo por inyección* es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero o cerámico en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

1.7.2.7 Fundición prensada

Este procedimiento combina las características de la fundición y la forja, de forma que no se hace necesario el uso de canales de alimentación ni de mazarotas. La fundición prensada se basa en el principio de la solidificación prensada del metal fundido usando un juego de utillajes y una prensa hidráulica.

1.7.3 FACTORES IMPORTANTES PARA LOS PROCESOS DE FUNDICIÓN.

1.7.3.1 Diseño del modelo

1.7.3.1.1 Procesos en moldes desechables.

- moldes de arena tradicionales
- moldes acorazados
- moldes con patrones desechables
- moldeo por inversión (“investment casting”)

Para el diseño del modelo se debe tener en cuenta una serie de medidas derivadas de la naturaleza del proceso de fundición:

- Debe ser ligeramente más grande que la pieza final, ya que se debe tener en cuenta la contracción de la misma una vez se haya enfriado a temperatura ambiente. El porcentaje de reducción depende del material empleado para la fundición.

A esta dimensión se debe dar una sobremedida en los casos en el que se dé un proceso adicional de maquinado o acabado por arranque de viruta.

- Las superficies del modelo deberán respetar unos ángulos mínimos con la dirección de desmoldeo (la dirección en la que se extraerá el modelo), con objeto de no dañar el molde de arena durante su extracción. Este ángulo se denomina *ángulo de salida*. Se recomiendan ángulos entre 0,5° y 2°.

- Incluir todos los canales de alimentación y mazarotas necesarios para el llenado del molde con el metal fundido.
- Si es necesario incluirá *portadas*, que son prolongaciones que sirven para la colocación del macho.

Los moldes, generalmente, se encuentran divididos en dos partes (figura 1.29), la parte superior denominada *cope* y la parte inferior denominada *draga* que se corresponden a sendas partes del molde que es necesario fabricar.

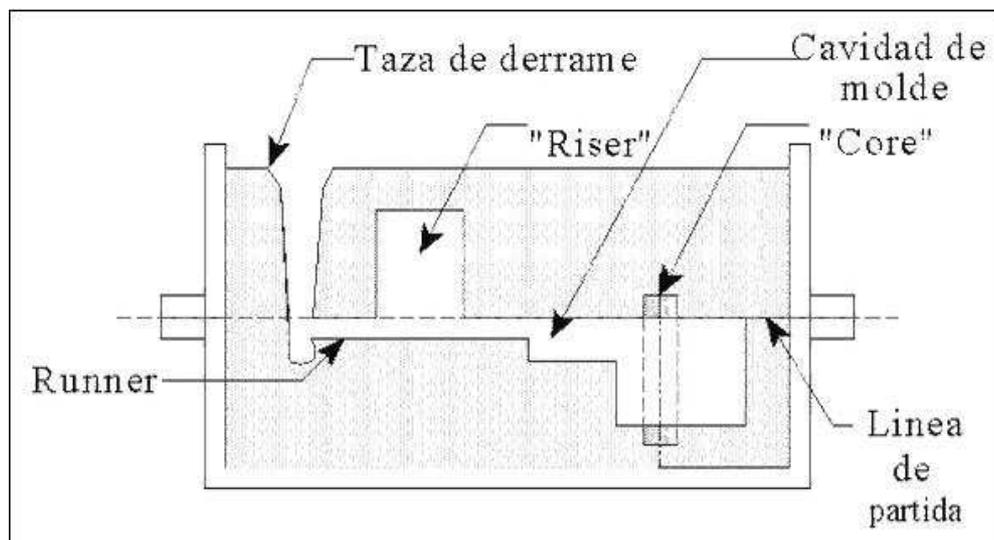


Figura 1.29. Partes del molde

1.7.3.2 Proceso de compactación de la arena alrededor del modelo en la caja de moldeo (moldeo por arena)

Para ello primeramente se coloca cada semimodelo en una tabla, dando lugar a las llamadas tablas modelo, que garantizan que posteriormente ambas partes del molde encajarán perfectamente.

Actualmente se realiza el llamado moldeo mecánico, consistente en la compactación de la arena por medios automáticos, generalmente mediante pistones (uno o varios) hidráulicos o neumáticos.

1.7.3.3 Colocación del macho o corazones. (Moldeo por arena)

Si la pieza que se quiere fabricar es hueca, será necesario disponer machos, también llamados corazones que eviten que el metal fundido rellene dichas oquedades. Los machos se elaboran con arenas especiales debido a que deben ser más resistentes que el molde, ya que es necesario manipularlos para su colocación en el molde. Una vez colocado, se juntan ambas caras del molde y se sujetan. Siempre que sea posible, se debe prescindir del uso de estos corazones ya que aumentan el tiempo para la fabricación de una pieza y también su coste.

1.7.3.4 Proceso de solidificación.

Esta etapa es crítica de todo el proceso, ya que un enfriamiento excesivamente rápido puede provocar tensiones mecánicas en la pieza, e incluso la aparición de grietas, mientras que si es demasiado lento disminuye la productividad. Además un enfriamiento desigual provoca diferencias de dureza en la pieza. Para controlar la solidificación de la estructura metálica, es posible localizar placas metálicas

enfriadas en el molde. También se puede utilizar estas placas metálicas para promover una solidificación direccional. Además, para aumentar la dureza de la pieza que se va a fabricar se pueden aplicar tratamientos térmicos o tratamientos de compresión.

1.7.3.5 Proceso de flujo de fluido.

Vertido del material fundido. La entrada del metal fundido hacia la cavidad del molde se realiza a través de la copa o bebedero de colada y varios canales de alimentación. Estos serán eliminados una vez solidifique la pieza. Los gases y vapores generados durante el proceso son eliminados a través de la arena permeable.

1.7.3.5.1 Factores que afectan la fluidez:

- Viscosidad
- tensión de superficie
- inclusiones (partículas)
- patrón de solidificación de la aleación
- geometría del molde
- material y superficie del molde
- grado de sobrecalentamiento
- razón de derrame
- transferencia de calor

CAPITULO 2

TOMA DE MEDICIONES DEL MOLINETE UNIVERSAL.

2.1 INTRODUCCIÓN.

Se ha realizado un estudio de los métodos para la medición del flujo de agua en ríos, y se ha tomado como modelo a construirse el “Molinete Universal” marca SEBA.

Se considero el tipo de material constitutivo de sus partes, el cual podemos adquirir en nuestro mercado, a más del principio de funcionamiento, el cual será explicado más adelante. Describimos a continuación el funcionamiento y cada una de las piezas que conforman el instrumento antes citado.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL MOLINETE UNIVERSAL.

EL Molinete Universal de marca SEBA, es un instrumento que ha sido diseñado para la determinación de la velocidad de corriente de agua en canales abiertos, riachuelos, ríos y el mar.



Figura 2.1. Molinete Universal Marca SEBA Hidrometrie.

Su construcción robusta y el empleo de materiales de alta calidad permiten emplearlo incluso en condiciones extremas. (Peso aproximado Molinete SEBA 1398 gramos).

El rango de velocidad de medida que puede dar este instrumento oscila entre 0.025m/s hasta 10m/s.

2.2.1 FUNCIONAMIENTO DEL MOLINETE UNIVERSAL.

Para explicar el funcionamiento nos ayudaremos por la figura 2.2. El instrumento tiene en su rotor ensamblado un imán cilíndrico el cual va a generar un campo magnético constante, el dispositivo de contacto, insertado un terminal al eje y otro al cuerpo del molinete, cerrara su contacto emitiendo así pulsaciones cada vez que el campo magnético pase en cada rotación por el dispositivo. En el cuerpo se encuentran dos terminales de conexión, uno positivo (aislado del cuerpo), y otro negativo (contacto a masa con el cuerpo), estos se conectarán al contador por medio de un cable, para poder percibir en un display el número de cierres que realiza el dispositivo de contacto, por cada vuelta del rotor.

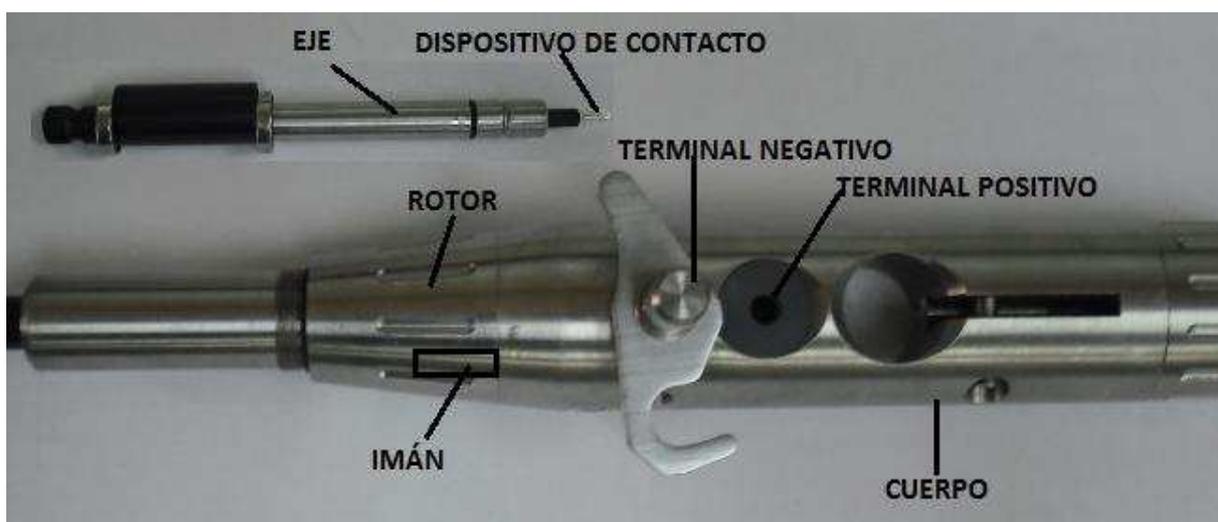


Figura 2.2. Elementos del funcionamiento del Molinete Universal.

2.3 DESCRIPCIÓN DE PARTES Y ELEMENTOS COMPONENTES DEL MOLINETE UNIVERSAL.

2.3.1 CUERPO DEL MOLINETE

El cuerpo del molinete es el componente más robusto (fig. 2.3), en él se acoplan las demás partes componentes. En su interior tiene un tornillo especial interno con un agujero de conexión para el dispositivo de contacto (reed switch), este tornillo está aislado del cuerpo por un material especial y será a su vez el terminal positivo del molinete.



Figura 2.3. Cuerpo

En el centro del cuerpo se encuentra un orificio de 20mm de diámetro, donde se alojará una barra de acero inoxidable que servirá de sujeción y variación de altura a la que se debe ubicar el molinete, dependiendo donde se realice el aforo.

2.3.2 CONTRAPESO.

El contrapeso es una parte del molinete que se enrosca en un extremo del cuerpo del molinete, consta de dos partes el eje de contrapeso y la cabeza del contrapeso (fig. 2.4), entre estos dos existe un apriete.



Figura 2.4 Contrapeso

El contrapeso es una pieza desmontable que se usa en el molinete cuando se realiza aforos con una barra de 20mm de diámetro.

2.3.3 ROTOR.

El rotor (fig. 2.5), como su nombre lo indica, es la parte de rotación del instrumento, al cual estará acoplada la hélice, parte fundamental de la medición; el rotor a su vez se monta sobre el eje métrico en el cual estarán acoplados los rodamientos, que son los encargados de que el rotor cumpla su función de rotación. Además en el rotor se encuentra insertado un elemento importante del mecanismo de medición, es el imán permanente, éste proporcionará el campo magnético, que activará en cada revolución al interruptor “reed switch” insertado en el eje métrico.



Figura 2.5. Rotor

El imán es de forma cilíndrica, de 5mm de diámetro y 20mm de longitud, y será incrustado en el rotor a presión.

2.3.4 EJE MÉTRICO.

El eje métrico es una pieza del molinete que consta de dos variaciones de diámetro a lo largo de su longitud, la primera, en su diámetro mayor tiene un agujero en donde se alojara el "reed switch", y en la parte de menor diámetro, estarán acoplados los rodamientos, distanciando entre ellos por un separador, como se puede apreciar en la figura 2.6; cuenta con una tuerca de seguridad que sujeta a los rodamientos.



Figura 2.6 Eje métrico y componentes.

El eje a más de acoplarse al rotor, ingresa parte de su estructura en el cuerpo, la misma que tiene el un terminal del “reed switch” fuera de él, ya que este terminal se conectará en el cuerpo del molinete, aquí quedara sujeto por un prisionero, por ello tiene una hendidura en donde se apoyará el elemento sujetador. (Figura 2.7)



Figura 2.7

2.3.5 HÉLICE.

La hélice es un elemento fundamental en el instrumento de medida, la fuerza del fluido ejercerá una presión sobre sus aspas provocando la rotación; esta enroscada al rotor para garantizar su sujeción (fig. 2.8 c).



Figura 2.8 a)



Figura 2.8 b)



Figura 2.8 c)

La hélice modelo (fig. 2.8 a y b) está construida de aluminio anodizado, tiene un diámetro entre aspas de 120mm y un paso de 250mm; cada hélice tiene su ecuación propia para obtener la velocidad y está directamente asociada al número de vueltas que realice en un periodo de tiempo, estos valores de calibración se los obtiene en un canal de pruebas hidrodinámicas.

El proceso de calibración se deberá efectuar de igual manera con la hélice a construirse, teniendo como datos los valores de calibración obtenidos de fábrica, se podrá hacer una comparación con la hélice modelo.

2.3.6 RODAMIENTOS.

Los rodamientos que usa el instrumento son de acero inoxidable de bolas, con designación comercial 618/8. Figura 2.10.



Figura 2.10

2.3.7 IMÁN PERMANENTE.

Es el encargado de generar el campo magnético para que realice la operación el “reed switch”. El imán proporcionara el campo magnético permanente en cada revolución, obteniendo así los pulsos de cierre, que no son más que el número de vueltas que realiza la hélice por impulso del agua, estos valores serán receptados por un contador. Estos datos son esenciales en el cálculo de la velocidad.



Figura 2.11. Imán permanente cilíndrico.

La ubicación de los polos (Sur - Norte), como podemos apreciar en la figura 2.10, debe ser en posición longitudinal, mas no transversal.

2.3.8 REED SWITCH.

Es un interruptor que se activa por la presencia de campo magnético (fig. 2.12), un terminal de este elemento se introduce en el interior del eje métrico y el otro en el cuerpo, cada vez que se cierran sus contactos se activa el circuito eléctrico, creando un contacto amasa con el cuerpo y el eje métrico.



Figura 2.12. "Reed switch"

El tipo de "reed switch" a usarse dependerá directamente de la fuerza de campo magnético que sea necesario para cerrar sus contactos.

2.3.9 PERNO DE TOPE.

Es un elemento que se enrosca en la parte baja del cuerpo cercano al orificio en donde ingresa la barra de acero inoxidable como se muestra en la figura 2.13; cumple la función de evitar que la hélice roce con el fondo de la superficie en donde se vaya a realizar el aforo, evitando un posible daño de la hélice.



Figura 2.13. Perno de tope enroscado al cuerpo del molinete.

2.3.10 SEPARADOR

Como su nombre lo indica es un elemento que sirve de distanciamiento entre los dos rodamientos, sin alterar el mecanismo de rotación de los mismos, está diseñado acorde al diámetro exterior de los cojinetes, y su diámetro interior se mantiene en juego holgado con el eje métrico en donde va montado conjuntamente con los rodamientos. Es de aluminio con un recubrimiento anticorrosivo de color negro (fig. 2.14).



Figura 2.14. Separador entre rodamientos.

2.3.11 TUERCA DE SEGURIDAD.

Es un sujetador de los cojinetes en el eje métrico, da mayor seguridad y no altera el proceso de revolución. (fig. 2.15)



Figura 2.15. Tuerca de seguridad.

2.3.12 CONTADOR

Es un instrumento que nos permite visualizar por medio de su display el número de revoluciones que realiza la hélice en un determinado periodo de tiempo. (fig. 2.16)

Este dato que se registra en el contador es de suma importancia para el cálculo de la velocidad del río elegido.



Figura 2.16. Contador SEBA para molinete.

2.4 MEDICIÓN DEL MODELO DE CONSTRUCCIÓN.

El proceso de medición de cada una de las partes, de las que está compuesto el modelo a construirse, debe de regirse estrictamente a las normas que nos indica la metrología. Debe usarse el instrumento adecuado que nos permita tener un margen de error mínimo de medida, saber usar adecuadamente este instrumento y tomar en cuenta los factores ambientales que afectarían la medida; dependiendo del material que fuese fabricado el instrumento de medida.

2.4.1 INSTRUMENTO DE MEDIDA.

Para la medición de partes del prototipo se utilizó el calibrador pie de rey, el cual posee una escala vernier que permite apreciar tolerancias de 0.02mm..

2.4.1.1 Calibre de Cursor (Pie de Rey).⁽¹⁾

El calibre de cursor, llamado comúnmente pie de rey, es un instrumento para medir dimensiones de objetos relativamente pequeños, es de mucho empleo en la medición mecánica, está formado por una regla de acero terminada en un extremo por un brazo y un pico, sobre la propia regla están grabadas dos escalas, una en milímetros (divisiones de: 1/10 de milímetro, 1/20 de milímetro, 1/50 de milímetro), y otra en pulgadas (divisiones de: 1/16 de pulgada, y en su nonio, de 1/128 de pulgada). (fig. 2.17)

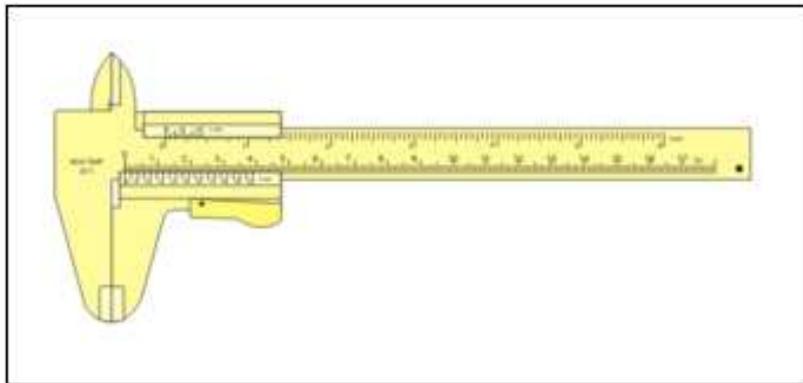


Figura 2.17. Calibrador “pie de rey”.

2.4.2.3 Errores en las Mediciones.

La realización de una medición, es una operación complicada en la práctica, aún más si la medición ha de ser de alta precisión. Primero hay que contar con inevitables diferencias entre la medida exacta y las medidas obtenidas que viene a ser los errores, y luego que el error total resulta de una serie de errores debido a diferentes causas.

2.4.2.3.1 Errores en las mediciones:

Pueden ser tres las causantes:

- Error debido a los aparatos de medida.
- Error debido al operador.
- Error debido a las condiciones ambientales, cambios de temperatura.

2.4.2.3.2 Errores debido al aparato de medida:

- Defectos de planeado o paralelismo de las superficies de medida de los brazos (defectos de construcción o rectitudes mecánicas, formas y espesor de los trazos de graduación).

- Defecto de reglaje o cero del nonio que debe coincidir con el cero de la regla principal.
- Desgaste de los brazos, picos, y varilla de profundidad por el uso, se recomienda ser sometidos cada seis meses a prueba de exactitud.
- Juego excesivo entre reglas y el cursor.
- Inadecuada lubricación con elementos de excesiva viscosidad.
- Envejecimiento prematuro debido al estado molecular inestable que resulta de los tratamientos térmicos aplicados al instrumento.
- Deformaciones elásticas o por contracción de los elementos de medición.

2.4.2.3.3 Errores debido al operador:

- Diferencias de presión de contacto entre la pieza y los palpadores según la fuerza del operador.
- Cierre demasiado forzado o demasiado suave.
- Dificultad de apreciar la concordancia exacta entre los brazos del nonio y la regla, ya que el ojo humano no puede apreciar trazos finos.
- Deformaciones locales por excesiva presión de contacto.
- Lecturas falsas si el operador no mira de una forma perpendicular las líneas que indican la lectura.

2.4.2.3.4 Errores debido al medio ambiente:

- La temperatura produce una dilatación en los cuerpos, esto influye naturalmente en los instrumentos de medida y en las dimensiones del cuerpo a medirse, para evitar este error en medidas de precisión, se realiza a una temperatura fija o de referencia, a 20°C.

(1) <http://es.wikipedia.org/wiki/Metrolog%C3%ADa>

2.3.2 MEDICIÓN DE LAS PARTES COMPONENTES DEL MOLINETE.

Se citó anteriormente que el instrumento de medida que fue usado para la toma de las medidas de cada una de las partes de las que está compuesto el molinete fue el calibrador “pie de rey”.

El molinete cuenta con cuatro partes fundamentales, de las cuales se tomaron sus respectivas medidas, cada una de ellas toma un papel importante en el funcionamiento del molinete, los acoples mecánicos entre ellas y sus acabados superficiales. Todo esto hay que considerar al momento de tomar medidas del modelo original (fig. 2.18), para que la construcción del prototipo sea lo más exacta y semejante al modelo original.



Figura 2.18. Vista superior del molinete modelo.

- El despiece de las cuatro partes componentes se realizó manualmente, estas a su vez tienen otros elementos en su interior que cumplen distintas funciones.

El procedimiento en el desarme de las partes componentes del molinete, mostrado en la figura 2.18, lo podemos explicar de una manera más didáctica por fotografías tomadas en cada paso:

1. Desmontamos la hélice que esta enroscada en el rotor.



Figura 2.19

2. A continuación desenroscamos el contrapeso que se encuentra en el otro extremo del cuerpo.



Figura 2.20

3. El rotor conjuntamente con el eje métrico se encuentran al extremo contrario del contrapeso, para desmontar estas partes con la ayuda de un destornillador plano, se afloja el prisionero que sujeta al eje y por ende al rotor. (fig. 2.21)



Figura 2.21

Al liberar este elemento saldrán manualmente estas dos piezas, ya que sólo las sujetaba el prisionero.



Figura 2.22

4. Queda así el cuerpo y el rotor liberados, como se muestra en la figura 2.22; a continuación debemos separar el rotor del eje métrico.

Este proceso es manual y no se necesita de ninguna herramienta ya que entre estas dos piezas no hay ningún tipo de apriete.



Figura 2.23

Se debe mencionar que la función que realizan el eje métrico y el rotor, es de mucha importancia, ya que este conjunto es la parte principal del instrumento, empezando por el “reed switch” (elemento interruptor), el cual será activado en cada revolución por el imán permanente ubicado en el interior del rotor (fig. 2.24), y éste a su vez podrá girar debido a los dos rodamientos, distando entre ellos por otro elemento separador, todos montados en el eje métrico.

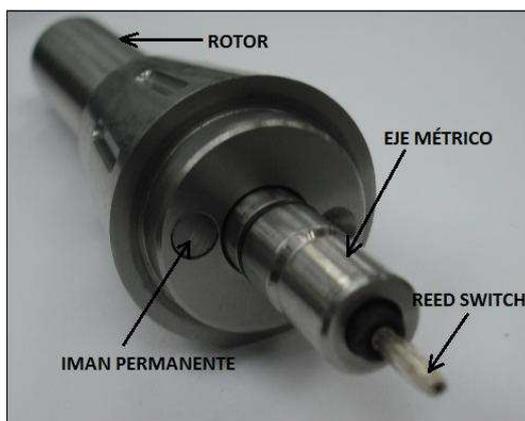


Figura 2.24

5. Por último quedan las partes que están montadas en el eje métrico, cada una se retira manualmente. (fig. 2.25)



Figura 2.25

El un terminal del “reed switch” se conecta en el interior del eje métrico, y el otro en el cuerpo del molinete.



Figura 2.26

La tuerca de seguridad cumple la función de sujetar los rodamientos en el eje métrico, una vez suelta, se desmontan manualmente los elementos restantes (fig. 2.27), hay que tener en cuenta que los rodamientos tienen un juego con respecto al eje; este tipo de especificaciones vienen detalladas en los planos de taller respectivamente.



Figura 2.27

Una vez las piezas por separado empezamos las mediciones de cada una, especificando en el plano de taller las tolerancias, juegos, aprietes, que se han podido apreciar; este tipo de detalles son de suma importancia al momento de realizar el proceso de construcción, ya que la mínima variación de milímetro entre una y otra pieza, especialmente si hay un juego o apriete entre ellas, provocara un mal funcionamiento del instrumento al momento de montar las piezas construidas del instrumento prototipo.

Se han elaborado los respectivos planos con cortes y vistas que permiten conocer las dimensiones y propuesta de acabado superficial. Luego de la construcción del equipo y montaje definitivo, se presentan en este trabajo, adjuntos también, los planos conforme el equipo fue construido y terminado (“as-built”). ANEXO 1

2.5 REALIZACIÓN DE PLANOS DEL PROTOTIPO.

De cada pieza se tomaron varias mediciones para dibujar los planos de taller; en el caso de la hélice, el proceso de construcción será por fundición y no por maquinado, por tal razón no se realizaron planos de taller para la hélice, más adelante especificaremos paso a paso el proceso de fundición.

Con ayuda del programa de dibujo por computador AutoCAD se realizaron los planos de taller y de conjunto del prototipo del molinete siendo la unidad de medida de trabajo: milímetro. El software AutoCAD realiza dibujos en dos y tres dimensiones; para planos de taller se trabaja en dos dimensiones 2D (eje x, eje y), y para realizar el dibujo de un cuerpo sólido usamos tres dimensiones 3D (eje x, eje y, eje z); en el caso del dibujo en 3D permitirá tener una mejor visualización de cada pieza (fig. 2.29), y de todo el conjunto, con animaciones de movimiento en cualquier posición, de así requerirlo. En la figura 2.28 podemos observar la pantalla de trabajo del software AutoCAD.

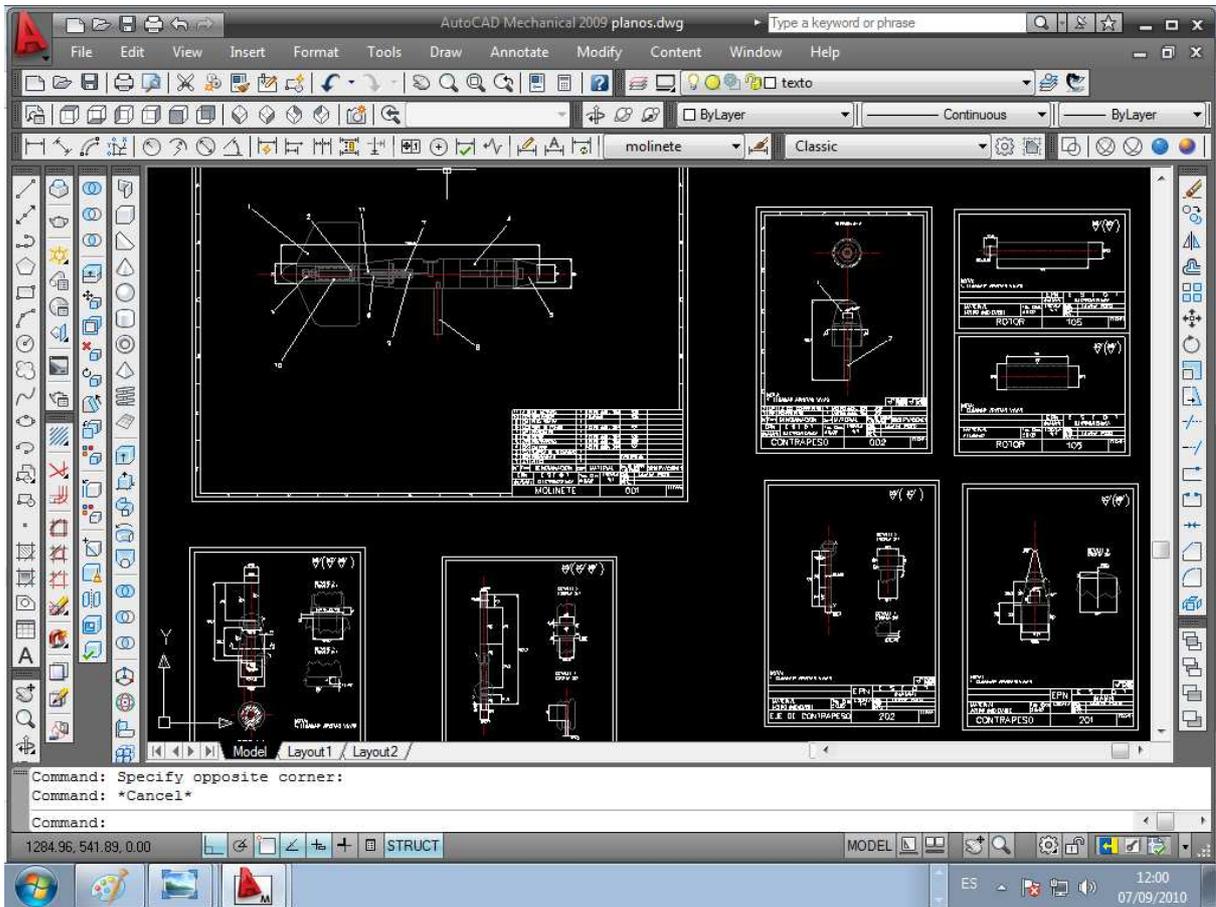


Figura 2.28

Todos los planos, propuestos y definitivos están adjuntos en los anexos al final de este trabajo.

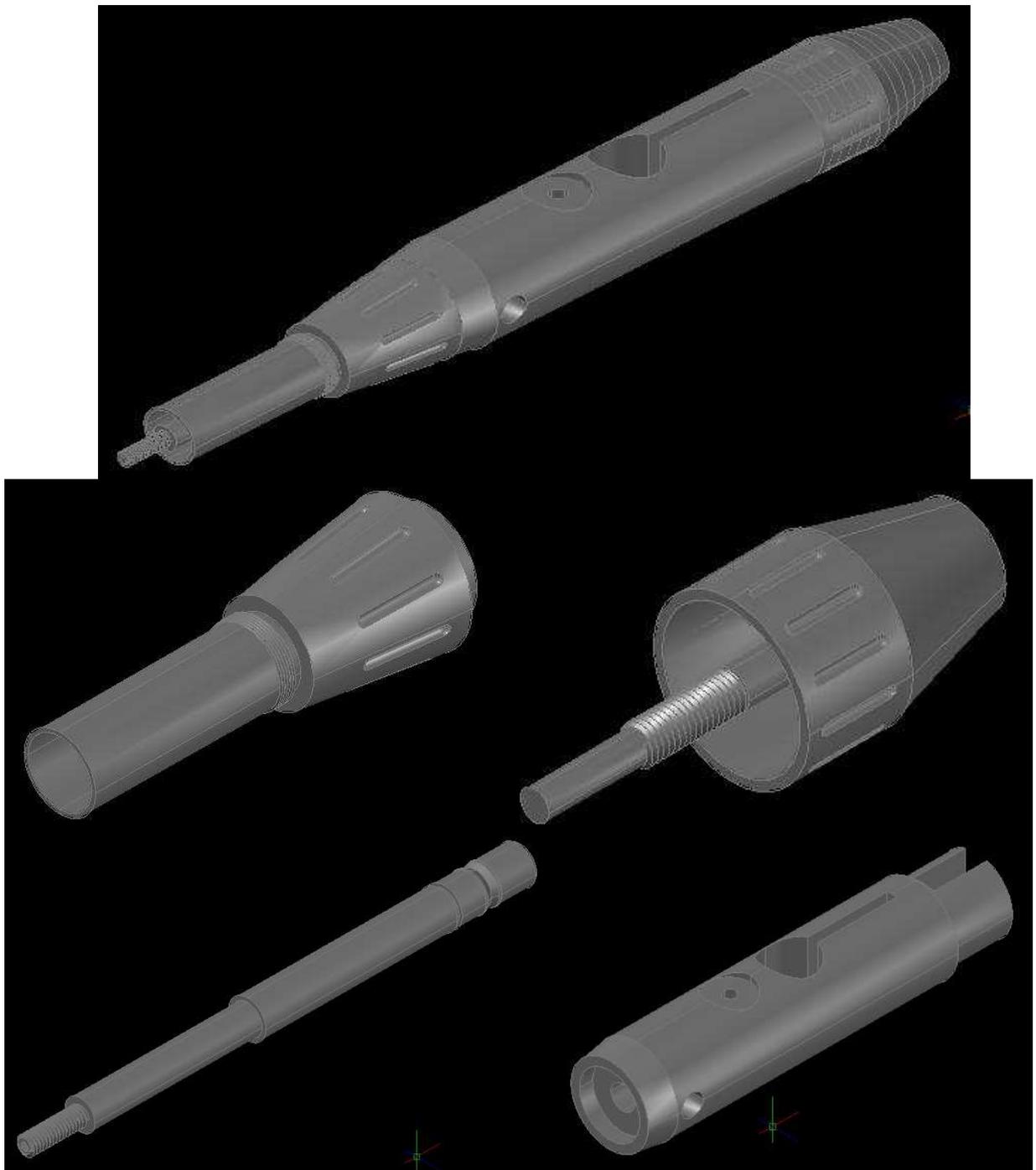


Figura 2.29. Dibujo en 3 dimensiones del Molinete Universal.

CAPITULO 3

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

3.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO INDUSTRIAL DE CONSTRUCCIÓN.

Las maquinas y herramientas necesarias para la construcción del prototipo, deben estar en perfecto funcionamiento y estado, para un buen acabado superficial en las piezas constitutivas del prototipo.

El INAMHI cuenta con un taller mecánico de maquinaria básica: un torno convencional, una fresadora de movimiento vertical, y herramientas necesarias para trabajos de no muy alta precisión.

En un inicio se propuso realizar los trabajos de construcción de partes, en el taller mecánico de la Escuela Politécnica Nacional, pero las máquinas (Tornos y fresadoras), no garantizaban el acabado que se solicitaba de acuerdo a planos.

El lugar determinado para la construcción fue el taller mecánico “Don Bosco”, ubicado al norte de la ciudad de Quito, en las instalaciones del Colegio Técnico Don Bosco, sector de la Kennedy; se eligió este lugar por la garantía de su trabajo en cuestión de partes mecánicas, a más de contar con gran cantidad de maquinaria convencional y asistida por computadora, y una bodega propia de herramientas para mecanizado.

Una vez revisados los planos (anexos) por el jefe del taller, designo a un técnico especializado para la construcción. El tiempo estimado para la elaboración de las piezas del prototipo del molinete fue de 10 días. Cabe anotar que el trabajo no fue periódico, debido a que este taller realiza trabajos a gran escala para otras empresas, se consideraron estas razones al momento de poner el tiempo de entrega. Se puede decir que si se realizaría la construcción continua, a 8 horas diarias de trabajo, las partes constitutivas del equipo se realizarían a no más de 5 días.

Se utilizó para la construcción tornos convencionales, fresadora CN (control numérico), cortadora con electrohilo.

3.2 SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

3.2.1 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA CONSTRUCCIÓN DE HÉLICE.

Las hélice usadas para aforos con molinete son hechas de diferentes tipos de materiales, se ha podido apreciar hélices de cobre, plástico y aluminio, siendo este último el tipo de material escogido para la construcción de la hélice.

3.2.1.1 Aluminio. ⁽¹⁾

El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles.

(1) <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>

Las aleaciones de aluminio son ligeras, fuertes, y de fácil formación para muchos procesos de metalistería; el aluminio es fácil de fundir y de maquinar y acepta gran variedad de acabados debido a su baja dureza.

Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso.

3.2.2 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA CONTRUCCIÓN DE PARTES.

El material escogido para la construcción es “acero inoxidable 304”, por esta razón debe seleccionarse maquinaria y herramienta especializada para el maquinado de este tipo de material.

3.2.2.1 Acero inoxidable. ⁽²⁾

El acero inoxidable se define como una aleación de acero con un mínimo de 10% de cromo, algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes; entre los principales están el níquel y el molibdeno.

Su resistencia a la corrosión es lo que le da el nombre de “acero inoxidable”. Como todos los tipos de aceros, el acero inoxidable no es un material simple sino una aleación; lo que tienen en común todos los aceros es que el principal componente (elemento que forma la aleación) es el hierro, al que se añade una pequeña cantidad de carbono.

(2) http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_inoxidable

El acero inoxidable fue inventado a principios del siglo XX cuando se descubrió que una pequeña cantidad de cromo (habitualmente un mínimo de 10%) añadido al acero común, le daba un aspecto brillante y lo hacía altamente resistente a la suciedad y a la oxidación. Esta resistencia a la oxidación, denominada «resistencia a la corrosión», es lo que hace al acero inoxidable diferente de otros tipos de acero.

El acero inoxidable es un material sólido y no un revestimiento especial aplicado al acero común para darle características "inoxidables". Aceros comunes, e incluso otros metales, son a menudo cubiertos o "bañados" con metales blancos como el cromo, níquel o zinc para proteger sus superficies o darles otras características superficiales. Mientras que estos baños tienen sus propias ventajas y son muy utilizados, el peligro radica en que la capa puede ser dañada o deteriorarse de algún modo, lo que anularía su efecto protector. La apariencia del acero inoxidable puede, sin embargo, variar y dependerá en la manera que esté fabricado y en su acabado superficial.

3.2.3 LUBRICACIÓN Y REFRIGERACIÓN. ⁽³⁾

Es importante tener en cuenta el uso de lubricantes o refrigerantes en el proceso de mecanizado, debido a que siempre habrá un exceso de calor por el rozamiento entre la herramienta de corte y la pieza a maquinarse.

En este caso el acero inoxidable es un material que en altas temperaturas de fricción puede llegar a cristalizarse y se podría perder material.

(3) <http://www.monografias.com/trabajos10/filu/filu.shtml>

Las funciones de los Lubricantes o refrigerantes son:

- Disminuir el rozamiento.
- Reducir el desgaste
- Evacuar el calor (refrigerar)
- Facilitar el lavado (detergencia) y la dispersancia de las impurezas.
- Minimizar la herrumbre y la corrosión que puede ocasionar el agua y los ácidos residuales.
- Transmitir potencia.
- Reducir la formación de depósitos duros (carbono, barnices, lacas, etc.)
- Sellar

Tablas de contenido de tipos y utilidad de lubricantes y refrigerantes en ANEXO 2.

3.3 INICIO DE LA CONSTRUCCIÓN.

Se inicio la construcción de acuerdo a planos presentados. El material en el que se va a trabajar será acero inoxidable 304.

Todas las especificaciones de tolerancias y acabados superficiales se encuentran en los planos anexos al final de este trabajo.

Por tablas podemos sacar la velocidad que se debe seleccionar en el torno para el mecanizado en el acero inoxidable 304. Hacemos uso de la ecuación 1.2:

$$V_c \text{ (m/minuto)} = \frac{N \text{ (rpm)} \times 3,14 \times \text{Diámetro (mm)}}{1000}$$

De donde:

V_c : velocidad de corte

N : frecuencia de rotación de la pieza a trabajar.

D : diámetro mayor de la superficie de corte en mm.

Basándose en la tabla, la V_c del acero inoxidable es 35m/min; se realizaran los cálculos respectivos de rotación de la pieza (N rpm) acorde al diámetro de cada pieza y ésta ira ligada a la frecuencia de rotación que nos provee la máquina seleccionada.

3.3.1 MECANIZADO DEL EJE MÉTRICO.

La primera pieza a maquinarse fue el eje métrico, se montó la barra de acero inoxidable de $\emptyset 12.7 \times 180$ mm (fig. 3.1), se centro la pieza y se niveló con la ayuda del reloj comparador (fig. 3.2), este instrumento será de gran ayuda a lo largo del proceso de maquinado, debido a que nos ayuda a ubicar la pieza con respecto al torno.

La V_c en este proceso será:

$$V_c = \frac{N \times 3.14 \times D}{1000}$$

De donde:

$$N = \frac{V_c \times 1000}{3.14 \times D} \text{rpm}$$

$$N = \frac{35 \times 1000}{3.14 \times 12.7} \text{rpm}$$

$$N = 877.67 \approx 878 \text{rpm}$$

Nota: por cálculos obtuvimos una V_c de $\approx 878 \text{rpm}$, nuestra máquina seleccionada posee velocidades de 32rpm hasta 1800rpm, pero en la práctica por experiencia técnica utilizamos las siguientes velocidades:

Para refrentar:	$V_c = 720 \text{rpm}$; $S = 0.25 \text{mm}$
Para desbastar:	$V_c = 570 \text{rpm}$; $S = 0.25 \text{mm}$
Para acabados:	$V_c = 900 \text{rpm}$; $S = 0.15 \text{mm}$



Figura 3.1



Figura 3.2

Se desbaste material hasta 5mm más del diámetro final (10mm, mayor diámetro) con cuchilla para exteriores de widia, se procedió a continuación a realizar el maquinado según planos (esta pieza tiene diferentes diámetros a su largo), en cada desbaste se comprobaba la cilindricidad con el reloj comparador y la dimensión de cada diámetro con el calibrador pie de rey.



Figura 3.3



figura 3.4

En el extremo del eje, con diámetro 5mm y largo de 15mm, tiene un roscado M5x0.8, con una cuchilla para roscado, se procedió a realizar este proceso, comprobando su exactitud con el cuentahilos.



Figura 3.4(a)



Figura 3.4(b)



Figura 3.4(c)



Figura 3.4(d)

Recordemos que esta pieza es muy importante en el funcionamiento del Molinete, en este eje van montados los rodamientos, con tolerancia según se indica en planos (ANEXO 1); el roscado es para la tuerca de seguridad que sujetara los rodamientos al eje.

En la parte del eje de mayor diámetro se tiene un ranurado cónico con una inclinación de 60° de aproximadamente 1.5mm de profundidad, y 6.5mm arriba de este una ranura recta de 1.4mm de ancho. (fig. 3.5)

Una vez hechos los trabajos externos en el eje, se procede a cortar la pieza a la distancia especificada en el plano (ANEXO 1). Se vuelve a colocar la pieza en el torno al lado contrario del roscado, se realiza una perforación de 5mm de diámetro y 50mm de profundidad. Y una perforación de 1.5mm diámetro y 9mm de profundidad a partir del anterior.



Figura 3.5. Eje métrico terminado.

3.3.2 MECANIZADO DEL ROTOR.

La siguiente pieza en fabricarse fue el “Rotor”, la mayoría del proceso efectuado fue hecho en el torno convencional.

Se empezó refrentando la barra de acero inoxidable de $\varnothing 38\text{mm} \times 140\text{mm}$, con la ayuda de una cuchilla de widia; por cálculos la frecuencia de rotación sería:

$$N = \frac{35 \times 1000}{3.14 \times 38}$$

$$N = 293.32\text{rpm} \approx 290\text{rpm}$$

Se mantienen las velocidades acorde al equipo utilizado para el mecanizado.

Para refrentar:	$V_c = 720\text{rpm}$; $S = 0.25\text{mm}$
Para desbistar:	$V_c = 570\text{rpm}$; $S = 0.25\text{mm}$
Para acabados:	$V_c = 900\text{rpm}$; $S = 0.15\text{mm}$

El siguiente procedimiento fue el desbaste a sobremedida, esta pieza posee dos tipos de cilindrado, tipo recto y cónico, se utilizó para esto una cuchilla para exteriores de widia.

A continuación se realizó un perforado con una broca de diámetro 9.5mm, y luego usamos una broca de 15.5mm para el agujero más grande, de acuerdo a planos. Con la ayuda de un escariador pulimos el agujero de 10mm una vez pasada la broca.

Con una cuchilla para interiores damos el acabado para el agujero de 16mm (fig. 3.5), este orificio tiene una tolerancia geométrica de 0.01, es de suma importancia ya que los rodamientos estarán dentro de éste.

Es recomendable realizar primero todos los agujeros antes del acabado final exterior.



Figura 3.5

Con la ayuda de una herramienta llamada “pasa no pasa” comprobamos la exactitud del agujero de 16mm (fig. 3.6), esta herramienta es de mucha utilidad, sirve para verificar agujeros, especialmente aquellos en donde van rodamientos.



Figura 3.6

Efectuamos como siguiente paso el acabado del cilindrado cónico, para esto se tiene como dato por planos que la inclinación del cono es de 7° , ubicamos la mesa giratoria o "charriot" a 7° en sentido anti horario del operador (fig. 3.7), y se procede al cilindrado cónico con una cuchilla para cilindrar de widia.



Figura 3.7

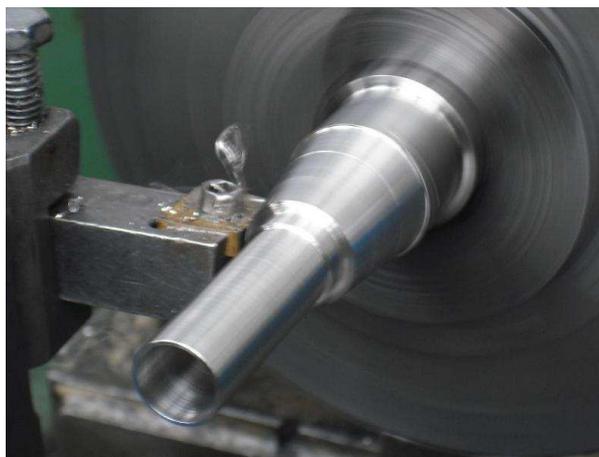


Figura 3.8. Cilindrado cónico

El trabajo en torno culmina con el roscado en el eje recto a 2mm del cónico, con un paso M19X0,75; esta rosca es de sujeción para la hélice, la rosca es estándar para el resto de hélices de la marca del equipo modelo, esto quiere decir que al equipo prototipo se pueden acoplar sin ningún problema. Por último con una cuchilla para tronzar cortamos el rotor prototipo (fig. 3.9).



Figura 3.8. Cuchilla para tronzar.

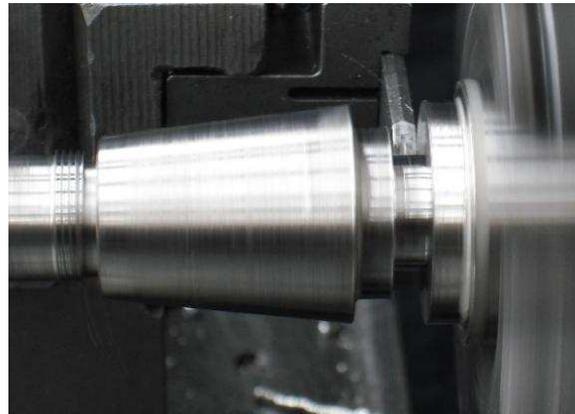


Figura 3.9. Tronzado del rotor.



Figura 3.10. Proceso de maquinado del rotor terminado en torno.

Para los detalles que tiene esta pieza pasamos a operar en una fresadora. En esta máquina se realizaron el fresado de muescas, con un divisor universal, fresa de radio 2mm; la perforación de un agujero de 5mm de diámetro y 19mm de profundidad en donde se ubicara el imán con una broca de centros de diámetro 5; y por último biselados y acabados generales.

Para el proceso de muecas se utiliza una fórmula que nos indica el número de vueltas que debe dar el divisor universal; tenemos como dato el número de divisiones y la constante $K=40$, el divisor utilizado tiene discos divisores con numeración: 17, 21, 23, y 27; así tenemos:

$$\#vueltas = \frac{40}{\#divisiones}$$

$$\#vueltas = \frac{40}{9} = 4\frac{4}{9}$$

$$\#vuel = 4\frac{4}{9} \times \frac{3}{3} = 4\frac{12}{27}$$

$$\#vueltas = 4\frac{12}{27} \equiv 4 \text{ vueltas, } 12 \text{ agujeros en el disco de } 27$$



Figura 3.11. Rotor terminado.

3.3.3 MECANIZADO DE CONTRAPESO.

El contrapeso es una pieza que consta de dos partes que a su vez serán acopladas luego de ser procesadas por separado.

Empezamos por el mecanizado del contrapeso o cabeza de contrapeso. El material es una barra de acero inoxidable de $\varnothing 38\text{mm} \times 100\text{mm}$; por cálculos obtenemos la frecuencia de rotación aproximada:

$$N = \frac{35 \times 1000}{3.14 \times 38}$$

$$N = 293.32\text{rpm} \approx 290\text{rpm}$$

En la práctica y por la maquinaria utilizada se mantienen las velocidades:

Para refrentar: $V_c = 720\text{rpm}$; $S = 0.25\text{mm}$

Para desbastar: $V_c = 570\text{rpm}$; $S = 0.25\text{mm}$

Para acabados: $V_c = 900\text{rpm}$; $S = 0.15\text{mm}$

Se inicio refrentando el eje con ayuda de una cuchilla para refrentar de widia; a continuación se realizó desbaste con sobremedida. El siguiente proceso fue el de perforación, se inicio con una broca de centros de $\varnothing 20$, enseguida se empezó el cilindrado interno con una cuchilla para interiores de widia, hasta obtener el diámetro interno del contrapeso que es de 33mm .

Una vez obtenido el $\varnothing 33$, se debe realizar un agujero interno de diámetro 12mm y tolerancia R7, este agujero será en donde ingrese el eje del contrapeso; usamos una broca de centros de $\varnothing 11$, siguiente se realiza el cilindrado interno hasta obtener el diámetro indicado y profundidad especificada en planos.

Una vez terminados los trabajos internos, se hacen los acabados externos; esta pieza tiene a su largo dos cilindrados, un recto y un cónico; con una cuchilla de widia para exteriores realizamos el cilindrado recto hasta obtener el $\varnothing 35$, a continuación se efectúa el cilindrado cónico, éste tiene una inclinación de 14° , ubicamos la mesa giratoria a 14° , y empezamos el cilindrado con la cuchilla de widia para exteriores de longitud especificada en planos.

Se gira la pieza para trabajar el radio en el extremo del cilindrado cónico, con una cuchilla para cilindrar se realiza este proceso. Se culmina el trabajo en torno para esta pieza (fig. 3.12a y 3.12b), el siguiente paso será en la fresadora en donde se realizarán las muescas en el cilindro recto.



Figura 3.11a. Contrapeso vista externa interna

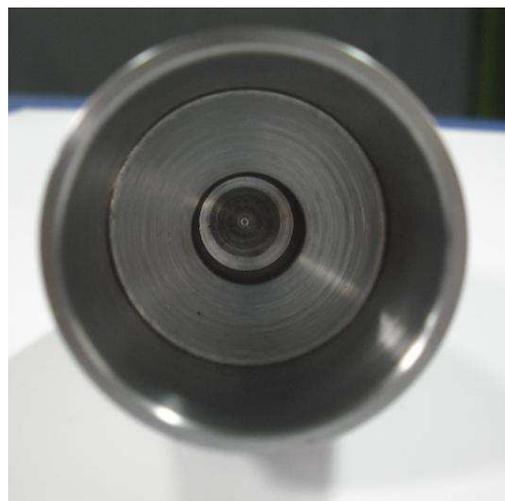


Figura 3.11b. Contrapeso vista externa

El mismo proceso que se realizó en el rotor para el mecanizado de las muescas, se efectuara lo mismo en el caso del contrapeso, se utilizó el mismo disco divisor; así tenemos:

$$\#vuel\text{tas} = \frac{40}{\#divisiones}$$

$$\#vuel\text{tas} = \frac{40}{12} = 3 \frac{4}{12}$$

$$\#vuel = 3 \frac{1}{3} \times \frac{7}{7} = 3 \frac{7}{21}$$

$$\#vuel\text{tas} = 3 \frac{7}{21} \equiv 3 \text{ vueltas, } 7 \text{ agujeros en el disco de } 21$$

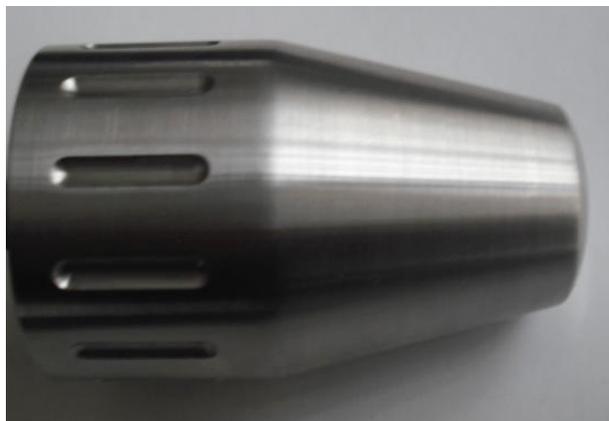


Figura 3.13. Contrapeso terminado.

3.3.4 MECANIZADO DEL EJE DE CONTRAPESO.

Empezamos montando el eje de acero inoxidable de $\varnothing 15 \times 110 \text{ mm}$ en el torno, el primer paso será refrentar el eje; realizamos los cálculos para tener como referencia un valor, pero teniendo en cuenta los valores que nos provee la

maquina seleccionaremos de acuerdo a experiencia técnica la frecuencia de rotación acorde al proceso.

$$N = \frac{Vc \times 1000}{3.14 \times D}$$

$$N = \frac{35 \times 1000}{3.14 \times 15}$$

$$N = 743 \approx 720$$

En la práctica se usaron los valores siguientes:

Para refrentar:	Vc = 720rpm; S = 0.25mm
Para desbastar:	Vc = 570rpm; S = 0.25mm
Para acabados:	Vc = 900rpm; S = 0.15mm

Esta pieza tiene cilindrados rectos, para empezar se realiza un desbaste a sobremedida, en los planos de procesos anexos al final se encuentra especificado el proceso paso a paso.

Se realiza el cilindrado del menor diámetro con cuchilla de widia según planos, a continuación de este se inicia el roscado externo con una cuchilla para roscar y el contrapunto para evitar cabeceos, la rosca es milimétrica M8x1.25. se verifica con la ayuda del cuentahilos si la rosca es la correcta durante el proceso. Se termina con el cilindrado final del eje.

Se da vuelta a la pieza y se trabaja el mecanizado de la parte que será empotrada al contrapeso, esta deberá tener un apriete máximo con respecto al agujero del contrapeso (fig. 3.14). Finalmente se tronza la pieza según planos.

Una vez terminada esta pieza, el siguiente paso será ingresar este eje en el contrapeso para así quedar un solo cuerpo (fig. 3.15 a y b).



Figura 3.14. Eje de contrapeso terminado.



Figura 3.15a. Contrapeso vista exterior.



Figura 3.15b. Contrapeso vista interior

3.3.5 MECANIZADO DE TOPE DE FONDO

Montamos en el torno la barra de acero inoxidable de dimensiones $\text{Ø}12.7 \times 112 \text{mm}$, empezamos refrentando el eje, siguiente paso es desvaste a sobremedida, con una broca de centros $\text{Ø}3$ realizamos una pequeña perforación que nos permita ubicar el contrapunto para realizar el roscado. Esta pieza tiene un roscado milimétrico M5x0.8, con una cuchilla de widia para roscar realizamos este proceso, una vez ubicado el paso respectivo en el torno.

Una vez realizado el paso anterior realizamos el cilindrado en el resto de la pieza, acabado final, biselados y por último el tronzado de la pieza. Se eliminan aristas vivas. (fig. 3.16)



Figura 3.16. Tope de fondo terminado.

Se mantienen los valores de la frecuencia de rotación de las anteriores operaciones, al momento de trabajar se varían las velocidades, esto depende del operador.

3.3.6 MECANIZADO DEL SEPARADOR.

El separador es la pieza que, como su nombre lo indica, separa a los rodamientos uno de otro, esta pieza es de aluminio, para trabajar esta pieza se escogió un eje de un material denominado “duraluminio” o aluminio prodax, es un material fácil de maquinar y no sufre de deformación por producto del calor de rozamiento de las cuchillas o brocas.

Se empezó montando el eje de duraluminio en el torno de dimensiones $\varnothing 15 \times 100 \text{mm}$.

Por cálculos tenemos la frecuencia de rotación:

Vc del aluminio es de 80

$$N = \frac{Vc \times 1000}{3.14 \times D}$$

$$N = \frac{80 \times 1000}{3.14 \times 19}$$

$$N = 1340.9 \approx 1140 \text{rpm}$$

En la práctica:

Para refrentar: Vc = 900rpm; S = 0.25mm

Para desbastar: Vc = 720rpm; S = 0.25mm

Para acabados: Vc = 1140rpm; S = 0.15mm

Se inicio el proceso refrentando la pieza, a continuación se empezó a desbastar a sobremedida. Se utilizó una broca de centros $\varnothing 11 \text{mm}$ para realizar el agujero que tiene este eje según planos, con una cuchilla de acero rápido para interiores realizamos el acabado del agujero de dimensión $\varnothing 13 \text{mm}$.

Para finalizar el proceso realizamos un biselado para eliminar aristas vivas, tronzamos la pieza a distancia según planos, viramos la pieza y realizamos el biselado al extremo tronzado.

En la figura 3.17a y 3.17b podemos observar la pieza acabada.



Figura 3.17a.



Figura 3.17b.

3.3.7 MECANIZADO DE LA TUERCA DE SEGURIDAD.

Se empieza montando el eje de duralumino de dimensiones $\text{Ø}15 \times 60 \text{mm}$; mantenemos los mismos datos de frecuencia de rotación del proceso en el separador.

Iniciamos refrentando el eje, el siguiente paso es desbaste a sobremedida. Se realiza a continuación una ranura de 3mm a 5mm y 6mm de los extremos respectivamente; con una broca de 5mm perforamos el eje según planos. Realizamos un roscado interno M5x0.8 con una cuchilla de acero rápido.

El siguiente paso es moletear una parte de la tuerca de seguridad con un moleteador de aristas planas. Para finalizar realizamos biselados y acabados finales.



Figura 3.18. tuerca de seguridad terminada

3.3.8 MECANIZADO DEL CUERPO.

El cuerpo es la parte más robusta de todo el Molinete, tiene diferentes y mecanizados acabados. Se trabajo en torno y fresadora, además tiene cortes por medio de electrohilo.

- El corte por medio de electrohilo, consiste en desbastar material por medio de electroerosión por un hilo conductor, que en este caso es de cobre. Las tasas de arranque de material con hilo están alrededor de los $350 \text{ cm}^3/\text{h}$.

El material de esta pieza es acero inoxidable, con dimensiones de $\text{Ø}38 \times 200 \text{ mm}$.

Por cálculos obtenemos el valor referencial de frecuencia de rotación:

$$N = \frac{35 \times 1000}{3.14 \times 38}$$

$$N = 293.32rpm \approx 290rpm$$

En la práctica los valores con los que se trabajó fueron:

Para refrentar: $V_c = 720rpm$; $S = 0.25mm$

Para desvastar: $V_c = 570rpm$; $S = 0.25mm$

Para acabados: $V_c = 900rpm$; $S = 0.15mm$

3.3.8.1 Mecanizado del Cuerpo en Torno.

Se inicio montando el eje al torno, a continuación se realizó el tronzado con una cuchilla de tronzar de widia. El siguiente proceso fue el desbaste con sobremedida; según planos el cuerpo tiene un cilindrado cónico de aproximadamente 12mm de largo con una inclinación de 8° , movemos la mesa giratoria a la posición de los grados indicados y procedemos a realizar este cilindraje cónico.

Perforamos con una broca de centros $\varnothing 11mm$ para dar el inicio al cilindraje interno; con una cuchilla de widia para interiores empezamos a cilindrar, según planos la parte interna del cilindro cónico, a su vez tiene un agujero interno de $\varnothing 10mm$, con una broca de 10mm perforamos a distancia que indica los planos (fig. 3.19). con una cuchilla para cilindrar de widia damos el acabado al eje.

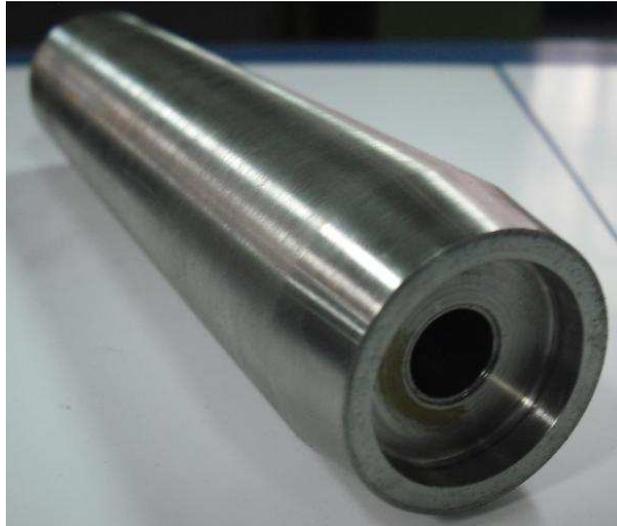


Figura 3.19.

Tronzamos a sobremedida el eje y damos la vuelta para trabajar en el extremo opuesto del paso anterior.



Figura 3.20.

Empezamos refrentando este lado del eje hasta la dimensión indicada en planos. En esta parte la pieza tiene un cilindrado de $\text{Ø}30\text{mm}$ (el mayor diámetro en esta pieza es de 35mm), con una cuchilla para cilindrar de widia realizamos el proceso hasta obtener el diámetro deseado (fig. 3.20).

El siguiente paso es perforar con una broca de $\text{Ø}6.5\text{mm}$ (fig. 3.21), pasamos un escariador para pulir este agujero; desmontamos el eje del torno, los siguientes procesos se realizaran en la fresadora



Figura 3.21

3.3.8.2 Mecanizado del Cuerpo en Fresadora.

Empezamos ubicando y centrando la pieza en la fresadora, utilizamos una fresadora tipo CN (control numérico), con ayuda de un buscador de borde óptico centramos el cuerpo en la mesa de la máquina (fig. 3.22). Una vez ubicada perfectamente la pieza, empezamos a maquinar; con una broca de centros señalamos los puntos en donde se harán las perforaciones según planos.

Una vez ubicados los puntos de perforación, empezamos por el agujero de mayor diámetro, 20mm, perforamos con una broca de widia $\text{Ø}11\text{mm}$ hasta traspasar el cuerpo (fig. 3.23), luego usamos una fresa de widia de $\text{Ø}18\text{mm}$ para perforar, y por último para obtener el agujero deseado perforamos con una fresa de $\text{Ø}20\text{mm}$, pulimos el agujero con la ayuda de un escariador $\text{Ø}20\text{mm}$.



Figura 3.22. Buscador de borde óptico.



Figura 3.23a. Perforación broca $\text{Ø}11\text{mm}$ Figura 3.23b. Perforación fresa $\text{Ø}18\text{mm}$



Figura 3.23c. perforación fresa Ø20mm



Figura 3.23d. Escariador Ø20mm

Realizamos el agujero de 18mm de diámetro de profundidad 4mm, y dentro de este un agujero de Ø10mm; estos agujeros son para entrada del plub positivo de conexión del Molinete.

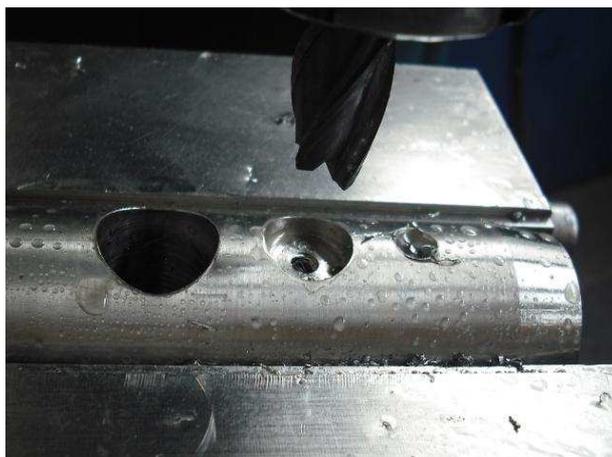


Figura 3.24. Perforación para agujero del terminal positivo del Molinete.

Para el siguiente agujero usamos una broca de $\text{Ø}11\text{mm}$ con una profundidad aproximada de 10mm; la función de este agujero es alojar al terminal negativo del Molinete, para esto se construirán piezas que sean el contacto del cuerpo al cual ira conectado el plub negativo del contador.

Los agujeros de mayor diámetro tienen un avellanado, para esto usamos un avellanador, realizamos el avellanado del lado expuesto (fig. 3.25a.), luego damos vuelta al cuerpo para avellanar el otro extremo del agujero de $\text{Ø}20\text{mm}$ (fig. 3.25b).

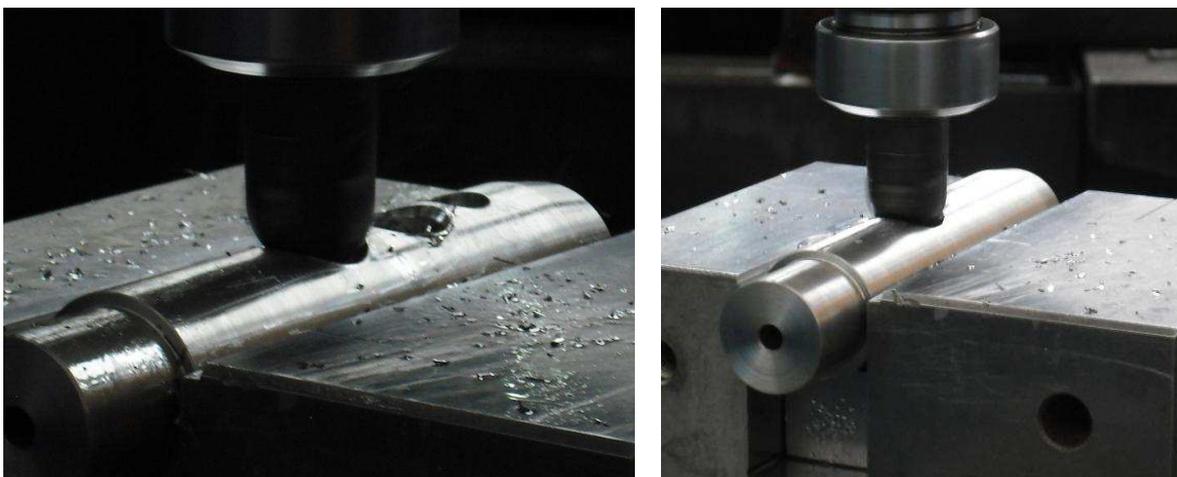


Figura 3.25a. Avellanado parte superior Figura 3.25b. Avellanado parte inferior.

En la parte inferior del cuerpo a un extremo del agujero de 20mm diámetro, se debe realizar una perforación para el roscado en donde ira el tope de fondo, con una broca de vidia de $\text{Ø}5\text{mm}$ perforamos a una profundidad de 15mm, a continuación realizamos el roscado milimétrico M5x0.8.

Desmontamos el cuerpo y cambiamos de maquinaria, ubicamos en una fresadora tipo CN, el cuerpo está sujeto en el disco colocado en la mesa de la fresadora (fig. 3.26), una vez centrado el cuerpo, con una fresa de 9mm de diámetro vamos

realizando la hendidura de 9mm de ancho y 22mm de profundidad (fig. 2.27), en sentido del eje Y.



Figura 3.26.



Figura 3.27

El siguiente paso fue el roscado del agujero de $\text{Ø}6.5\text{mm}$, con una cuchilla de widia para roscar se efectuó el roscado milimétrico M8x1.25.

El cuerpo tiene una hendidura de 4mm, vista desde la parte superior hasta la inferior, que empieza a 9mm del eje de $\text{Ø}35\text{mm}$ hasta el agujero de $\text{Ø}20\text{mm}$; este procedimiento se lo realizó en una empresa fuera del taller Don Bosco, debido a que la dimensión del corte no lo podía hacer ninguna maquina del taller, solo se podía realizar por medio de corte por electrohilo, el cual trata de desbastar material por medio de un hilo de cobre electrificado

Por este proceso se realizó además una placa de acero inoxidable de 2.5mm de espesor la cual va aprisionada en el terminal negativo del cuerpo, y sirve para sostener el conector positivo que ingresa al cuerpo.



Figura 3.28. Terminal negativo del cuerpo.

Para las partes constitutivas del terminal negativo se realizaron trabajos de desbaste, refrentado y cilindrado, lo más importante en esta parte es el mecanismo, son partes de acero inoxidable que hacen masa con todo el cuerpo, y en su interior posee un resorte que permite sujetar el conector que ingresara en el agujero que se indica en la figura 3.29.



Figura 3.29. Terminal negativo y partes constitutivas.

Para el terminal positivo se uso material denominado “duralon”, es una especie de polímero que sirve como aislante del acero inoxidable, este a su vez debe tener continuidad con el agujero interno del cuerpo, el mismo que también debe estar aislado, se uso también una pared de duralon para obtener este efecto (fig. 3.30a, 3.30b y 3.30c).



Figura 3.30a. Duralon con alma de acero inoxidable, terminal positivo.



figura 3.30b. Tornillo interno de Terminal positivo.



Figura 3.30c. Terminal interno positivo.

3.3.9. MECANIZADO DE LAS HÉLICES.

La elaboración de la hélice fue el mayor reto en la parte de construcción, se buscaron los métodos más apropiados en lo que a fabricación de hélices se refiere, escogiendo como principal procedimiento, la técnica de la fundición por moldeo en arena.

Así pues se realizaron varias pruebas en el Laboratorio de Fundiciones de la Escuela Politécnica Nacional, lastimosamente no se obtuvieron buenos resultados en los tres intentos de la fabricación, por esto, se optó por realizar este proceso en un taller especializado en fundiciones, en donde se alcanzó un resultado mucho más aceptable para el experimento.

3.3.9.1 Proceso de Fundición de la Hélice

La fundición por moldeo en arena, consiste en tomar la muestra del modelo en un molde de arena compactado entre las dos caras de la pieza, los pasos a seguirse para la fabricación de la hélice son las indicaciones descritas anteriormente en el numeral 1.7.3.1. Podemos relatar el procedimiento que se siguió de acuerdo a nuestro trabajo de la siguiente manera sin exceptuar las reglas indicadas:

- Para empezar se analizó la pieza a reproducirse, la perfección de curvatura en sus aspas, dimensión de diámetro entre aspas, entre otras características propias de la misma.
- Se seleccionó el molde, que consta de dos bases de madera, la una que funcionara como cope y la otra como draga.

- La arena usada en este proceso es arena de río, con aleaciones de arcilla y material carbonoso, en el cope se coloca una porción de arena para cubrir la base de la misma hasta una altura definida, a continuación se ubica la pieza en el centro de la caja y se cubre con arena la mitad de la hélice acorde como se indica en la figura 3.31, una vez formada esta parte se coloca la caja que hará de draga sobre el cope, quedando un solo cuerpo, se empieza a esparcir la arena sobre ésta (figura 3.32), para formar la otra mitad del molde a fundirse.



Figura 3.31. Cope



Figura 3.32. Proceso de moldeo.

- Mientras se realiza el proceso de cubrir de arena los moldes, se insertan unos tubos conductores, que serán retirados una vez compactada la arena, y servirán para formar el canal de entrada del material colado (figura 3.33), además se realizan agujeros aproximadamente de 2mm de diámetro como canal de desfogue para los gases emanados durante el proceso (figura 3.34).



Figura 3.33. Canales del colado



Figura 3.34. Agujeros de desfogue de gases.

- Una vez compactado el moldeo se procede a separar las dos cajas para retirar la pieza a producirse (figura 3.35), el éxito en esta etapa del trabajo es haber realizado una debida compactación de la arena y además que ésta sea de buena calidad para evitar posibles resquebrajamientos al momento de la separación. Una vez separadas tenemos el molde formado de la pieza (figura 3.36), se retira la hélice modelo y se procede a sellar las cajas de moldeo para a continuación verter el material fundido de aluminio.



Figura 3.35. Separación de las cajas de moldeo.



Figura 3.36. Moldeo de la hélice, $\varnothing 125\text{mm}$ y paso 250mm.

- Se deja enfriar el material y se extrae la pieza terminada; por este proceso se obtiene un acabado superficial muy áspero debido a la arena y a grietas formadas al momento de la solidificación de la colada. (figura 3.37).



Figura 3.37. Hélice fundida

- Las hélices fueron entregadas tal cual salieron de la fundición al taller “Don Bosco” (fig. 3.37), se pulieron manualmente, se realizó el agujero interno de $\varnothing 18\text{mm}$, el roscado con una cuchilla para roscar de acero rápido, M19x0.75 (fig. 3.38). obteniendo unas hélices terminadas con un acabado superficial aceptable para el experimento (figura 3.39).



Figura 3.38. Mecanizado de la hélice.



Figura 3.39. Hélices terminadas.

3.3.10 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.

Los rodamientos escogidos para este trabajo son rígidos de bolas no obturados de acero inoxidable, sus características propias las citamos en el cuadro 3.1, y su descripción física en la figura 3.40.

Dimensiones principales (mm)			Capacidades de Carga (kN)		Carga límite de fatiga	Velocidades (rpm)		Masa (Kg)	Designación
D	D	B	Dinámica (C)	Estática (Co)	Pu (kN)	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
8	16	4	1.33	0.57	0.024	90000	56000	0.0030	618/8

Cuadro 3.1

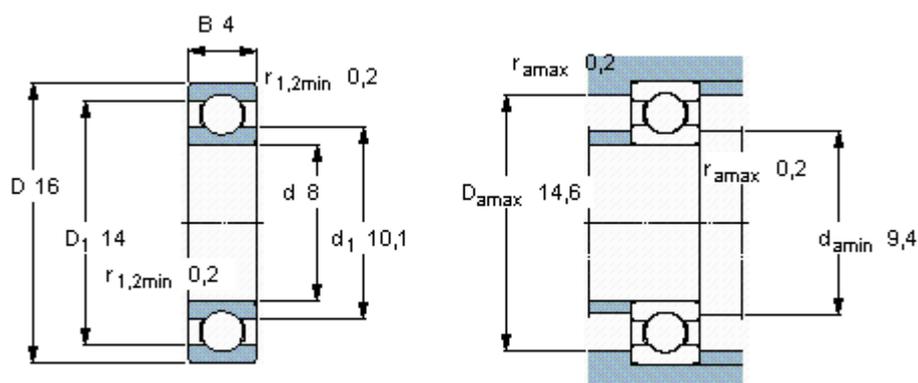


Figura 3.40

➤ Rodamientos de Bolas: ⁽⁴⁾

Es el conjunto de esferas que se encuentran unidas por un anillo interior y uno exterior, el rodamiento produce movimiento al objeto que se coloque sobre este y se mueve sobre el cual se apoya. Los rodamientos se denominan también cojinetes no hidrodinámicos. Teóricamente, estos cojinetes no necesitan de lubricación, ya que las bolas o rodillos ruedan sin deslizamiento dentro de una pista. Sin embargo, como la velocidad de giro del eje no es nunca constante, las pequeñas aceleraciones producidas por las fluctuaciones de la velocidad producen un deslizamiento relativo entre bola y pista.

(1) http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_inoxidable

Los objetivos de un lubricante para cojinetes de rodamiento o antifricción pueden resumirse como sigue:

- Formar una película de lubricante entre las superficies deslizante y rodante.
- Ayudar a distribuir y disipar el calor.
- Impedir la corrosión de las superficies del cojinete.
- Proteger las piezas contra la entrada de materias extrañas.

Los lubricantes utilizados son:

- Grasa.
- Aceite base o mineral.
- Espesantes o sustancias inorgánicas.
- Aditivos (para presiones altas y condiciones corrosivas)

3.4 FINALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN.

Así pues tenemos las piezas terminadas del Molinete, se realizaron los acabados superficiales de mayor calidad y acoples, aprietes juegos, acorde se indico en planos.

Se ha culminado con la construcción de piezas del prototipo, tratando de asemejarse lo mejor posible al equipo original.

Todos los planos finales y planos de procesos están en el ANEXO 1.



Figura 3.33. Molinete terminado.



Figura 3.34. Molinete terminado vista superior.

CAPITULO 4

SELECCIONAMIENTO DEL CONTADOR.

4.1 CONTADOR.

El equipo original tiene un contador electrónico de impulsos, el cual cuenta con gran variedad de opciones de manejo para receptar los impulsos generados por el equipo.

En nuestro caso experimental, se propuso en un inicio diseñar un contador electrónico que ejecute un conteo similar al contador del equipo modelo.

Se tomó una opción de contador con ayuda de un “micro plc” o también llamado Relé Lógico Programable, este equipo contiene gran cantidad de opciones de operación y en especial, para nuestro caso, contar impulsos eléctricos.

4.1.1 RELÉ LÓGICO PROGRAMABLE.

El relé escogido para este trabajo fue un SIEMENS LOGO!12/24RC (Fig. 4.1), el cual consta con un contador que se encuentra en el grupo de funciones de conectores del logo (Co)



Figura 4.1

4.2 QUE ES UN LOGO!

LOGO! Es el módulo lógico universal de Siemens; lleva integrados: control, unidad de mandos y visualización con retro iluminación, fuente de alimentación, interfaz para módulos de ampliación, interfaz para módulo de programación y cable para PC, funciones básicas habituales pre programadas, temporizador, marcas digitales y analógicas, entradas y salidas en función del modelo.

4.2.1 FUNCIONES DE LOGO!

LOGO! Tiene a disposición diferentes elementos en modo de programación. Estos se han distribuido en distintas listas para una mejor orientación las cuales especificamos a continuación:

Co: lista de los bornes (Connector)

GF: lista de las funciones básicas (AND, OR,...)

SF: lista de funciones especiales

BN: lista de bloques ya integrados y reutilizables en la conexión

Cada una de las distribuciones contiene un listado de elementos que son utilizados acorde al control que se desea programar.

Para conocer más acerca de cada una de las funciones del LOGO!, damos una breve explicación de funcionamiento de cada una de ellas a continuación.

4.2.1.1 Constantes y bornes. Co

Las constantes y los bornes (ingles: Connectors = Co), identifican entradas, salidas, marcas y niveles de tensión fijos (constantes):

4.2.1.1.1 Entradas:

- Entradas digitales:

- Entradas analógicas:

4.2.1.1.2 Salidas:

- Salidas digitales:

- Salidas analógicas:

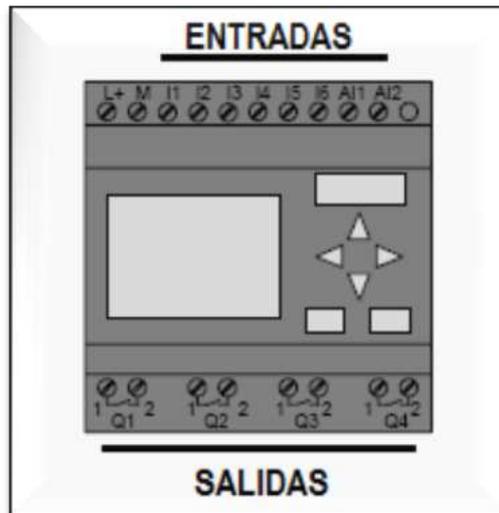


Figura 4.2

4.2.1.1.3 Marcas:

Las marcas se identifican con **M** o **AM**. Las marcas son salidas virtuales que poseen en su salida el mismo valor que hay aplicado a su entrada. En LOGO! Hay disponibles 24 marcas digitales M1,... M24, y 6 marcas analógicas AM1,... AM6.

4.2.1.1.4 Bits de registro de desplazamiento:

Puede utilizar los bits de registro de desplazamiento S1 hasta S8; en un programa, los bits de registro de desplazamiento sólo pueden modificarse con la función especial "Registro de desplazamiento".

4.2.1.1.5 Teclas de cursor:

Puede utilizarse 4 teclas de cursor: C ▲C ►C ▼C ◀. En un programa, las teclas de cursor se programan como el resto de entradas. El uso de las teclas de cursor permite ahorrar interruptores y entradas, y el acceso manual al programa.

4.2.1.1.6 Niveles:

Los niveles de tensión se identifican mediante **hi** y **lo**. Si un bloque debe llevar aplicado constantemente el estado 1 = hi, o el estado 0 = lo, se cablea su estado con el nivel fijo o el valor constante hi o lo.

4.2.1.1.7 Bornes abiertos.

Si no se utiliza una conexión de un bloque, puede identificarla con una **x**.

4.2.1.2 Lista de funciones básicas. GF

Las funciones básicas son elementos lógicos sencillos del álgebra de Boole. Al introducir un programa encontrará los bloques de funciones básicas en la lista GF. Existen las siguientes funciones:

- *AND (Y)*

- *AND con evaluación de flanco.*

- *NAND (Y negada).*

- *NAND con evaluación de flanco.*

- *OR (O).*

- *NOR (O negada).*

- *XOR (OR exclusiva).*

- *NOT (negación, inversor).*

4.2.1.3 Nociones básicas de las funciones especiales (SF).

Las funciones especiales se distinguen a primera vista de las funciones básicas en la denominación diferente de sus entradas. Las funciones especiales contienen funciones de tiempo, remanencia y diferentes posibilidades de parametrización para la adaptación del programa a sus necesidades.

A continuación exponemos una breve explicación de las designaciones de las entradas.

4.2.1.3.1 Designación de las entradas:

Entradas de vinculación:

- Set (S): a través de la entrada S puede poner la salida a 1.
- Reset (R): la entrada de reinicio R tiene preferencia ante todas las entradas restantes y pone las salidas a 0.
- Trigger (Trg): a través de esta entrada se inicia la ejecución de una función.
- Count (Cnt): a través de esta entrada se registran impulsos de contaje.
- Frequency (Fre): las señales de frecuencia a evaluar se crean en la entrada con esta designación.
- Direction (Dir): a través de esta entrada puede definir la dirección en la que por ejemplo debe contar un contador.
- Enable (En): esta entrada activa la función de un bloque. Si la entrada está a 0, se ignoran otras señales del bloque.

- Invert (Inv): la señal de salida del bloque se invierte si esta entrada se activa.
- Reset all (Ral): se reinician todos los valores internos.

Borne X en las entradas de las funciones especiales:

- Si activa las entradas de las funciones especiales con el borne X, éstas se ocupan con el valor 0. Es decir, en las entradas existe una señal low.

Entradas parametrizables:

En algunas entradas no se activa señal, sino que se parametriza el bloque con diferentes valores. Ejemplos:

- Parameter (Par): esta entrada no se conecta. Aquí se ajusta parámetros para el bloque (tiempos, umbrales de conexión/desconexión, etc.).
- Nocken (No): esta entrada no se conecta. Aquí se ajustan intervalos de tiempo.
- Priority (P): esta entrada no se conecta. Aquí se define las prioridades y decide si el aviso debe acusarse en RUN.

4.2.1.3.2 Comportamiento de tiempo

- Parámetro T: en algunas funciones especiales es posible parametrizar un valor de tiempo T. para predefinir el tiempo debe recordar que los valores que introduzca debe regirse por la base horaria ajustada:

Base de tiempo	__	:	__
s (seconds)	segundos	:	$\frac{1}{100}$ de segundo
m (minutes)	minutos	:	segundos
h (hours)	horas	:	minutos

Cuadro 4.1

4.2.1.3.3 Remanencia.

En funciones especiales existe la posibilidad de retener los estados de conexión y los valores de contaje de forma remanente. Esto significa que, por ejemplo en caso de fallo de red, los datos actuales permanecen guardados de modo que al activarse nuevamente la alimentación, la función continua en el punto en el que se interrumpió.

Un tiempo por ejemplo no se reinicia, sino que continúa hasta completar el tiempo restante. Pero para ello la remanencia debe estar activada en las funciones correspondientes.

4.2.1.4 Lista de funciones especiales (SF):

ANEXO 3.

4.3 PROGRAMACIÓN DEL CONTADOR.

El contador es una de las funciones especiales del relé lógico SIEMENS, la programación del circuito de mando interno en el logo se lo puede realizar con ayuda del programa LOGO! Soft Confort, o directamente por pantalla del relé.

4.3.1 PROGRAMACIÓN DEL CONTADOR POR MEDIO DEL PROGRAMA LOGO! SOFT CONFORT.

El programa LOGO! Soft Confort (fig. 4.3), es un software en el cual se encuentran todas las funciones con las que cuenta el relé lógico, es de gran ayuda debido a que es muy didáctico y fácil de programar. El programador debe tener en claro que tipo de control es el que se desee realizar y así utilizar las funciones necesarias, además conocer que rango de voltaje y corriente trabajara el sistema de control.

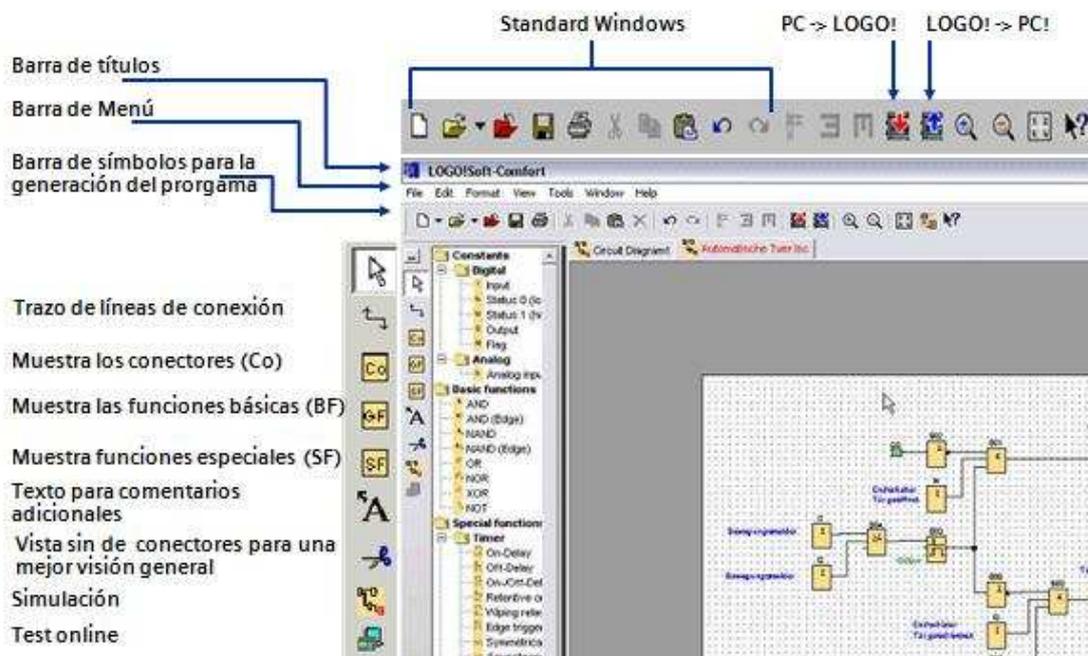


Figura 4.3

El software además cuenta con un menú de simulación, este punto es importante ya que nos permite ver si el circuito programado funciona acorde a lo requerido, caso contrario se van realizando cambios hasta obtener el trabajo de control exacto.

Esta fase es de mucha importancia para evitar posibles daños al momento de comandar la fuerza desde el relé lógico.

Para la programación del contador, en nuestro caso de estudio, se realizó un circuito básico de control, debido a que en funciones especiales se tiene una variedad de contadores y generadores de pulso prediseñados; en este caso no se va a comandar ningún tipo de fuerza, simplemente se quiere registrar el número de revoluciones que dará la hélice del molinete en un tiempo determinado.

La programación tendrá su base nada más en designar la entrada que activará al contador, definir el tiempo de conteo y registrar el valor en el tiempo determinado en memoria, además un pulsador de reinicio del proceso. (Diagrama de conexión en ANEXO 4).

Se usará para mayor visualización del proceso un Display LOGO! TD (fig. 4.4), deberán ser programados los cursores de este elemento en la misma programación del relé, ya que todo será comandado por medio de este display, debido a que todo el conexionado del micro PLC será interno para evitar indebidas manipulaciones.

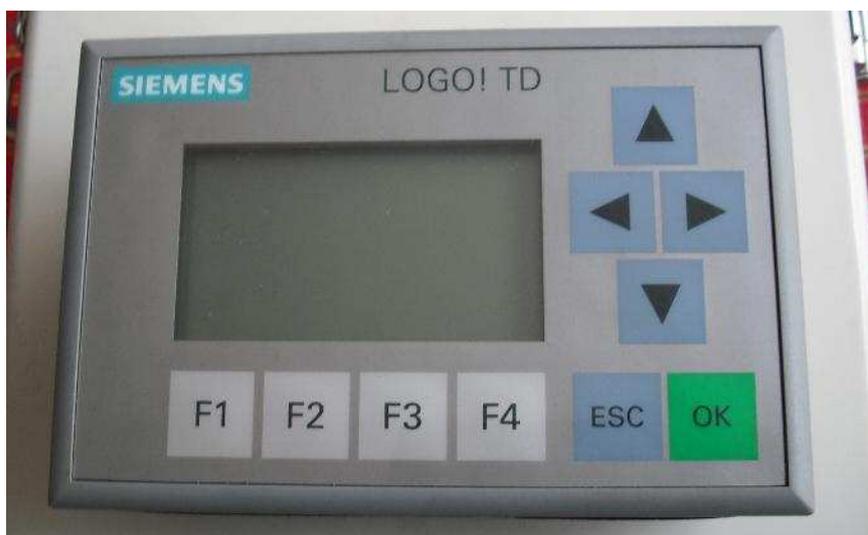


Figura 4.4

El display va unido al relé lógico por un cable especial de conexión. (fig. 4.15)

Una vez programado y simulado el proceso, se procede a cargar el programa al relé lógico por medio de un cable especial de SIEMENS (fig. 4.5), el terminal que va a la computadora es USB y el terminal que va al micro PLC es un conector especial como podemos observar en la figura 4.6.



Figura 4.5. Cable de conexión entre el Logo y la PC.



Figura 4.6. Conexión entre Logo y la PC

Se puede cargar el programa de la PC al Relé o viceversa, del Relé a la PC, este icono se tiene en la pantalla del software LOGO! Soft Comfort.

4.3.2 PROGRAMACIÓN DEL CONTADOR POR PANTALLA DEL RELÉ LÓGICO.

La programación por pantalla es de gran ayuda especialmente cuando el PLC está ubicado en el campo y no se tiene acceso a una PC para realizar la programación y mucho más cuando el cable de conexión no está a la mano del operador. En estos casos es importante saber programar por pantalla.

Hay que tener muy claro la secuencia de programación para evitar errores de control.

Se empieza por la salida y de aquí se irán formando bloques que serán designados por la letra B(Block) y el número respectivo de bloque. Para pasar de paso en paso en la programación se presiona la tecla "OK" y para regresar de una función a otra se presiona la tecla "ESC", con la ayuda de los cursores nos desplazamos de arriba hacia abajo o de adelante hacia atrás o viceversa. (fig. 4.7)



Figura 4.7

4.4 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE LA CAJA DE CONTROL

El relé lógico y el LOGO! TD, funcionan con 12/24V DC, por tal razón usamos una batería de 12V, 1.3Ah; para el cableado físico nos ayudaremos con una bornera en donde se conectarán los terminales positivo y negativo de la batería y desde aquí se alimentará a los elementos respectivos.

El cable a usarse para conexión será de 18AWG, cuya capacidad es de 7A, tipo FXT, utilizado en tableros de control y circuitos de señalización. Al ser un cable flexible compuesto por 16 hilos, permite una fácil manipulación en la caja de control. Todo el circuito está protegido por un fusible de 1A.

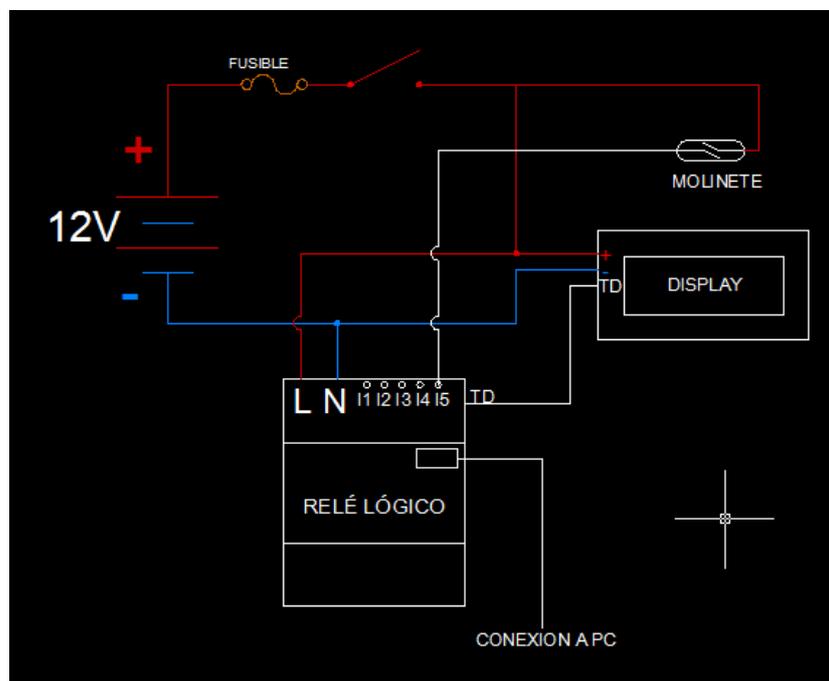


Figura 4.8. Diagrama de conexión provisional.

4.5 CONEXIÓN DE PARTES.

Todas las partes constitutivas del llamado “Contador del Molinete”, deben estar aisladas del agua, humedad y polvo.

Se ha escogido para el montaje una caja de plástico ABS (fig. 4.9), resistente al impacto (golpes), y con un grado de protección IP66 (fig. 4.10). Seguros en apertura y cierre, robusta y amplia para el montaje de los elementos necesarios en este trabajo, sus dimensiones son de 200mm de ancho, 300mm de largo y 150mm de espesor.



Figura 4.9



figura 4.10



Figura 4.11

La caja de montaje tiene una placa de aluminio de base, en la cual se realizará el montaje de partes constitutivas del contador, a la misma se acoplaron cuatro barras de acero inoxidable en cada esquina de la placa (fig. 4.12).

Las barras son de 1/2plg de diámetro y 106mm de largo, en un extremo tienen un roscado externo de M5x1.25 y en su otro extremo un roscado interno de M5x1.25; la utilidad de estas barras será la de sostener una placa de aluminio situada de la base a 97mm de alto, en esta placa irán ubicados los terminales de conexión del Molinete, el switch de encendido, fusible y el display Logo! TD (fig. 4.13).

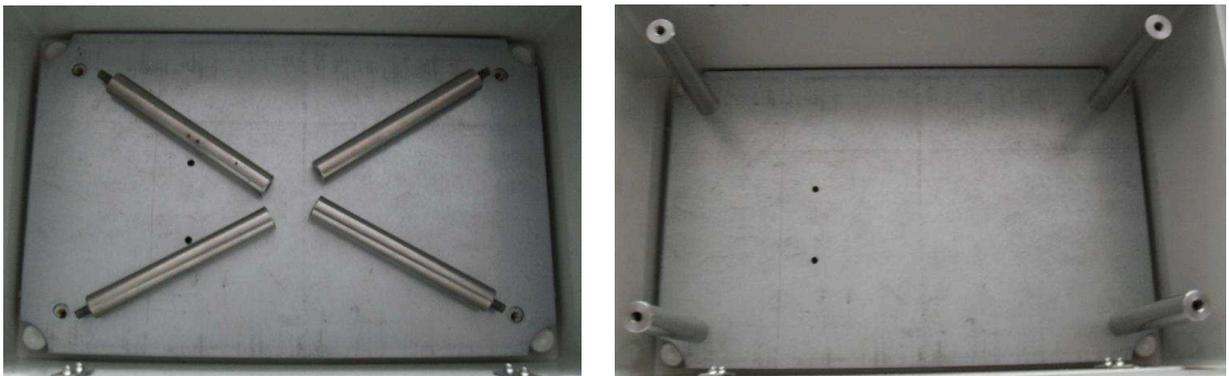


Figura 4.12. Placa base con cuatro barras soporte.



Figura 4.13. Placa superior externa.

En la placa base estarán ubicados los elementos de control como son el relé lógico, LOGO! Siemens, una batería de 12V-1.3A que será la alimentación tanto para el relé como para el Display LOGO! TD; y una regleta para mayor facilidad de conexión.

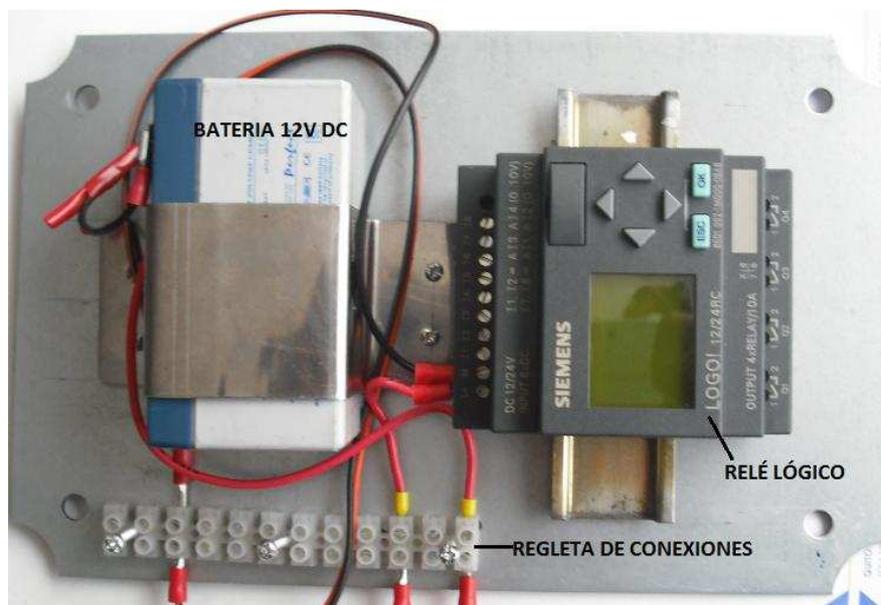


Figura 4.14. Conexión en placa base.

Recordemos que para la programación del relé lógico se puede realizar por medio de un programa por computador o se puede realizar la programación directamente por pantalla del Logo!, en cualquiera de los dos caso se necesita un cable de conexión para pasar los datos de la PC al relé o viceversa (fig. 4.6), de cualquier forma el control se efectuara directamente desde el Logo ubicado en la caja.

Está claro que el comando se realizara desde el relé lógico, pero la visualización se efectuará por medio del display LOGO! TD, este dispositivo funciona a 12V-24V DC, y estará conectado al relé por medio de un cable especial propio de SIEMENS (fig. 4.15), los datos de la programación serán trasladados y visualizados en la pantalla del LOGO! TD, previamente establecidos en el software LOGO! Soft Comfort.

La conexión de estos dos dispositivos, el de control que es el Relé Lógico y el de visualización que es el LOGO! TD (fig. 4.16), será una conexión permanente dentro de la caja del contador.



Figura 4.15. Cable de conexión entre el Relé y el Display.



Figura 4.16. Conexión entre el Relé y Display.

El display es un dispositivo hecho para tener una mejor visualización del proceso, en nuestro caso es de suma importancia para poder observar el número de pulsaciones que registrara por cada vuelta de la hélice, además podemos observar el tiempo de operación del contador, que estará previamente programado.

El display cuenta con cuatro teclas de funciones, F1 F2 F3 F4, cuatro teclas de direccionamiento similares a las del Relé, la tecla de ESC para retroceder de alguna orden o función, y la tecla OK para aceptar la función (fig. 4.17).

En la programación se ha designado la tecla F1 para inicio de conteo, la tecla F2 para resetear el comando y empezar un nuevo conteo.

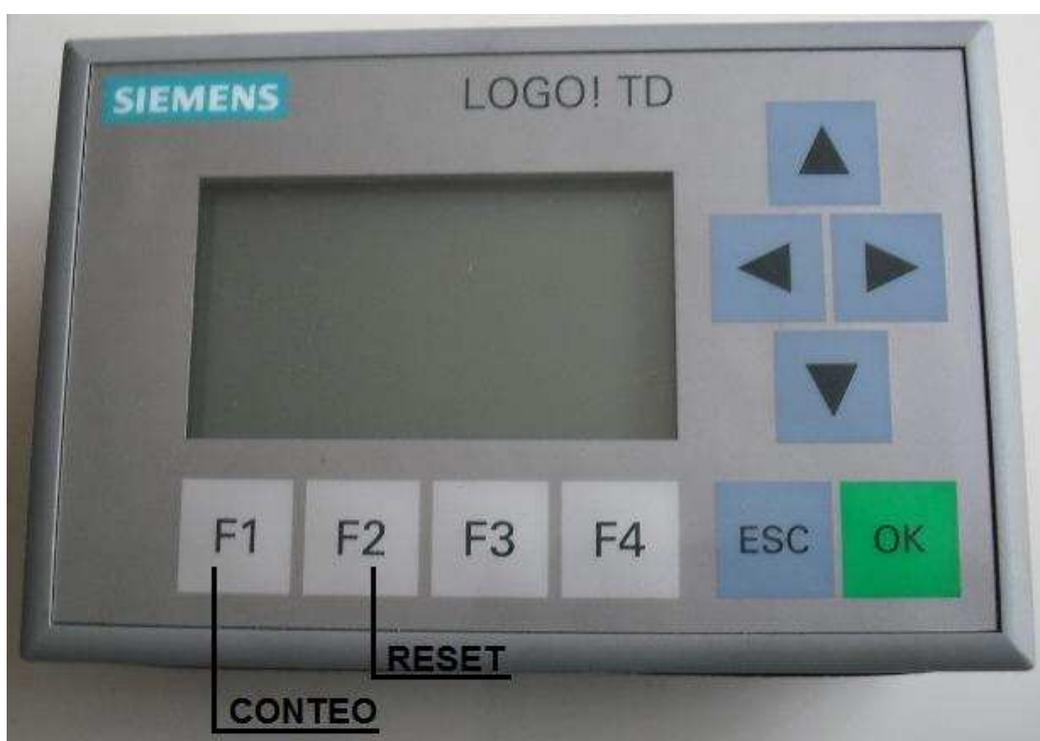


Figura 4.17. Designación de funciones.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS DEL PROTOTIPO.

5.1. PRUEBAS ESTÁTICAS.

Una vez terminado el proceso de construcción, el equipo tuvo que someterse a pruebas básicas de muestreo de operación, nos referimos a básicas debido a que las pruebas realizadas no necesitaron de instrumentos sofisticados o estudios forzados con ecuaciones o equipamiento de laboratorio, más bien la comprobación se basó en realizar una interrelación entre el instrumento de medida original y el equipo prototipo construido, y una evaluación empírica de algunos usuarios del equipo.

5.1.1 RELACIÓN DE PESO.

La primera prueba de comparación realizada fue la del peso total entre los dos equipos, original y prototipo, para tal hecho se requirió nada más que de una balanza electrónica del laboratorio de aguas de INAMHI, consistió en poner las partes de cada uno e ir comparando su peso, al final se ubico el cuerpo completo por separado y relacionar las medidas en peso.

El resultado fue el siguiente:

Peso de Molinete SEBA:	1398 gramos
Peso de Molinete Prototipo:	1400 gramos

Considerando que el material de fabricación es acero inoxidable en ambos casos, el molinete de fabricación nacional indica ser ligeramente más pesado.

5.1.2 ROTACIÓN Y ROZAMIENTO.

La rotación de la hélice debe tener una baja fricción, esto depende de los rodamientos, de la lubricación interna y también del juego interno entre el eje, el rotor y los rodamientos.

La prueba a realizarse para comprobar si la rotación es correcta se denomina “golpe seco”, esta prueba consiste en dar un golpe con la mano (fig. 5.1), a fuerza humana, en una de las aspas de la hélice. La hélice debe mantenerse girando con rotación aparentemente constante por aproximadamente 30 segundos, y luego de este tiempo ir bajando su velocidad de rotación hasta detenerse, en un tiempo promedio total de 45 segundos.



Figura 5.1. Prueba de golpe seco en Molinete Prototipo.

Es una prueba sencilla que los usuarios del equipo recomiendan para verificar que el rozamiento de los rodamientos es casi nulo (criterio empírico). Es de importancia que esto ocurra ya que la sensibilidad de movimiento de la hélice está calibrada para el empuje de la corriente de agua en ríos.

En la siguiente tabla se puede observar los datos tomados en esta prueba, como referenciales, con el Molinete original:

MOLINETE SEBA		
N° DE MEDICIONES	TIEMPO Rot.Cte.	TIEMPO total PARADA
1	26 segundos	40 segundos
2	27 segundos	42 segundos
3	31 segundos	48 segundos
PROMEDIO	28 segundos	43 segundos

Cuadro 5.1. Prueba de golpe seco en Molinete original.

MOLINETE PROTOTIPO		
N° DE MEDICIONES	TIEMPO Rot.Cte.	TIEMPO total PARADA
1	23 segundos	35 segundos
2	25 segundos	39 segundos
3	28 segundos	42 segundos
PROMEDIO	25 segundos	38 segundos

Cuadro 5.2. Prueba de golpe seco en Molinete prototipo.

A más de verificar la parte de rozamiento, esta prueba va ligada a un detalle de movimiento de la hélice al final del giro, para verificar el correcto balanceo de la misma, se trata de que al llegar al punto de parada de rotación la hélice regrese en sentido contrario al giro por lo menos $\frac{1}{2}$ vuelta.

Resultando lo siguiente:

- Al final del giro, la hélice montada en el molinete original, acostumbra a girar en sentido contrario una media revolución.

De igual forma con el Molinete prototipo:

- Al final del giro, la hélice original montada en el molinete prototipo, no gira en sentido contrario como lo esperado.

Se llegó a la conclusión de que el motivo del fallo en el Molinete prototipo se debe a que el rotor prototipo en su agujero de $\varnothing 16$, en donde ingresan los rodamientos, no tiene una pequeña grada en su interior, esto podría estar provocando un freno en el rodamiento al momento del giro.

5.1.3 GENERACIÓN DE PULSOS ELÉCTRICOS.

Se verifica la activación del elemento reed-switch ante la presencia del campo magnético del imán montado sobre el rotor, mediante un medidor de continuidad (multímetro).

5.2. PRUEBAS DINÁMICAS.

5.2.1. MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE AGUA

5.2.1.1 Laboratorio de pruebas:

Centro de Investigación y Estudios de Recursos Hídricos (CIERHI).

Se utilizó el canal de pruebas de tarado, con vertedero triangular estandarizado de 90° . (fig. 5.2 y 5.3)

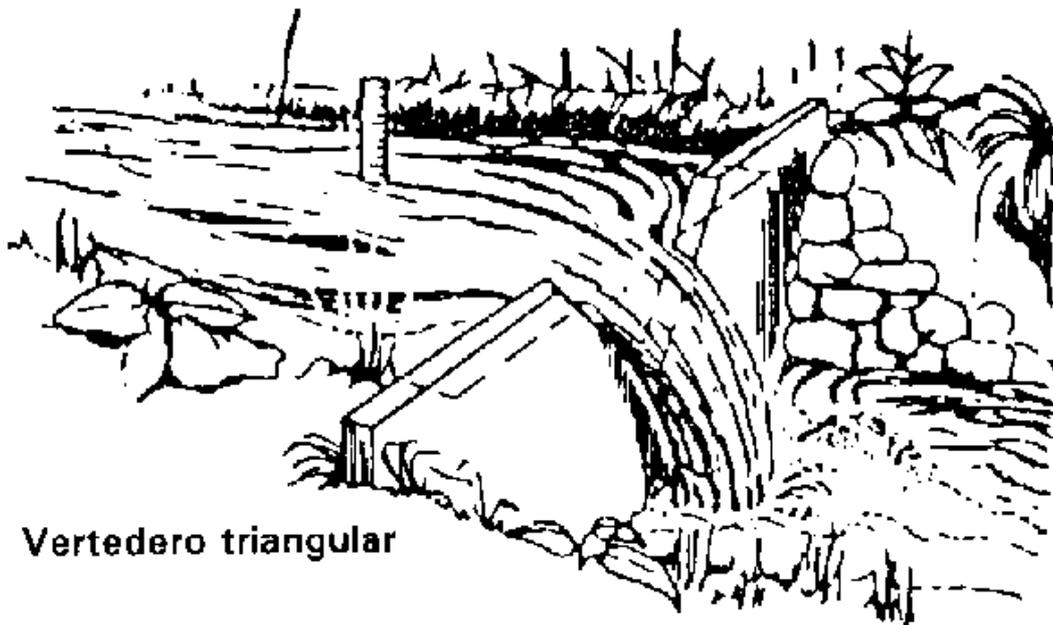


Figura 5.2. Esquema del vertedero triangular de 90°



Figura 5.3. Vertedero triangular estandarizado de 90° del CIERHI.

5.2.1.2 Montaje del prototipo:

Se utiliza una barra de montaje de 20 mm de diámetro, tal como se observa en la figura 5.4. La barra dispone de una camisa corredera que permite la fijación del molinete prototipo a diferentes alturas respecto del fondo de la barra, es decir, permite la ubicación de instrumento a diferentes profundidades en el canal de pruebas.

Para efecto de la prueba se ha escogido la hélice de 80 mm de diámetro y 125 mm de paso. (fig.5.5), puesto que sus condiciones físicas se encuentran en mejor estado que la hélice de 125 mm de diámetro y 250 mm de paso y su modelo construido (fig. 5.6. a y b), pese a esto de igual forma se realizaron las pruebas respectivas de funcionamiento y relación entre la hélice original y el modelo construido.

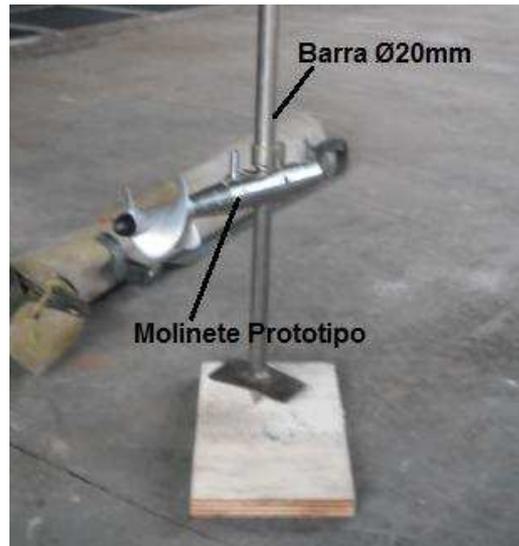


Figura 5.4. Molinete Prototipo montado en barra de $\text{Ø}20\text{mm}$.



Figura 5.5. Hélice $\text{Ø}80\text{mm}$ paso 125mm , utilizada durante las pruebas.



Figura 5.6 a. Hélice construida Figura 5.6 b. Hélice original
Diámetro 125 m y paso 250mm

5.2.1.3 Conexión del prototipo:

Se conecta el cable de señal entre el molinete prototipo y el contador de pulsos.

➤ Condiciones iniciales:

El canal de pruebas dispone de dos limnímetros. El primero se ubica en el tanque de salida del vertedero triangular; y el segundo, en el sitio de prueba del molinete prototipo (fig. 5.7).



Figura 5.7. Limnómetro ubicado en el canal de pruebas.

Cada limnómetro tiene un valor de cero marcado como referencia, así podemos explicar:

Para el limnómetro ubicado a la salida del vertedero el valor es de 14.9cm, este indica el valor del caudal de salida en litros/segundo; al valor de lectura se resta los 14.9cm, y a su vez este resultado transformando la unidad a metros ubicamos en tablas conjuntas al limnómetro, el valor respectivo de caudal.

Para el limnómetro situado en el canal de pruebas el valor de cero es de 2.45cm. Al valor de lectura se le debe restar este valor dando así el resultado de la altura (h) de nivel del agua en el canal.

5.2.1.4 Procedimiento general para la prueba del molinete prototipo con hélice Ø80mm y paso 125mm:

- a) Una vez encendidas las bombas, el agua inicia su circulación y es arrojada hacia el canal desde el vertedero.

- b) Se observa la lectura del primer limnómetro una vez que el caudal del vertedero se encuentra estable. Se registra esta observación y se ubica su valor en las tablas existentes junto al limnómetro (ANEXO 6); en éstas se encuentra ya tabulado el valor del caudal de salida del vertedero.

- c) Se calcula y registra el nivel del agua sobre el canal de prueba (fig. 5.8), mediante la diferencia entre la altura total del canal y la lectura del segundo limnómetro. (el nivel de referencia cero del segundo limnómetro es de 2.45cm). Esta altura corresponde a la altura de calado, "h" (es decir, el nivel del agua sobre el canal).



Figura 5.8. Toma de medida del nivel del agua con respecto a la base del canal.

- d) Se establece los niveles (profundidades) a los que se ubicará el molinete prototipo conforme la recomendación de estandarización, y que se refiere a 0.2h, 0.4h y 0.8h.
- e) Se coloca el molinete prototipo a 0.8h desde la base de la barra.
- f) Se introduce el instrumento de medición (molinete) en el centro del canal de prueba (fig. 5.9), aproximadamente, controlando que la barra se encuentre completamente vertical sobre el canal, y que el molinete esté paralelo y en contraflujo a la corriente de agua, es decir, con la hélice como punto de impacto del agua.



Figura 5.9. Ingreso del molinete suspendido por barra de $\varnothing 20\text{mm}$

- g) Se enciende el contador (fig. 5.10), y se inicia la cuenta del número de pulsos (n_1) que arroja el instrumento durante 30 segundos continuos.



Figura 5.10. Registro de las pulsaciones emitidas por el molinete en el contador.

- h) Se anota la lectura y se realiza por segunda vez la cuenta de pulsos (n2) por otros 30 segundos.

- i) Se registra la lectura y se procede con una última cuenta de pulsos (n3) por otros adicionales 30 segundos. Si es necesario y si se observa fuera de tendencia alguna de las cuentas totales registradas, se puede proceder a realizar cuentas adicionales de pulsos por el mismo período cada una.

- j) Se modifica la altura de montaje del molinete prototipo y se establece en 0.4h y posteriormente en 0.2h. Se inicia el procedimiento nuevamente a partir del literal f).

- k) Una vez culminado el registro de cuentas para el caudal actual, se registra nuevamente el nivel indicado en el primer limnómetro.

- l) Se incrementa el caudal sobre el vertedero y el canal;

- m) Se procede de igual forma a partir de lo indicado en el literal b).

5.2.1.5 Prueba de funcionamiento con hélice de Ø125 mm y 250 mm de paso, original y modelo construido.

Se siguió el mismo procedimiento que se indica en los literales 5.2.1.3 y 5.2.1.4 anteriormente descritos.

Con esta prueba realizaremos una comparación de datos, una vez calculados luego de realizar el aforo en el canal de pruebas, para verificar el error existente entre la hélice original marca SEBA y la réplica construida.

A simple vista el modelo construido (fig. 5.11 b) posee porosidades que podrían alterar la medición en las pruebas; la hélice original (fig. 5.11 a) ha sufrido también golpes por efecto de aforos realizados en el campo, y también en el proceso de la toma del modelo para la fundición de la hélice prototipo.



Figura 5.11 a. Hélice SEBA



Figura 5.11 b. Hélice construida

Los datos de caudal suministrado por el canal varían en relación a la primera prueba con la hélice de $\varnothing 80$ mm, se realizaron de igual forma la toma de medidas a dos caudales diferentes en tres puntos de altura, descritos anteriormente, en relación a la altura de calado.

El proceso fue igual tanto para la hélice original como para la construida, a las mismas alturas y con el mismo caudal, para así realizar la interrelación de valores.

Los datos iniciales y finales de cada prueba se encuentran descritos en las siguientes tablas.

5.2.1.6 Resultados de la medición de velocidad de agua con las diferentes hélices.

A continuación se tabula los resultados obtenidos para dos diferentes tipos de caudales generados en el canal de pruebas conforme el procedimiento indicado en el numeral anterior.

En el cuadro 5.5 y 5.6, se tienen tabulados los datos referentes a los valores de altura de medición (h) en centímetros, tres puntos para cada prueba (0,8h, 0,6h y 0,2h); el registro del número de pulsaciones en un periodo de 30 segundos; y el cálculo de la velocidad usando la ecuación predeterminada de la hélice utilizada:

Para: $0.58 < n < 3.53$

Utilizamos la ecuación:

$$V = 2.26 + 13.51 \times n$$

Ecuación 5.1. Ecuación de la velocidad de una hélice Ø80mm paso 125mm.

De donde:

V : Velocidad en cm/segundo

n : número de rotaciones por periodo de rotación.

En tablas se tiene el valor calculado del área, velocidad media y caudal medio. Los valores referenciales de caudal suministrado por el canal se encuentran tabulados en las tablas 5.3 y 5.4 respectivamente.

Los datos de calibración de las hélices y sus ecuaciones para el cálculo de la velocidad se encuentran en el ANEXO 5.

PRIMERA PRUEBA				
Lectura inicial	Limnómetro 1	Nivel de enceramiento	Diferencia	Caudal tabulado (lts/seg)
		46,95	14,9	32,05
Lectura final	Limnómetro 1	Nivel de enceramiento	Diferencia	Caudal tabulado (lts/seg)
		46,87	14,9	31,97

Cuadro 5.3. Datos referenciales de caudal y nivel de agua provistos por el limnómetro del vertedero. Prueba 1 Hélice Ø80mm paso 125mm.

SEGUNDA PRUEBA				
Lectura inicial	Limnómetro 1	Nivel de enceramiento	Diferencia	Caudal tabulado (lts/seg)
		56,93	14,9	42,03
Lectura final	Limnómetro 1	Nivel de enceramiento	Diferencia	Caudal tabulado (lts/seg)
		56,76	14,9	41,86

Cuadro 5.4. Datos referenciales de caudal y nivel de agua provistos por el limnómetro del vertedero. Prueba 2 Hélice Ø80mm paso 125mm.

5.2.1.6.1 Datos registrados en las prueba con Hélice Ø80mm y paso 125mm.

PRUEBA 1

Tiempo de conteo:	30	segundos						
Limnómetro 2	Cm	n1	n2	n3	n media	Revoluciones por segundo	Velocidad (cm/seg)	
H	27,72					n / tiempo cont.		
0.8h	22,176	68	70	74	70,6667	2,3556	34,0836	
0.6h	16,632	60	65	61	62,0000	2,0667	30,1807	
0.2h	5,544	57	55	57	56,3333	1,8778	27,6288	
						Velocidad media (cm/seg)	30,6310	
Area (cm2):		2772		Caudal medio (lt/seg)		84,9091		

Cuadro 5.5. Datos registrados en la primera prueba con Hélice Ø80mm y paso 125mm.

PRUEBA 2

Tiempo de conteo:	30	Segundos						
Limnómetro 2	Cm	n1	n2	n3	n media	Revoluciones por segundo	Velocidad (cm/seg)	
H	34,04					n / tiempo cont.		
0.8h	27,232	113	108	112	111,000	3,7000	52,1930	
0.6h	20,424	102	101	103	102,000	3,4000	48,1940	
0.2h	6,808	98	95	97	72,5000	2,4167	34,9092	
						Velocidad media (cm/seg)	45,0987	
Area (cm2):		3404		Velocidad media (lt/seg)		153,5160		

Cuadro 5.6. Datos registrados en la segunda prueba con Hélice Ø80mm y paso 125mm

PRIMERA PRUEBA				
	Limnómetro 1	Nivel de enceramiento	Diferencia	Caudal tabulado (lts/seg)
Lectura inicial	48,4	14,9	33,5	89,772
Lectura final	48,4	14,9	33,5	89,772

Cuadro 5.7. Datos referenciales de caudal y nivel de agua provistos por el limnómetro del vertedero. Prueba 1 con Hélice Ø125mm paso 250 mm.

SEGUNDA PRUEBA				
	Limnómetro 1	Nivel de enceramiento	Diferencia	Caudal tabulado (lts/seg)
Lectura inicial	61,3	14,9	46,4	202,8241
Lectura final	61,3	14,9	46,4	202,8241

Cuadro 5.8. Datos referenciales de caudal y nivel de agua provistos por el limnómetro del vertedero. Prueba 2 con Hélice Ø125mm paso 250 mm.

5.2.1.6.2 Datos de la prueba 1 con Hélice SEBA y Hélice construida Ø125mm y paso 250mm.

Para: $0.00 < n < 1.34$

Utilizamos la ecuación:

$$V = 0.58 + 25.69 \times n$$

Ecuación 5.2. Ecuación de la velocidad de una hélice Ø125mm y paso 250mm.

De donde:

V: Velocidad en cm/segundo

n: número de rotaciones por periodo de rotación.

PRUEBA 1

Tiempo de conteo:	30	segundos					
Limnómetro 2	Cm	n1	n2	n3	n media	Revoluciones por segundo	Velocidad (cm/seg)
H	41,34					n / tiempo cont.	
0.8h	33.072	29	28	27	28,000	0.933	24,5487
0.6h	24,804	26	26	27	26,333	0.878	23,1358
0.2h	8,268	24	26	26	25,333	0.844	22.2624
						Velocidad media (cm/seg)	23,3156
		Area (cm ²):	4134			Caudal medio (lt/seg)	96,3867

Cuadro 5.9. Datos registrados en la primera prueba con Hélice SEBA Ø125mm paso 250mm.

PRUEBA 1

Tiempo de conteo:	30	segundos						
Limnómetro 2	Cm	n1	n2	n3	n media	Revoluciones por segundo	Velocidad (cm/seg)	
H	41,34					n / tiempo cont.		
0.8h	33.072	29	28	28	28,333	0.944	24,8314	
0.6h	24,804	28	26	26	26,667	0.889	23,4184	
0.2h	8,268	27	26	25	26.000	0.867	22.8532	
						Velocidad media (cm/seg)	23,7010	
					Area (cm ²):	4134	Caudal medio (lt/seg)	97,9799

Cuadro 5.10. Datos registrados en la primera prueba con Hélice construida

5.2.1.6.3 Datos de la prueba 2 con Hélice SEBA Ø125mm y paso 250mm y Hélice construida.

Para: $1.34 < n < 3.95$

Utilizamos la ecuación:

$$V = 1.68 + 24.87 \times n$$

Ecuación 5.3. Ecuación de la velocidad de una hélice Ø125mm y paso 250mm.

PRUEBA 2

Tiempo de conteo:	30	Segundos					
Limnómetro 2	Cm	n1	n2	n3	n media	Revoluciones por segundo	Velocidad (cm/seg)
H	50,18					n / tiempo cont.	
0.8h	40,144	53	51	52	52,000	1.733	44,7797
0.6h	30,108	51	53	53	52,333	1.744	45,0533
0.2h	10,036	50	49	49	49,333	1,644	42,5663
						Velocidad media (cm/seg)	44,1331
		Area (cm ²):	5018			Caudal medio (lt/seg)	221,4599

Cuadro 5.11. Datos registrados en la segunda prueba con Hélice SEBA Ø125mm y paso 250mm.

PRUEBA 2

Tiempo de conteo:	30	Segundos					
Limnómetro 2	Cm	n1	n2	n3	n media	Revoluciones por segundo	Velocidad (cm/seg)
H	50,18					n / tiempo cont.	
0.8h	40,144	53	54	52	53.000	1,766	44,5004
0.6h	30,108	52	53	52	52,333	1,744	45,0532
0.2h	10,036	51	50	50	50,333	1,677	43,3869
						Velocidad media (cm/seg)	44,3135
		Area (cm ²):	5018			Caudal medio (lt/seg)	222,3651

Cuadro 5.12. Datos registrados en la segunda prueba con Hélice construida.

5.2.2 CÁLCULO DE ERROR EN LA MEDICIÓN DEL CAUDAL EN EL CANAL DE PRUEBAS

El cálculo de error en la medición se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\%E = \frac{V_M - V_R}{V_R} \times 100\%$$

Ecuación 5.4. Ecuación de cálculo de error de medición.

De donde:

V_M : Valor medido

V_R : Valor real (Valor tomado del limnómetro del vertedero)

5.2.2.1 Cálculo de error en las mediciones realizadas con la Hélice Ø80mm y paso 125mm:

DATOS:

PRUEBA 1

$$V_{R1} = V_{INICIAL} = 80,685 \text{ lts/s}$$

$$V_{R2} = V_{FINAL} = 79,428 \text{ lts/s}$$

$$V_M = 84,9091 \text{ lts/s}$$

$$\%E_{INICIAL} = \frac{84,9091 - 80,685}{80,685} \times 100\%$$

$$\%E_{INICIAL} = 5,235\%$$

$$\%E_{FINAL} = \frac{84,9091 - 79,428}{79,428} \times 100\%$$

$$\%E_{FINAL} = 6,9\%$$

PRUEBA 2

$$V_{R1} = V_{INICIAL} = 158,1058 \text{ lts/s}$$

$$V_{R2} = V_{FINAL} = 155,2976 \text{ lts/s}$$

$$V_M = 153,5160 \text{ lts/s}$$

$$\%E_{INICIAL} = \frac{153,5160 - 158,1058}{158,1058} \times 100\%$$

$$\%E_{INICIAL} = 2,902\%$$

$$\%E_{FINAL} = \frac{153,5160 - 155,2976}{155,2976} \times 100\%$$

$$\%E_{FINAL} = 1,147\%$$

5.2.2.2 Cálculo de error en las mediciones con Hélice SEBA Ø125mm y paso 250mm:

DATOS:

PRUEBA 1

$$V_R = V_{INICIAL} = V_{FINAL} = 89,772 \text{ lts/s}$$

$$V_M = 96,3867 \text{ lts/s}$$

$$\%E = \frac{96,3867 - 89,772}{89,772} \times 100\%$$

$$\%E = 7,368\%$$

PRUEBA 2

$$V_R = V_{INICIAL} = V_{FINAL} = 202,8241 \text{ lts/s}$$

$$V_M = 221,4599 \text{ lts/s}$$

$$\%E = \frac{221,4599 - 202,8241}{202,8241} \times 100\%$$

$$\%E = 9,188\%$$

5.2.2.3 Cálculo de errores en las mediciones con Hélice construida.

DATOS:

PRUEBA 1

$$V_R = V_{INICIAL} = V_{FINAL} = 89,772 \text{ lts/s}$$

$$V_M = 97,9799 \text{ lts/s}$$

$$\%E = \frac{97,9799 - 89,772}{89,772} \times 100\%$$

$$\%E = 9,143\%$$

PRUEBA 2

$$V_R = V_{INICIAL} = V_{FINAL} = 202,8241 \text{ lts/s}$$

$$V_M = 222,3651 \text{ lts/s}$$

$$\%E = \frac{222,3651 - 202,8241}{202,8241} \times 100\%$$

$$\%E = 9,634\%$$

5.2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS MATEMÁTICOS

Con los datos calculados podemos analizar el error de mediciones entre una y otra hélice. Para la hélice de Ø80mm los datos arrojados son aceptables y no sobrepasan el 7% de error, esto puede deberse a fallas en el operador.

Para el caso de las hélices de Ø125mm y paso 250mm tanto la hélice SEBA como la hélice construida indican un mayor porcentaje de error, cerca del 10%, esto sin duda se relaciona al estado de cada una de las hélices, sumada la acción del operador.

Se aprecia sin embargo una cercanía en valores arrojados de la hélice original y la construida; pese a que la hélice fundida presenta evidentes fallas físicas, el número de revoluciones dadas por ésta, está en un rango similar al número de vueltas que dio la hélice SEBA. Se puede decir que la hélice original puede presentar un desbalance y necesite de una calibración.

Cabe recalcar que las pruebas realizadas fueron de interrelación entre el equipo original y el modelo construido, por tal motivo no se realizó un aforo completo en el canal, simplemente se tomaron valores referenciales en un punto del canal de pruebas.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES

- El trabajo experimental que se realizó fue la construcción de un prototipo de un instrumento denominado Molinete Universal, el cual constituyó un reto en el ámbito mecánico, electrónico e hidrológico; como es de conocimiento, este tipo de instrumentos no se fabrican en nuestro país, por tal razón el ubicar la mejor maquinaria para garantizar un buen acabado en cada pieza, el equipo humano que posea un buen conocimiento de los procesos de mecanizado, y las herramientas necesarias para la construcción, fueron pasos fundamentales para la culminación del trabajo.

- El material escogido para la construcción de piezas mecánicas, hélices y piezas de aislamiento fueron las adecuadas y que estén disponibles en el mercado local, y también en relación al original. Al hacer una relación de peso, este varió más de 2 gramos al instrumento prototipo.

- Cada parte constitutiva del instrumento modelo fue examinada con mucho cuidado, para realizar los planos propuestos presentados al INAMHI y posteriormente al taller mecánico “Don Bosco”, aún así el instrumento tenía partes no visibles, pero que, intuyendo el funcionamiento del equipo se llegó a resolver el mecanizado de ciertos elementos de suma importancia, como fue el caso del aislamiento en el terminal positivo, interno y externo, del interruptor generador de pulsos. Se podría decir que esta fue la parte más complicada en el proceso de construcción.

- La hélice fue el mayor esfuerzo en la construcción, no tuvo buenos resultados en su elaboración, obteniéndose mucha porosidad en el acabado de fundición, a pesar que se esforzó mucho por dar un acabado perfecto a las mismas.

- La hélice es de suma importancia en el funcionamiento del instrumento, el agujero de la hélice, el cual es acoplado al rotor, tiene un acabado superficial N6, y una tolerancia geométrica de cilindridad de 0.01mm, lo cual no se pudo lograr en el mecanizado.

- Se realizaron varios procesos de fundición en el Taller de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional, sin obtener buenos resultados en ninguno de los tres intentos experimentados, se obtuvo un buen acabado en la fundición en plástico, poliduro, este ejemplo solo quedo como muestra, no se lo mecanizo.

- Debido al fallo en el proceso de la elaboración de la hélice, se utilizó una hélice del equipo original para las pruebas en el canal hidrológico del CIERHI (Centro de Investigación y Estudio de Recursos Hidrológicos).

- Se detectaron varias anomalías en los primeros rodamientos, debido a residuos del mecanizado, limallas, esto se debe a que no se realizó la debida limpieza previo al montaje de los rodamientos. Fue necesario reponer nuevos rodamientos para el prototipo.

- Los rodamientos utilizados son de bolas para una fuerza axial y adecuados para el funcionamiento, fueron de fácil adquisición en el mercado.

- Al momento de realizar las pruebas mecánicas, de rotación, según indican los usuarios, a golpe seco en la hélice, debía durar girando el rotor 30s con velocidad aproximadamente permanente, cosa que no sucedió en el equipo construido. Se llegó a la conclusión que el agujero del rotor esta frenado en su base al rodamiento, ya que en el proceso del mecanizado faltó realizar un destaje al interior del agujero.

- La generación de pulsos se realiza mediante la activación de un reed-switch ante la proximidad del campo magnético de un imán montado en el rotor del prototipo.

- Se implementó un contador electrónico de pulsos, mediante la programación de un controlador lógico programable (PLC) modelo MiniLogo Siemens, alimentado por una batería de 12 VDC, recargable, permitiendo de esta manera poner en práctica conocimientos adquiridos en la Carrera. El software utilizado para la programación del PLC es LOGO!Soft Comfort V6.1 de Siemens.

- Las pruebas aceptables efectuadas con el molinete prototipo en el CIERHI, demuestran la factibilidad de construir un equipo de medición de velocidad de agua (es decir, para calcular caudales en ríos pequeños o canales), a costos razonables y con tecnología apropiada.

6.2 RECOMENDACIONES

- El prototipo desarrollado podrá ser calibrado contando con la infraestructura del CIERHI.

- Considerando que el elemento más importante del molinete universal es la hélice, y que durante la operación del instrumento, es la parte más sensible ante los golpes causados por materiales de arrastre en los ríos o canales donde es sometido a trabajo, es mandatorio mejorar el proceso de fabricación de hélices mediante técnicas de mecanizado a través de maquinaria controlada por computadora (CNC), y obtener mejores costos para su reposición. En este sentido, el Taller Don Bosco se encuentra en proceso de aplicación de nuevos equipos con esta tecnología, lo que permitirá en el futuro poder contar con la oportunidad para construir hélices mediante el escaneo que debe realizarse a una hélice patrón o referencial, y posteriormente, para levantar la base de puntos para la fabricación en serie de este elemento de precisión.

- El estudio minucioso de la operación del instrumento utilizado como modelo fue de suma importancia, así como relacionarse con personal del INAMHI que sea capaz de transmitir los conocimientos del funcionamiento en el campo del equipo a ser replicado.

- Una opción consiste en fabricar hélices de polímero, con la mejor propiedad de dureza y factibilidad para retomar la forma original. En caso de deformación, podría desecharse, ya que el costo inicial solamente radica en el molde inicial. La producción en volumen permitirá reducir los

- costos de fabricación local de este tipo de hélices.

- El acero inoxidable al momento de maquinarse puede ser susceptible de cristalización por exceso de calor. En este caso se recomienda utilizar herramientas de widia.

- Mantener un correcto uso de lubricantes y refrigerantes durante el proceso de mecanizado para evitar la cristalización del material maquinado.

- Se debe realizar durante el proceso de mecanizado los agujeros antes del acabado final exterior.

- Es importante mantener el criterio de aislamiento eléctrico de los terminales del reed-switch, en el montaje de sus partes en el prototipo.

- La capacidad de programación del PLC utilizado como contador del molinete construido en el presente trabajo de tesis, permite la implementación de rutinas más complejas que pueden redundar en beneficio de nuevos períodos de medición, brindando al usuario mayor versatilidad en la aplicación del conjunto molinete – contador desarrollado.

- Se recomienda de manera especial incrementar la capacitación en el uso de máquinas y herramientas para la ejecución de trabajos de precisión mecánica.

- Se insiste en el adecuado uso de accesorios de protección industrial como son guantes, protectores antiparras, etc., para las personas que ejecutan tareas con maquinaria industrial en general.

- Es necesario realizar mayores desarrollos para poder descubrir las limitaciones y fortalezas de producción metalmecánica nacional.

BIBLIOGRAFÍA

TEXTOS:

- TOAPANTA, Vicente (2008).- Folleto Fundamentos de Metrología Dimensional.
- GERLING, Heinrich (1981).- Alrededor de las máquinas y herramientas.
- TORNOS, ANDRÉS ALONSO-MARTIRENA (2007).- NUEVAS SOLUCIONES TECNOLÓGICAS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL EN RÍOS.
- FUNDACIÓN ASCAMM, CENTRO TECNOLÒGICO.- TOLERANCIAS-SISTEMAS DE AJUSTE
- SEBA HIDROMETRIE, Universal Current Meter F1.- User Manual
- SEBA HIDROMETRIE, Contador Z6, Manual de Instrucciones
- VERA HERNANDEZ, Luis Edilberto (2001).- Análisis de aforo de la estación hidrométrica Obrajillo.
- Organización Meteorológica Mundial, Guía de Prácticas Hidrológicas, OMM No. 168, Quinta Edición, 1994.
- LEYENSETTER. A, 1974.- Tecnología de los oficios metalúrgicos.

NETGRAFÍA:

- www.hamlin.com, Application Note AN104, Reed switch and reed sensor activation, 2008.
- Máquinas y Herramientas.pdf
- www.wikipedia.org