

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
“CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”

Facultad de Ingeniería Mecánica
Trabajo de Diploma.

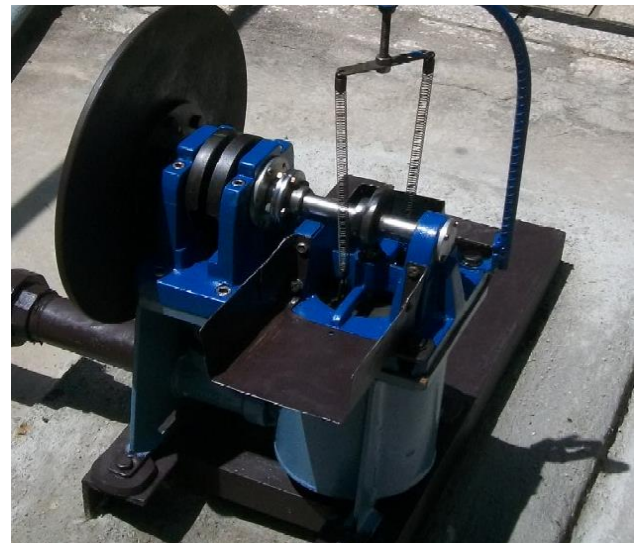
*Título: Evaluación de la característica exterior de
velocidad del Motor Hidráulico de Pistón.*

Autor: Armando Fernández Cruz

Tutor: Msc. Juan José López Expósito.

“Año 53 del triunfo de la Revolución”

Curso: 2017-2018



DECLARACION DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

“Carlos Rafael Rodríguez”

Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos, como parte de la culminación de los estudios de Pregrado; autorizando a que el mismo sea utilizado por la Universidad de Cienfuegos para los fines que estimen convenientes, tanto de forma parcial como total, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de este envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico.

Nombre y Apellidos. Firma.

Computación.

Nombre y Apellidos. Firma.

Firma de los tutores

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellidos. Firma.



Pensamiento

Pensamiento.

“...la vida es una obra de teatro que no nos permite ensayo, no dejes que el telón baje y tu obra termine sin aplausos....”

Charles Chaplin.



Agradecimiento

Agradecimiento.

Quiero agradecer principalmente a mis padres por darme la educación que tengo y saberme guiar siempre por el buen camino, a mis hermanos por quererme, apoyarme y darme cuanto necesite sin preguntar, a mi tutor por ser más que un tutor un buen amigo que me dio sabios consejos siempre que lo necesite, gracias por apoyarme siempre y estar ahí en el momento y lugar adecuado para compartir tu experiencia conmigo, a todos aquellos buenos amigos que me ayudaron dándome fuerzas para continuar, me dieron un empujoncito cada vez que me detuve y confiaron en mí, a todas aquellas personas que en todo momento me dieron siempre su apoyo sin esperar nada a cambio sin importar que como ni dónde, a mis compañeros de aula por esa amistad que siempre recordare y por último y no menos importante a todos los profesores que tuvieron la oportunidad de sembrar en mi todo lo que he aprendido con mucho esfuerzo y dedicación.

Dedicatoria

Dedicatoria.

Dedico mi tesis a mis padres que siempre me apoyaron en todas mis decisiones, a mis hermanos, hermanas y sobrinos para que vean en mí un ejemplo a seguir. A todo aquel que me ayudó a hacer este sueño realidad. A mi tutor que confió en mí esta tarea. A mis compañeros de aula con los que pase muchas noches en vela estudiando, ayudándonos y preocupándonos el uno por el otro. A todo aquel amigo que me dijo: “Tu si puedes, estudia y hazte ingeniero”, esos que me dieron fuerzas cuando pensé que todo estaba perdido, muchas gracias.

Resumen

Resumen.

El presente trabajo está encaminado a la búsqueda de nuevas soluciones para la obtención de energía renovable a partir de fuentes limpias a baja escala. En él se evalúa el motor hidráulico de pistón MHP que está instalado en el polígono del laboratorio de motores de la universidad. Se hace una panorámica general de la situación nacional acerca de los recursos hidráulicos, sus potencialidades, las políticas energéticas del país y las nuevas tecnologías existentes para obtención de energía a baja escala, se confeccionan los dispositivos necesarios para la evaluación del MHP en su característica exterior de velocidad. Los equipos para la evaluación constan de un freno Prony, un tacómetro digital y un interface digital para evaluar la variación de la velocidad en una revolución. A pesar de las pérdidas mecánicas que presenta el motor podemos apreciar el funcionamiento estable del mismo, también conociendo el bajo caudal con el que este trabaja respecto a otras máquinas hidráulicas es una opción a investigar. También se tratan algunas consideraciones para la realización del nuevo prototipo con un análisis respecto a la característica exterior construida a partir de los experimentos realizados, así como también los procesos de manufactura que se emplearon en la construcción del nuevo modelo de MHP con el costo total de producción.



Astract.

The present work is directed to the search of new solutions for the obtaining of renewable energy from clean sources on a small scale. It evaluates the MHP piston hydraulic motor that is installed in the polygon of the university's engine laboratory. A general overview of the national situation regarding water resources, its potentialities, the country's energy policies and the new existing technologies for obtaining energy at a small scale is made, the necessary devices for the evaluation of the MHP in its external characteristic are made of speed. The equipment for the evaluation consists of a Prony brake, a digital tachometer and a digital interface to evaluate the variation of the speed in one revolution. Despite the mechanical losses that the engine presents, we can appreciate the stable operation of it, also knowing the low flow rate with which it works with respect to other hydraulic machines is an option to investigate. Some considerations for the realization of the new prototype are also treated with an analysis regarding the external characteristic constructed from the experiments carried out, as well as the manufacturing processes that were used in the construction of the new MHP model with the total cost of production.

Índice

Índice.

Contenido

DECLARACION DE AUTORIDAD.....	I
Pensamiento.....	II
Agradecimiento.	III
Dedicatoria.....	IV
Resumen.....	V
Astract.....	1
Índice.....	VII
Índice de Tablas.....	VIII
Índice de figuras.....	IX
Introducción.	1
Capitulo I. Estado del arte de las máquinas hidráulicas y de motores hidráulicos de Pistón (MHP) que utilizan el agua como fuente de energía.....	4
1.1 Situación energética actual en el mundo y cuba.....	4
1.1.1 Uso del potencial hidráulico mundial.....	6
1.1.2 Uso y tendencias del potencial hidráulico en Cuba.....	7
1.1.3 Breve historia de las máquinas hidráulicas.....	7
1.2 Máquinas hidráulicas para producir energía. Clasificación.....	12
1.2.1 Máquinas hidráulicas modernas.....	17
1.3 Motores Hidráulicos de pistón. Antecedentes.....	20
1.3.1 Fundamentos teóricos.....	20
1.3.2 Principio de funcionamiento del Motor Hidráulico de Pistón (MHP).....	23
CAPITULO II: Evaluación del motor hidráulico de pistón (MHP).....	27
2.1 Cálculos hidráulicos.....	27
2.1.1 Cálculo del caudal de agua.....	27
2.1.2 Pérdidas totales en el sistema.....	32
2.2 Calculo de la Potencia y el Torque	35
2.3 Calculo de la potencia hidráulica.....	39
2.4 Método de evaluación de la variación de la velocidad angular en una revolución.....	39
Capítulo III. Análisis y Evaluación de los resultados obtenidos.....	44
3.1 Evaluación del caudal de agua.....	44
3.2 Característica exterior de velocidad del MHP.....	45
3.3 Análisis de la velocidad durante una revolución del motor.....	50
3.4 Evaluación económica para la construcción del MHP.....	51

3.5 Evaluación crítica del MHP actual.....	52
3.5.1 Recomendaciones para mejorar el funcionamiento del motor.....	53
Conclusiones.	55
Recomendaciones.	56
Bibliografía.....	57
Anexos	59

Índice de Tablas.

Tabla (# 1) Velocidad N_s para cada tipo de turbina.....	20
Tabla (# 2): Longitudes de los tramos de tubos.....	28
Tabla (# 3) Características de las tuberías a usar.....	29
Tabla (# 4) Dimensiones de la válvula de salida.....	29
Tabla (# 5) Coeficientes de pérdidas por accesorios.....	29
Tabla (# 6) Resultados.....	33
Tabla (# 7) Mediciones del caudal hidráulico.....	44
Tabla (# 8) Primera prueba realizada para consumo y velocidad angular.....	45
Tabla (# 9) Segunda prueba realizada para consumo y velocidad angular.....	46
Tabla (# 10) Tercera prueba realizada para consumo y velocidad angular.....	47
Tabla (# 11) Cuarta prueba realizada para consumo y velocidad angular.....	48
Tabla (# 12) Quinta prueba realizada para consumo y velocidad angular.....	48
Tabla (# 13) Característica exterior de velocidad.....	49
Tabla (# 14) Datos generales (turbinas de baja potencia).....	52

Índice de figuras.

Figura (# 1). Turbina hidráulica con mecanismo.....	8
Figura (# 2). Transformación de la energía hidráulica en mecánica y su uso final.....	13
Figura (# 3) Ruedas Hidraulicas.....	14
Figura (# 4) Turbina hidráulica ideada por Euler.....	15
Fig. (# 5) Turbina Kaplan y hélice.....	18
Fig. (# 6)Turbina Pelton.....	18
Fig. (# 7) Turbina Francis.....	18
Fig. (# 8)Turbina Mitchel-Banki.....	19
Figura (# 9) Motor hidráulico de pistón (MHP).....	24
Figura (# 10) Motor hidráulico de pistón (MHP).....	25
Figura (# 11). Esquema de análisis.....	27
Figura # 12. Funcionamiento básico de un freno tipo Prony.....	36
Figura # 13. Partes básicas de un freno tipo Prony.....	37
Figura # 14. Freno Prony utilizado.....	38
Figura (# 15) Volante diseñado para el motor hidráulico.....	40
Figura (# 16) Celda fotovoltaica.....	40
Figura (# 17) Interface.....	41
Figura (# 18) Equipo de cómputo.....	41
Figura (# 24) Evaluación de los parámetros N_e , M_e , w y G_e	50
Figura (# 25). Variación del tiempo durante una RPM.....	51

Introducción

Introducción.

La potencia hídrica pertenece a una de las fuentes de energías más antiguas utilizadas por el hombre. Representa un procedimiento indirecto de ganancia de energía útil (energía secundaria). Solo con hacer un bosquejo al panorama mundial, se puede observar el atropello del medio ambiente y los efectos del mismo sobre la vida en la tierra, los cuales han sido provocado por la ambición constante de grandes industrias e individuos, que por tener mayor economía explotan los recursos naturales, muchas veces sin analizar las consecuencias que puedan traer consigo; unas de ellas es el petróleo, el cual es hasta fuente de conflictos entre las grandes potencias del mundo sobre países subdesarrollados o con grandes reservas naturales para apoderarse de las mismas (Águila 2006, trabajo de diploma).

La comercialización del petróleo afecta grandemente a los países subdesarrollados y a los que están en vía de desarrollo, ya que es un producto que alcanzan altos precios en el mercado mundial, para tal problemática no existen leyes ni políticas trazadas para lograr una mejor comercialización, aunque actualmente existe la integración de algunos países del Caribe, Centro América y América del Sur donde se incluye Cuba, los cuales han fundado diferentes organizaciones y centros para la comercialización del petróleo y obtener otras fuentes y mejoras en la eficiencia energética.

Por la condición del país largo y estrecho y sin grandes llanuras que tiene Cuba se ve impedido que la energía eólica sea realmente importante, por lo que su uso se ve limitado a aplicaciones de poca envergadura. En el caso de la energía solar, a pesar de ser un país tropical, las radiaciones solares no alcanzan valores tan elevados como en otros países, debido principalmente por los niveles de nubosidad que afectan la mayor parte el año, además el uso de la energía solar requiere de tecnologías que por lo general son muy caras y complejas; a todo lo anterior se le suma el uso de la energía hidráulica que Cuba no posee ninguna fuente lo suficientemente grande como para el montaje de una central de potencia.

El país no cuenta con ninguna fuente de energía que sea abundante, por tanto, el uso racional de cada uno de los pocos recursos se hace tarea del día a día. A pesar

de los esfuerzos que se ha realizado por la Revolución donde se han construido hasta la fecha más de 141 embalses, de más de un millón de metros cúbicos de capacidad y más de 650 presas y micro presas menores, que en total hacen que se cuente con una capacidad de embalse de más de 1000 millones de metros cúbicos. Si a esto se le suma la situación actual de los embalses, donde la gran mayoría de ellos se encuentran con niveles de agua muy desfavorable, por la sequía desmedida que se afronta, esto obliga a mantener y preservar el agua envasada para consumo, riego y solo destinar a la generación aquellos que aun poseen una fuente estable de abasto y que en este caso esto se remite al uso de pequeños saltos en las regiones montañosas. Esto obliga a utilizar el escaso potencial de energía hidráulica con eficiencia para poder extraer, de las limitadas posibilidades el máximo provecho (Barco 2011, trabajo de diploma).

Conocidas las condiciones energéticas que posee Cuba, se deviene la importancia del presente trabajo, que tiene como empeño principal el desarrollo y fomento de los Motores Hidráulicos de Pistón (MHP), no necesita de grandes afluentes y trabaja con potenciales donde otra máquina hidráulica no trabaja. El MHP es una máquina que aprovecha la energía potencial del agua como consecuencia de un desnivel en el relieve y la transforma en energía mecánica, pudiéndose utilizar esta en diferentes fines, como pueden ser la generación de electricidad, el accionamiento de otras máquinas, etc. Esta generación de MHP se ha venido desarrollando durante años en “ La Universidad de Cienfuegos ”, los resultados obtenidos han sido alentadores y se ha experimentado en un grupo de variantes donde la propuesta actual, con sus modificaciones supera con creces las propuestas anteriores.

Después de desarrollar varios prototipos de motores hidráulicos de pistón que fracasaron por falta de rigidez y estabilidad se construyó un nuevo modelo, a escala de laboratorio que a pesar de su estabilidad en el funcionamiento no ha sido evaluado con fiabilidad sus potencialidades energéticas, por tal motivo en este trabajo se pretende evaluar el motor MHP instalado en el parque de energía renovable del laboratorio de motores de la institución, al mismo se le acoplarán accesorios para su análisis, determinando así los parámetros efectivos de dicho motor, potencia efectiva, momento torsor efectivo, consumo de agua efectivo y otros

parámetros de interés particular para la mejora de los diseños; por tales razones hacemos la siguiente propuesta metodológica al siguiente trabajo.

Problema Científico:

- El prototipo de Motor Hidráulico de Pistón (MHP) situado en el polígono de energía renovable del laboratorio de motores, no ha sido evaluado debidamente, por lo que a pesar de su funcionamiento estable y sin interrupciones en periodos largos se desconoce su verdadero potencial energético y mecánico.
- **Hipótesis:**
Si se consigue la evaluación del motor hidráulico de pistón en sus parámetros efectivos y funcionales será posible la determinación de su verdadero potencial energético del MHP y la inserción de una nueva máquina hidráulica con interés energético y mecánico, que posibilitara la construcción de nuevos prototipos, nuevos diseños y aprovechamiento efectivo de los pequeños saltos de agua que hoy son desperdiciados.

Objetivo General:

- Evaluación del Motor Hidráulico de Pistón situado en el polígono de energía renovable del laboratorio de motores

Objetivo Específicos:

- Estado del arte de las máquinas hidráulicas y de motores hidráulicos de Pistón (MHP) que utilizan el agua como fuente de energía.
- Elaborar los dispositivos y técnicas necesarias para la evaluación del motor.
- Evaluar el Motor Hidráulico de Pistón MHP para determinar los parámetros efectivos.
- Analizar los resultados obtenidos.

Capítulo I

Capitulo I. Estado del arte de las máquinas hidráulicas y de motores hidráulicos de Pistón (MHP) que utilizan el agua como fuente de energía.

1.1 Situación energética actual en el mundo y cuba.

Introducción del tema.

El campo de energía hidráulica cuenta con una tecnología muy avanzada. Gracias a los avances acometidos en los últimos años, hoy en día las turbinas pueden llegar a tener rendimientos superiores al 93% con una alta fiabilidad. Contar con esta tecnología tan avanzada permite asegurar las instalaciones y reducir los riesgos de operación. Los resultados de analizar de la dinámica del sector y el conocimiento de las oportunidades que ofrece la energía hidroeléctrica, permiten hacer la previsión de que se alcanzaran los 2000 GW de potencia instalada en 2050.

Por otra parte a largo plazo el petróleo (30 %) y el carbón (28.9 %), seguirán dominando el abasto energético mundial, seguidos muy cerca por el gas natural (21.6 %) y en mucho menor medida por la biomasa y desechos (9.8 %) y la nuclear, hidroenergía y otras energías renovables, que en conjunto suman otro 9.8 %. Obsérvese que a pesar de la elevada tasa de crecimiento anual (6.4 %) de otras energías renovables en el período 2000-2030, por ejemplo la eólica, la geotérmica, la solar y la oceánica, se proyecta a largo plazo que su contribución al abasto mundial de energía primaria seguirá siendo muy marginal (2.1 %). Desde el punto de vista del destino final del consumo energético mundial.

El precio del petróleo sigue siendo una variable clave en el funcionamiento de la economía mundial debido, entre otras cosas, a que este producto es el más comercializado a nivel internacional, tanto en términos de volumen como en términos de valor, el 60% del petróleo producido se comercializa internacionalmente. Igualmente, esta fuente no renovable de energía es el principal componente del balance energético comercial global. Por regiones, representa el 40% del consumo de Norteamérica, el 32% de Europa y Asia y el 53% de Oriente

Medio. En otras regiones geográficas el peso energético del petróleo es el siguiente: Sudamérica y América Central 44%, África 41%.(Rosales 2014, Fuentes renovables de energía).

En nuestro país se potenciará el desarrollo de la energía eléctrica producida a partir de fuentes renovables. Si en la actualidad las energías renovables representan sólo el 4,3% de la generación eléctrica del país, para el 2030 se prevé sean el 24% de esa generación. El país produce hoy 18 mil millones de kw/h cada año. Para el 2030 se prevé alcanzar los 30 mil millones de kw/h; más de la mitad de ese crecimiento se hará a través de fuentes renovables de energía. En el 2013 las instalaciones de generación de electricidad con energía hidráulica, Solar y Eólica, generaron el equivalente a la generación de 2.9 días del país, se sustituyeron 41694 toneladas de combustibles que tienen un valor aproximado de 23.3 millones de dólares estadounidenses y se dejaron de emitir más de 114 028 toneladas de CO₂. Con esto podemos apreciar las mejoras económicas que trae consigo la generación de energía con fuentes renovables.

Problemas Fundamentales de la Energía en Cuba.

Alta dependencia de combustibles importados para la generación.

Alto costo promedio de la energía entregada.

Alta contaminación ambiental.

Baja utilización de las fuentes renovables de energía.

Causas de esos problemas:

Baja eficiencia en la generación térmica.

Altas pérdidas en las Redes de distribución.

Objetivos estratégicos de la nación para cambiar su matriz energética:

Aumentar el % de utilización de las Fuentes Renovables de Energía.

No incrementar la dependencia de importaciones de combustibles para la generación (%).

Reducir los costos de la energía entregada por el SEN.

Reducir la contaminación medioambiental. Gramos de CO₂ por kWh servidos.

1.1.1 Uso del potencial hidráulico mundial.

El potencial hidroeléctrico del mundo supera los 3700 GW pero hasta ahora únicamente se ha aprovechado el 27% del mismo. La energía hidroeléctrica tiene muy buena acogida gracias a bajo coste. Aunque puede ser muy variable, sigue siendo, en cualquier caso, una de las mejores opciones. La inversión en una central hidroeléctrica es muy costosa pero hay que tener en cuenta que la instalación tiene una vida útil superior a 30 años, sin costos de operación importantes. Además, en estos últimos años y gracias al aumento de los inversores privados y a la creciente experiencia con la que se cuenta en previsión de riesgos y estimación de la producción, la financiación de esta tipología de proyectos ha mejorado haciendo posibles cada vez más instalaciones de este tipo.

Como caso particular se estudia el ejemplo de México ya que, en estos últimos años, es el país donde Hidroproyectos están más activos. México tiene un potencial hidroeléctrico aprovechable de 53 GW y hasta ahora se han instalado solamente 11.62 GW, es decir, el 22% del total. La demanda energética de la población mexicana está creciendo de manera importante, esto sumado a los objetivos de producción de electricidad del país en cuanto a la porción de las energías renovables, hace que el mercado Mexicano sea nuestro primer y más importante campo de trabajo.(Diario de noticias y eventos de Hidroproyectos, 2012).

En nuestro país se encuentran funcionando 147 instalaciones de generación con energía hidráulica, de ellas 30 están conectas al Sistema Eléctrico y 117 están aisladas, las cuales brindan servicio a 8486 viviendas y 416 objetivos económicos y sociales. El potencial disponible permite llegar en los próximos años a más de 100 Mil kW, para lo cual hay que instalar unos 56.088 Mil kW en presas y trasvases. Hoy la Industria Sideromecánica puede llegar a fabricar turbinas hidráulicas hasta una potencia de 325 kW y accesorios para unidades de mayor capacidad.

1.1.2 Uso y tendencias del potencial hidráulico en Cuba.

La Habana, 27 mayo.- Cuba se propone elevar el número de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCHE) conectadas al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), como parte del programa de aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (FER). La estrategia está en correspondencia con la política para el uso de las FER aprobada por el Consejo de Ministros para el período 2014-2030. Su gradual implementación posibilitará reducir la dependencia de combustibles fósiles y aprovechar las bondades que la naturaleza brinda, Aseveró Rosell Guerra, director de Energía Renovable en el Ministerio de Energía y Minas Explicó que recientemente se actualizó el estudio del potencial hidráulico del país para el aprovechamiento energético de los embalses y canales de agua existentes.

Esos datos permitieron identificar la posibilidad de construir 74 nuevas PCHE con una potencia total de 56 mega watt. Según el experto, que participo en la VIII Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética (CIER 2015), actualmente se encuentran funcionando 142 centrales hidroeléctricas, de ellas 32 están conectadas al SEN. Otras 110 brindan servicio de forma aislada a más de ocho mil viviendas y 416 objetivos económicos y sociales. El uso de la energía hidráulica en Cuba tiene sus inicios en el siglo XIX, con la puesta en explotación de pequeñas centrales hidroeléctricas, algunas de las cuales aún se mantienen brindando servicio, como la Pequeña Central Hidroeléctrica Guaso, en Guantánamo, con una potencia instalada de 1 750 kW; San Blas, en Cienfuegos, con 1 000 kW; Piloto y San Vicente, en Pinar del Río, con 295 y 71,2 kW, respectivamente, y Barranca, en Granma, con 200 kW. Sin embargo, en las zonas montañosas de las provincias orientales aún se conservan ruinas que demuestran que ya en años anteriores se utilizaba la energía hidráulica para mover despulpadoras de café y molinos de granos, demostrando así que ya en cuba se estaba utilizando la energía renovable que nos brinda la naturaleza. En los primeros años de la Revolución se concluyó y se puso en explotación la central hidroeléctrica Hanabanilla, que se encontraba en construcción, con 43 MW de potencia instalada.

1.1.3 Breve historia de las máquinas hidráulicas.

No se conoce con exactitud quién, dónde o hace cuánto tiempo se aprovechó por primera vez la fuerza y energía que posee una corriente de agua, sin embargo, es muy probable que la inspiración haya venido de otro uso más antiguo que ella. En

los tiempos antiguos eran empleados diversos medios para elevar el agua de los ríos a una altura mayor que la de sus márgenes, de donde corría por canales y zanjales a los campos. Uno de éstos era la rueda persa o saquia que es una rueda grande montada en un eje horizontal con cucharas en su periferia. Estas ruedas pueden verse todavía trabajando en Egipto, acopladas a engranes y movidas por un búfalo, burro o camello. Alguien debe haber notado, hace mucho tiempo, que cuando se desenganchaba la bestia, la corriente tendía a hacer girar la rueda en dirección opuesta, concibiendo así la idea revolucionaria de que la corriente de agua tiene energía y por lo tanto podía hacer trabajo.

De todas maneras, las ruedas hidráulicas primitivas no eran diferentes de las saquia y se conectaban con un mecanismo semejante, a una piedra de molino. Seguramente el inventor se regocijó al hacerse la idea de que evitaría muchas molestias en la molienda de granos, aunque probablemente no vislumbró el alcance que traería a las generaciones posteriores.

Las ruedas hidráulicas comunes que obran principalmente por el peso del agua, por ser las más elementales y obvias fueron también las primeras turbinas que construyó el hombre y ellas pueden verse en la figura (1) que aparece a continuación.

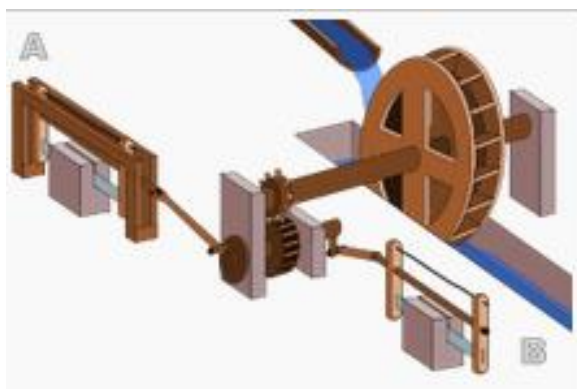


Figura 1. Turbina hidráulica con mecanismo.

Las primeras ruedas hidráulicas se construyeron posiblemente en Asia, China y la India, hace unos 2200 años; de Asia pasaron a Egipto y desde allí a Europa (unos 600 años después que en Asia y América).

Leonardo Da Vinci, Galileo y Descartes, entre otros, realizaron estudios teóricos matemáticos sobre las ruedas hidráulicas. Mención especial merece el francés Parent (1666-1716): físico y matemático de París y miembro de la Real Academia de Ciencias, estudia por vez primera el funcionamiento de las ruedas hidráulicas y genialmente prevé que existe una relación óptima entre la velocidad de la rueda y la velocidad de la corriente de agua.

Las mejoras hechas a las ruedas comunes dieron como resultado la construcción de las ruedas de impulso y de reacción las cuales presentan la ventaja de aprovechar la energía cinética y por lo tanto, ser de menor tamaño. Las figuras siguientes presentan los tipos principales de ruedas hidráulicas y en ellas se pueden notar su evolución en el uso, no sólo de la energía gravitacional sino también de la variación de la cantidad de movimientos (principio de Euler), constituyéndose así estas ruedas en las precursoras de las modernas turbinas hidráulicas.

El uso de la energía hidráulica no es nada nuevo y se remonta a más de 2000 años atrás, pero se desarrolló lentamente durante alrededor de 18 siglos, debido al inconveniente de que las instalaciones deberían situarse junto a los ríos; mientras que las máquinas de vapor se podían instalar en cualquier lugar. Al evolucionar la tecnología de la transmisión eléctrica, se produjo el gran desarrollo de las plantas hidroeléctricas y por consiguiente, de las turbinas hidráulicas.

En este nuevo esquema de transformación de energías: energía hidráulica - energía eléctrica - energía mecánica y las ruedas hidráulicas debido en gran parte a que en ellas el agua entra y actúa únicamente en parte de la circunferencia, no así en las turbinas en las cuales el agua lo hace en toda la circunferencia, tienen dos desventajas fundamentales: bajo rendimiento y velocidad de rotación muy lenta (4 a 10 rpm). (Iban Águila 2012).

Las turbinas hidráulicas nacieron para superar estas desventajas y su evolución ha sido el aumento cada vez mayor de la velocidad de rotación y de su eficiencia con el fin de conseguir potencias específicas más altas, lo que permite generación eléctrica a más bajo costo.

El estudio de las turbo máquinas hidráulicas como ciencia no se crea hasta que Euler en 1754 publica su famosa memoria de Berlín sobre maquinaria hidráulica en la que expone su teoría de las máquinas de reacción: "Théorie plus complète des machines qui sont mises en mouvement par la reaction de l' eau" (1). En esta memoria desarrolla Euler por vez primera la ecuación fundamental de las turbo máquinas.

Posteriormente el ingeniero francés Claude Burdin (1790- 1873), profesor de la escuela de minas de Saint Etienne, en su célebre memoria de la academia de Ciencias desarrolla la "Théorie des turbines hydrauliques ou machines rotatoire á grand vitesse" (2), donde acuña por vez primera la palabra 'turbina' para el vocabulario.

Burdin fue un ingeniero teórico, pero su discípulo Fourneyron (1802-1867) fue un ingeniero práctico, y logró en 1827 construir la primera turbina hidráulica experimental digna de tal nombre, más aún, a lo largo de su vida, Fourneyron construyó un centenar de turbinas hidráulicas para diferentes partes del mundo.

La turbina hidráulica tuvo un éxito clamoroso, porque era capaz de explotar saltos de mayor envergadura que los explotables con las antiguas ruedas hidráulicas, esta turbina era radial centrífuga, de inyección total y escape libre; aunque Fourneyron previó también el tubo de aspiración, cuyo estudio realizó él mismo.

Desde 1837 las turbinas hidráulicas de Henschel y Jonval compiten con las de Fourneyron. Otras turbinas hidráulicas anteriores al siglo XX fueron la de Fontaine

y sobre todo la desarrollada en 1851 por Girard, que era de acción e inyección total y que alcanzó una notable difusión en Europa.

Los tipos mencionados no son los únicos y aunque algunas de estas turbinas han logrado sobrevivir aún y siguen en explotación algunas de estas ingeniosas máquinas hidráulicas, otras han dejado de construirse por razones que provocan deficiencias en el funcionamiento y explotación entre otras razones.

En 1891 la central de Niágara causó sensación con una potencia instalada de 1470 Kw. A comienzos del siglo XX aparecen las turbinas hidráulicas de gran velocidad y rendimiento. A grandes rasgos se puede resumir así el desarrollo de las turbinas hidráulicas:

El siglo XVIII es el siglo de su gestación.

El siglo XIX el de su nacimiento (en este siglo nacieron en Norteamérica las Turbinas Pelton y las Turbinas Francis).

El siglo XX el de su desarrollo. A principios de este siglo aparecen las turbinas hidráulicas de gran velocidad.

1905 - en los Estados Unidos se desarrollan turbinas hidráulicas de 7360 kW girando a 250 rpm (turbinas Francis gemelas).

1915- creación de la Turbina Kaplan,

1918 - la turbina Banki,

1914 - la turbina Turgo,

1950 - la turbina Deriaz,

1970 - la turbina Bulbo.

Las turbinas hidráulicas, como ha podido notarse, son máquinas cuyo desarrollo no pertenece a las últimas décadas. Hace más de 2000 años que el hombre hace uso de ellas y poco más de un siglo que las principales casas constructoras de Europa, Asia y Norteamérica realizan un esfuerzo sistemático con el objeto de

perfeccionarlas. Su evolución no ha terminado sino por el contrario se ha acelerado en los últimos años ya que las necesidades de energía limpia cada día son mayores y los sitios disponibles exigen turbinas más rápidas, más compactas y sobre todo más eficientes.

1.2 Máquinas hidráulicas para producir energía. Clasificación.

Por recurso energético se comprende el conjunto de medios con los que se intenta cubrir las necesidades energéticas de los países. Hoy la energía es imprescindible para el desarrollo de la civilización industrial, sin ella la vida moderna sería un caos. Ya durante la década del 70 se empezó a tomar conciencia de la vulnerabilidad de los recursos de mayor demanda, como son los provenientes de los combustibles fósiles; dando así a la búsqueda de nuevas fuentes de energías que garanticen la estabilidad de los recursos energéticos en el mundo.

En la actualidad la humanidad está potencializando las búsquedas de fuentes menos agotables y renovables como son la Hidráulica, eólica y solar. La energía hidráulica se utiliza desde la antigüedad, para posteriormente comenzarse a utilizar en las generaciones posteriores hasta que se utilizó a grandes escalas quedando sin explotar las pequeñas potencialidades con uso eficiente, tema que hoy en día nuestro país ve la utilización de todos los recursos disponibles y sobretodo los renovables con vital importancia.

El primer uso de las Máquinas Hidráulicas data desde la antigüedad y estuvo vinculado a la obtención de energía mecánica mover los elementos de un molino de cereales. En la medida que se desarrollaba el uso de esta fuente, también se desarrollaba la tecnología de cómo obtenerla y así se fueron desarrollando nuevas máquinas hidráulicas que encontraron su uso más frecuente en la obtención de la electricidad, que se obtiene de la transformación de la energía hidráulica en mecánica y la mecánica en electricidad

Cuando una determinada masa de agua en movimiento pasa de un nivel geométrico superior a uno inferior, ocurre un proceso de transformación de energía, a partir de la energía hidráulica. Para extraer esta energía y transformarla en otro tipo más útil para la actividad del hombre, se crearon las máquinas hidráulicas, las cuales producen energía mecánica a partir de la energía potencial siendo el objetivo final, generalmente la obtención de energía eléctrica por medio de un generador acoplado a la máquina. En la figura 2 se muestra un esquema de la transformación de la energía hidráulica para la obtención de su beneficio. (Barco, 2011)

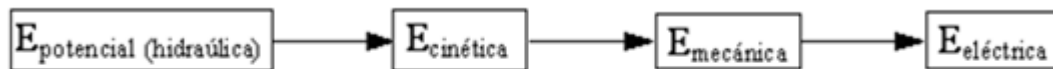


Figura 2. Transformación de la energía Hidráulica en Mecánica y su uso Final.

Máquinas de columnas de agua: El agua entra alternativamente por uno y otro extremo de un cilindro e impulsa un émbolo, al igual que el vapor lo hace por ejemplo en los cilindros de una locomotora. Esta clase de motor encuentra aplicación como servo motor, pero actualmente está en desuso como genuino motor hidráulico.

Ruedas Hidráulicas: En esta máquina el agua actúa principalmente por su propio peso, llenando los espacios entre las paletas, cuando estas en el sentido de giro de la rueda se mueven hacia abajo. El diámetro D de la rueda crece con la altura de salto H y el tamaño de los cangilones con el caudal Q , de tal forma que aun para potencias relativamente pequeñas resulta ya ruedas de muy grandes dimensiones. Todas las ruedas hidráulicas trabajan con un escaso número de revoluciones $n=4-8$ r.p.m. y el rendimiento no alcanza más del 75 %. Por su poca velocidad requieren elevada multiplicidad por engranajes, lo que hace descender aún más su rendimiento. Actualmente están en desuso.

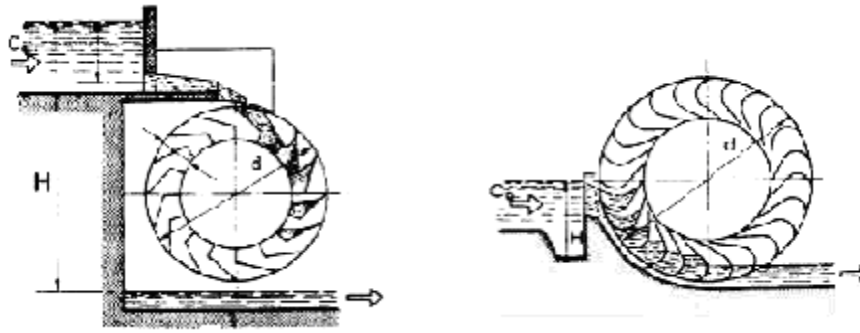


Figura (#3) Ruedas Hidraulicas.

Turbinas Hidráulicas: Estas máquinas nacieron para superar las desventajas de las ruedas hidráulicas, y su evolución ha sido el aumento cada vez mayor de la velocidad de rotación y de su eficiencia, con el fin de conseguir una potencia específica más alta. La turbina hidráulica tuvo un éxito clamoroso, porque era capaz de explotar saltos de mayor envergadura que los explotables con las antiguas ruedas hidráulicas, esta turbina era radial centrífuga, de inyección total y escape libre.

Desde 1837 las turbinas hidráulicas de Henschel y Jonval compiten con las de Fourneyron. Otras turbinas hidráulicas anteriores al siglo XX fueron la de Fontaine y sobre todo la desarrollada en 1851 por Girard, que era de acción e inyección total y que alcanzó una notable difusión en Europa. Los tipos mencionados no son los únicos y aunque algunas de estas turbinas han logrado sobrevivir aún y siguen en explotación algunas de estas ingeniosas máquinas hidráulicas, otras han dejado de construirse por razones que provocan deficiencias en el funcionamiento y explotación entre otras razones.

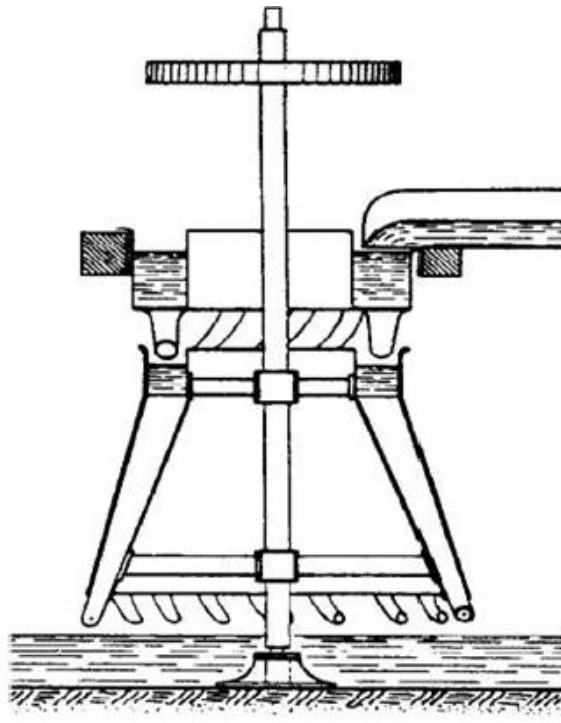


Figura (#4) Turbina hidráulica ideada por Euler.

En 1891 la central de Niágara causó sensación con una potencia instalada de 1470 Kw. A comienzos del siglo XX aparecen las turbinas hidráulicas de gran velocidad y rendimiento. A grandes rasgos se puede resumir así el desarrollo de las turbinas hidráulicas:

El siglo XVIII es el siglo de su gestación.

El siglo XIX el de su nacimiento (en este siglo nacieron en Norteamérica las Turbinas Pelton y las Turbinas Francis).

El siglo XX el de su desarrollo. A principios de este siglo aparecen las turbinas hidráulicas de gran velocidad.

1905 - en los Estados Unidos se desarrollan turbinas hidráulicas de 7360 kW girando a 250 rpm (turbinas Francis gemelas).

1915- creación de la Turbina Kaplan,

1918 - la turbina Banki,

1914 - la turbina Turgo,

1950 - la turbina Deriaz,

1970 - la turbina Bulbo.

Las turbinas hidráulicas, como ha podido notarse, son máquinas cuyo desarrollo no pertenece a las últimas décadas. Hace más de 2000 años que el hombre hace uso de ellas y poco más de un siglo que las principales casas constructoras de Europa, Asia y Norteamérica realizan un esfuerzo sistemático con el objeto de perfeccionarlas. Su evolución no ha terminado sino por el contrario se ha acelerado en los últimos años ya que las necesidades de energía limpia cada día son mayores y los sitios disponibles exigen turbinas más rápidas, más compactas y sobre todo más eficientes. (Barco, 2011)

Turbinas Hidráulicas: Son máquinas derivadas de las ruedas hidráulicas. Consisten esencialmente en un distribuidor con toberas que guían el agua y la dirigen convenientemente a un rodete móvil provistos de álabes sobre los cuales el agua ejerce su fuerza motriz. Atendiendo a la dirección con que entra el agua en el rodete estas se pueden clasificar en:

Axiales: El agua entra al rodete en dirección del eje.

Radiales: Con entrada del agua al rodete en sentido radial.

Tangenciales: Con la acción del agua en dirección de la tangente.

Con respecto a la acción del agua se pueden clasificar de la siguiente manera:

Se caracterizan por presentar una diferencia de presión entre la parte superior e inferior el rodete. El agua al entrar al rodete presenta energía cinética y potencial.

Al moverse el agua por los espacios que hay entre los álabes del rodete; que se encuentran llenos de agua ocurre una aceleración por el aumento de presión así pues en el mismo álabe se transforma aun parte de la energía potencial en cinética. El chorro de agua que sale, ejerce entonces una reacción sobre la cámara de los álabes, cuya componente horizontal se convierte en una fuerza periférica.

Como signo exterior se añade el siguiente: El rodete se encuentra unido en general al canal de desagüe por un tubo de aspiración.

Este tipo de turbinas se emplea en aprovechamiento de pequeña a mediana altura con un rendimiento que oscila entre el 88 y el 95 % y dentro de ellas clasifican las de hélice, las Kaplan que tienen un campo de empleo en saltos desde 3 hasta 45 m de altura y las Francis que trabajan en un rango de 30 a 550 m.

En general la potencia de cualquier tipo de turbina se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N_T = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T}{1000} \quad [kW]$$

Donde:

ρ - Densidad del agua.

g - constante de gravedad.

Q - Caudal de agua.

H - Altura del salto.

η_t – Rendimiento de la turbina.

1.2.1 Máquinas hidráulicas modernas.

La tecnología de las principales instalaciones se ha mantenido igual durante el siglo XX y XXI. Las turbinas pueden ser de varios tipos, según los tipos de centrales: Pelton (saltos grandes y caudales pequeños), Francis (salto más reducido y mayor caudal), Kaplan (salto muy pequeño y caudal muy grande) y de hélice.

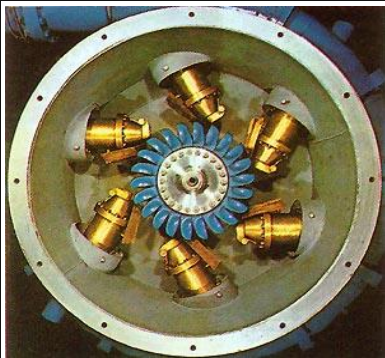
Para saltos con alturas entre 2 y 20 m.



Kaplan y hélice. Las turbinas tipo hélice pueden ser más convenientes para proyectos de baja altura (inferiores a los 5 m). Son turbinas de reacción de flujo axial.

Fig. (# 5) Turbina Kaplan y hélice.

Para saltos entre 40 y 1.200 m, se suelen utilizar las turbinas de acción Pelton.



La turbina puede tener varias toberas que impulsan chorros de agua sobre los alabes.

Fig. (# 6) Turbina Pelton.

Para saltos con alturas entre 10 y 350 m Turbinas Francis.



Son turbinas de reacción de flujo radial y admisión total, muy utilizadas en saltos de altura media, equipadas con un distribuidor de alabes regulables y un rodete de alabes fijos.

Fig. (# 7) Turbina Francis.

Para saltos con alturas entre 3 y 200 m Micro turbinas del tipo Mitchel-Banki.

	Turbinas de flujo cruzado (Cross-Flow) o de Doble Acción, Esta turbina, se utiliza con una gama muy amplia de caudales (entre 20 l/seg. y 10.000 l/seg). Su rendimiento máximo es inferior al 80 %, pero se mantiene casi constante cuando el caudal desciende hasta el 16% del nominal. Su régimen de revoluciones viene a situarse entre 50 y 2000 r.p.m., en función de la caída y modelo de turbina concreto, se encuentra entre las turbinas de régimen lento.
---	---

Fig. (# 8)Turbina Mitchel-Banki.

Un término que se utiliza para la selección de las turbinas es la velocidad específica N_s es el número de revoluciones que daría una turbina semejante a la que se trata de buscar y que entrega una potencia de un caballo de fuerza, al ser instalada en un salto de altura unitaria. Esta velocidad específica, rige el estudio comparativo de la velocidad de las turbinas, y es la base para su clasificación. Se emplea en la elección de la turbina más adecuada, para un caudal y altura conocidos, en los anteproyectos de instalaciones hidráulicas, consiguiendo una normalización en la construcción de rodets de turbinas. Los valores de esta velocidad específica para los actuales tipos de turbinas que hoy en día se construyen con mayor frecuencia (Pelton, Francis, Hélices y Kaplan) figuran en la Tabla (# 1):

Tabla (# 1) Velocidad N_s para cada tipo de turbina.

<i>Velocidad específica N_s</i>	Tipo de Turbina
De 5 a 30	Pelton con un inyector
De 30 a 50	Pelton con varios inyectores
De 50 a 100	Francis lenta
De 100 a 200	Francis normal
De 200 a 300	Francis rápida
De 300 a 500	Francis doble gemela rápida o express
Más de 500	Kaplan o hélice

Tal como se mencionó anteriormente N_s sirve para clasificar las turbinas según su tipo. De hecho, N_s se podría denominar más bien característica, tipo o algún nombre similar, puesto que indica el tipo de turbina.

Uno de los principales criterios que se deben manejar a la hora de seleccionar el tipo de turbina a utilizar en una central, es la *velocidad específica* (N_s) cuyo valor exacto se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$N_s = \frac{n_e * \sqrt{N}}{h^{5/4}}$$

Donde:

n_e son revoluciones por minuto.

N es la potencia del eje o potencia al freno.

h es la altura neta.

1.3 Motores Hidráulicos de pistón. Antecedentes.

1.3.1 Fundamentos teóricos.

Los motores hidráulicos transforman energía cinética del fluido en energía mecánica rotativa, la cual generalmente es aplicada a una carga mediante un eje. Todos los

motores hidráulicos tienen características de diseño similares: una superficie de accionamiento sujeta a presión diferencial, una manera de sincronizar la conexión entre fluido a presión hacia la superficie de presión para lograr una rotación continua y una conexión mecánica entre esta superficie y el eje.

La capacidad de la superficie de presión de soportar fuerza, las características de fuga interna de cada tipo de motor, y la eficiencia del método utilizado para conectar la superficie de presión con el eje, determinan el máximo desempeño de un motor en términos de presión, caudal, torque de salida, velocidad, eficiencias mecánica y volumétrica, vida útil, y configuración física.

Terminología

El desplazamiento del motor se refiere al volumen de fluido requerido para rotar el eje una revolución. Las unidades más comúnmente utilizadas para el desplazamiento son pulgadas cúbicas (in^3), o centímetros cúbicos (cc) por revolución. El desplazamiento puede ser fijo o variable, al igual que las bombas. Un motor de desplazamiento fijo entrega un torque constante. Al variar el caudal que entra al mismo, varía su velocidad. Si mantenemos el caudal de entrada y presión constantes, al variar el desplazamiento podemos modificar la relación torque-velocidad para alcanzar los requerimientos de carga.

El torque de salida se expresa en pulgadas-libras fuerza (in-lbf), o pies-libras fuerza (ft-lbs) o Newton metro (N-m). Está directamente relacionado a la presión del sistema y el desplazamiento del motor. Las capacidades de torque de motores están generalmente dadas por deltas de presión específicas. Los datos teóricos indican el torque disponible en el eje, asumiendo que no hay pérdidas mecánicas.

El par de arranque es el torque requerido para iniciar el movimiento de una carga estacionaria. Se requiere más torque para iniciar el movimiento de la carga que para mantenerlo. El torque de operación puede referirse a la carga aplicada al motor o la carga del motor mismo. Cuando se refiere a la carga, indica el torque requerido para mantenerla en movimiento. Cuando se refiere al motor, indica el torque que puede desarrollar un motor para mantener una carga en movimiento. Este torque considera la ineficiencia del motor y es un porcentaje del torque teórico. Para motores comunes de engranajes, paleta y pistón, esta cifra es de aproximadamente el 90%.

El torque de arranque se refiere a la capacidad de un motor hidráulico para mover una carga desde el reposo. Indica el torque que un motor puede desarrollar para ejecutar esta acción. Puede ser expresado también como un porcentaje del torque teórico y ronda entre 70% y 80% para motores de engranajes, paletas y pistones comunes. La eficiencia mecánica es la relación entre el torque real y el teórico. El rizado de par o de torque es la diferencia entre el torque mínimo y máximo entregado a una presión específica en una revolución del motor.

La velocidad del motor es función del desplazamiento del mismo y el caudal entregado a éste. La velocidad máxima del motor es aquella, a una presión específica a la entrada, que el motor puede mantener por un tiempo limitado sin que se produzcan daños en el mismo. La velocidad mínima del motor es la velocidad rotacional más lenta, continua y sin interrupción que el motor puede entregar por el eje. El deslizamiento es la fuga a través del motor, o el fluido que pasa a través del mismo sin producir trabajo.

También tenemos el choque hidráulico o golpe de ariete, es un proceso de oscilación que surge en una tubería que conduce un líquido poco compresible, al variar rápidamente su velocidad y presión. Este cambio de velocidad y presión va acompañado de deformaciones elásticas del líquido y de las paredes de la tubería, este choque surge con mayor frecuencia al cerrar o abrir bruscamente una válvula.

Al cerrarse bruscamente la válvula de una tubería que trasiega determinado flujo, éste se reduce al paso por la válvula, lo cual incrementa la carga corriente arriba de ésta, iniciándose así un pulso de alta presión que se propaga en dirección contraria a la del flujo, frenando el fluido hasta lograr su reposo, comprimiéndolo y dilatando las paredes de la tubería. Cuando la onda alcanza el extremo corriente arriba de la tubería, todo el líquido se encuentra bajo una carga adicional, toda la cantidad de movimiento se ha perdido y toda la energía cinética se ha convertido en energía elástica. El fluido contenido en la tubería expandida comienza a fluir en sentido contrario, es decir de la válvula hacia el depósito, comenzando en el extremo corriente arriba del conducto. Este proceso de conversión viaja hacia el extremo donde se encuentra la válvula a la velocidad del sonido en la tubería. Cuando esta onda llega a la válvula, la presión en toda la tubería ha regresado a

su valor normal, siendo la velocidad del líquido la inicial pero en dirección hacia el depósito de almacenamiento.

Como la válvula se encuentra cerrada, no se dispone de líquido que mantenga el flujo a través de ella, y por tanto se desarrolla una presión negativa tal, que el fluido se frena otra vez hasta alcanzar el reposo, al mismo tiempo que las paredes de la tubería se contraen. En estas condiciones, una vez más se tiene un desbalance en el depósito de almacenamiento, lo cual ocasiona que el fluido empiece a moverse desde el depósito hacia la tubería, haciendo que tanto el líquido como la tubería retornen progresivamente a las condiciones normales, conforme la onda viaja hacia la válvula. En el momento en que la onda llega a la válvula, las condiciones en todo el sistema son exactamente las mismas que se tenían en el instante del cierre de la válvula ocurrido $4.L/a$ segundos antes. (L- Longitud de la tubería, a- velocidad del sonido en la tubería)

El proceso descrito anteriormente se repite cada $4.L/a$ segundos. Los efectos de la fricción del fluido y la elasticidad imperfecta, tanto en el fluido como en las paredes de la tubería, ocasionan que las oscilaciones se amortigüen y que el fluido alcance finalmente el estado de reposo permanente.

1.3.2 Principio de funcionamiento del Motor Hidráulico de Pistón (MHP).

Conocidas las bases teóricas de los motores hidráulicos y del golpe de Ariete, planteadas con anterioridad, es que se aprovecha dicho funcionamiento como fuerza motriz para el Motor hidráulico de pistón (MHP), la energía de presión generada por el golpe es transformado en energía mecánica que puede ser empleada con varios fines. Por el efecto de la carga producto de la altura de la columna de agua fluye el líquido hacia el motor figura #9. Cuando la válvula (4) está abierta por la leva (3) venciendo además la resistencia del resorte (6) el agua sale y en conjunto con la energía acumulada en el volante (5) hacen que el pistón se desplace desde punto (A) al punto (B).

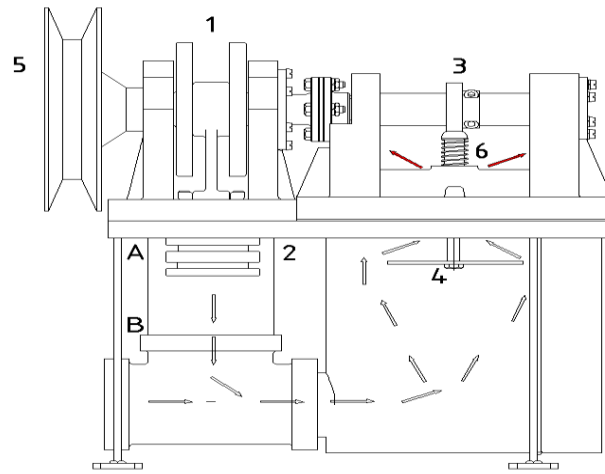


Figura (#9) Motor hidráulico de pistón (MHP).

En este momento la energía potencial de altura se convierte en energía cinética al fluir el líquido por la tubería. Una vez pasado el pistón el punto (B) en unos grados, moviéndose el pistón desde (B) hasta (A) como puede apreciarse en la figura #10 la válvula (4) es cerrada rápidamente debido a que la leva (3) tiene un cambio de sección brusco y la válvula (4) por la acción del resorte (6) es cerrada rápidamente lo que provoca que una parte de la energía cinética se convierta en energía potencial. El flujo de agua que es frenado bruscamente genera la onda de presión que se desplaza desde la válvula al depósito, su valor es lo suficientemente grande como para incrementar los valores de presión en la cabeza del pistón y hacerlo desplazar desde (B) hasta el punto (A). Unos grados antes de llegar al punto (A) la válvula comienza a abrirse por la acción de la leva (3) y la presión cae bruscamente, cuando llega al punto (A) la válvula está abierta y el pistón es ayudado nuevamente por la depresión creada por el agua que sale por la válvula y la energía acumulada en el volante, repitiéndose así el ciclo nuevamente. (Barco, 2011)

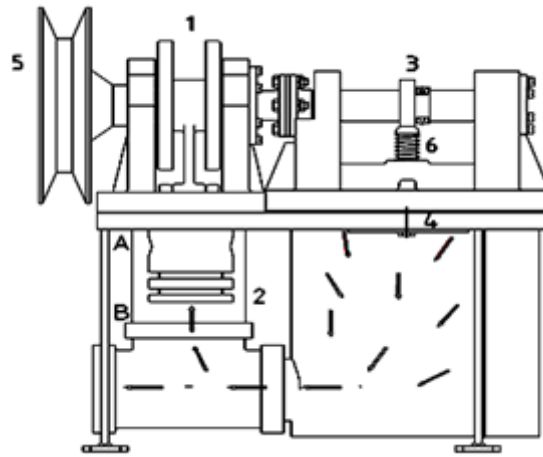


Figura (#10) Motor hidráulico de pistón (MHP).

Capítulo II

CAPITULO II: Evaluación del motor hidráulico de pistón (MHP).

Dada la necesidad de conocer los potenciales de dicho motor se le hará una evaluación al mismo para construir una característica exterior de velocidad que nos permita conocer con que contamos para su mejor aprovechamiento. La evaluación comienza calculando los parámetros fundamentales para obtener todos los datos posibles de dicho motor como las potencialidades del mismo. Donde se hacen una serie de pruebas para obtener los datos necesarios y así construir una característica exterior de velocidad del motor MHP.

2.1 Cálculos hidráulicos.

Se evaluarán las pérdidas mecánicas en cada accesorio del motor y las perdidas hidráulicas en cada accesorio hidráulico así como en cada tramo de tubería para obtener el flujo de agua que va desde el depósito hasta el motor así como las presiones y velocidades que presenta la conexión hidráulica de alimentación para el funcionamiento de dicho motor.

2.1.1 Cálculo del caudal de agua.

Para el cálculo del caudal se parte del esquema de análisis de la siguiente figura:

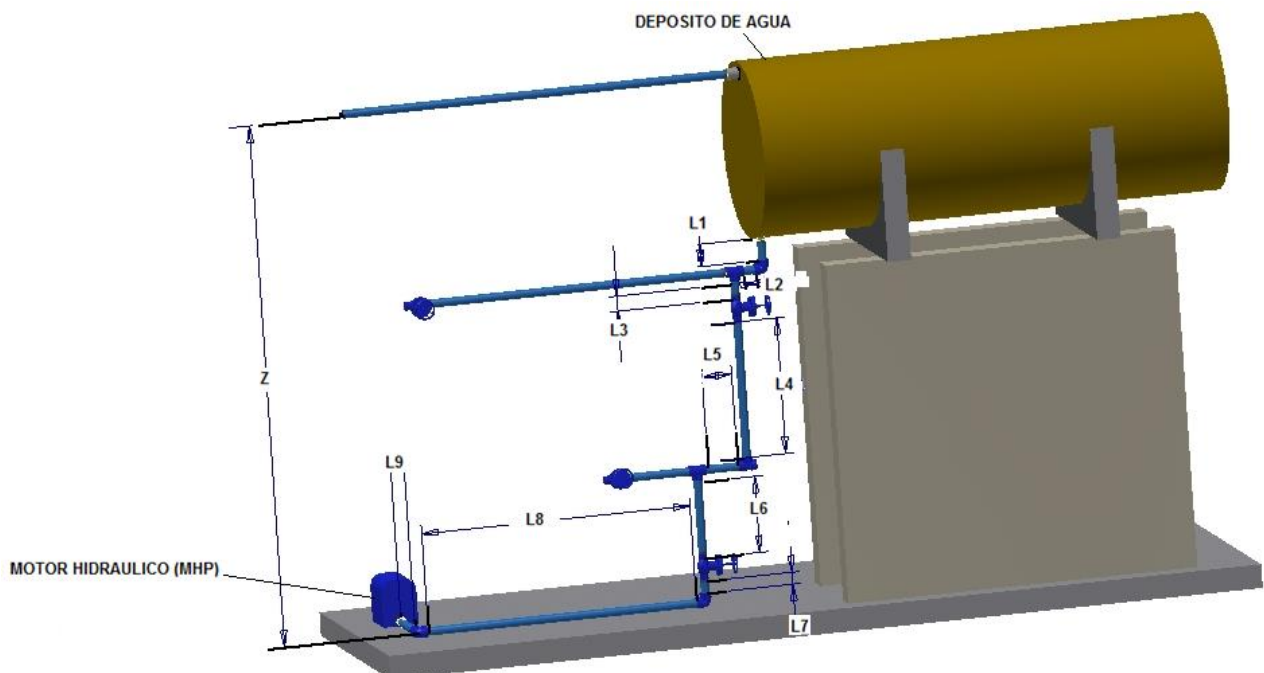


Figura (#11). Esquema de análisis.

Dónde: (L) Longitud de cada uno de las secciones de los tubos.

(Z) Altura de la columna de agua.

(C) Codos del sistema.

(TL) Las T de fluido lineal que tiene el sistema.

(Ta) Las T de fluido de ángulo que tiene el sistema.

(V) Válvulas de globo.

(E) Entrada del depósito al tubo.

(G) Entrada al tubo de la válvula de salida

(f) Factor de fricción.

Tabla (# 2): Longitudes de los tramos de tubos.

	Longitud.	Unidad.
Para la sección de 2 pulgadas.		
L ₁	0.25	m
L ₂	0.24	m
L ₃	0.08	m
L ₄	1.57	m
L ₅	0.07	m
L ₆	0.90	m
L ₇	0.28	m
L ₈	2.74	m
L ₉	0.47	m
Total	6.60	.m
Sección de 6 pulgadas.		
L ₇	0.2	m

Tabla (# 3) Características de las tuberías a usar.

Características de las secciones de las tuberías.		
Tubo.	Diámetro (m).	Área (m ²).
2 pulgadas.	0.052	0.0021
6 pulgadas.	0.152	0.0181

El área de paso en la salida de la válvula es igual al área de un cilindro y la altura del cilindro es la abertura de la válvula:

Tabla (# 4) Dimensiones de la válvula de salida.

Dimensiones principales de la válvula de salida.		
Diámetro de la válvula.	(m)	0.110
Altura del cilindro de Apertura.	(m)	0.02
Área de apertura.	(m ²)	0.0069

Tabla (# 5) Coeficientes de pérdidas por accesorios.

Perdidas por accesorios.			
Accesorio.	Cantidad.	Coeficiente K	Total.
Para 2 pulgadas.			
E	1	0.5	0.5
G	1	1	1
TL	1	0.40	0.40
Ta	3	1.5	4.5
C	3	0.75	2.25
V abierta	2	10	20
Total. A			28.65
Continuación:			
Para 6 pulgadas.			
V _{salida}	1	10	10

f(e/d))	1	0.03	0.03
Propiedades del fluido.			
Peso esp. γ	9800		(N/m³)
Densidad. ρ	996		(Kg/m³)
Viscosidad C (v)	8.01*10 ⁻⁷		(m²/s)

Conocidos los datos se le aplica la ecuación de energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_1 - H_L = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2$$

Para facilitar el uso de esta ecuación se consideró que:

1 _ ($P_1 = P_2$) porque sobre las dos actúa la presión atmosférica.

2 – ($V_1 = 0$) la superficie del recipiente es la suficientemente grande como para despreciar la velocidad con que desciende.

Realizando estas consideraciones la ecuación nos queda de la siguiente manera:

$$Z_1 - Z_2 - H_L = \frac{V_2^2}{2 * g}; \text{ donde } Z_1 - Z_2 = Z$$

$$\text{por lo que } Z = \frac{V_2^2}{2 * g} + H_L$$

Expresando las pérdidas del sistema nos queda:

$$H_L = \sum f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} + \sum K * \frac{V^2}{2 * g}$$

para nuestro caso :

$$H_L = f \frac{L_1}{D_1} * \frac{V_1^2}{2 * g} + f \frac{L_2}{D_2} * \frac{V_2^2}{2 * g} + K \frac{V_1^2}{2 * g} + K \frac{V_2^2}{2 * g}$$

sustituyendo V por Q/A

$$H_L = f \frac{L_1}{D_1} * \frac{Q^2}{2 * g * A_1^2} + f \frac{L_2}{D_2} * \frac{Q^2}{2 * g * A_2^2} + K \frac{Q^2}{2 * g * A_1^2} + K \frac{Q^2}{2 * g * A_2^2}$$

$$H_L = \frac{Q^2}{2 * g} \left[f \frac{L_1}{D_1 * A_1^2} + f \frac{L_2}{D_2 * A_2^2} + K \frac{1}{A_1^2} + K \frac{1}{A_2^2} \right]$$

Sustituyendo las pérdidas en la ecuación simplificada nos queda que:

$$Z = \frac{Q^2}{2 * g * A_2^2} + \frac{Q^2}{2 * g} \left[f \frac{L_1}{D_1 * A_1^2} + f \frac{L_2}{D_2 * A_2^2} + K \frac{1}{A_1^2} + K \frac{1}{A_2^2} \right]$$

$$Z = \frac{Q^2}{2 * g} \left[\frac{1}{A_2^2} + f \frac{L_1}{D_1 * A_1^2} + f \frac{L_2}{D_2 * A_2^2} + K \frac{1}{A_1^2} + K \frac{1}{A_2^2} \right]$$

De esta manera se puede determinar el flujo de agua en la válvula del motor mediante la ecuación:

$$Z = \frac{Q^2}{2 * g * A_2^2} + \frac{Q^2}{2 * g} \left[f \frac{L_1}{D_1 * A_1^2} + f \frac{L_2}{D_2 * A_2^2} + K \frac{1}{A_1^2} + K \frac{1}{A_2^2} \right]$$

$$Z = \frac{Q^2}{2 * g} \left[\frac{1}{A_2^2} + f \frac{L_1}{D_1 * A_1^2} + f \frac{L_2}{D_2 * A_2^2} + K \frac{1}{A_1^2} + K \frac{1}{A_2^2} \right]$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 * g * Z}{\left[\frac{1}{A_2^2} + f \frac{L_1}{D_1 * A_1^2} + f \frac{L_2}{D_2 * A_2^2} + K \frac{1}{A_1^2} + K \frac{1}{A_2^2} \right]}} \quad \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Considerando la relación rugosidad entre diámetro (E/D) para la tubería usada de dos pulgadas de acero galvanizado que corresponde con un valor de 0.03, se puede observar en el diagrama de Moody que tanto para régimen turbulento como para laminar la variación que experimenta el coeficiente de fricción es entre 0.06 y 0.065. Por tal razón se azume un valor de 0.0625 para nuestro caso.

Con la ecuación anterior se puede obtener el flujo de agua que pasa por las tuberías de la instalación de prueba para el prototipo instalado en el parque de energía renovable de la institución.

2.1.2 Pérdidas totales en el sistema.

Conocido el flujo de agua es posible calcular la velocidad del flujo en todas las partes de la instalación o sea en las paredes de las tuberías, conocida el área de la sección mediante la ecuación:

$$Q = V * A$$

Por lo que: $V = Q / A$

Partiendo de la ecuación general de las pérdidas obtenemos que:

$$H_L = \sum f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} + \sum K * \frac{V^2}{2 * g}$$

Las pérdidas que necesitamos calcular son la que ocurren hasta que el fluido llega al pistón y la tubería mantiene una sección constante, por lo que la ecuación resulta:

$$H_L = f \frac{L_1}{D_1} * \frac{V_1^2}{2 * g} + K \frac{V_1^2}{2 * g}$$

Cálculo de la presión en el pistón.

Con los resultados obtenidos se puede determinar la presión que existe en el pistón cuando la válvula está abierta, por lo que la presión es:

$$P_p = \frac{\frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g} - H_L + Z}{\gamma} \quad [Pa]$$

Conocida la presión y la velocidad del fluido se calcula el incremento de la presión durante el choque hidráulico que:

$$\Delta P_{ch} = V_1 * a * \rho$$

Dónde: (a) Velocidad de sonido en el agua

(ρ) Densidad del fluido.

La presión que existe en la zona donde se encuentra el pistón se obtiene por la ecuación:

$$P_{ch} = P_p + V_1 * a * \rho$$

El valor de la presión solo se mantendrá mientras la válvula esta serrada, cuando la válvula se abra nuevamente la presión desciende bruscamente.

Resultados.

Para obtener los resultados se realizó un pequeño programa en EXEL que nos permitió realizar los cálculos con buena precisión, los resultados de los mismos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla (# 6) Resultados.

Cálculo del flujo máximo de agua.		
Q	0,003364261	(m³/s)
Cálculo del flujo máximo de agua.		
Q	3,3642	(l/s)
Velocidad del fluido en los conductos.		
V.	0,96	(m/s)
Perdidas Accesorios hasta el pistón.		
H _a	1,35	(m)
Perdidas por tuberías.		
H _t	0,37	(m)
Pérdidas totales.		

H_L	1,72	(m)
Presión en el pistón con la V abierta.		
P	0,00136	Pa
Presión en el pistón con la V cerrada.		
P_{máxima}	1,7275	MPa
Cálculo del flujo máximo de agua.		

Haciendo un análisis de los resultados para nuestro caso podemos plantear que los resultados obtenidos son aceptables para nuestra instalación.

Evaluación del Torque y la Potencia.

Dada la necesidad de conocer los potenciales de dicho motor se le hará una evaluación al mismo para construir un freno Prony y así evaluar el torque de dicho motor utilizando una estructura metálica, una correa de cuero y una pesa digital.

Descripción del Freno Prony

Uno de los primeros dinamómetros fue desarrollado por Gaspar de Prony, quien inventó el freno Prony en 1821, cuyo funcionamiento será explicado más adelante.

El Freno de Prony es un freno dinamométrico, utilizado para medir la fuerza de los motores. El freno consta de un brazo, sobre el que van montados un dinamómetro y una rueda, que tiene adosada una cincha de alto rozamiento. Esta rueda es la que se conecta al eje del motor del cual se quiere medir su potencia. El ajuste de la cincha es variable. Se puede controlar el torque de carga aplicado al motor.

Este freno provee una forma sencilla de aplicar un torque de carga al eje principal de salida de un motor. La potencia de salida es disipada en forma de calor por el material del freno. Ajustando la fuerza del freno se puede cambiar la fuerza del torque. Combinando la medición de este torque (mediante un dinamómetro colocado en el brazo del freno, a una distancia conocida del eje del motor) con la medición de velocidad de rotación del eje, puede calcularse la potencia de salida del motor.

2.2.2 Calculo de la Potencia y el Torque

La potencia (P) es definida como la tasa de trabajo o simplemente la cantidad de trabajo (W) o energía transferida en un determinado tiempo (t) y puede ser medida en Watts, unidad utilizada por el sistema internacional, o en caballos de fuerza (o HP por sus siglas en inglés), unidad utilizada por el sistema inglés.

$$P = \frac{W}{t}$$

En el caso del movimiento circular, como es el caso de los motores, la potencia se calcula como la multiplicación del torque (T) que es capaz de generar el motor por la velocidad angular (ω) de trabajo.

$$P = T * \omega$$

Las fórmulas anteriores son válidas para cualquier sistema de unidades, siempre y cuando, las unidades de las variables sean compatibles entre ellas.

Como el surgimiento del concepto de potencia y del concepto de caballo de fuerza sucedió de la mano, se hablará de esta unidad de medición y no desde el punto de vista de la potencia en el Sistema Internacional (en Watts). Además del hecho de que en la actualidad la medida inglesa (HP), es mayormente usada en la designación de la potencia de los motores.

De acuerdo con *Buckley Old Engine Show*¹, el caballo de fuerza vio su origen con James Watt (1736-1819), ingeniero escocés creador del primer motor funcional a vapor. Watt en algún momento ofreció su creación a granjeros y mineros, quienes probablemente le realizaron una pregunta muy importante para ellos: ¿Cuántos caballos podría un motor reemplazar? De esta forma, Watt se puso en la tarea de contestar dicha pregunta y realizó experimentos con unos caballos llamados “dray” (adaptados para arrastrar cargas pesadas), los cuales eran capaces de realizar 50% más trabajo de lo que era capaz un caballo promedio en un día. Con base en este estudio Watt definió el valor de un HP.

Watt concluyó que un caballo promedio tipo “dray” era capaz de ejercer de forma constante una fuerza de unas 150 libras mientras caminaba a una velocidad de 250 millas por hora. Sintetizando la información anterior, un caballo era capaz de realizar un trabajo a una tasa de 33 000 ft-lb/min, o 550 ft-lb/seg y esto fue lo que Watt definió como 1 HP.

Una forma de medir torque es utilizando un dinamómetro estilo freno por fricción mecánica o freno Prony. Éste, en su forma básica, consiste de un sistema de acople a la máquina a prueba, un rotor, una cubierta y un brazo de torque

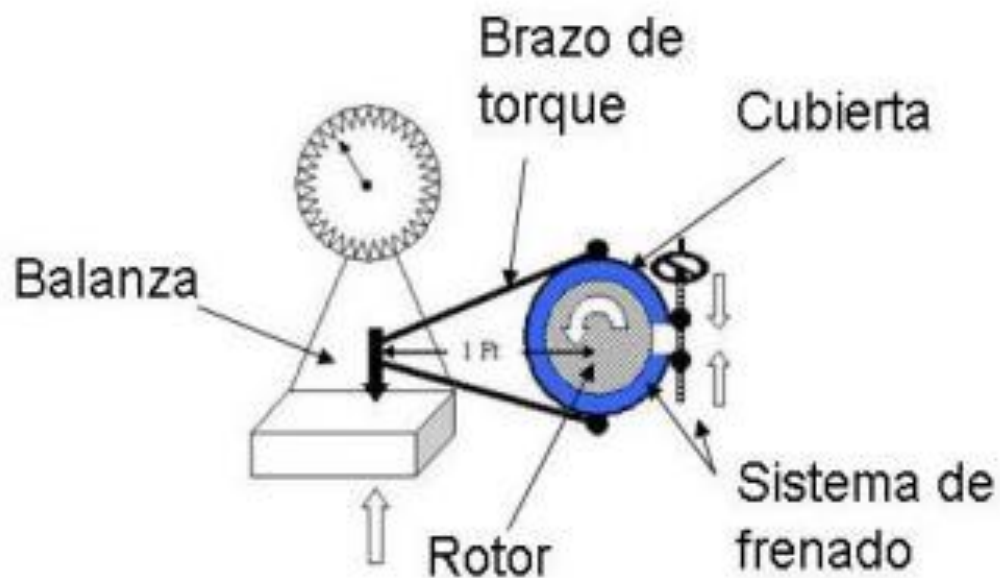


Figura # 12. Funcionamiento básico de un freno tipo Prony.

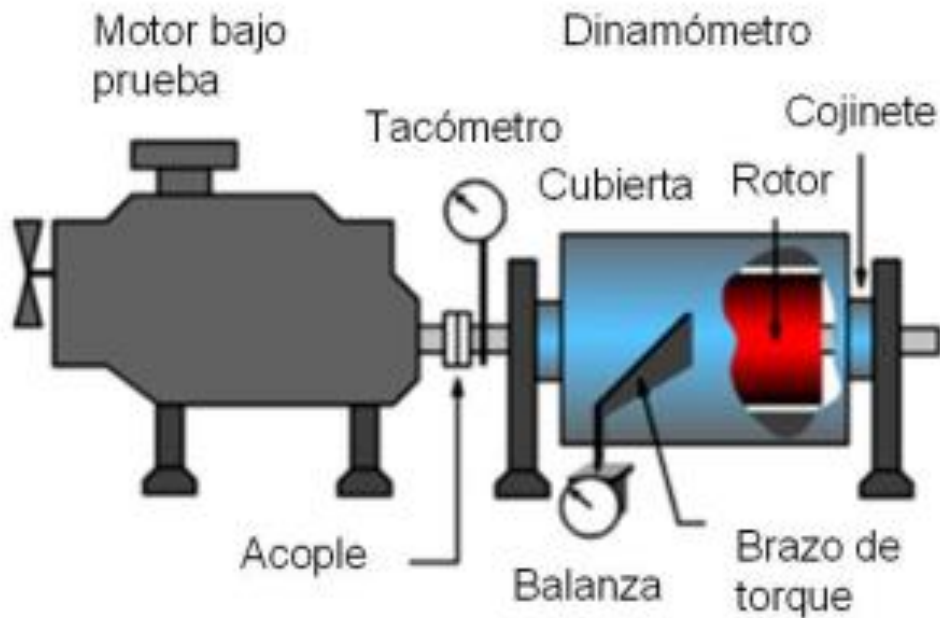


Figura # 13. Partes básicas de un freno tipo Prony.

El sistema de acople y el rotor deben ser ensamblados de forma que giren al unísono, o incluso un solo elemento puede cumplir las dos funciones. El rotor tiene una cubierta montada que funciona como freno utilizando superficies de fricción y debe tener forma de girar libremente, excepto porque está restringida por un brazo de torque. El brazo de torque es conectado a la cubierta del dinamómetro y una balanza es puesta de forma que mida la fuerza ejercida por la cubierta del dinamómetro intentando rotar. El torque es la fuerza indicada por la balanza multiplicada por la longitud del brazo de torque medida desde el centro de giro del rotor del dinamómetro. Una celda de carga transductora puede sustituir la balanza a favor de proveer una señal eléctrica que es proporcional al torque.

Otra forma de medir torque, es conectar el motor al dinamómetro a través de un par sensor de torque o transductor de torque. Un transductor de torque, provee una señal eléctrica que es proporcional al torque.

En nuestro caso se utiliza una cincha de cuero que tiene un ángulo de rozamiento de 180 grados en una superficie fijada al eje del motor. Esta cincha tiene acoplada una balanza digital que nos dará la lectura de la fuerza realizada por el motor cuando

se valla tensando la cincha de cuero mediante el tensor acoplado al sistema. El par motor o torque es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia y está dada por la siguiente expresión:

$$T = F \times r$$

Donde:

(F) es la fuerza ejercida en la balanza digital.

(r) es la distancia entre el centro del eje y la fuerza ejercida sobre la balanza digital.



Figura # 14. Freno Prony utilizado.

Con el freno Prony mostrado y un tacómetro digital habilitado por el laboratorio de resistencia de la institución se pueden experimentar las revoluciones máximas sin carga y con carga que nos entrega el motor así como el torque en los diferentes casos. En la siguiente tabla se muestran los resultados experimentales y la potencia entregada por dicho motor.

La velocidad angular que nos muestra el tacómetro está en la escala de rpm por lo que se convierten a rad/s, esta conversión se muestra en la siguiente expresión:

$$\omega = \text{rpm} * \frac{2\pi}{60} = \text{rad/s}$$

2.3 Cálculo de la potencia hidráulica.

Potencia hidráulica que se suministra al motor hidráulico. A partir de los resultados anteriores y teniendo en cuenta la expresión siguiente se obtiene la potencia hidráulica de entrada al motor. (Acosta, 2014)

$$N_{\text{Hidraulica}} = \rho * g * Q * H \quad (\text{W})$$

$$H = \left(Z + \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$H = 4.85\text{m}$$

$$N_{\text{Hidr}} = 160.96 \text{ W}$$

2.4 Método de evaluación de la variación de la velocidad angular en una revolución.

Con el objetivo de medir la variación de velocidad en una rpm se confecciono un volante con agujeros en su extremo con un diámetro de 0.010m y distancia entre orificios de 0.0095m para un total de 60 agujeros. Se instala un interface que nos ayuda a medir el tiempo que transcurre entre cada interrupción de cada solido al pasar por una celda fotovoltáica instalada al interface. Este interface envía los datos a un software instalado en una computadora donde recoge todos los datos de cada prueba realizada para cada una de las cargas aplicadas al motor. En la siguiente figura se muestra el volante confeccionado para el motor hidráulico.

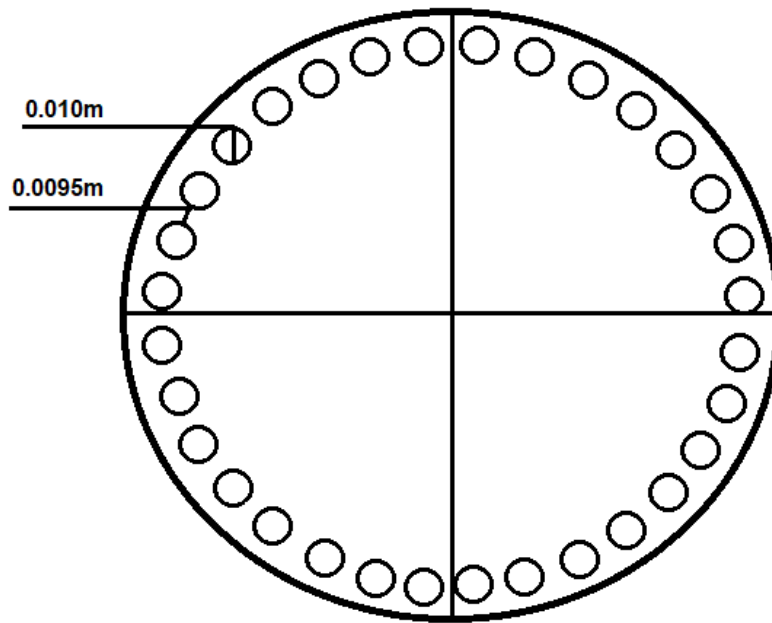


Figura (#15) Volante diseñado para el motor hidráulico.

La celda fotovoltaica trabaja con un led emisor que cuando es interrumpido por cada solido del volante este emite una señal de interrupción en un periodo de tiempo mientras el sólido está interrumpiendo dicha señal. Esta señal la captura el interface y es enviada al software que muestra la lectura captada por cada interrupción en la celda, este software nos da la posibilidad de exportar los datos a una hoja de cálculo Excel donde nos facilita el trabajo con los resultados obtenidos. En la siguiente figura se muestra una imagen de la celda instalada al motor hidráulico.



Figura (# 16) Celda fotovoltaica.

A continuación se muestra una imagen del interface utilizado que funciona digitalmente obteniendo los datos de la celda fotovoltaica y enviando los resultados de los tiempos obtenidos entre solidos al software correspondiente.

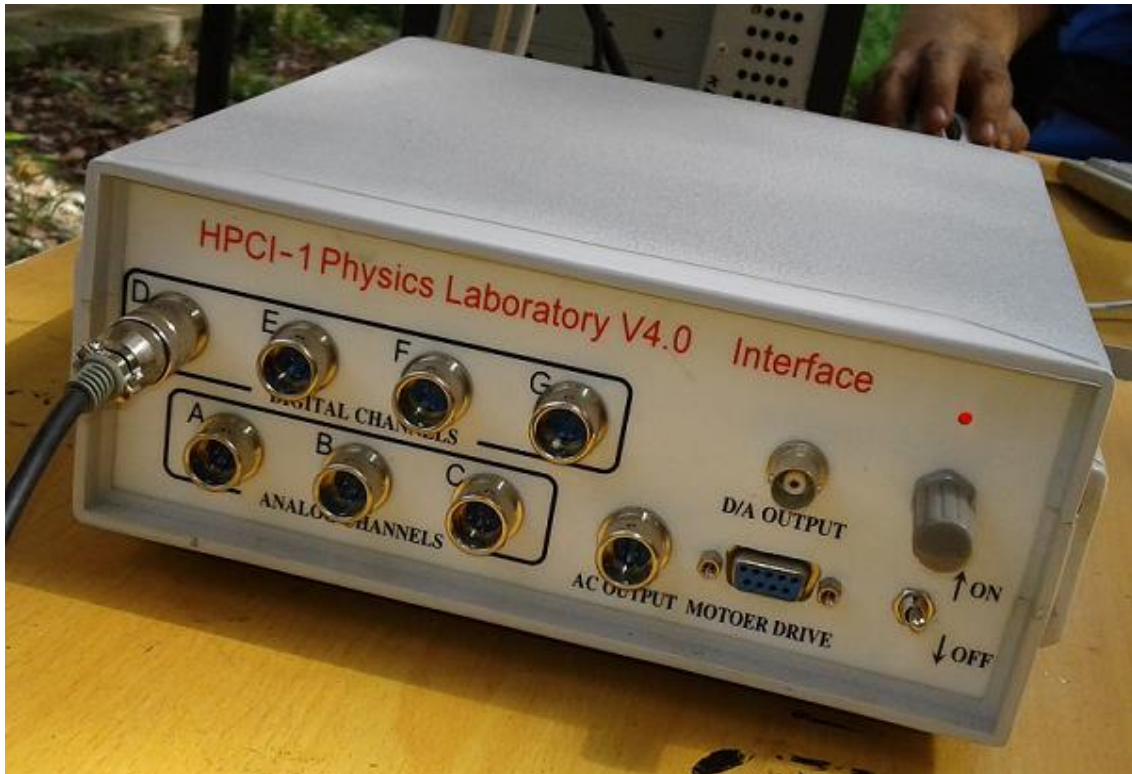


Figura (# 17) Interface.

En la siguiente imagen se muestra el equipo de cómputo donde se administraron los datos de cada prueba realizada.



Figura (# 18) Equipo de cómputo.

Capítulo III.

Capítulo III. Análisis y Evaluación de los resultados obtenidos.

Los experimentos realizados para evaluar el motor hidráulico permitirán aproximarnos más a caracterizar dicho motor, también se realiza un análisis de los resultados obtenidos para así conocer sus potencialidades.

3.1 Evaluación del caudal de agua.

Para el análisis del caudal se hacen una serie de mediciones con el motor detenido y la válvula abierta para así determinar los valores reales de los principales parámetros, el resultado de los mismos se relacionan en la siguiente tabla 6:

Tabla (# 7) Mediciones del caudal hidráulico.

Cálculo del flujo máximo de agua.		
Q	0,003364261	(m³/s)
Cálculo del flujo máximo de agua.		
Q	3,3642	(l/s)
Velocidad del fluido en los conductos.		
V.	0,96	(m/s)
Perdidas Accesorios hasta el pistón.		
H_a	1,35	(m)
Perdidas por tuberías.		
H_t	0,37	(m)
Pérdidas totales.		
H_L	1,72	(m)
Presión en el pistón con la V abierta.		
P	0,00136	Pa
Presión en el pistón con la V cerrada.		
P_{máxima}	1,7275	MPa

Los resultados obtenidos para una altura de (4.8m) son de 3.3642 (l/s), el cual genera una presión sobre el pistón de (1.7275 MPa) cuando la válvula está cerrada, este valor de presión aun no Excel que genera trabajo debido a que el principal

aprovechamiento se realiza cuando se genera el choque hidráulico, el cual supera en varias veces el valor de la presión hidrostática.

3.2 Característica exterior de velocidad del MHP.

Para realizar la característica exterior de velocidad se hace necesario medir en tiempo real los parámetros de revoluciones del motor, la fuerza ejercida en el freno prony y el gasto de agua, para ello se realiza varias pruebas, a partir de la carga máxima estable que es capaz de soportar a régimen estable de rotación y en marcha en vacío, o sea, sin carga.

Se puede apreciar que en cada carga aplicada hay una mínima variación en el tiempo para una cantidad de 10 litros de consumo por lo que se calculó el consumo promedio en cada examen realizado para así tener el consumo específico del motor según la velocidad angular el torque y la potencia generada por el mismo.

Tabla (# 8) Primera prueba realizada para consumo y velocidad angular.

Variación de consumo en tiempo, para 10 litros

w rpm	Fuerta	Tiempo para 10lts en seg.	Consumo en Lts/s
429	0,5	14,37	0,70
426	0,47	14,08	0,71
432	0,56	15,2	0,66
435	0,59	16,02	0,62
434	0,58	15,91	0,63
431	0,53	14,92	0,67
430	0,52	14,65	0,68
432	0,56	15,01	0,67
425	0,46	14,03	0,71
434	0,57	15,55	0,64
433	0,55	15,35	0,65
431	0,52	14,88	0,67

	431	0,53	14,92	0,67
	430	0,52	14,76	0,68
	432	0,56	15,00	0,67
	433	0,55	15,34	0,65
	426	0,48	14,12	0,71
	430	0,51	14,56	0,69
Promedio	430	0,5	14,93	0,67

Tabla (# 9) Segunda prueba realizada para consumo y velocidad angular.

Variación de consumo en tiempo, para 10 litros

w rpm	Fuerta	Tiempo para 10lts en seg.	Consumo en Lts/s
395	0,8	12,02	0,83
401	0,83	12,52	0,80
403	0,84	13,01	0,77
402	0,84	12,98	0,77
393	0,76	11,33	0,88
401	0,83	12,54	0,80
392	0,75	11,28	0,89
405	0,88	13,55	0,74
390	0,72	11,18	0,89
394	0,78	11,87	0,84
392	0,77	11,56	0,87
400	0,81	12,35	0,81
407	0,89	13,73	0,73
403	0,85	13,34	0,75
410	0,9	13,98	0,72
400	0,83	12,79	0,78
406	0,88	13,65	0,73
410	0,9	13,99	0,71

Promedio	400	0,8	14,93	0,79
-----------------	------------	------------	--------------	-------------

Tabla (# 10) Tercera prueba realizada para consumo y velocidad angular.

Variación de consumo en tiempo, para 10 litros

w rpm	Fuerta	Tiempo para 10lts en seg.	Consumo en Lts/s
300	1,15	9,82	1,02
297	1,1	9,56	1,05
305	1,2	10,12	0,99
289	1,07	8,34	1,20
308	1,24	10,54	0,95
299	1,12	9,78	1,02
296	1,09	9,46	1,06
292	1,08	9,19	1,09
304	1,18	9,94	1,01
296	1,09	9,37	1,07
306	1,21	10,01	1,00
310	1,27	10,82	0,92
297	1,1	9,49	1,05
299	1,13	9,76	1,02
307	1,23	10,31	0,97
295	1,09	9,29	1,08
300	1,15	9,79	1,02
306	1,22	10,08	0,99
Promedio	300	9,76	1,03

Tabla (# 11) Cuarta prueba realizada para consumo y velocidad angular.

Variación de consumo en tiempo, para 10 litros

	w rpm	Fuerta	Tiempo para 10lts en seg.	Consumo en Lts/s
	252	1,53	8,23	1,22
	256	1,55	8,56	1,17
	263	1,49	8,94	1,12
	253	1,54	8,28	1,21
	246	1,35	7,98	1,25
	244	1,31	7,56	1,32
	253	1,54	8,27	1,21
	271	1,63	9,5	1,05
	237	1,27	7,17	1,39
	244	1,31	7,58	1,32
	253	1,53	8,21	1,22
	252	1,51	8,15	1,23
	245	1,33	7,89	1,27
	255	1,53	8,43	1,19
	244	1,32	7,77	1,29
	245	1,33	7,84	1,28
	237	1,28	7,19	1,39
	246	1,36	8,01	1,25
	Promedio	250	1,43	9,76

Tabla (# 12) Quinta prueba realizada para consumo y velocidad angular.

Variación de consumo en tiempo, para 10 litros

w rpm	Fuerta	Tiempo para 10lts en seg.	Consumo en Lts/s
232	1,57	7,56	1,32
234	1,58	7,84	1,28
237	1,61	8,01	1,25
230	1,55	7,24	1,38

	227	1,51	7,16	1,40
	231	1,56	7,49	1,34
	230	1,55	7,27	1,38
	227	1,5	7,12	1,40
	231	1,55	7,37	1,36
	237	1,6	7,91	1,26
	230	1,55	7,28	1,37
	227	1,5	7,11	1,41
	231	1,56	7,42	1,35
	230	1,56	7,31	1,37
	232	1,56	7,61	1,31
	232	1,57	7,56	1,32
	227	1,52	7,19	1,39
	227	1,5	7,11	1,41
Promedio	230	1,55	9,76	1,35

A partir de los datos obtenidos, RPM, Fuerza en el prony y el consumo de agua se puede construir una característica exterior de velocidad y así poder ver el comportamiento del MHP.

Para determinar el torque a partir de la fuerza obtenida en el prony se hace multiplicando la fuerza por el radio del mismo.

Tabla (# 13) Característica exterior de velocidad.

Para un radio de 0,075 m

w (rpm)	w (rad/s)	Fuerza Tang. Kgf	Torque Kgf/m	Torque Nm	Potencia W	Consumo Lts/s
430	45,03	0,5	0,04	0,37	16,60	0,67
400	41,89	0,8	0,06	0,588	24,63	0,79
300	31,42	1,15	0,09	0,85	26,55	1,03
250	26,18	1,43	0,11	1,05	27,52	1,24

230	24,09	1,48	0,11	1,09	26,20	1,35
-----	-------	------	------	------	-------	------

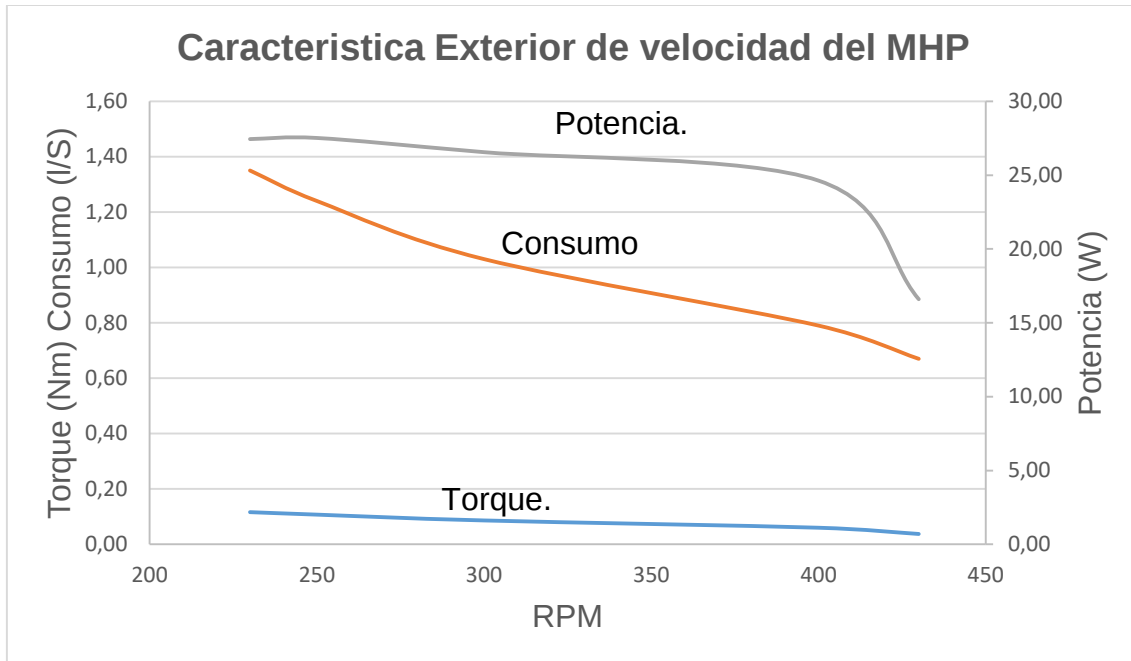


Figura (#24) Evaluación de los parámetros Ne, Me, w y Ge.

A pesar de los esfuerzos realizados y cumplir con los objetivos propuestos los resultados obtenidos no cumplieron las expectativas esperadas, ya que como podemos apreciar el motor hidráulico de pistón no posee una potencia mayor a 26w según las mediciones realizadas, lo cual está muy relacionado con trabajos anteriormente realizados en años anteriores y los cuidados a que estuvo sometido y sin utilización.

3.3 Análisis de la velocidad durante una revolución del motor.

Para realizar esta prueba se le aplica carga al motor para llevarlo a una velocidad angular menor ya que la interface utilizado tiene un rango de mediciones de tiempo relativamente bajo, lo cual dificulta hacer las mediciones a valores mayores a 200rpm.

Con el objetivo de analizar como varía la velocidad del motor en una RPM se diseñó el experimento en el capítulo 2, los resultados obtenidos se muestran ahora durante varias corridas realizadas para evaluar el motor.

Como se puede observar en la figura 3.xxx, donde se evalúa el tiempo que dura una medición entre orificios del volante durante los 360 grados se puede ver la existencia de dos picos que muestran el momento del golpe hidráulico y el de apertura de la válvula, así como también la estabilidad durante la rotación de la energía acumulada en el volante y el empuje ocasionado durante el golpe hidráulico.

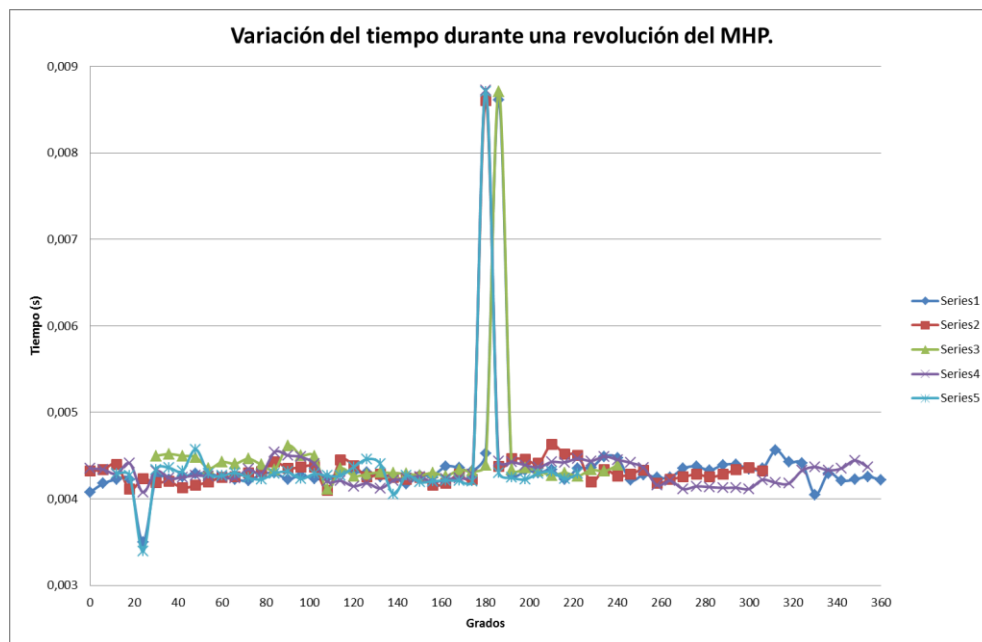


Figura (# 25). Variación del tiempo durante una RPM.

Existe una coincidencia en las corridas hechas durante los experimentos que demuestran los momentos en que ocurren los tiempos principales de este motor, que son el tiempo de cierre brusco de la válvula que la presión alcanza sus valores máximos y la apertura de la válvula que genera una fricción importante que retarda el proceso, en los anexos 1,2 y 3, puede observarse como cambia el tiempo entre los orificios según el proceso y con ello la velocidad tangencial y angular.

3.4 Evaluación económica para la construcción del MHP.

En tesis anteriores se hace un estudio del análisis económico de los diferentes procesos que intervienen en la fabricación del motor, con el objetivo de obtener un estimado del costo de su construcción. Se obtuvieron los costos por material, mano de obra y consumo energético siendo estos favorables como resultado final que la suma asciende a 446.27 USD, 168.81 MN para un total de 615.08, hoy su costo ha aumentado por no utilizarlo adecuadamente, ya que se ha tenido que

invertir en rodamientos, trabajos mecánicos de taller, materiales y juntas, lo cual anda alrededor de 1200 CUP, Hoy el mundo nos brinda una gran variedad de turbinas hidráulicas que oscilan en un precio de 200 dólares americanos. Estas turbinas generan una potencia de más de 25w, aunque con flujos mayores de agua por lo que queda demostrado que hay que seguir trabajando en las mejoras del diseño del motor hidráulico de pistón, con el objetivo de construir una máquina que pueda ser rentable para nuestro país, Logrando que este motor hidráulico de pistón genere una potencia mínima de 600w sería rentable para los pequeños saltos de agua que hoy son inutilizados en las zonas montañosas de nuestro país donde viven familias a las que se les dificulta principalmente la electricidad y pueden tener sistemas híbridos para almacenar energía.

Si hacemos una comparación de estas pequeñas máquinas de baja potencia con el MHP, (tabla 13), puede observarse claramente que si se mejora técnicamente el MHP, es una posible opción como máquina hidráulica para la producción de energía, ya que el consumo de agua es mucho mayor en las turbinas modernas que en el motor hidráulico.

Tabla (# 14) Datos generales (turbinas de baja potencia).

Modelo	Potencia	Altura de salto	Caudal necesario
MHG-000LH	1000 W	1,5 m	130 L/s
MHG-500LH	500 W	1,5 m	70 L/s
MHG-200LH	200 W	1,5 m	35 L/s
Modelo	Potencia	Altura de salto	Caudal necesario
MHP-004	27 W	4.8 m	3.3 L/s

3.5 Evaluación crítica del MHP actual.

Tras la propuesta de evaluar el MHP, han ocurrido una serie de tropiezos con los cual no se contaban, ya que después de trabajos anteriores se suponía que el motor estuviera listo para evaluar, pero el tiempo en desuso y el ambiente al que se mantuvo expuesto determino que varias piezas fueran dañadas por la corrosión.

Las principales causas que hicieron posible la inestabilidad en el funcionamiento del motor se relacionan a continuación:

Desajuste en la camisa del pistón, presenta conicidad, se traba en el punto muerto inferior y presenta desajuste en el punto muerto superior. Como consecuencia de eso el pistón se traba en el punto inferior y presenta demasiada holgura en el punto muerto superior lo que presenta perdidas de presión.

El rodamiento de apoyo de la biela está en mal estado,

El cigüeñal se desalinea con facilidad.

El punto de apoyo de la tapa de block se desalinea con frecuencia ya que fue diseñado con un buje de bronce y no tiene lubricación.

La superficie de la leva y el rodillo con el que esta hace contacto presentan rugosidad por lo que no hay un deslizamiento adecuado.

El eje de apertura de la válvula no funciona correctamente por el desajuste que tiene la guía que lo mantiene en la posición correcta.

3.5.1 Recomendaciones para mejorar el funcionamiento del motor.

Fabricar una tapa de block que tenga la altura necesaria donde quede alineado el cigüeñal para eliminar la junta de amiento, este diseño debe llevar una ranura en la tapa y la base de la tapa para colocar una junta de goma la cual selle herméticamente y no permita perdidas de presión.

Modificar el punto de apoyo de la tapa de block, retirar buje de bronce y colocar rodamiento auto-alineable el cual absorba cualquier desalineación mínima en el cigüeñal.

Rectificar la camisa del cilindro y cromarla para disminuir el coeficiente de fricción y que el pistón se deslice con más facilidad.

Sustituir el material del pistón por baquelita o teflón para disminuir la masa de las piezas a mover y estos materiales no son corrosivos.

Confeccionar una válvula más resistente al impacto que sufre cuando ocurre el golpe de ariete.

Conclusiones.

Conclusiones.

1. Se lograron resultados satisfactorios en cuanto al funcionamiento estable. Hubo un trabajo estable durante las pruebas realizadas, se evaluaron los parámetros necesarios para la construcción de la característica exterior de velocidad.
2. El motor MHP bajo los criterios realizados en este trabajo se evaluó en función de su aplicación a pequeña escala. Se confeccionan los dispositivos necesarios para hacer las mediciones correspondientes por lo que el motor cuenta hoy con una característica exterior de velocidad.
3. Teniendo conocimiento de la necesidad de utilizar fuentes de energía renovables que no contaminen el medio ambiente, la factibilidad en la aplicación de motores hidráulicos de pistón para su aplicación y uso puede ser ya una realidad.
4. Se han caracterizado a través del estudio de la bibliografía las ecuaciones fundamentales para el cálculo del caudal hidráulico, la potencia efectiva, la velocidad angular, el consumo específico y la variación de la velocidad angular en una revolución.
5. Del análisis de costos realizados donde se muestra que los mismos por concepto de material, mano de obra y consumo energético ascienden a 446.27 USD, y 168.81 MN para un total de 615.08 demuestran la factibilidad económica de esta aplicación.

Recomendaciones.

Recomendaciones.

1. Reparar el motor adecuadamente, cambiar el rodamiento del apoyo de la biela, cromar la camisa, hacer el bulón nuevo ya que el que tiene presenta problemas y se desalinea el cigüeñal con facilidad, pulir la superficie de rozamiento de la leca y el rodillo por el que esta se desplaza.
2. Rediseñar el motor en lugares como la tapa de block dándole la altura necesaria para que el cigüeñal quede alineado y así sustituir la junta de amiento por una junta de goma o neopreno que colocado en una ranura en la tapa de block y base selle herméticamente para evitar la pérdida de presión, así como cambiar el buje de bronce por un rodamiento adecuado.
3. Hacer estudios para el rediseño del pistón en cuanto a su dimensionado y el material, se recomienda que este se fabrique de baquelita o teflón que hagan más ligero el mecanismo y así aprovechar más el golpe de ariete y Seguir desarrollando el estudio de este prototipo de máquina hidráulica para futuras investigaciones.

Bibliografía.

Bibliografía.

- Águila López; J., López Expósito, J. J. (2008). Diseño y Construcción Motor Hidráulico de Pistón. Trabajo de diploma; Ucf. (CF).
- Álvarez Sagastume, Juan C. (2003). Construcción y evaluación preliminar del motor hidráulico de pistón MHP. Trabajo de Diploma; Ucf (CF).
- Aneiros Parada J. M. (1983). Problemas de diseño de elementos de máquinas. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- Apolo V. (s.f.). Optimización de diversos tipos de Arietes hidráulicos y su aprovechamiento para riego de pequeñas parcelas en centro Loja. Ecuador.
- AZCUBA. (2014). Cuba apuesta por una energía más limpia, diversa y eficiente. Ministerio de energía y minas, Ministerio de la Agricultura.
- Barco Zorzano, O., López Expósito, J. J. y Águila López; J. (2011). Evaluación de las mejoras realizadas al Motor Hidráulico de Pistón. Trabajo de Diploma; Ucf. (CF).
- Consumo y recursos energéticos a nivel mundial. (2017). Wikipedia.
- CRANE. (s.f). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Preparado por la división de Ingeniería.
- Diario de noticias y eventos de Hidroproyectos. Producción hidroeléctrica de 1971 hasta 2012.
- Expósito, A. (1998). Fluid Mechanics with Applications. USA: Prentice-Hall.
- Ibarra, G., Rodríguez, M., Elías, A. y Caamaño, J. (1997). Las Máquinas hidráulicas y de fluidos a lo largo de la historia.
- Izquierdo, P, R. (2005). Ariete Hidráulico, Diseño, construcción y explotación. Disponible en: www.terra.org/html/s/sol/ingenio/aparatos/Ariete_super.pdf.
- Martínez Díaz., L., Jáuregui, J. (2007). Mecánica De Los Fluidos y Máquinas De Flujo.
- Rodríguez, José L. (2014). Cuba y sus perspectivas energéticas. Cuba Debate. Disponible en:

[file:///E:/descarga/Cuba%20y%20sus%20perspectivas%20energ%C3%A1ticas%20%20una%20revisi%C3%B3n%20reciente%20\(I\)%20%20Cubadebate.html](file:///E:/descarga/Cuba%20y%20sus%20perspectivas%20energ%C3%A1ticas%20%20una%20revisi%C3%B3n%20reciente%20(I)%20%20Cubadebate.html)

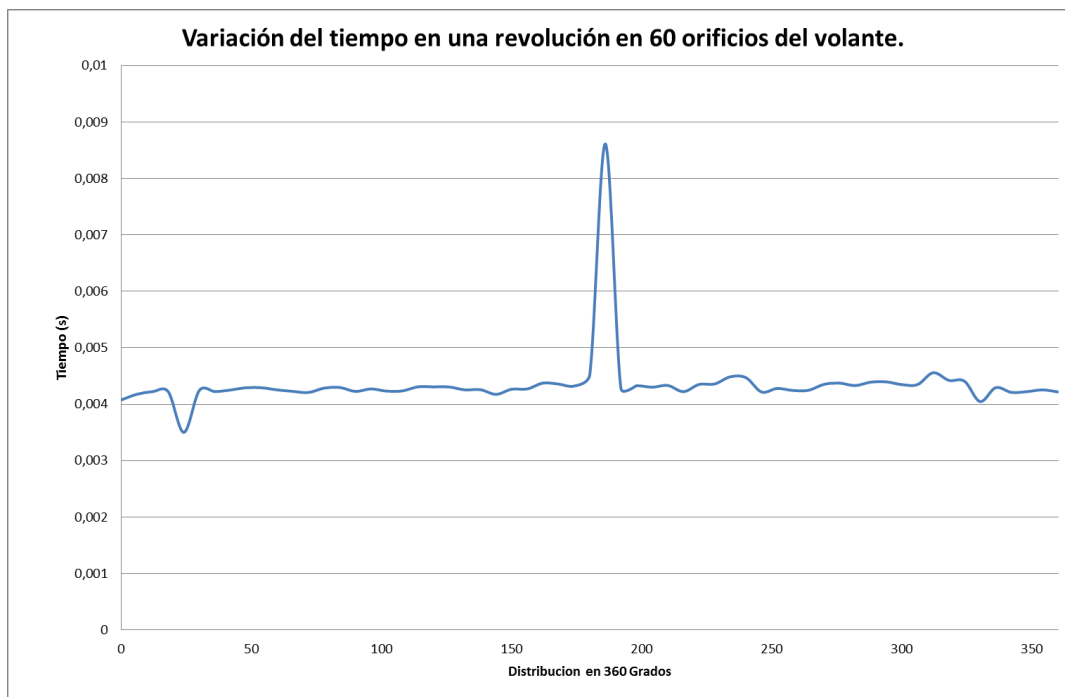
Szczepaniak, C., Aragón Marrero, R. (1987). Teoría del Automóvil. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.

Zamora Parra, B., Viedma Robles, A. (2016). Máquinas Hidráulicas Teoría y Problemas.

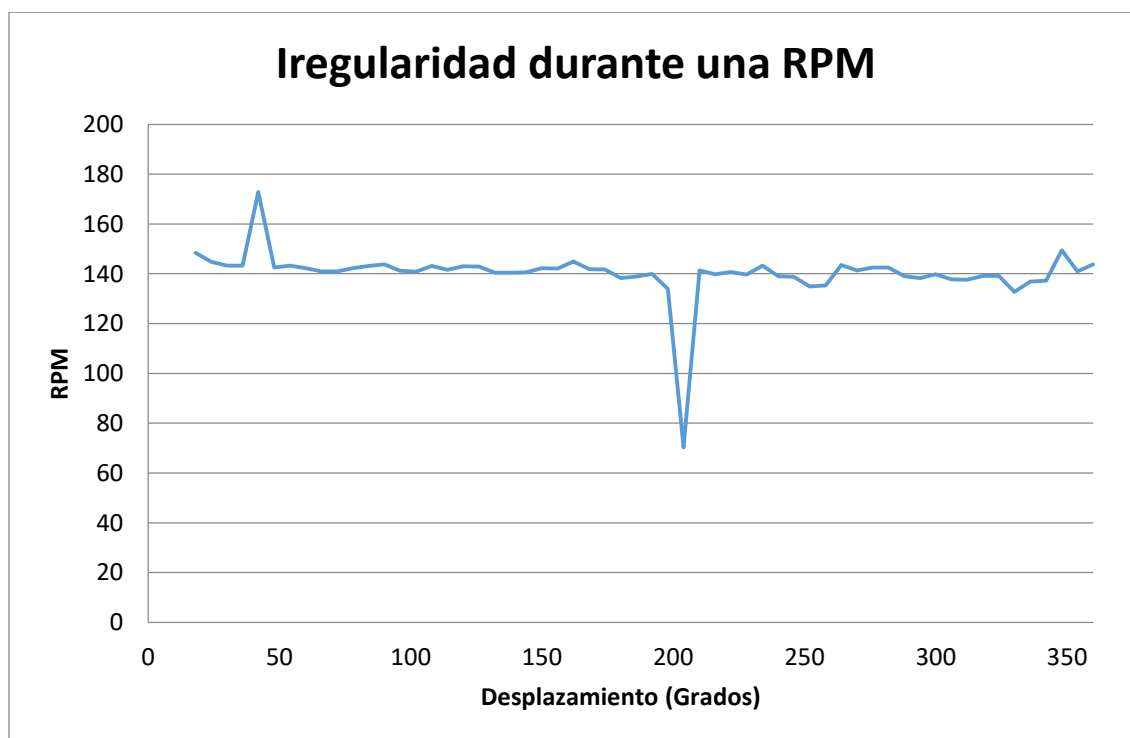
Anexos.

Anexos

Anexo #1 Variacion del tiempo en cada orificio.



Anexo #2 Irregularidad en una rpm.



Anexo # 3 Diagrama de Moody

