



UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TRABAJO DE DIPLOMA

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS
ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Análisis estático por el método de los elementos finitos
del álabe de una turbina Pelton

Autores: Jorge Aníbal Velásquez Tapia
Edison Fabricio Rojas Toapanta

Tutores: Ing. Joao Lazaro Bárzaga Quesada
M.Sc. Roberto Felix Beltrán Reyna



Bayamo, M.N. Julio de 2013
“Año 55 de la Revolución”



UNIVERSIDAD DE GRANMA
ACTA DE DEFENSA DE TRABAJO DE DIPLOMA

Nombre (s) y apellidos del estudiante: Edison Fabreicio Rojas Toapanta

De acuerdo con la Resolución Ministerial 210 / 07 del Ministro de Educación Superior y la convocatoria librada por el Decano, se constituye el tribunal integrado por:

Presidente: MSc Jorge A Borda Cabrera

Secretario: MSc Yusimit R Lamas Hernandez

Vocal: MSc Leon M Ramos Botello

Fungiendo como Tutor: Inj Joao Barzaga G - MSc Roberto Beltran R

y como Oponente: MSc Yensays Morales Parnayo

para evaluar en este acto público el Trabajo de Diploma que tiene por título:

Análisis estático por el método de los elementos finitos del a'abe de una turbina Pelton

Una vez escuchadas la exposición del estudiante, del Tutor, del Oponente y las preguntas planteadas, el tribunal emite la calificación de 5 puntos y formula las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Presentar los resultados de la investigación en un escrito científico

Y para que así conste en el expediente académico del mencionado estudiante, se expide y firma la presente Acta a los 5 días del mes de julio año 2013

[Signature]
Presidente

[Signature]
Secretario

[Signature]
Vocal

Ejemplar único para archivar en el expediente académico del estudiante.



UNIVERSIDAD DE GRANMA
ACTA DE DEFENSA DE TRABAJO DE DIPLOMA

Nombre (s) y apellidos del estudiante: Jorge Anibal Velásquez Tapia

De acuerdo con la Resolución Ministerial 210 / 07 del Ministro de Educación Superior y la convocatoria librada por el Decano, se constituye el tribunal integrado por:

Presidente: MSc Jorge A Bosch Cabrera

Secretario: MSc Yusimit K Zamora Hernández

Vocal: MSc Yoan H Ramos Botello

Fungiendo como Tutor: Ing Joao L Barzaga Q - MSc Roberto Beltrán R

y como Oponente: MSc Yoandrys Espinoza Samayo

para evaluar en este acto público el Trabajo de Diploma que tiene por título:

Análisis estático por el método de los elementos finitos del álabo de una turbina Pelton

Una vez escuchadas la exposición del estudiante, del Tutor, del Oponente y las preguntas planteadas, el tribunal emite la calificación de 5 puntos y formula las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Presentar los resultados de la investigación en un escrito científico

Y para que así conste en el expediente académico del mencionado estudiante, se expide y firma la presente Acta a los 5 días del mes de julio año 2013

[Signature]
Presidente

[Signature]
Secretario

[Signature]
Vocal

Ejemplar único para archivar en el expediente académico del estudiante.



Universidad de Granma
Facultad de Ciencias Técnicas
Dpto. de Ciencias Técnicas

Datos del Tutor:

- ♦ Nombres y apellidos: Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada.
- ♦ Centro de Trabajo: Universidad de Granma.

- ♦ Nombres y apellidos: M.Sc. Roberto F. Beltrán Reyna.
- ♦ Centro de Trabajo: Universidad de Granma.

Opinión del tutor sobre el trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Titulo de la tesis: Análisis estático por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton.

Autores: Jorge Aníbal Velásquez Tapia.

Edison Fabricio Rojas Toapanta.

• **Actualidad e importancia del tema.**

El tema desarrollado tiene una gran importancia, actualidad y aporte social ya que abarca una de las vías para aprovechar las energías renovables tal es el caso de la energía hidráulica muy utilizada en Ecuador debido a su variada geografía y altas montañas que facilitan el uso de centrales hidroeléctricas.

Se trata de una investigación que da respuesta a la necesidad de conocer el estado tensional-deformacional del alabe de una turbina Pelton si ocurriera una obstrucción del movimiento de transmisión al generador.

• **Utilización y pertinencia de la bibliografía.**

Se considera que se hace un correcto uso de la bibliografía para este tipo de investigación, la cual es correctamente referenciada en el cuerpo de la tesis.

• **Estructura y presentación.**

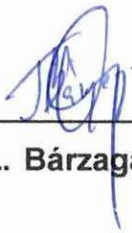
La estructura dada a la tesis está acorde a las normas establecidas en la Guía para proyectos de curso y trabajos de diplomas de la carrera. El Resumen está en correspondencia con el tema de investigación desarrollado. La tesis tiene una buena calidad de presentación al igual que las figuras, gráficas y tablas que aparecen en la misma.

• **Novedad de la Investigación y valor de los resultados**

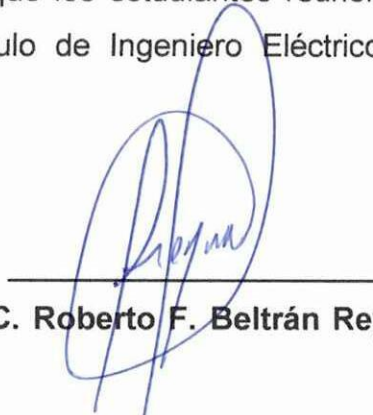
Los diplomantes presentan un estudio estático por el método de elementos finitos de una turbina Pelton utilizando el software CAD SolidWorks 2012 donde desarrollan la pieza y realizan el estudio, el cual es de gran novedad pues simula fenómenos que pudieran ocurrir y a su vez dañar el sistema en cuestión. En el cuerpo del trabajo se presenta todo el basamento para llevar a cabo el estudio donde se presentan los resultados del mismo obteniéndose valores aceptables en todas las respuestas lo que indica que el álabe puede resistir la fuerza del chorro si ocurriera una interrupción de su movimiento giratorio.

Los diplomantes dieron respuesta y solución al problema presentado en la investigación, demostrando haber adquirido con profundidad los conocimientos necesarios para su desarrollo.

Por todo lo expuesto anteriormente considero que los estudiantes reúnen las condiciones para que les sea otorgado el título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.



Ing. Joao L. Bárzaga Quesada, Tutor



M.SC. Roberto F. Beltrán Reyna, Tutor

Viernes, 5 de julio de 2013



**Universidad de Granma
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Ciencias Técnicas**

Opinión del oponente sobre el Trabajo de Diploma

Datos del Oponente:

- ♦ Nombres y apellidos: Yoandrys Morales Tamayo
- ♦ Categoría Docente o Científica: Master en Ciencias, Profesor Asistente
- ♦ Especialista en: Diseño y Fabricación Asistida por Computadora.

Título: Análisis estático por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton.

**Autores: Jorge Aníbal Velásquez Tapia
Edison Fabricio Rojas Toapanta**

**TUTOR: Ing. Joao Barzaga Quesada
M.Sc. Roberto Beltrán Reyna**

• Actualidad e importancia del tema.

El tema desarrollado tiene una gran importancia y actualidad ya que utiliza energía renovable para generar electricidad a partir de fuentes naturales virtualmente inagotables, específicamente utilizando la energía hidráulica para este objetivo. Además se considera este caso como un tipo de energía verde porque su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla. Esta investigación contribuye a la disminución del efecto de los gases invernaderos ya que no queman combustibles. Podemos agregar que las plantas hidráulicas tienen mayor vida que las plantas eléctricas que usan combustibles.

• Características de la investigación y valor de los resultados.

Se trata de una investigación aplicada donde los resultados tienen la posibilidad de ser introducidos en la generación de electricidad de pequeña

demanda. Estos resultados podrán ser generalizados con resultados económicos beneficiosos para las entidades que lo apliquen.

• **Utilización y pertinencia de la bibliografía.**

Consideramos que hay un uso adecuado de la bibliografía para este tipo de investigación, la cual es correctamente referenciada en el cuerpo del trabajo y demás está suficientemente actualizada, destacando el ordenamiento acorde con las normas pertinentes. De un total de 27 referencias bibliográficas, 10 son de los últimos 5 años, 14 son del periodo comprendido entre el 2000 y el 2008 y 2 son de antes del 2000, hay que señalar que una referencia no presentaba año.

• **Estructura y presentación.**

En este trabajo de diploma existe relación entre el título y el contenido. Está estructurado según la Guía de Trabajos de Diploma. La tesis tiene una buena calidad de presentación al igual que las figuras y tablas. Existe un uso racional de su espacio de las páginas durante toda la tesis. Cumple con lo establecido en la Instrucción No. 1/09 con un adecuado uso de la ortografía, aunque tiene algunos errores que serán señalados posteriormente.

• **Señalamientos críticos.**

- En la Introducción, página 4, aparece las fórmulas de los compuestos químicos de manera incorrecta.

-En el Capítulo 1, página 12, aparece la palabra caída escrita incorrectamente.

• **Conclusiones.**

De este modo certificamos el valor que posee el trabajo, su importancia económica y medioambiental. Además los diplomantes han demostrado haberse apropiado de los conocimientos necesarios para desarrollar investigaciones relacionados con la energía hidráulica. Por lo que a nuestro juicio, ninguno de los señalamientos aquí realizados son trascendentales como para invalidar la investigación. Así mismo, proponemos a este tribunal que sesiona, que acepte este Trabajo de Diploma válido para que los autores los compañeros Jorge Aníbal Velásquez Tapia y Edison Fabricio Rojas Toapanta opten por el título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Tamayo

MSc. Yoandrys Morales Tamayo
Oponente

5 de Julio del 2013.

Preguntas:

1. ¿Por qué usted considero que el ángulo de incidencia del chorro de agua es de 45°?
2. ¿En qué criterio usted se basa para la selección de una unión emperrada?
3. ¿Qué criterio usted utilizó para la selección de este material?





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA
DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Sr. Edison Fabricio Rojas Toapanta
Sr. Jorge Aníbal Velásquez Tapia

TUTORES: M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
Ing. Joao Barzaga Quezada

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Análisis MEF de los Álabes de la Turbina Pelton

FECHA: Del 18 de Marzo al 01 de Abril del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer el trabajo realizado en los primeros 15 días desde la llegada a la República de Cuba.

Seguidamente Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecido conjuntamente con los señores tutores.


FECHA	ACTIVIDAD
18-03-2013	<ul style="list-style-type: none">➤ Primer encuentro con los encargados de relaciones exteriores de la Universidad de Granma.➤ Dar a conocer las indicaciones generales de la estadía en la república de Cuba.
19-03-2013 23-03-2013	<ul style="list-style-type: none">➤ Semana de ambientación
24-03-2013	<ul style="list-style-type: none">➤ Primer encuentro con los posibles tutores para desarrollar la tesis y pasantías.
	<ul style="list-style-type: none">➤ Reunión en la Universidad con el director de la

26-03-2013	carrera de Mecánica, en donde nos dan la bienvenida y se dan a conocer los temas de investigación de cada uno de los estudiantes.
27-03-2013 01-04-2013	➤ Ejecución de tareas de investigación designadas por el tutor previo la primera defensa correspondiente al tema.


OBSERVACIÓN: En la primera reunión con los docentes de Ciencias Técnicas, se da a conocer el tema propuesto en el Ecuador, del cual emitieron observaciones en la que no era factible desarrollar el tema, por lo cual se cambió de tema el mismo que consiste en " Diseño y análisis de potencialidades para la instalación de una micro central hidroeléctrica".

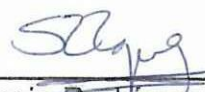

 Sr. Rojas Toapantá Edison Fabricio
ESTUDIANTE


 Sr. Velásquez Tapia Jorge Aníbal
ESTUDIANTE


 M. Sc. Roberto Beltrán Reyna
TUTOR




 Ing. Joao Barzaga Quezada
TUTOR


 Dr. C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Sr. Edison Fabricio Rojas Toapanta
Sr. Jorge Aníbal Velásquez Tapia

TUTORES: M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
Ing. Joao Barzaga Quezada

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

TEMA:

Análisis MEF de los Álabes de la Turbina Pelton

FECHA: Del 02 de Abril al 16 de Abril del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer el trabajo realizado.

Seguidamente Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecido conjuntamente con los señores tutores.


FECHA	ACTIVIDAD
02-04-2013 06-04-2013	➤ Continuación en la elaboración de las tareas de investigación por parte de los estudiantes y revisión del mismo por los tutores.
07-04-2013 09-04-2013	➤ Determinación de la problematización, objetivos, campo de acción e hipótesis.
10-04-2013 13-04-2013	➤ Determinación de la metodología de investigación y demás parámetros necesarios en el desarrollo de la investigación.

14-04-2013
16-04-2013

➤ Elaboración y preparación del material didáctico para la predefensa de la primera parte que son las Tareas de Investigación junto con los tutores.


Sr. Rojas Toapanta Edison Fabricio
ESTUDIANTE


Sr. Velásquez Tapia Jorge Aníbal
ESTUDIANTE


M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
TUTOR




Inge. Joao Barzaga Quezada
TUTOR


Dr.C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Sr. Edison Fabricio Rojas Toapanta
Sr. Jorge Anibal Velásquez Tapia

TUTORES: M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
Ing. Joao Barzaga Quezada

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

TEMA:

Análisis MEF de los Álabes de la Turbina Pelton

FECHA: Del 17 de Abril al 01 de Mayo del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer el trabajo realizado.

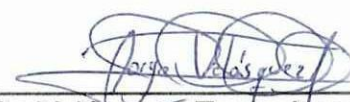
Seguidamente Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecido conjuntamente con los señores tutores.

FECHA	ACTIVIDAD
17-04-2013	➤ Presentación de la investigación ante el Vice-Decano de Investigaciones.
18-04-2013 21-04-2013	➤ Análisis de las recomendaciones emitidas por el tribunal presente en la presentación de la investigación.
23-04-2013 27-04-2013	➤ Búsqueda de bibliografía de acuerdo al tema establecido.
28-04-2013 02-05-2013	➤ Desarrollo de las tareas de investigación en función al tema modificado.

OBSERVACION: El tema de tesis defendido no presta las condiciones establecidas, según el tribunal, motivo por el cual nos vimos obligados a modificar el tema completamente en relación al inicial, el tema propuesto para continuar con el trabajo es "Análisis MEF (método de elementos finitos) del Álabo de la Turbina Pelton".



Sr. Rojas Toapanta Edison Fabricio
ESTUDIANTE



Sr. Velásquez Tapia Jorge Anibal
ESTUDIANTE



M. Sc. Roberto Beltrán Reyna
TUTOR



Ing. Joao Barzaga Quezada
TUTOR

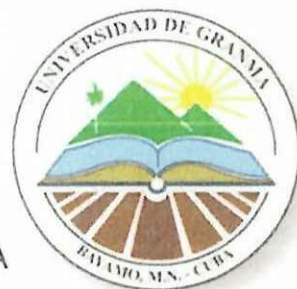


Dr. C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA
DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Sr. Edison Fabricio Rojas Toapanta
Sr. Jorge Aníbal Velásquez Tapia

TUTORES: M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
Ing. Joao Barzaga Quezada

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Análisis MEF de los Álabes de la Turbina Pelton

FECHA: Del 02 de Mayo al 17 de Mayo del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer el trabajo realizado.


Seguidamente Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecido conjuntamente con los señores tutores.

FECHA	ACTIVIDAD
02-05-2013	<ul style="list-style-type: none">➤ Encuentro con los tutores para la revisión de las tareas de investigación de acuerdo al tema establecido.➤ Definición de bibliografía adecuada para la estructuración del marco teórico correspondiente al primer capítulo.
03-05-2013 10-05-2013	<ul style="list-style-type: none">➤ Depuración del contenido del marco teórico, basándonos en las normas de la metodología de investigación.
11-05-2013	<ul style="list-style-type: none">➤ Entrega del primer capítulo a los tutores para la


14-05-2013	revisión del mismo.
15-05-2013	➤ Arreglo del primer capítulo de acuerdo a las observaciones emitidas por los tutores.
17-05-2013	


 Sr. Rojas Toapanta Edison Fabricio
ESTUDIANTE


 Sr. Velásquez Tapia Jorge Aníbal
ESTUDIANTE


 M. Sc. Roberto Beltrán Reyna
TUTOR




 Ing. Joao Barzaga Quezada
TUTOR


 Dr. C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA

INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA
DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Sr. Edison Fabricio Rojas Toapanta
Sr. Jorge Aníbal Velásquez Tapia

TUTORES: M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
Ing. Joao Barzaga Quezada

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Análisis MEF de los Álabes de la Turbina Pelton

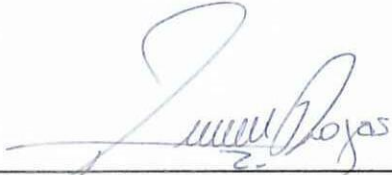
FECHA: Del 18 de Mayo al 01 de Junio del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer el trabajo realizado.

Seguidamente Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecido conjuntamente con los señores tutores.

FECHA	ACTIVIDAD
18-05-2013	➤ Revisión bibliográfica para la continuación acerca del trabajo de diploma.
19-05-2013	
20-05-2013	➤ Cambios de subtemas correspondientes al Tema de trabajo de tesis.
24-05-2013	
25-05-2013	➤ Revisión y adecuación de materiales de apoyo

27-05-2013	para la presentación del segundo corte de evaluación.
28-05-2013	➤ Corte evaluativo correspondiente al primer capítulo.
29-05-2013 01-06-2013	➤ Análisis de los métodos y materiales para el desarrollo del proyecto, lo cual consta en el segundo capítulo.



Sr. Rojas Toapanta Edison Fabricio
ESTUDIANTE



Sr. Velásquez Tapia Jorge Anibal
ESTUDIANTE



M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
TUTOR



Ing. Joao Barzaga Quezada
TUTOR



Dr.C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Sr. Edison Fabricio Rojas Toapanta
Sr. Jorge Aníbal Velásquez Tapia

TUTORES: M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
Ing. Joao Barzaga Quezada

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Análisis MEF de los Álabes de la Turbina Pelton

FECHA: Del 02 de Junio al 17 de Junio del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer el trabajo realizado.


Seguidamente Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecido conjuntamente con los señores tutores.


FECHA	ACTIVIDAD
02-06-2013 03-06-2013	➤ Elaboración de la presentación en power point, para la exposición del tercer corte de evaluación del trabajo de diploma.
04-06-2013	➤ Preparación para la exposición del corte del trabajo de diploma.
05-06-2013	➤ Tercer corte evaluativo del trabajo de diploma correspondiente hasta el segundo capítulo.
06-06-2013	➤ Análisis y modificación de las observaciones,

11-06-2013	emitidas en el corte evaluativo.
12-06-2013 17-06-2013	➤ Presentación de las modificaciones realizadas a los tutores y estudio del trabajo aceptado por ellos.


 Sr. Rojas Toapanta Edison Fabricio
ESTUDIANTE


 Sr. Velásquez Tapia Jorge Aníbal
ESTUDIANTE


 M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
TUTOR


 Ing. Joao Barzaga Quezada
TUTOR


 Dr. C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



**INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA
DE INVESTIGACIÓN**

AUTORES: Sr. Edison Fabricio Rojas Toapanta
Sr. Jorge Aníbal Velásquez Tapia

TUTORES: M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
Ing. Joao Barzaga Quezada

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Análisis MEF de los Álabes de la Turbina Pelton

FECHA: Del 18 de Junio al 01 de Julio del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer el trabajo realizado.

Seguidamente Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecido conjuntamente con los señores tutores.

FECHA	ACTIVIDAD
18-06-2013 23-06-2013	<ul style="list-style-type: none">➤ Diseño del alabe de la turbina Pelton en el Software Soldworks.➤ Simulación de la turbina en el Software.➤ Analisis de los resultados emitidos por el Software SolidWorks.
24-06-2013	<ul style="list-style-type: none">➤ Elaboración del informe final correspondiente al tercer capítulo.
25-06-2013 26-06-2013	<ul style="list-style-type: none">➤ Repaso y preparación de presentación de Power Point, para el corte evaluativo.
27-06-2013	<ul style="list-style-type: none">➤ Corte evaluativo del trabajo de tesis correspondientes a los tres capítulos.


<p>28-06-2013 30-06-2013</p>	<p>➤ Encuentro con los tutores para analizar las recomendaciones emitidas por las personas presentes en el corte evaluativo del trabajo de tesis.</p>
<p>01-07-2013</p>	<p>➤ Revisión final de la estructura de la tesis acorde a las guías metodológicas emitidas en la Universidad de Granma.</p>


OBSERVACIONES:

En el último corte evaluativo se emitieron por parte de las personas presentes varias observaciones, por tal razón se modificó el tema quedando finalmente como: ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS DEL ÁLABE DE UNA TURBINA PELTON.


 Sr. Rojas Toapanta Edison Fabricio
ESTUDIANTE


 Sr. Velásquez Tapia Jorge Aníbal
ESTUDIANTE


 M. Sc. Roberto Beltrán Reyna
TUTOR

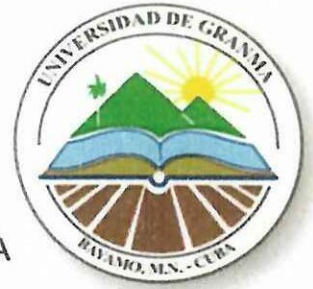

 Ing. Joao Barzaga Quezada
TUTOR


 Dr. C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Sr. Edison Fabricio Rojas Toapanta
Sr. Jorge Aníbal Velásquez Tapia

TUTORES: M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
Ing. Joao Barzaga Quezada

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Análisis estático por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton.

FECHA: Del 02 de Julio al 05 de Julio del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer el trabajo realizado.

Seguidamente Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecido conjuntamente con los señores tutores.

FECHA	ACTIVIDAD
02-07-2013	➤ Entrega tesis impresa al opositor para su respectiva revisión.
03-07-2013	➤ Preparación para la defensa de tesis.

04-07-2013	➤ Impresión final y empastado del trabajo de tesis.
05-07-2013	➤ Defensa del trabajo de diploma.


 Sr. Rojas Toapanta Edison Fabricio
ESTUDIANTE


 Sr. Velásquez Tapia Jorge Aníbal
ESTUDIANTE


 M. Sc. Roberto Beltrán Reyna.
TUTOR


 Ing. Joao Barzaga Quezada
TUTOR


 Dr. C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES



AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Tutor de Trabajo de Investigación sobre el Tema **“ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS DEL ÁLABE DE UNA TURBINA PELTON”** de los Autores **ROJAS TOAPANTA EDISON FABRICIO** y **VELÁSQUEZ TAPIA JORGE ANÍBAL**, quienes son Diplomantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, de la Especialización de **INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**, considero que dicho Proyecto Investigativo cumple con los requerimientos Metodológicos y aportes Científicos – Técnicos suficientes, por lo que autorizo su presentación de acto de defensa en la Facultad de **CIENCIAS TÉCNICAS** de la Universidad de Granma.

Designo para su correspondiente estudio y clasificación.

Bayamo – Cuba a 05 de Julio del 2013



Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada
TUTOR



M.Sc. Roberto Felix Beltrán Reyna
TUTOR



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **VELÁSQUEZ TAPIA JORGE ANÍBAL**, con cédula de ciudadanía No. **050324561-5**, de nacionalidad ecuatoriana, y **ROJAS TOAPANTA EDISON FABRICIO** con cédula de ciudadanía No. **050323628-3** de nacionalidad ecuatoriana, actuando en nombre propio, en calidad de autores de la tesis denominada: **ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS DEL ÁLABE DE UNA TURBINA PELTON**; autorizamos a la Universidades Técnica de Cotopaxi y a la Universidad de Granma, para que utilicen y usen en todas sus formas el presente trabajo.

Como autores declaramos que la obra objeto de la presente autorización es de nuestra exclusiva autoría y nos detentamos la titularidad sobre la misma.

Rojas Toapanta Edison Fabricio

POSTULANTE



M.Sc. Roberto Felix Beltrán Reyna

TUTOR



Velásquez Tapia Jorge Aníbal

POSTULANTE



Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada

TUTOR



AGRADECIMIENTO

A dios por haberme dado salud, fuerza y valor para sobrellevar y resolver los problemas del día a día, un especial agradecimiento a mis padres, Francisco y Teresa, por el cariño, apoyo incondicional y palabras de motivación durante todo este tiempo, a mi cuñado Freddy y su esposa, Rosita, por brindarme hospitalidad y calidez en su hogar, a mis hermanos/as y sobrinos/as por hacer de mis días algo muy hermoso y divertido, a todos ustedes los llevaré siempre en mi corazón.

Un agradecimiento sincero a la Universidad Técnica de Cotopaxi y su Cuerpo Docente de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA) por haberme formado con conocimientos científico-técnicos que me permitirán desenvolverme de modo correcto en el desarrollo de actividades a fines.

Edison Fabricio Rojas Toapanta

DEDICATORIA

Nuevamente a mis padres Francisco y Teresa, por el esfuerzo realizado al permitirme ingresar a una institución de educación superior, a mis hermanos/as por hacer de mis días algo muy hermoso y estar siempre junto a mí siendo mis cómplices y amigos para ayudarme salir de situaciones adversas.

Edison Fabricio Rojas Toapanta

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado salud y fuerza para alcanzar todas mis metas.

A mis padres Jorge y Clemencia quienes me apoyaron en todo momento, por cada sacrificio que hicieron y porque ellos me enseñaron a perseverar sin doblegarme para que hoy yo pueda alcanzar esta meta, siempre serán una guía en mi camino.

A mi esposa Ximena y a mi hija Maholy por haberme dado todo su amor y apoyo, que ha sido el motivo y la inspiración para salir en adelante.

A mis hermanos, Patricia, Rossy, Fernanda, Ana y Javier, por haberme brindado cariño y apoyo moral en todo momento.

A mis sobrinos, Esteeven, Jhoel, Andrés y Alan, que con sus sonrisas nos alegran la vida.

A un gran amigo William Castillo (+), que me supo dar ánimo, apoyo y compartir conocimientos para desenvolverme en la práctica de mi vida profesional.

A todos que me apoyaron y creyeron en mí.

Jorge Aníbal Velásquez Tapia

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado con todo mi corazón para mis padres, Jorge y Clemencia, a mi esposa Ximena, a mi hija Maholy, a mis hermanos, Patty, Rossy, Fernanda, Ana y Xavier, y a mis sobrinos Esteeven, Jhoel, Andrés y Alan, ya que siempre tuve el apoyo incondicional de mi querida familia.

Jorge Aníbal Velásquez Tapia

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objeto fundamental realizar el análisis estático por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton, para ello se realiza este estudio donde se determina el comportamiento tensional deformacional del álabe de una turbina Pelton con la utilización del software SolidWorks.

El trabajo de diploma se basa fundamentalmente en la necesidad de montaje de una micro central hidroeléctrica donde se llevaron a cabo los cálculos que demuestran la fiabilidad del funcionamiento del sistema antes mencionado, para cumplir el objetivo fundamental del trabajo se realiza una búsqueda bibliográfica que permitió analizar la actualidad del tema así como seleccionar la vía correcta para la obtención de resultados aceptables de esta forma se realizó el dimensionamiento de los elementos de la turbina Pelton, con las que se realizaron el ensamblaje del modelo y de esta forma se asignaron las cargas bajo las cuales estuvo sometida así como las restricciones de movimiento, explicadas todas en el segundo capítulo.

En el tercer capítulo se muestran los resultados obtenidos para el estudio estático según las condiciones antes mencionadas obteniéndose valores aceptables, lo cual demuestra que el álabe de la turbina Pelton en cuestión funcionará de forma correcta durante su vida útil y con deformaciones muy pequeña si ocurriera algún fenómeno como el simulado para los cálculos en el software.

ABSTRACT

The present work has like fundamental object to carry out the static analysis for the method of the finite elements of the alabe of a turbine Pelton, for this we did the a study where the behavior tensional deformacional is determined of the alabe of a turbine Pelton with the use of the software SolidWorks.

The end work is based fundamentally on the necessity of assembly a hydroelectric system where they were carried out the calculations that demonstrate the reliability of the operation of the system before mentioned, to complete the fundamental objective we carried out a bibliographical search that allowed to analyze the present time of the topic as well as to select the correct road for the obtaining of acceptable results this way was carried out the measure of the elements of the turbine Pelton, with those that were carried out the assembling of the pattern and this way the loads were assigned under which it was subjected as well as the movement restrictions, explained all in the second chapter.

In the third chapter the results are shown obtained before for the static study according to the conditions mentioned obtaining you acceptable values, that which demonstrates that the alabe of the turbine Pelton in question will work in a correct way during its useful life and with very small deformations if it happened some phenomenon like the feigned one for the calculations in the software.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: ESTADO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES PARA LA GENERACIÓN HIDROENERGÉTICA.	4
1.1 Energías renovables.	4
1.1.1 Antecedentes.	4
1.1.2 Definición.	4
1.1.3 Energía geotérmica.	5
1.1.4 Energía solar fotovoltaica.	5
1.1.5 Energía solar térmica.	6
1.1.6 Energía eólica.	7
1.1.7 Biomasa.	8
1.1.8 Energía hidráulica.	9
1.2 Centrales Hidroeléctricas.	10
1.2.1 Generalidades.....	10
1.2.2 Función.	10
1.2.3 Tipos de Centrales Hidroeléctricas.....	10
1.3 Micro-central hidroeléctrica.....	13
1.3.1 Características.	13
1.4 Turbina hidráulica.....	13
1.4.1 Definición.	13
1.4.2 Clasificación de las turbinas hidráulicas.	14
1.5 Turbinas Pelton.	15
1.5.1 Generalidades.....	15
1.5.2 Principio de funcionamiento de la turbina Pelton.....	15
1.5.3 Componentes de una turbina Pelton.	16

1.6 Generadores eléctricos en centrales hidráulicas.	18
1.6.1 Definición.	18
1.6.2 Generadores sincrónicos.	18
1.6.3 Velocidad síncrona.....	19
1.6.4 Generador asincrónico.	20
1.7 Diseño mecánico.....	20
1.7.1 Estado actual del diseño mecánico.	20
1.7.2 Solid Works.....	21
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.	23
2.1 Introducción.	23
2.2 Procedimiento para el análisis por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton.	23
2.3 Estudio de álabes de la turbina.	23
2.4 Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD.	24
2.5 Ensamble del modelo del álabe de una turbina Pelton.	24
2.6 Asignación de los materiales y sus propiedades a cada pieza.	24
2.7 Asignación de los tipos de contactos entre componentes.	25
2.8 Estudio del álabe de una turbina Pelton por el Método de los Elementos Finitos (MEF).	25
2.10 Calculo de la fuerza del chorro.....	26
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTÁTICO DE UNA TURBINA PELTON.	27
3.1 Descripción dimensional de las piezas que componen el álabe de una turbina Pelton.....	27
3.2 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza.	28
3.3 Cálculo del caudal de los inyectores.	29
3.4 Cálculo de la velocidad tangencial.	29

3.5 Cálculo de la fuerza del chorro.....	30
3.6 Análisis de las cargas y restricciones presentes en los modelos.....	30
3.7 Mallado del modelo.	32
3.8 Análisis de los resultados obtenidos.	33
CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38

INTRODUCCIÓN

Las centrales hidráulicas o micro-hidroeléctricas son utilizadas mundialmente para la generación de energía eléctrica a partir de la energía potencial o cinética del agua. Las micro-centrales han tenido un uso a lo largo del tiempo debido a su pequeño tamaño y por sus bajos precio de adquisición, facilidad de instalación, por lo que han sido implementadas a nivel local e incluso privado. Para la instalación de un sistema de generación eléctrica se debe tener en cuenta las características ambientales y topológicas del lugar ya que es la base fundamental para determinar el tipo de central de generación y establecer una potencia aparente de diseño y a partir de todas estas características se realiza el proceso de estudio de potencialidad del sistema eléctrico.

La instalación de pequeños sistemas de generación ha contribuido en gran escala a proveer energía eléctrica a poblaciones alejadas del sistema eléctrico de distribución, es así que en la actualidad se han desarrollado múltiples proyectos de sistemas de generación utilizando diferentes tipos de recursos renovables.

La generación de energía eléctrica con la utilización de recursos renovables es catalogada como una de las maneras limpias de obtención de energía eléctrica por lo que en la actualidad en muchos países se impulsa el desarrollo e implementación de este tipo de sistemas de generación eléctrica.

En Ecuador la provincia de Tungurahua posee un excelente desarrollo turístico, destacándose el cantón Baños, en la hostería "La Estancia de Dulcelina" debido a la situación geográfica que presenta es posible implementar un sistema de generación eléctrica a través de una micro-central hidroeléctrica, sin embargo se desconocen los esfuerzos a los que estará sometido el álabe de la turbina de generación, de ahí que se hace necesario determinar el comportamiento tensional deformacional de dicho elemento, por lo antes expuesto se plantea el siguiente problema científico.



Problema científico:

¿Cómo determinar el estado tensional deformacional del álabe de una turbina Pelton?

Objetivo general:

Determinar el estado tensional deformacional por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton.

Objetivos específicos:

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre el estado actual del tema.
2. Modelar en el software CAD SolidWorks el álabe de la turbina Pelton.
3. Realizar el análisis estático por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton.
4. Elaborar el informe final.

Hipótesis:

Si se realiza un correcto análisis estático por el método de los elementos finitos del álabe de la turbina Pelton, se podrá determinar su comportamiento tensional deformacional.

Objeto de estudio:

Turbina Pelton.

Campo de acción:

Álabe de la turbina Pelton.

Métodos de investigación:

- Método histórico – lógico, se estudiaron los antecedentes en el tema teniendo en cuenta las investigaciones preliminares y sus respectivos resultados obtenidos reflejándolo en la bibliografía.
- Método de inducción – deducción, para hacer referencias oportunas de lo particular a lo general y viceversa, según las circunstancias específicas de cada una de las etapas de trabajo lo requieran.

- Método de análisis y síntesis, se estudiaron, revisaron y analizaron estudios referentes al tema, al igual que el software utilizado.
- Empíricos: Consulta a expertos que permitieron afianzar conocimientos y aclarar dudas acerca del uso de los software y dieron vías de solución al problema planteado.
- Revisión bibliográfica.

Resultados esperados:

Obtener el comportamiento tensional deformacional del álabe de una turbina Pelton.

CAPITULO I: ESTADO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES PARA LA GENERACIÓN HIDROENERGETICA.

1.1 Energías renovables.

1.1.1 Antecedentes.

La crisis energética, originada por la brusca subida de los precios del petróleo, propició el desarrollo de los recursos renovables autóctonos e inextinguibles, en contraposición a los recursos fósiles, limitados en el espacio y en el tiempo. Más tarde, cuando las predicciones acerca del agotamiento de los recursos fósiles resultaron ser excesivamente pesimistas, la preocupación general por el fenómeno del calentamiento global del planeta, en buena parte debida a las emisiones de CO₂, SO₂ y NO_x en los procesos de generación de energía eléctrica con combustibles fósiles, y las incertidumbres planteadas por el futuro de los residuos nucleares, volvieron a poner de relieve las ventajas de generar electricidad con recursos renovables. Se llegó incluso a poner sobre la mesa la aplicación de un impuesto neutro, la ecotasa, para penalizar la combustión de recursos fósiles y externalizar los costes de generación.

1.1.2 Definición.

Entiéndase como energía renovable aquella cuya fuente de obtención se renueva constantemente, frente a las energías no renovables que no se renuevan o que tienen unos períodos de renovación muy largos.

La energía que recibe la tierra del sol es enorme, la cual está presente de manera cotidiana. La energía solar recibida por la tierra en un año es unas 10 000 veces superior al consumo total de energía de la humanidad en un año, si bien se registran grandes variaciones, desde menos de 1 500 kcal por metro cuadrado al día en la zona norte de Europa, mientras que en los trópicos está en el rango de las 7 000 kcal. También existen grandes variaciones diarias por los días claros o nublados o estacionales, tal es el caso del verano e invierno (Vargas, 2006).

Existen diversos tipos de energías renovables las principales muestran en la figura 1.1.

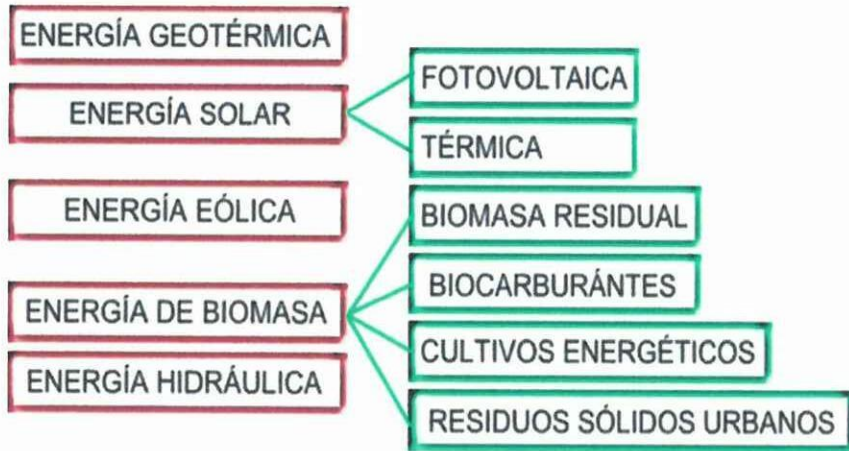


Fig. 1.1 Clasificación de las energías renovables.

Fuente: (Cofre, 2012).

1.1.3 Energía geotérmica.

La geotermia es una fuente de energía renovable ligada a volcanes, géiseres, aguas termales y zonas tectónicas geológicamente recientes, es decir, con actividad en los últimos diez o veinte mil años en la corteza terrestre (Burton et al., 2001).

Para obtener esta energía se necesitan yacimientos de agua caliente. El suelo se perfora y se extrae el líquido, que saldrá en forma de vapor si su temperatura es suficientemente alta y se podrá aprovechar para accionar una turbina que con su rotación mueve un generador que produce energía eléctrica (Burton et al., 2001; IEA, 2004).

El agua geotérmica utilizada se devuelve posteriormente al pozo, mediante un proceso de inyección, para ser recalentada, mantener la presión y sustentar la reserva. Entre 1995 y 2002 la potencia geotérmica instalada en el mundo creció de manera continuada, pasando de casi 6.840 a más de 8.350 megavatios, lo que representa un aumento de un 22,3% en ese periodo (IEA, 2004).

1.1.4 Energía solar fotovoltaica.

La energía fotovoltaica aprovecha la radiación solar para producir la energía eléctrica. Se basa en la absorción de la radiación solar por parte de un material semiconductor, que constituyen las denominadas células fotovoltaicas, provocando un desplazamiento de cargas en su interior y originando la generación de una corriente continua (Agency, 2007).



El Sol emite una radiación compuesta fundamentalmente por un 46 % de infrarrojos un 47 % de luz visible y un 7 % de ultravioletas (IEA, 2004).

Por otra parte el 70 % de la radiación recibida, es absorbida y el 30 % reflejada otra vez al espacio (Energy, 2006).

La energía solar fotovoltaica está basada en la aplicación del efecto fotovoltaico que se produce al incidir la luz sobre materiales semiconductores (captación fotónica), generando una corriente eléctrica (Energy, 2006).

La figura 1.2 muestra el principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica.

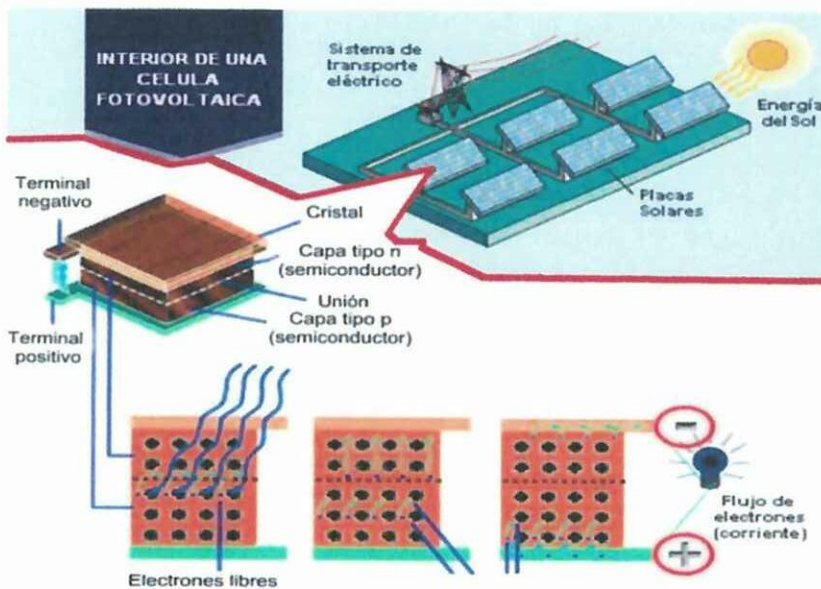


Fig. 1.2 Principio de funcionamiento de una célula solar fotovoltaica.

1.1.5 Energía solar térmica.

La energía solar térmica se basa en la conversión de la energía procedente de la radiación solar en calor transferido a un fluido (normalmente agua). En el caso de pequeñas instalaciones no se produce electricidad de forma directa, aprovechándose la energía en su forma térmica (Agency, 2007).

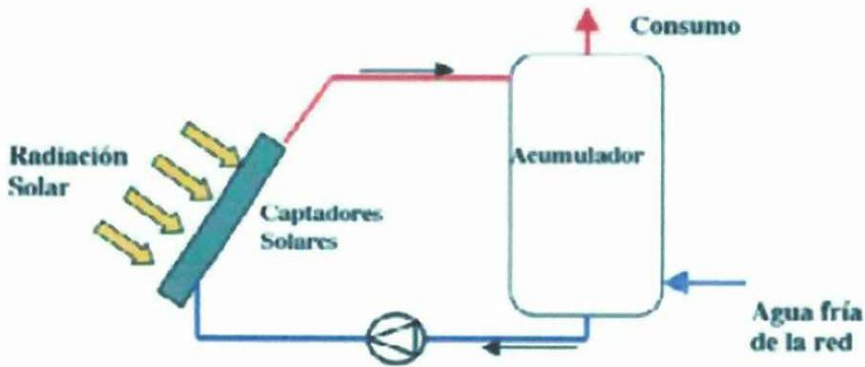


Fig. 1.3 Sistema de proceso de calentamiento.

Fuente: (Agency, 2007).

Existen varias formas de aprovechar la energía solar térmica:

1. Térmica de baja temperatura.
2. Termosifón directo.
3. Intercambiador interior.
4. Intercambiador exterior.
5. Térmica de concentración.
6. Térmica alta temperatura.

1.1.6 Energía eólica.

El viento es una fuente de energía natural producido por el desplazamiento de las masa de aire al calentarse por la acción del Sol. Estas corrientes de Aire pueden aprovecharse con un sistema de aspas que producirán un movimiento de rotación el cual a su vez es aprovechado para mover un generador eléctrico, como se puede observar en la figura 1.4 (IEA, 2004).

Los aerogeneradores dañan menos el medio ambiente que otras fuentes, aunque requieren una velocidad media del viento de al menos 21 km/h (Burton et al., 2001).



Fig. 1.4 Representación de un campo de aerogeneradores.

Fuente: (Burton et al., 2001).

1.1.7 Biomasa.

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego (PNUD-BUN-CA, 2002).

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termo-químico y el bioquímico (PNUD-BUN-CA, 2002).

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos.

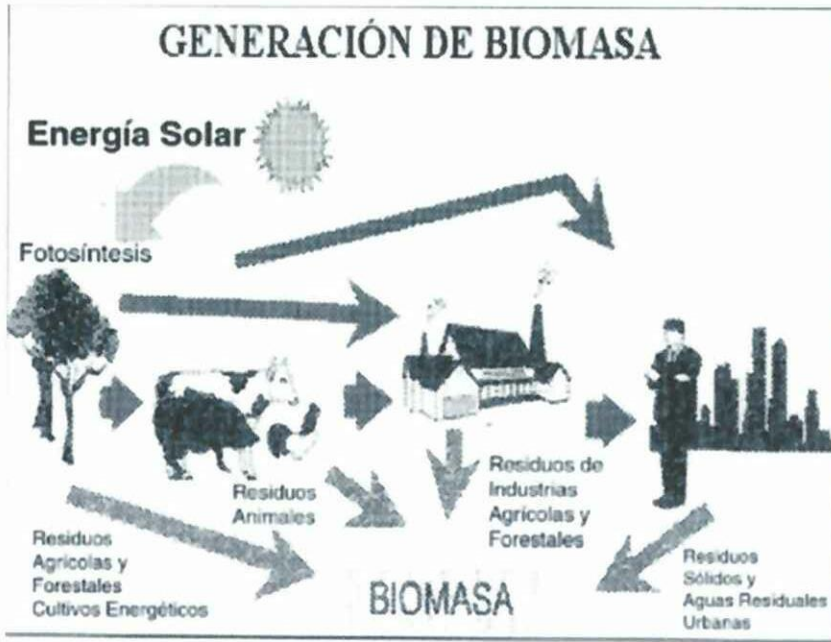


Fig. 1.5 Fuentes de Biomasa.

Fuente: (PNUD-BUN-CA, 2002).

En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente (PNUD-BUN-CA, 2002).

1.1.8 Energía hidráulica.

La energía hidráulica se utiliza desde hace mucho tiempo y en principio se hizo para mover molinos y alguna otra aplicación elemental, pero con el desarrollo industrial, se utiliza principalmente para la producción de energía eléctrica (Energy, 2006).

En principio el agua se embalsa y posteriormente se la hace pasar a través de unos conductos que desembocan en una turbina acoplada a un generador eléctrico que produce dicha energía (González, 2009).

Entre otras ventajas tiene la de poder utilizarse en el momento que se precisa y generalmente su puesta en funcionamiento es muy rápida a diferencia de las centrales térmicas, por lo que se pueden utilizar estas centrales como

elementos de regulación de la red, aportando rápidamente energía en momentos puntuales (González, 2009).

Es una energía muy limpia ya que no produce residuos contaminantes, pero tiene un considerable impacto ambiental ya que modifica la estructura de los ríos y el normal desarrollo de los ecosistemas (IEA, 2004).

En los últimos años han proliferado las centrales hidráulicas de pequeña potencia, llamadas minicentrales hidráulicas o genéricamente producción minihidráulica (IEA, 2004).

1.2 Centrales Hidroeléctricas.

1.2.1 Generalidades.

Un aprovechamiento hidráulico necesita, para generar electricidad, un determinado caudal y un cierto desnivel. Se entiende por caudal la masa de agua que pasa, en un tiempo determinado, por una sección del cauce y por desnivel, o salto bruto, la distancia medida en vertical que recorre la masa de agua a diferencia de nivel entre la lámina de agua en la toma y en el punto donde se restituye al río el caudal ya turbinado.

1.2.2 Función.

La función de una central hidroeléctrica es utilizar la energía potencial del agua almacenada y convertirla, primero en energía mecánica y luego en eléctrica. Este tipo de sistemas de generación son los que más cantidad de potencia aportan al sistema eléctrico en todos los países del mundo debido a su gran aplicación tanto en lugares montañosos, por las pendientes que presentan los arroyos, así como en los embalses mediante el desvío de sus aliviaderos se pueden construir diferentes tipos de hidroeléctricas.

1.2.3 Tipos de Centrales Hidroeléctricas.

Las centrales hidroeléctricas pueden clasificarse de la siguiente manera (OLADE-BID, 1985; Coz, 1995; ESHA, 2006):

a).- Según su Concepción Arquitectónica:

1.- Centrales al aire libre, al pie de la presa, o relativamente alejadas de esta, y conectadas por medio de una tubería en presión.



2.- Centrales en caverna, generalmente conectadas al embalse por medio de túneles, tuberías en presión, o por la combinación de ambas.

b).- Según su Régimen de Flujo:

1.- Centrales de agua fluyente.

Llamadas también de agua corriente, o de agua fluyente. Se construyen en los lugares en que la energía hidráulica debe ser utilizada en el instante en que se dispone de ella, para accionar las turbinas hidráulicas. No cuentan prácticamente con reserva de agua, oscilando el caudal suministrado según las estaciones del año.

En la temporada de precipitaciones abundantes, desarrollan su potencia máxima, y dejan pasar el agua excedente. Durante la época seca, la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en la época de estiaje. Su construcción se realiza mediante presas sobre el cauce de los ríos, para mantener un desnivel constante en la corriente de agua.

2.- Centrales de embalse.

Se alimenta del agua de grandes lagos o de pantanos artificiales, conseguidos mediante la construcción de presas. El embalse es capaz de almacenar los caudales de los ríos afluentes, llegando a elevados porcentajes de captación de agua en ocasiones. Esta agua es utilizada según la demanda, a través de conductos que la encauzan hacia las turbinas.

3.- Centrales de bombeo o reversibles.

Son centrales que acumulan caudal mediante bombeo, con lo que su actuación consiste en acumular energía potencial. Pueden ser de dos tipos, de turbina y bomba, o de turbina reversible. La alimentación del generador que realiza el bombeo desde aguas abajo, se puede realizar desde otra central hidráulica, térmica o nuclear. No es una solución de alto rendimiento, pero se puede admitir como suficientemente rentable, ya que se compensan las pérdidas de agua o combustible.

c).- Según su altura de caída del agua:

1.- Centrales de alta presión.

Aquí se incluyen aquellas centrales en las que el salto hidráulico es superior a los 200 metros de altura. Los caudales desalojados son relativamente pequeños, 20 m³/s por máquina. Situadas en zonas de alta montaña, aprovechan el agua de torrentes, por medio de conducciones de gran longitud. Utilizan turbinas Pelton y Francis.

2.- Centrales de media presión.

Aquellas que poseen saltos hidráulicos de entre 200-20 metros aproximadamente. Utilizan caudales de 200 m³/s por turbina. En valles de media montaña, dependen de embalses. Las turbinas son Francis y Kaplan, y en ocasiones Pelton para saltos grandes.

3.- Centrales de baja presión.

Sus saltos hidráulicos son inferiores a 20 metros. Cada máquina se alimenta de un caudal que puede superar los 300 m³/s. Las turbinas utilizadas son de tipo Francis y especialmente Kaplan.

4.- Centrales de muy baja presión.

Son centrales correspondientes con nuevas tecnologías, pues llega un momento en el cuál las turbinas Kaplan no son aptas para tan poco desnivel. Serían en inglés las very low head, y suelen situarse por debajo de los 4 m.

d).- Según la potencia que generan:

Según (ESHA, 2006; Álvarez, 2009; MCH, 2012; Sandoval, 2012) expresan que "Mini-hidráulica es el término con el que la UNIDO (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial), denomina a las centrales hidroeléctricas de potencia inferior a 10 MW". Pero Sandoval (2012) plantea que las centrales pueden clasificarse:

1. Pico-centrales hidroeléctricas: $P < 5 \text{ kW}$
2. Micro-centrales hidroeléctricas. $P < 100 \text{ kW}$
3. Mini-centrales hidroeléctricas: $P < 1000 \text{ kW}$
4. Pequeñas centrales hidroeléctricas: $P < 10000 \text{ kW}$

1.3 Micro–central hidroeléctrica.

Estas centrales generan potencias comprendidas entre los 6 kW y los 100 kW, son ideales para abastecer a zonas aisladas de preferencia comunidades donde la carga se encuentra cerca de la generación, las obras civiles son mínimas, se utiliza en la gran mayoría motores como generadores y sus respectivos reguladores de carga (Coz, 1995; Murgueza, 2000; ITDG, 2004; Castro, 2006; Delgado, 2007; Mallitásig, 2008).

1.3.1 Características.

Las Micro-centrales hidroeléctricas tienen dos componentes particulares, turbinas y reguladores, que no cuentan con una oferta de mercado de alta difusión y para los que es conveniente desarrollar proveedores locales que pueden en el futuro atender reparaciones y nuevos suministros. La ingeniería utilizada en estos componentes, debe ser lo suficientemente sencilla como para permitir su construcción con las máquinas, equipos e instrumentos y con los niveles de calificación de mano de obra, con que habitualmente se cuenta en regiones rurales alejadas de los centros urbanos desarrollados. Se requiere garantizar condiciones preestablecidas de calidad en las prestaciones de tales componentes y utilizar criterios de estandarización que faciliten la rápida y sencilla reposición total o parcial de los mismos.

1.4 Turbina hidráulica.

1.4.1 Definición.

Según Ortiz (2001) dice que, “La turbina es el equipo en el cual se transforma la energía hidráulica en mecánica; esta acoplado directamente con el generador y en conjunto atiende la demanda de energía eléctrica”.

Una turbomáquina elemental o monocelular tiene, básicamente, una serie de álabes fijos, (distribuidor), y otra de álabes móviles, (rueda, rodete, rotor). La asociación de un órgano fijo y una rueda móvil constituye una célula; una turbomáquina monocelular se compone de tres órganos diferentes que el fluido va atravesando sucesivamente, el distribuidor, el rodete y el difusor (Environment, 2012).

El distribuidor y el difusor (tubo de aspiración), forman parte del estator de la máquina, es decir, son órganos fijos; así como el rodete está siempre presente, el distribuidor y el difusor pueden ser en determinadas turbinas, inexistentes.

El distribuidor es un órgano fijo cuya misión es dirigir el agua, desde la sección de entrada de la máquina hacia la entrada en el rodete, distribuyéndola alrededor del mismo, (turbinas de admisión total), o a una parte, (turbinas de admisión parcial), es decir, permite regular el agua que entra en la turbina, desde cerrar el paso totalmente, caudal cero, hasta lograr el caudal máximo. Es también un órgano que transforma la energía de presión en energía de velocidad; en las turbinas hélicocentrípetas y en las axiales está precedido de una cámara espiral (voluta) que conduce el agua desde la sección de entrada, asegurando un reparto simétrico de la misma en la superficie de entrada del distribuidor (Environment, 2012).

1.4.2 Clasificación de las turbinas hidráulicas.

Las turbinas hidráulicas se pueden clasificar:

a).- Según la variación de la presión estática a través del rodete (Environment, 2012).

1. Turbinas de acción o impulso, cuando la presión estática permanece constante entre la entrada y salida del rodete, (turbina Pelton de 1 o más inyectores, Turgo y turbina Michell-Banki).
2. Turbinas de reacción, cuando la presión estática disminuye entre la entrada y salida del rodete, (turbina Francis, Kaplan, y turbinas axiales).

b).- Según la dirección del flujo a través del rodete:(Environment, 2012).

1. Turbinas de flujo tangencial.
2. Turbinas de flujo radial.
3. Turbinas de flujo semi-axial.

c).- Según el grado de admisión del rodete (Environment, 2012):

Considerando la alternativa de que los alabes del rodete estén sometidos parcial o simultáneamente a la acción del flujo del agua:

1. Turbias de admisión parcial.
2. Turbinas de admisión total.

1.5 Turbinas Pelton.

La turbina Pelton, se conoce como turbina de presión por ser esta constante en la zona del rodete, de chorro libre, de impulsión, o de admisión parcial por ser atacada por agua solo una parte de la periferia del rodete.

1.5.1 Generalidades.

La turbina Pelton pertenece al grupo de las turbinas de impulsión o de acción. Con estas se produce la transformación completa de la energía de presión del agua en energía cinética en el distribuidor.

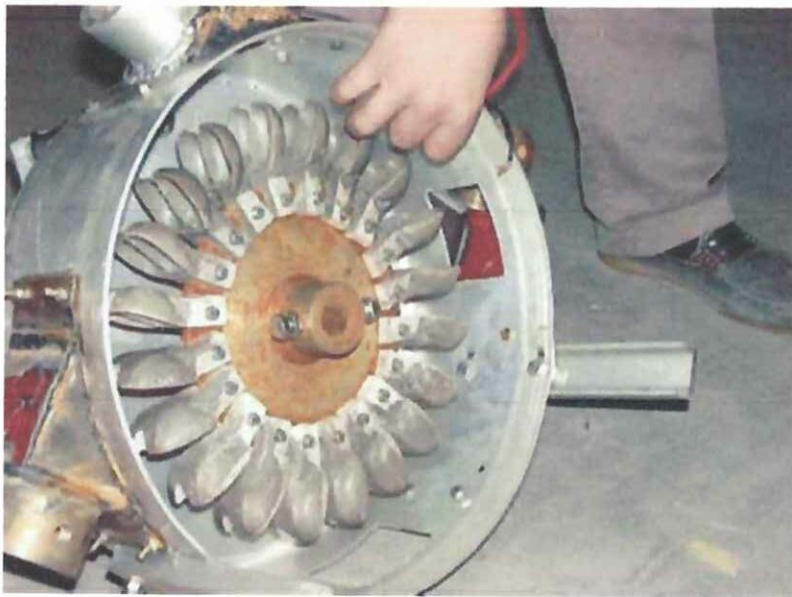


Fig. 1.6 Esquema de la turbina Pelton.

Fuente: (www.solener.com/index.html).

Las turbinas Pelton se utilizan con saltos grandes y caudales de agua relativamente reducidos. La potencia de la turbina se regula mediante la sección transversal de la tobera. En la práctica, se utilizan turbinas Pelton para accionar alternadores sincrónicos, donde funcionan con un número de revoluciones constante (Environment, 2012).

1.5.2 Principio de funcionamiento de la turbina Pelton.

El principio de funcionamiento de una turbina Pelton es la obtención de energía mecánica a través de la transformación de la energía hidráulica del fluido que la atraviesa.

La energía potencial del agua embalsada, o energía de presión, hasta los orificios de salida de las toberas, se convierte en energía cinética, al salir el agua a través de dichos orificios en forma de chorros libres. Estos chorros de agua incide tangencialmente sobre el rodete, empujando a los cangilones que lo forman, obteniéndose el trabajo mecánico deseado (Sanabria., 2009).

1.5.3 Componentes de una turbina Pelton.

Los componentes principales de toda turbina hidráulica es el rodete mismo. Sin embargo, el rodete por sí solo no puede hacer mucho, requiere de ciertos accesorios.

Los componentes esenciales de una turbina Pelton, según (Sanabria., 2009) son:

1. El distribuidor.
2. El rotor.
3. La carcasa.
4. La cámara de descarga.
5. El sistema de frenado.
6. El eje de la turbina.

a).- El distribuidor.

Está constituido por uno o varios equipos de inyección de agua, cada uno de dichos equipos tiene como misión dirigir convenientemente un chorro de agua cilíndrico y de sección uniforme sobre el rotor. También regula el caudal preciso que ha de fluir hacia el rotor, llegando incluso a cortarlo totalmente cuando sea necesario.

b).- El rotor.

Es la pieza clave donde se transforma la energía hidráulica del agua en energía mecánica. Esencialmente consta de los siguientes elementos:

- 1.- Rueda motriz: Está unida rígidamente al eje por medio de chavetas y anclajes adecuados. Su periferia está mecanizada apropiadamente para ser soporte de los cangilones.
- 2.- Cangilones: También denominados álabes, cucharas o palas.

Están diseñados para recibir el empuje directo del chorro de agua. Su forma es similar a la de una doble cuchara, con una arista interior lo más afilada posible, de modo que divide al cangilón en dos partes simétricas sobre esta arista donde incide el chorro de agua.

Actualmente para rotores de cualquier tamaño, los cangilones están forjados con la misma rueda, formando pieza única, lo cual permite una economía en la construcción y mayor seguridad de funcionamiento, dado el impacto inicial del agua que han de soportar en el momento del arranque, la fuerza centrífuga alcanzada en caso de embalamiento.

c).- La carcasa.

Es la envoltura metálica que cubre los inyectores, el rotor y los otros elementos mecánicos de la turbina. Su principal objetivo es evitar que el agua salpique al exterior, luego de abandonar los cangilones.

En turbinas instaladas con el eje en posición vertical, la carcasa, situada horizontalmente, tiene en su periferia unos conductos de paso de aire a fin de lograr el adecuado equilibrio de presiones.

En el caso de turbinas con el eje horizontal, la aireación se efectúa desde la cámara de descarga.

d).- La cámara de descarga.

La cámara de descarga, también conocida como tubería de descarga, es la zona por donde cae el agua libremente hacia el desagüe, después de haber movido el rotor. Para evitar deterioros por la acción de los chorros de agua, y especialmente de los originados por la intervención del deflector, la cámara de descarga suele disponer de un colchón de agua de 2 a 3 m de espesor y blindajes o placas situadas adecuadamente.

e).- El sistema de frenado.

Consiste en un circuito de agua derivado de la cámara de distribución. El agua, proyectada a gran velocidad sobre la zona convexa de los cangilones, favorece el rápido frenado del rodete, cuando las circunstancias lo exigen.

f).- El eje.

Esta rígidamente unido al rotor y situado adecuadamente sobre cojinetes debidamente lubricados, transmite el movimiento de rotación al eje del generador.

El número de cojinetes instalados así como su función, radial o radial-axial, depende de las características del grupo turbina-generador.

1.6 Generadores eléctricos en centrales hidráulicas.

1.6.1 Definición.

Según Coz (1995), nos dice que, "Los generadores eléctricos son máquinas eléctricas rotativas que se acoplan directa o indirectamente a los rodets de la turbina y así, conjuntamente, producen energía eléctrica".

Estas máquinas se dividen en dos tipos:

- a).- Generadores sincrónicos.
- b).- Generadores asincrónicos.

1.6.2 Generadores sincrónicos.

El generador síncrono funciona en base a un campo magnético generado en el rotor por la acción de una fuente de corriente continua externa, y al girar el rotor se produce un campo rotatorio en las bobinas del estator, produciéndose a su vez la energía eléctrica en los bornes de estas bobinas.

Los generadores se dividen en:

a).- Por tipo de excitación.

- 1.- Auto excitación.
- 2.- Excitación externa.

b).- Por tipo de rotor.

- 1.- Polos salientes.
- 2.- Polos lisos.

Los generadores sincrónicos suelen emplearse en centrales con potencia superior a 2.000 KVA conectadas a la red, o en centrales de pequeña potencia que funcionan sin estar conectadas a la red.

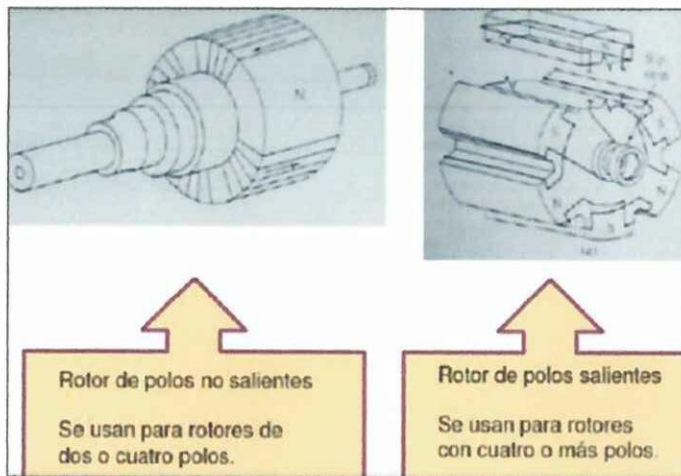


Fig. 1.8 Generadores sincrónicos.

Fuente: <http://www.slideshare.net/maxmaster147/generadores-sincronos-10703749#btnNext>

1.6.3 Velocidad síncrona.

Es la velocidad de giro de la maquina en rpm, que permanece invariable y origina en la corriente alterna la frecuencia síncrona normalizada. La velocidad síncrona es dada por la máquina en este caso la turbina hidráulica.

Tabla. 1.1 Valores de rpm según la magnitud de frecuencia del sistema.

FRECUENCIA (Hz)	POLOS	VELOCIDAD SINCRONA
50	2	3000
	4	1500
	6	1000
	8	750
	10	600
	12	500
60	2	3600
	4	1800
	6	1200
	8	900
	10	720
	12	600

La frecuencia del voltaje de salida es la síncrona, y la forma de onda puede tomarse como senoidal y por la disposición de las bobinas de armadura a una o más fases.

1.6.4 Generador asincrónico.

El generador asincrónico debe estar conectado a la red eléctrica siempre, de la que toma la energía necesaria para producir su magnetización. Es usual emplearlos en centrales de 500 KVA, siempre acoplados a la red.

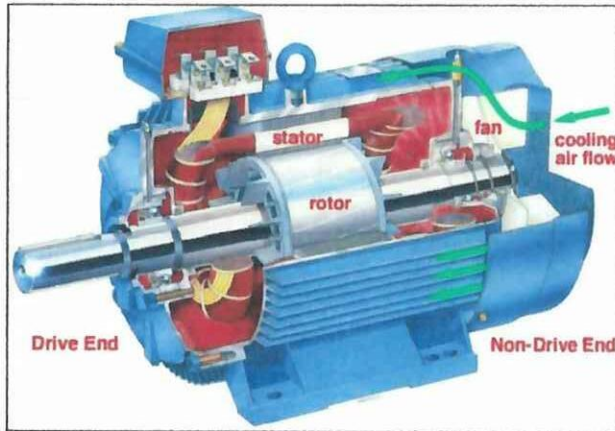


Fig. 1.9 Generador asincrónico.

Fuente: http://www.opexenergy.com/eolica/generador_sincrono_y_asincrono.html

1.7 Diseño mecánico.

1.7.1 Estado actual del diseño mecánico.

El diseño ha sido la forma que el hombre desarrolló para llevar a cabo de forma gráfica las ideas que iban surgiendo en el pensamiento ingenieril y una vez proyectada la idea procesarla a través de cálculos para fabricarla. El diseño se basó desde su surgimiento en el uso de papel, lápiz y algún instrumento que permitiera realizar mediciones y hacer trazos. Con el desarrollo tecnológico experimentado por la humanidad las computadoras han ido abarcando todas las esferas del conocimiento, el diseño no ha estado exento de ello pues en la actualidad existen variados softwares o plataformas denominadas CAD por sus siglas en inglés que significan diseño asistido por computadora que no es más que un mecanismo para optimizar el tiempo y lograr los productos con mayor exactitud.

Para ello se han creado softwares encargados de modelar los diseños teniendo un amplio campo en la actualidad, tanto en dos como en tres dimensiones. Son muchos los softwares especializados en el mundo del diseño mecánico cada uno con ciertas ventajas y desventajas como son compatibilidad y

transferencias de datos, personalización, velocidad y comodidad para el diseñador, etc. Teniendo como aplicaciones fundamentales (Cofre, 2012):

- Diseño conceptual y de detalle.
- Generación de planos.
- Ensamblajes.
- Catálogo de piezas normalizadas.
- Definición de tolerancias.
- Representación realista (texturas).
- Diseño de superficies.
- Creación de matrices.
- Piezas laminadas.
- Conjuntos soldados.
- Animaciones.

Las tendencias actuales de los sistemas CAD es que existen en el siglo XXI más de dos millones de usuarios en el mundo que utilizan CAD 2D conociéndose como los más relevantes calificados entre los software CAD de bajo rango están el AutoCAD y el MicroStation Modeler. Existen otros tres millones de usuarios que utilizan CAD 3D cumpliendo con las exigencias de la ingeniería moderna. Algunos de estos softwares son el Solid Edge, Mechanical Desktop, Solid Works, Catia (P1), ProEngineer Foundation, I-DEAS Artisan Package e Inventor calificándose todos ellos entre los de rango medio. Entre los softwares CAD 3D de alto rango se encuentran el ProEngineer, Catia (P2), I-DEAS, y Unigraphics (LASTRE, 2010).

1.7.2 Solid Works.

El Solid Works, es el paquete de modelado geométrico más popular en el diseño mecánico hoy en día, además de ser uno de los más completos aplicado en la rama de la mecánica. Reconocidas firmas en el mundo lo utilizan. De ahí el hecho de ser una potente herramienta para el diseño paramétrico. Se considera que este software paramétrico junto a los otros es capaz de aumentar el rendimiento de diseño (comparado con el AutoCAD) hasta en un 40% (CALZADILLA, 2005).

En encuesta realizada a más de 21,000 usuarios CAD se puede apreciar la aceptación del software (ver figura 1.10).

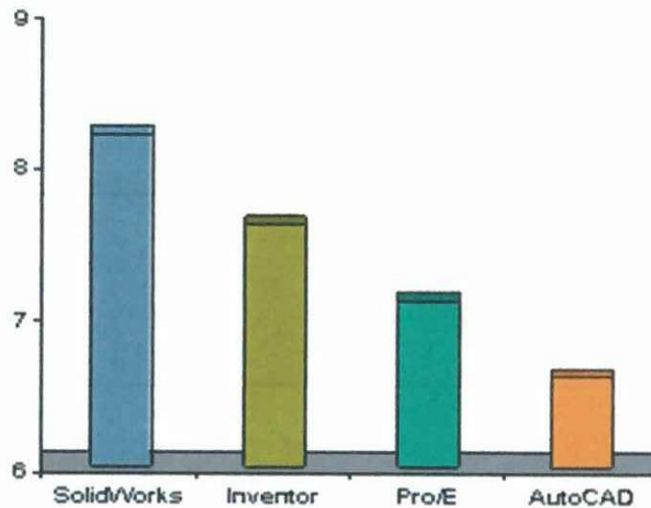


Fig. 1.10 Clasificación de aceptación de los usuarios CAD.

Fuente: (Simon Management Group, 2005).

El software utiliza el método de elementos finitos. Este método es aceptado como el método de análisis estándar debido a su generalidad y la idoneidad para la aplicación informática. El método de elementos finitos divide el modelo en muchos pedazos pequeños de formas simple llamados elementos efectivos, sustituyendo un problema complejo por muchos problemas sencillos que se deben resolver simultáneamente. Los elementos comparten puntos comunes llamados nodos. El software divide al modelo en partes pequeñas este proceso se llama mallado (Cofre, 2012).

Cada nodo está completamente descrito por una serie de parámetros en función del tipo de análisis y el elemento utilizado. Para el análisis estructural, la respuesta de un nodo se describe, en general, por tres traslaciones y tres rotaciones, llamados grados de libertad. El software formula las ecuaciones que rigen el comportamiento de cada elemento teniendo en cuenta la conectividad con otros elementos. Estas ecuaciones se refieren su respuesta a las propiedades del material conocido, las restricciones y cargas. A continuación el programa organiza las ecuaciones en un gran conjunto de sistemas de ecuaciones algebraicas y resuelve las incógnitas. En el análisis de esfuerzo, por ejemplo, el Solver encuentra los desplazamientos en cada nodo y a continuación el programa calcula la deformación y el esfuerzo final.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Introducción.

En el presente capítulo se exponen los aspectos fundamentales que se tuvieron en cuenta para el análisis por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton, reflejando el procedimiento.

2.2 Procedimiento para el análisis por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton.

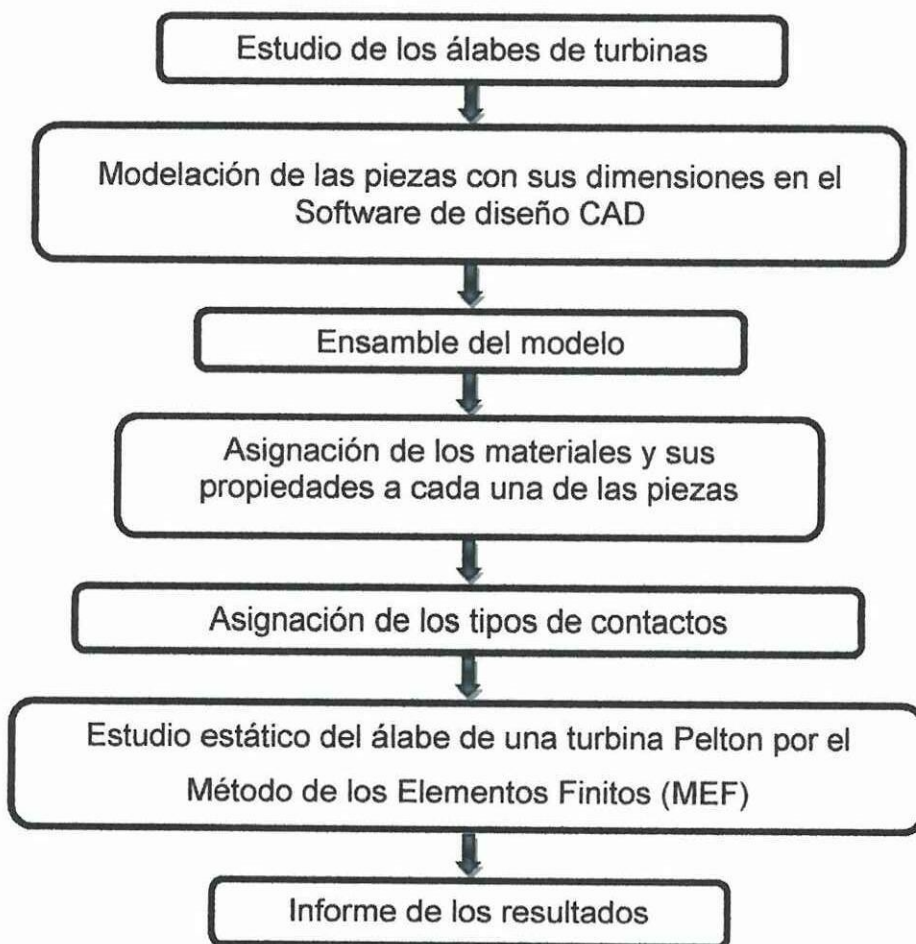


Fig. 2.1 Diagrama de flujo para el análisis por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton.

2.3 Estudio de álabes de la turbina.

Para realizar el diseño del prototipo de la turbina Pelton, se partió de estudios de turbinas hidráulicas, partes de la turbina Pelton, parámetro para el dimensionamiento de una turbina Pelton.

2.4 Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD.

Para modelar el prototipo se utilizó el software de diseño asistido por computadora Solid Works Premium en su versión 2012, siendo este una potente herramienta de diseño utilizada a nivel mundial. En dicho software se modelaron en 3D (3 Dimensiones) cada una de las piezas con que cuenta el prototipo. Las piezas que conformaron definitivamente el prototipo son las siguientes:

- Núcleo.
- Brazo.
- Portacucharilla.
- Cucharilla.

2.5 Ensamble del modelo del álabe de una turbina Pelton.

Para el ensamble de las piezas que conforman el modelo del prototipo se utilizó el módulo de ensamble del software Solid Works Premium 2012 aplicando relaciones de posición entre cada una de las superficies que tienen relación entre sí, de manera tal que quedase el ensamble general.

2.6 Asignación de los materiales y sus propiedades a cada pieza.

Luego de lograr el ensamble completo del prototipo, se le asignaron los materiales con sus respectivas propiedades mecánicas a cada una de las piezas que conforman el prototipo de una turbina Pelton después de un estudio previo de cada material. Todas estas designaciones bajo las condiciones de la norma AISI (American Iron and Steel Institute) como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Materiales empleados en cada componente.(AISI, 2012)

Componentes	Material empleado
Núcleo	Fundición gris
Brazo portacucharilla	Fundición gris
Cucharilla	Fundición gris

2.7 Asignación de los tipos de contactos entre componentes.

Para la simulación del modelo en el software se ha aplicado una unión entre contactos mediante pernos, es decir que el portacucharrillas y el núcleo de la turbina van sujetos con pernos galvanizados que hacen del modelo en conjunto una estructura sólida y compacta.

2.8 Estudio del álabe de una turbina Pelton por el Método de los Elementos Finitos (MEF).

En el estudio que se realiza al álabe en cuestión primeramente se simuló la carga a la que estará expuesto el órgano conectado al núcleo y denominado cucharilla para la cual fue asignado un material como se puede observar en la Tabla 2.1, la carga se determina a través de la ecuación 2.1 la cual se obtiene a raíz de otros parámetros y con un ángulo de incidencia sobre la pieza de 45° respecto a la fuerza normal, es decir a la vertical.

Para realizar el estudio estático del conjunto se simularon las restricciones según los posibles fenómenos a que puede estar sometido el conjunto, en primer lugar se simulará una unión empernada entre la cucharilla y el núcleo, y por último lo más importante del estudio, que es en este caso una restricción de movimiento en el centro del núcleo donde se efectúa la transmisión por barra con el generador, simulando un fenómeno de interrupción del funcionamiento del sistema a raíz de corto-circuito en el generador y obstrucción de la barra de transmisión además de una obstrucción en el rotor del generador, produciendo una obstrucción similar a la descrita anteriormente.

Como continuación de los pasos necesarios para realizar dicho estudio se tiene el mallado, siendo el último y el que define la calidad de los resultados pues si se utiliza una malla muy fina o gruesa se pueden obtener resultados no tan acertados, para verificar los resultados con el mallado que genera el software se pueden utilizar tres métodos, los cuales no serán mostrados en los resultados, pero se presentan a continuación:

Existen tres métodos para la validación del modelo.

- 1.- Método de convergencia del mallado.
- 2.- Método de estabilidad del modelo.
- 3.- Método experimental.



2.10 Calculo de la fuerza del chorro.

Es producida por el agua que golpe en el álabe de la turbina, esta fuerza F_{ch} producirá un movimiento en la rueda que multiplicado por la velocidad angular se traducirá en potencia mecánica en el eje de la turbina, el agua saldrá de los alabes con una velocidad v .

Para determinar este parámetro a continuación se presenta la siguiente ecuación:

$$F_{CH} = (v - U)(1 + \psi \cos \beta_2) * \rho * Q \quad (2.1)$$

Donde:

v : Velocidad del fluido (m/s)

U : Velocidad tangencial del fluido (m/s)

ψ : Coeficiente velocidad relativa (Valor promedio igual a 0.88).

$\cos \beta_2$: Angulo de salida (Valor promedio igual a 9°).

ρ : Densidad del agua.

Para el cálculo de la fuerza del chorro es necesario determinar los siguientes parámetros:

a).- Velocidad tangencial.

$$U = Kp * Ci \quad (2.2)$$

Donde:

Kp : Coeficiente de velocidad tangencial su valor varía entre 0.44 y 0.48.

b).- Caudal en los inyectores.

$$Q = Ci * S \quad (2.3)$$

Donde:

S : Área de la sección transversal de los inyectores.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTÁTICO DE UNA TURBINA PELTON.

En el presente capítulo se muestran los principales aspectos que se tuvieron en cuenta durante el análisis por el método de los elementos finitos del álabe de una turbina Pelton. Los resultados se han obtenido al modelar los componentes del mismo en el software SolidWorks 2012, comentado en los materiales y métodos definidos en el capítulo anterior.

3.1 Descripción dimensional de las piezas que componen el álabe de una turbina Pelton.

Las piezas que componen el álabe de una turbina Pelton se modelaron en el software de diseño SolidWorks Premium 2012. En la figura 3.1 se puede observar el núcleo del álabe de una turbina Pelton el cual posee dimensiones de 0.29 m de diámetro y una cantidad total de 15 cucharetas.

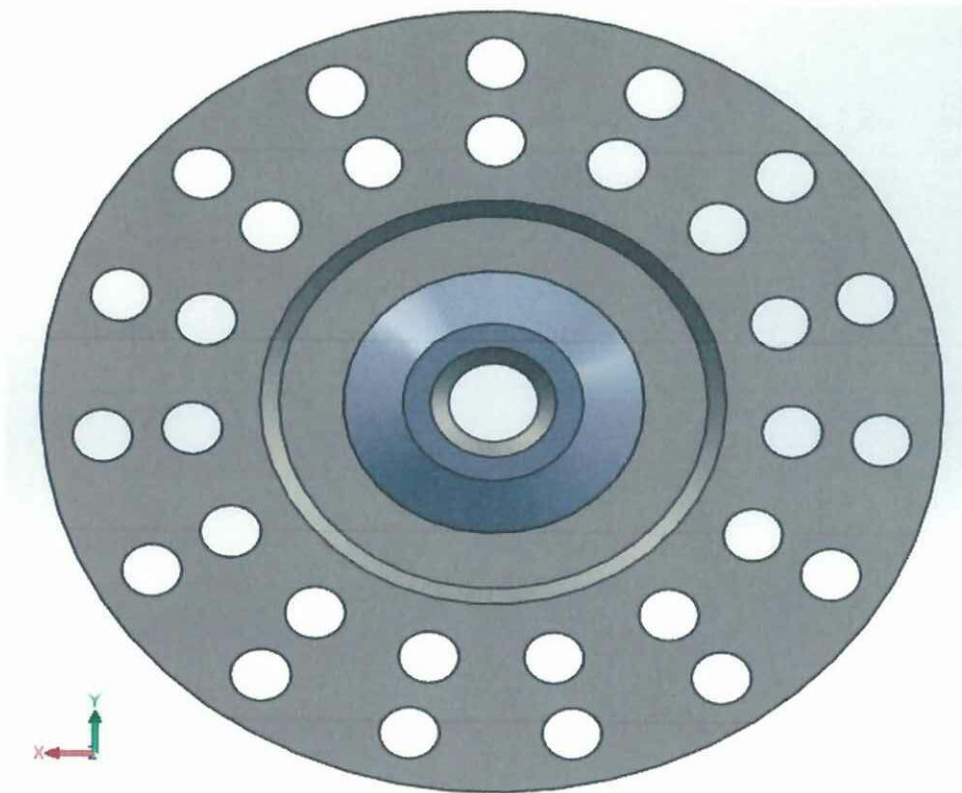


Fig. 3.1 Representación del modelo 3D del núcleo del álabe de una turbina Pelton.

En la figura 3.2 se puede observar el modelo 3D del portacuchareta con la cuchareta las cuales forman el conjunto de ensamble con el núcleo.

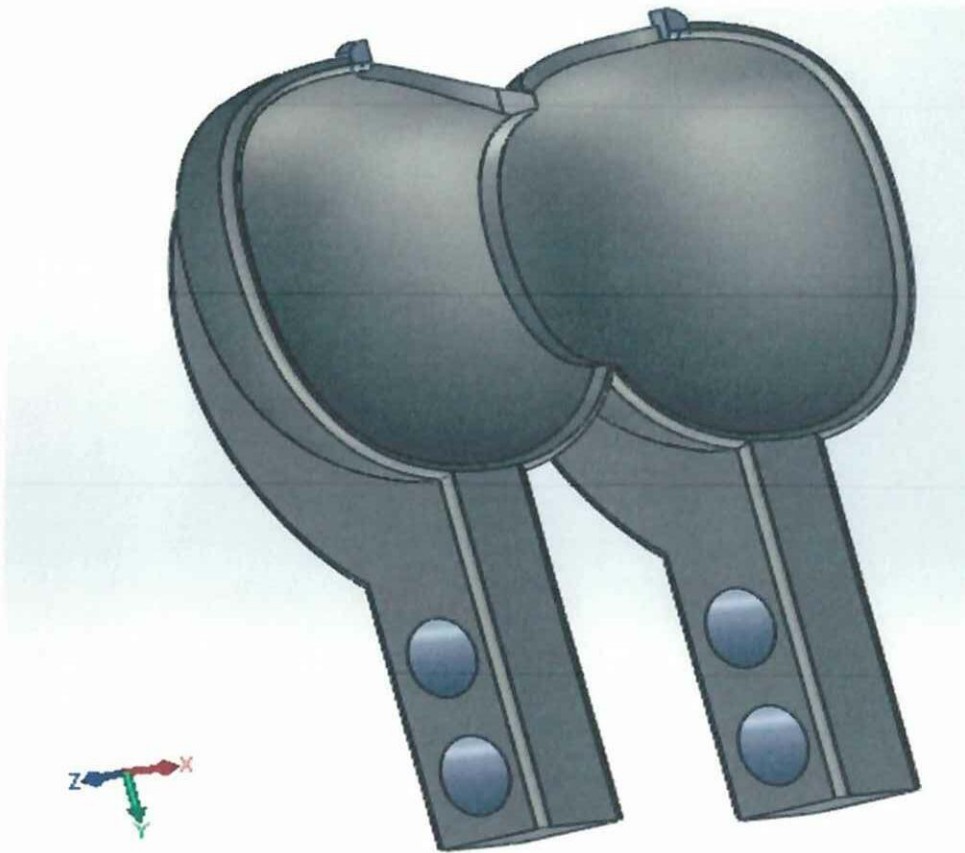


Fig. 3.2 Representación del modelo 3D de la cuchareta del álabe de una turbina Pelton.

3.2 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza.

Se tuvo en cuenta las propiedades físico-mecánicas del material utilizado en el álabe de la turbina Pelton, valorando el valor del módulo elástico, coeficiente de Poisson, módulo a la cortante, densidad del material, el límite a la tracción y el límite elástico.

El material empleado para todos los componentes modelados y que forman parte del álabe estudiado fueron realizados con hierro fundido gris como se pudo observar en la tabla 2.1, para tener un mejor conocimiento de las propiedades de dicho material se presenta la tabla 3.1 a continuación.

Tabla 3.1 Propiedades físico-mecánicas de hierro fundido gris obtenidos del software SolidWorks 2012.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$6.62 \cdot 10^{10}$	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.27	N/D
Módulo cortante	$5 \cdot 10^{10}$	N/m ²
Densidad	7200	kg/m ³
Límite de tracción	151658000	N/m ²
Límite de compresión	572165000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	$1.2 \cdot 10^{-5}$	/K
Conductividad térmica	45	W/(m*K)
Calor específico	510	J/(kg*K)

3.3 Cálculo del caudal de los inyectores.

Para la realización de esta tarea se cuenta con datos aportados de un estudio anterior para el montaje de una micro-central hidroeléctrica de estas características, donde se presentan los valores de velocidad y el diámetro de los inyectores, a continuación se desarrolla el cálculo teniendo como base la ecuación 2.3:

$$Q = v * S$$

$$Q = \frac{29.7 * 3.14 * 0.044^2}{4}$$

$$Q = 0.045 \text{ m}^3 / \text{s}$$

3.4 Cálculo de la velocidad tangencial.

Para el cálculo de la velocidad tangencial se tuvieron en cuenta los datos relativos a la velocidad del fluido así como el coeficiente de velocidad tangencial para de esta forma obtener este valor, basándose de igual manera en la ecuación 2.2 como se muestra a continuación:

$$U = K_p * v$$

$$U = 0.45 * 29.7$$

$$U = 13.36 \text{ m/s}$$

3.5 Cálculo de la fuerza del chorro.

Para obtener el valor de la fuerza del chorro se tuvieron en cuenta los datos anteriormente mencionados además de los calculados en este capítulo los cuales son de mucha importancia debido a la necesidad de conocer a los esfuerzos reales a que estará sometido el modelo y de esta forma obtener valores fiables en el estudio que se pretende realizar; para lograr esto utilizamos la ecuación 2.1 que a continuación desarrollamos.

$$F_{CH} = (v - U)(1 + \psi \cos \beta_2) * \rho * Q$$

$$F_{CH} = (29,7 - 13,36)(1 + 0.88 * \cos 9) * 1000 * 0.045$$

$$F_{CH} = 16,34 * 1,8691 * 45$$

$$F_{CH} = 1.37 \text{ kN}$$

3.6 Análisis de las cargas y restricciones presentes en los modelos.

Las cargas que se encuentran presente en el estudio son equivalentes a newton (N) la cual se deriva de la acción producida por el chorro de agua que se proyecta sobre la cuchareta como se muestra en la figura 3.3, está fuerza se considera que actúa con un ángulo de 45° a la superficie con un valor de 1,37 kN, obteniendo como resultado de la simulación valores aceptable con la aplicación de dicha fuerza.

Las restricciones se simularon en el estudio como una geometría fija en el centro del núcleo, es decir, en el agujero donde se conecta el árbol que acciona al generador para convertir la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica, además también dentro de las restricciones se encuentra el modo de sujeción de la cucharilla con el núcleo, las mismas se encuentran unidas mediante pernos, el estudio se realiza simulando la acción de una parada brusca o un tranque de la pieza mencionada, para analizar mejor el comentario anterior se puede observar la figura 3.4.

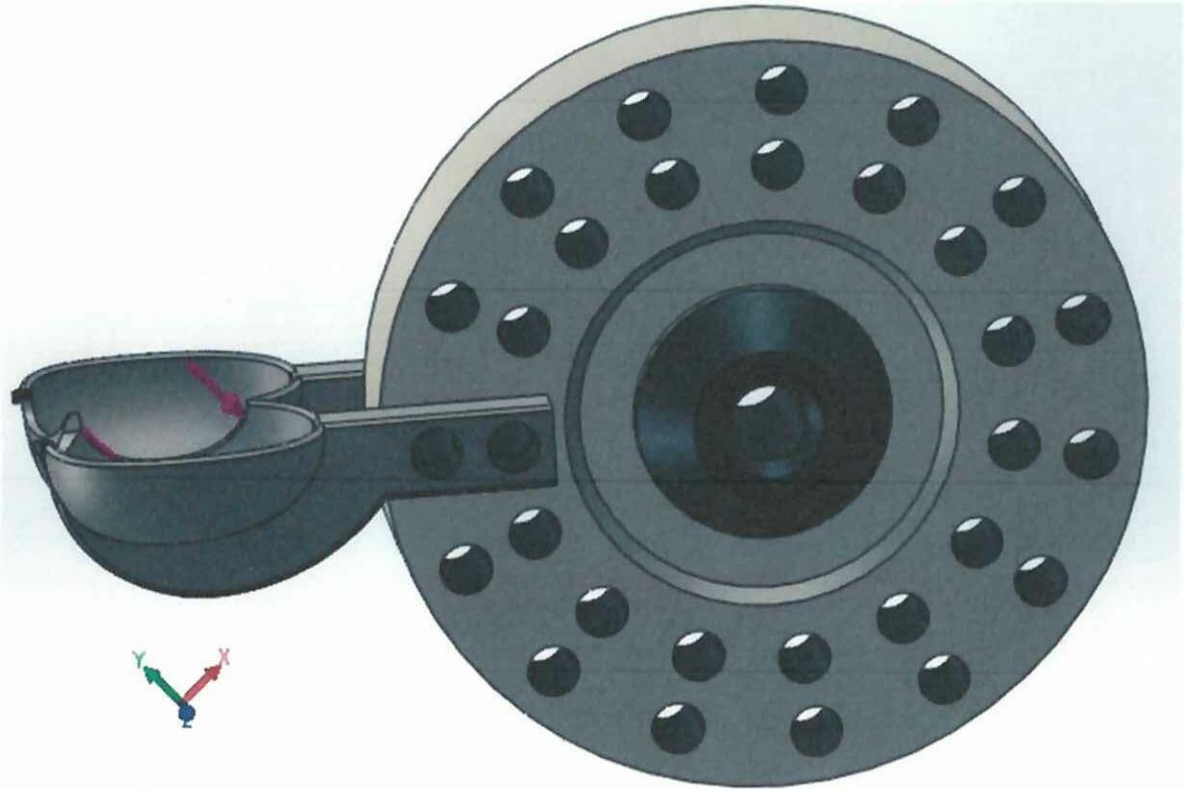


Fig. 3.3 Representación de las fuerzas actuantes en el modelo.

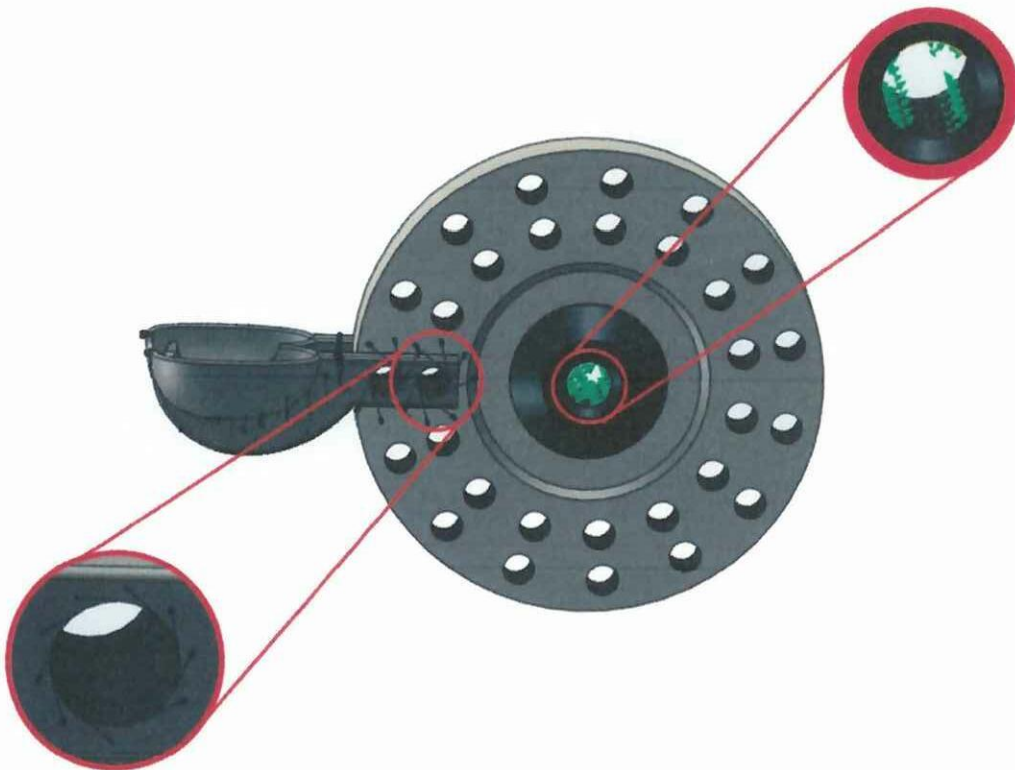


Fig. 3.4 Representación de las restricciones en el modelo.

3.7 Mallado del modelo.

Para el mallado de los modelos se simplificó el modelo, a continuación se realizó un análisis estático para obtener el comportamiento del conjunto según las condiciones propuestas para realizar el estudio. Para analizar las características de la malla se presenta la tabla 3.2, además se puede observar la representación del mallado de este estudio en la figura 3.5.

Tabla 3.2 Características de la malla utilizada en el estudio.

Datos	Valores
Tipo de malla	Sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 puntos
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	27031
Número total de elementos	16104
Tamaño de elemento	14.66 mm
Tolerancia	0.7330 mm

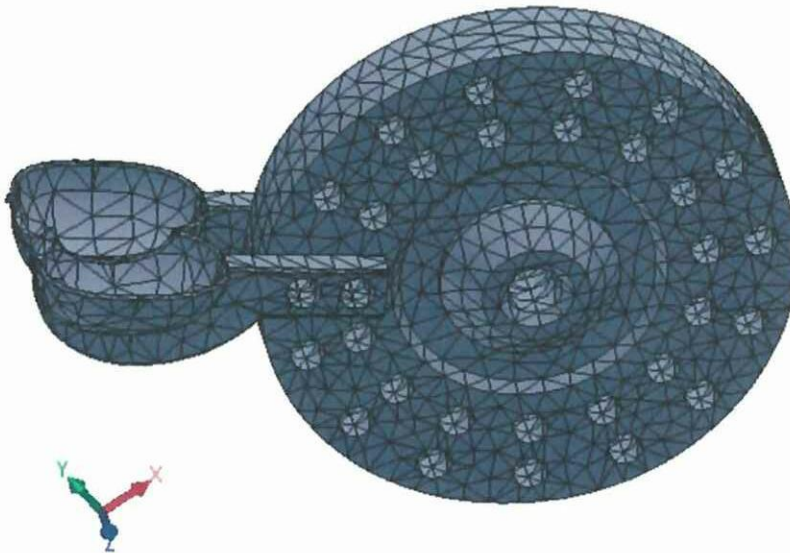


Fig. 3.5 Representación gráfica del mallado del modelo.

Para validar el modelo se utilizó el método de convergencia del mallado en el cual se obtuvieron valores aceptables todos alrededor del 5 % los cuales demuestran que la malla en cuestión es válida.

3.8 Análisis de los resultados obtenidos.

En los informes de los estudios realizados, se tomaron en cuenta los resultados de un estudio estructural obteniendo el valor de las tensiones para el peor de los casos, los desplazamientos resultantes, y el factor de seguridad para el modelo. En el estudio del álabe de una turbina Pelton se obtuvieron valores de tensiones para el peor de los casos de 15,7 MPa como se muestra en la figura 3.6 encontrándose estas tensiones por debajo de los límites tensionales del material de la estructura en cuanto a tracción y compresión debido a que este no presenta límite de elasticidad, lo que indica que el álabe podrá soportar la carga a la que estará sometida durante el cumplimiento de su destino de servicio.

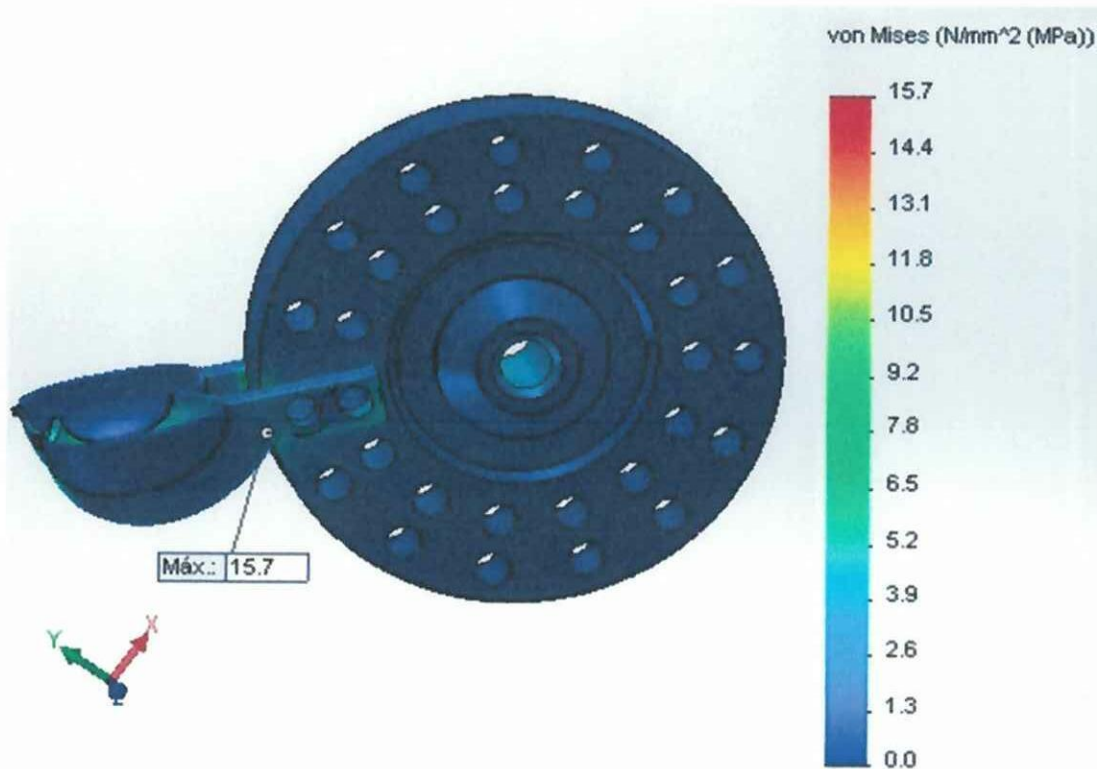


Fig. 3.6 Representación gráfica de tensiones de von Mises en el estudio del álabe de una turbina Pelton.

Para tener en cuenta los desplazamientos que presenta el modelo en el sentido de la fuerza, en este caso en el eje Y, se muestra la figura 3.7 donde se puede observar que el valor de máximo para este caso fue de -0.0315 mm.

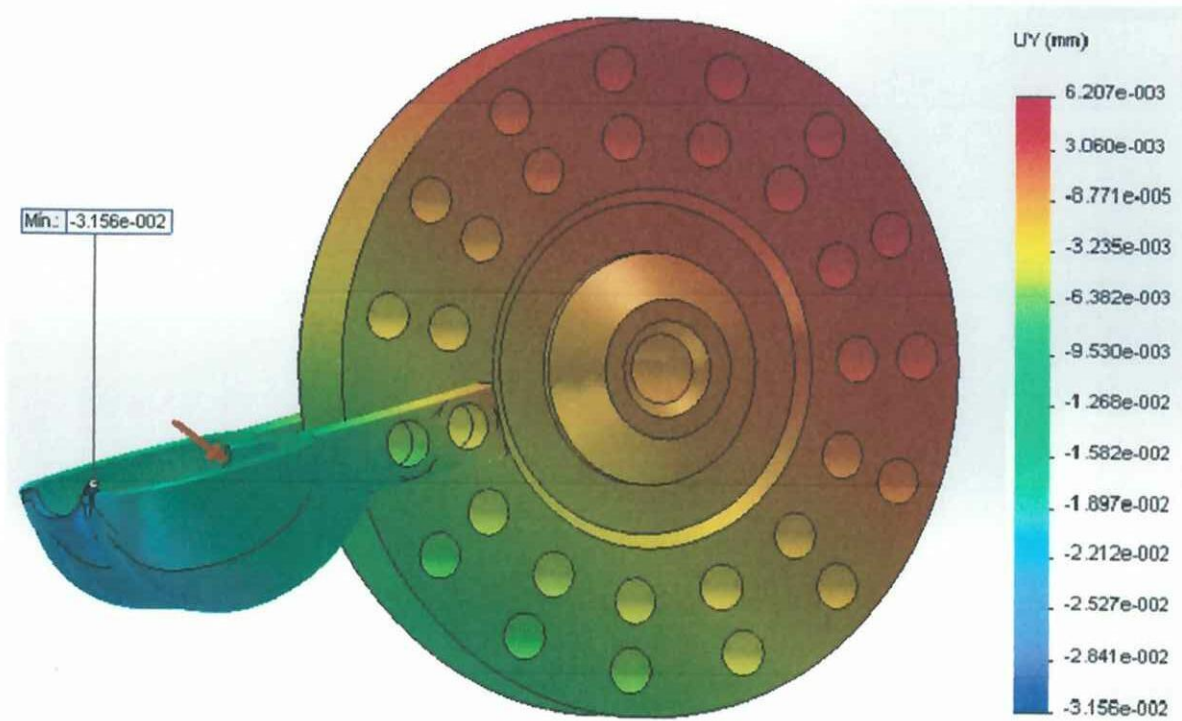


Fig. 3.7 Representación gráfica de los desplazamientos en el sentido de la fuerza presentes en el álabe de una turbina Pelton.

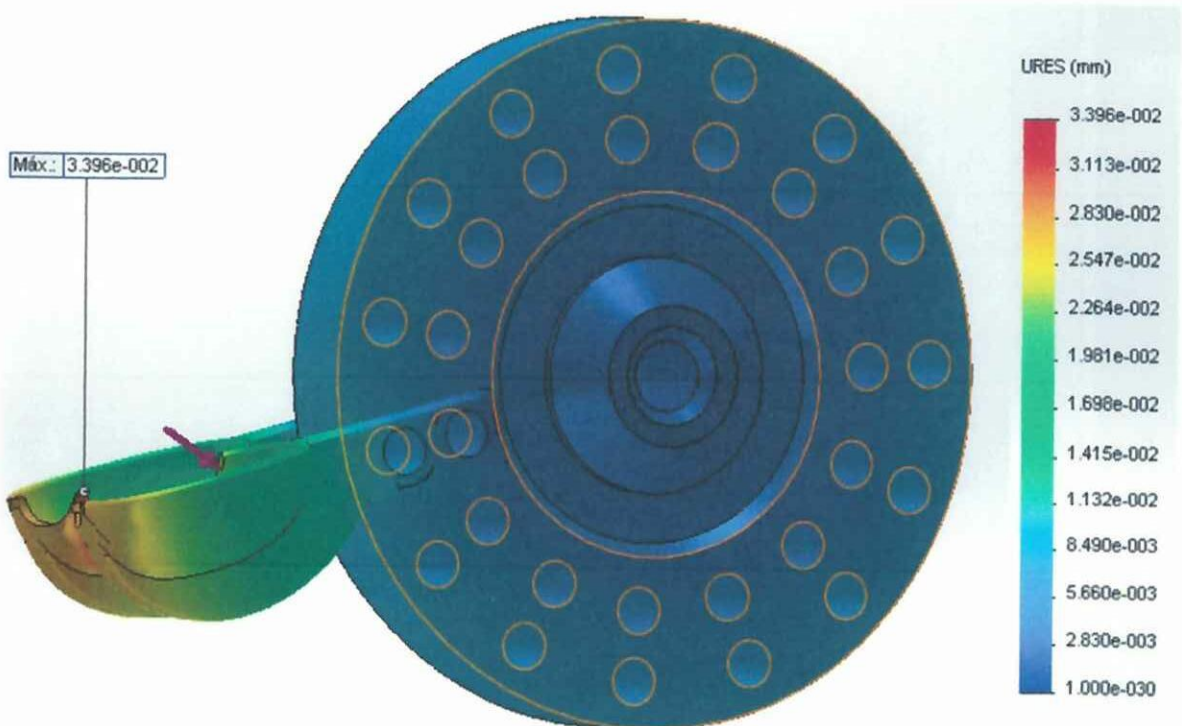


Fig. 3.8 Representación gráfica de los desplazamientos resultantes presentes en el álabe de una turbina Pelton.

En análisis desarrollados para los desplazamientos resultantes de este estudio se pueden percibir valores mínimos en todo el modelo teniendo un valor máximo de desplazamiento de 0,0396 mm como se muestra en la figura 3.8.

El análisis del factor de seguridad es de vital importancia ya sea durante la fase de diseño o solo para el análisis por el método de los elementos finitos de cualquier máquina, elemento o pieza. En este caso se analizó el factor del conjunto del álabe de una turbina Pelton, la representación gráfica de este factor de seguridad se muestra en la figura 3.9.

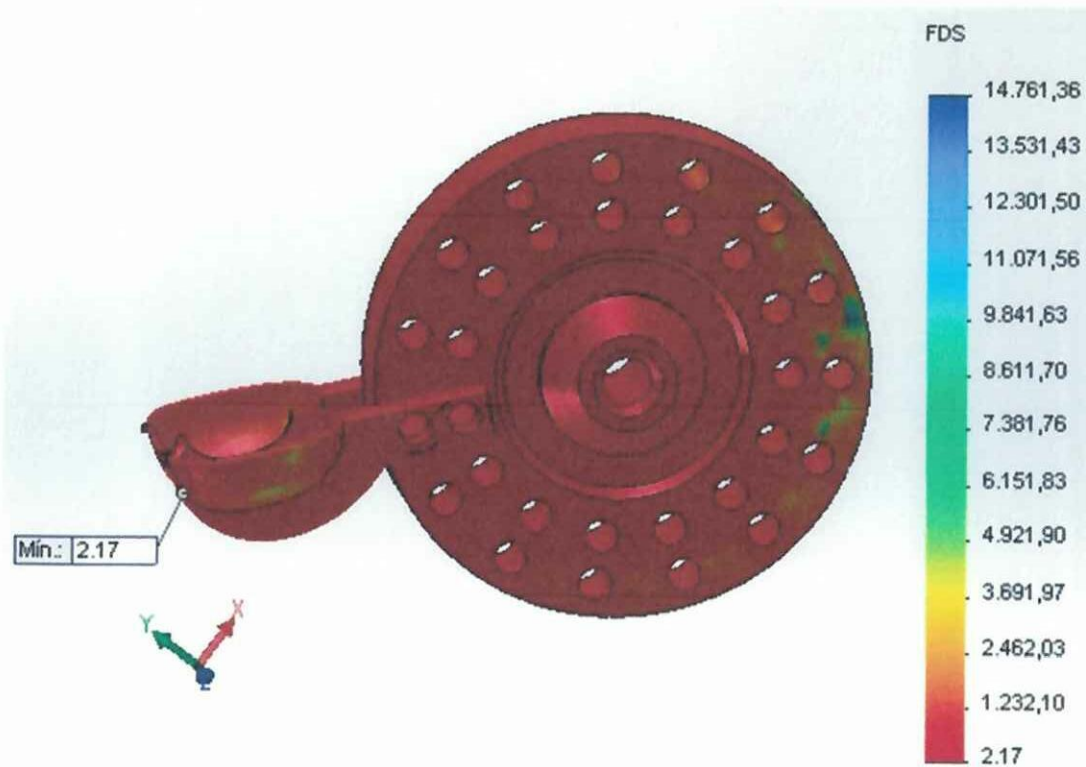


Fig. 3.9 Representación gráfica del factor de seguridad.

Para el conjunto del estudio se puede observar que el factor de seguridad indica que los elementos del mismo podrán soportar las cargas a las que estarán sometidos durante el cumplimiento de su destino de servicio donde se puede observar que se tiene como valor mínimo 2.17, lo que indica a su vez que tendrá una seguridad aceptable.

CONCLUSIONES

Después de haber realizado el estudio para determinar el comportamiento tensional deformacional del alabe de la turbina Pelton se llega a las siguientes conclusiones:

- 1- Se modeló en el software CAD SolidWorks el alabe de la turbina Pelton.
- 2- Se realizó el análisis por el método de los elementos finitos del álabe de la turbina Pelton.
- 3- Se obtuvieron valores aceptables en las tensiones de von Mises según las cargas a las que estuvo sometido el álabe, las cuales no superan un valor máximo de 15.7 MPa.
- 4- Se obtuvieron valores mínimos de desplazamientos resultantes y en el eje de la fuerza (Y) teniendo como valores mínimos, 0.0396 mm y -0.0315 mm respectivamente.
- 5- Se obtuvieron valores aceptables en cuanto al factor de seguridad teniendo como valor mínimo a 2.17.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para el cumplimiento de este trabajo de diploma:

- 1- Tomar en cuenta este trabajo para llevar a cabo el montaje de la micro-central hidroeléctrica.
- 2- Diseñar un sistema de control automatizado para un mejor funcionamiento del equipo en cuestión.
- 3- Implementar un sistema de mantenimiento para que logre un funcionamiento eficiente de la micro-central hidroeléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agency, Energy Management. (2007). "Guía básica de la generación distribuida " Fundación de la Energía de la comunidad de Madrid. Acceso: 15 de mayo, 2013, Disponible en: www.fenercom.com.
2. AISI (2012). American Iron and Steel Institute.
3. Álvarez, R. C; Arce, A. S. (2009). Estudio de aprovechamiento de pequeñas centrales hidroeléctricas. Decimo tercer Encuentro Regional Iberoamericano de Cigré. , Argentina,
4. Burton, T. , Sharpe, D., Jenkins, N. y Bosanyi, E. 2001. Wind Energy Handbook. England,
5. Calzadilla, H. (2005). Optimización del bastidor principal de un Alisador agrícola para el cultivo del arroz, Universidad de Holguín, CE: CAD/CAM.
6. Castro, A. (2006). Mini centrales Hidroeléctricas. energía.(IDAE), Instituto para la diversificación y ahorro de. Madrid, IDAE.
7. Cofre, D (2012). Diseño de un prototipo de horno deshidratador de spirulina utilizando energía renovable. Cuba, UDG. Trabajo de Diploma.
8. Coz, F. y Colaboradores (1995). Manual de mini y micro centrales hidráulicas. Energía, Organización Latinoamericana de. Lima, Intermediate Technology Development Group.
9. Delgado, V. H. (2007). Guía para el diseño de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito, Escuela Politécnica Nacional.
10. Energy, and Environment in the European Union- European Environment Agency (2006). Energy and Environment in the European Union- European Environment Agency.
11. Environment, Energy & (2012). Turbina Pelton. 2E a division of G.U.N.T Gerätebau GmbH., 15 - 17.
12. ESHA (2006). Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica., European Small Hydropower Association.

13. González, B. (2009). Curso de experto en energía solar fotovoltaica. Universidad de castilla la mancha,
14. IEA (2004). International Energy Agency. Energy Statistics.
15. ITDG (2004). Micro centraes hidroeléctricas. Una alternativa para el desarrollo rural. Lima, Intermediate Technology Development Group.
16. Lastre, A. M. (2010). Proyección de los procesos tecnológicos. [Conferencia Maestría CAD/CAM], Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín.,
17. Mallitásig, O. G. (2008). Modelación y diseño digital para microcentrales de generación hidroeléctrica. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito, Escuela Politécnica Nacional.
18. MCH. (2012). "Mini Hidráulica." Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/7287533/Mini-Hidraulica>.
19. Murgueza, D. (2000). Micro centrales Hidroeléctricas., Instituto de Economía Energética.
20. OLADE-BID (1985). Manual de diseño de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Energía, Organización Latinoamericana de. Ecuador. IV.
21. Ortiz, R. 2001. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Colombia, Editorial Nomas SA,
22. PNUD-BUN-CA (2002). Biomasa/ Biomass Users Network (BUN-CA). San José, C.R.: 42 p.
23. Sanabria., Cesar (2009). Turbinas Pelton. facultad de ingenieria UNA.
24. Sandoval, W. (2012). Conceptos básicos de Centrales Hidroeléctricas. Ecuador.
25. Simon Management Group. (2005). ""Encuesta a más de 20 000 usuarios CAD"." [consulta Octubre 2011].
26. Vargas, M. (2006). Introducción a las Energías Alternativas con experimentos sencillos. Energías Alternativas.
27. Disponible: www.solener.com/index.html.

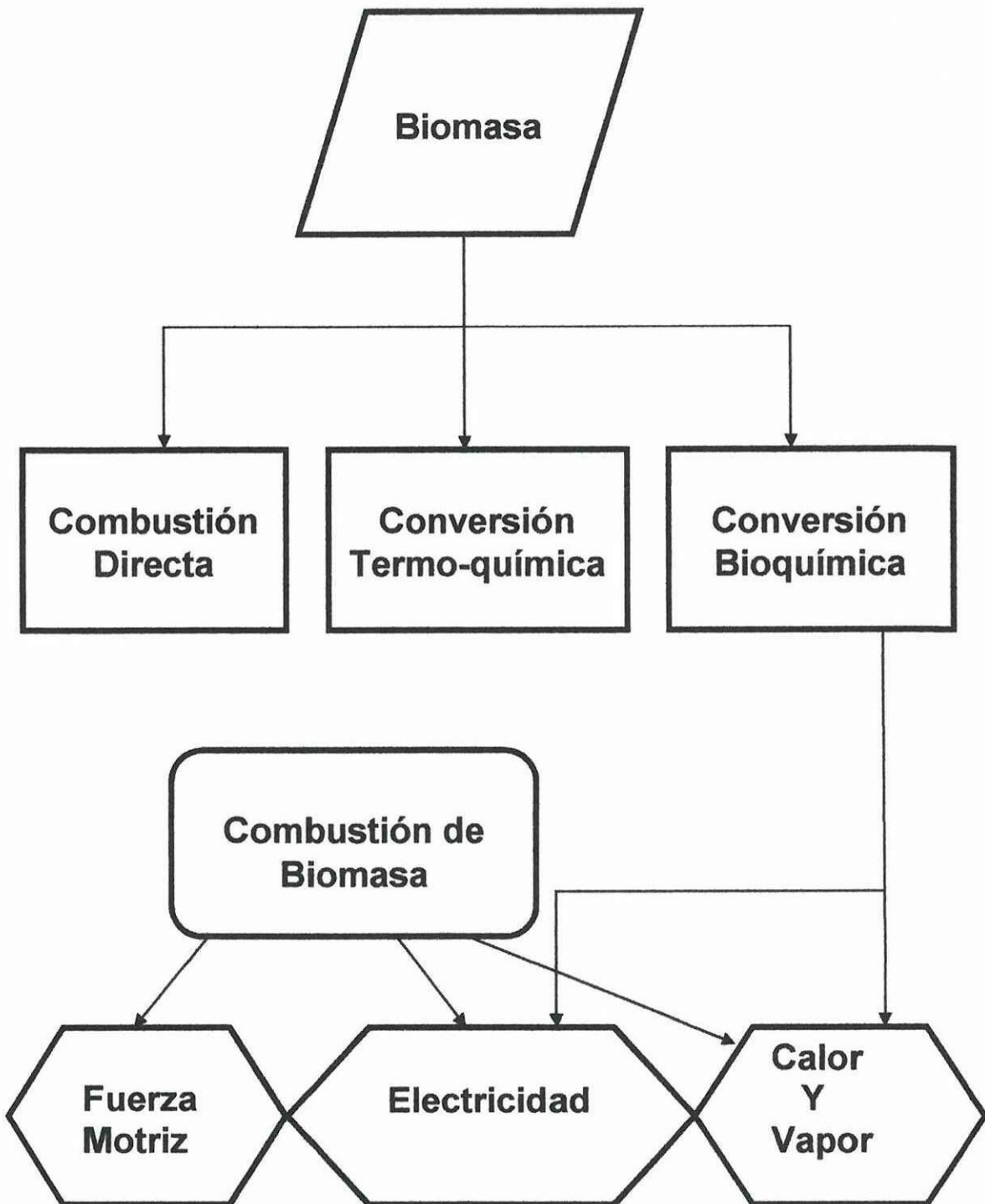
Anexo # 1. Tipos de conversión de Biomasa.

Tipo de Biomasa	Características Físicas	Procesos de Conversión Aplicables	Producto Final	Usos
Materiales orgánicos de alto contenido de humedad.	<ul style="list-style-type: none"> • Estiércoles. • Residuos de alimentos. • Efluentes industriales. • Residuos urbanos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Digestión anaeróbica. • Fermentación alcohólica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Biogás. • Metanol. • Etanol. • Biodiesel. 	<ul style="list-style-type: none"> • MCI. • Turbina de gas. • Hornos y calderas. • Estufas domésticas.
Materiales lignocelulósicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Polvo. • Astillas. • Pellets. • Briquetas. • Leños. • Carbón vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Densificación. • Combustión directa. • Pirólisis. • Gasificación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calor. • Gas Pobre. • Hidrógeno. • Biodiesel. 	<ul style="list-style-type: none"> • MCI. • Turbina de gas. • Hornos y calderas. • Estufas doméstica.

Fuente: (PNUD-BUN-CA, 2002).

Anexo

Anexo # 2. Procesos de conversión y formas de energía.



Fuente: (PNUD-BUN-CA, 2002).

