

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROYECTO DE EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MICRO CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE 42 KW USANDO EL EFECTO DE
ÓSMOSIS EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO RÍMAC**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

WILDER CRUZADO DÍAZ

PROMOCIÓN 2006-II

LIMA-PERÚ

2013

AGRADECIMIENTO

Estoy infinitamente agradecido con Dios por la vida, la salud, la protección y por haberme dado la oportunidad de haber estudiado en la mejor universidad de ingeniería del país, la UNI.

Agradezco a mis padres porque gracias a su permanente esfuerzo y confianza me dieron todo el apoyo para poder lograr me como profesional y ser un hombre de bien.

Agradezco a mis hermanos por su apoyo desinteresado, sus consejos y su amistad.

Agradezco a mi novia por su constancia, por sus palabras, por ser mi soporte, por su comprensión y por ser mi inspiración.

Agradezco finalmente a mis profesores, a mis amigos, compañeros y a cada una de las personas que trabajan en mi alma mater, porque en el desempeño de sus funciones aportaron durante el día a día en mi crecimiento y transformación hacia una vida de éxito.

DEDICATORIA

A mis grandes amores: mi futura esposa Indira
Alicia y mi hijo Gian Paul; en especial
a mis padres y a mis hermanos.

RESUMEN

El presente trabajo, Tesis titulada “*Proyecto de evaluación técnica-económica para la construcción de una micro central hidroeléctrica de 42 KW usando el efecto de ósmosis en la desembocadura del río Rímac*”, toma uno de los tipos de energías renovables existentes en la naturaleza conocida como ‘energía osmótica’ y lo aplica en la generación de electricidad, aprovechando la presión osmótica que se genera al poner en contacto, mediante una membrana semipermeable y en un espacio confinado, el agua de mar con el agua de río.

Este informe de tesis usa información de libros, papers, revistas técnicas, publicaciones web, etc. que describen el proceso de Osmosis Retardada por Presión (PRO), así como la hidrografía, la geología y el aspecto socio económico del sector donde se plantea la construcción de una micro central hidroeléctrica.

Una vez definida la potencia de la que se dispone mediante el proceso PRO, la tesis se orienta al cálculo, diseño y selección de las diferentes facilidades y equipos principales que conformarán la micro central.

A través del apoyo de software de análisis por elementos finitos se intenta calcular los esfuerzos críticos y simular la turbina seleccionada complementando así la tesis propuesta.

Finalmente la tesis hace una evaluación económica donde a través del cálculo de indicadores económicos se intenta probar la factibilidad de la construcción de este

tipo de hidroeléctricas basados en un tipo de energía renovable no probada aún en nuestro país.

Palabras Clave: efecto de ósmosis, energía osmótica ó energía azul, energía renovable, ósmosis, Ósmosis Retardada por Presión (PRO), membrana semipermeable.

Cabe mencionar que en el presente trabajo se referirá con el término Energía Osmótica al resultado del efecto de ósmosis directa en las membranas semipermeables.

ABSTRACT

This work, thesis entitled “*Project of technical-economic evaluation for construction of a micro hydropower plant of 42 KW using osmosis effect at the mouth of the Rímac river*”, takes one type of renewable energy sources in nature known as 'osmotic energy' and applies it in the generation of electricity, taking advantage of the osmotic pressure generated by contact through a semi permeable membrane and into a space confined, seawater with river water.

This thesis report uses information from books, papers, technical magazines, web publications, etc. that describe the process of Pressure Retarded Osmosis (PRO), as well as hydrography, geology and appearance socio-economic sector where the construction of the micro hydropower plant will be placed.

Once defined the available power, the thesis focuses on calculation, design and selection of different facilities and equipment that will make up the micro hydropower plant.

Through the support of analysis by finite elements software tries to calculate the critical efforts and simulate the selected turbine complementing like this the proposed thesis.

Finally, the thesis makes an economic evaluation where through the calculation of economic indicators, it tries to prove the feasibility of construction this type of hydropower based on renewable energy not proven yet in our country.

Key Words: osmotic energy or blue energy, renewable energy, osmosis, Pressure Retarded Osmosis (PRO), semi permeable membrane.

It is worth mentioning that in the present work it refers with the term osmotic energy to the result of the effect of direct osmosis in semipermeable membranes.

PRÓLOGO

Esta tesis consta de 6 capítulos:

El primer capítulo, *Descripción y Aspectos Metodológicos de la Investigación*, describe de manera genérica algunos conceptos y postulados recogidos de libros, papers, revistas, publicaciones web, etc. así como opiniones, referente al título de esta tesis, de los diversos autores leídos durante el proceso de investigación y recojo de información. Muestra brevemente el ámbito donde se pretende desarrollar el proyecto, los antecedentes, objetivos, hipótesis y metodología así como la justificación para su ejecución.

El segundo capítulo, *Marco Teórico*, describe claramente el principio físico del efecto de ósmosis y como puede ser aprovechado en una turbina para generar electricidad, así también presenta la tecnología de las membranas semipermeables que se tiene disponible en el mercado actual.

El tercer capítulo, *Memoria descriptiva*, nos presenta el escenario donde se pretende construir la pequeña central hidroeléctrica, evaluando los aspectos socioeconómico, de demanda actual, el estudio geológico, el geomorfológico, el geotécnico, el hidrológico y el pluviométrico.

El cuarto capítulo, *Ingeniería del proyecto*, aquí se detalla a partir de los datos de caudal y presión disponibles para este proyecto, los elementos o componentes

necesarios que deberán construirse para poder lograr la operación de la planta (obras civiles), así mismo se detalla los cálculos y la selección de los equipos principales (turbina, módulos de membranas, generador, etc.).

El quinto capítulo, *Estudio de impacto ambiental*, aquí se describe el marco legal en que se basa la gestión medioambiental en el Perú, luego se describe el proceso a seguir para la presentación del Estudio de Impacto Ambiental, así como los aspectos que esta debe tratar. Se hace una evaluación de los impactos que se presentarían durante la implementación de la planta y se indican luego acciones que atenúen estos impactos potenciales adversos.

El sexto capítulo, *Evaluación Económica*, en base a la potencia disponible, a los costos de operación, mantenimiento y consumibles, así como las leyes actuales que rigen el desarrollo y suministro al mercado de energía eléctrica generadas con Recursos Energéticos Renovables, muestra la viabilidad económica del proyecto a partir de los índices económicos como la TIR y el VAN.

INDICE

PRÓLOGO	7
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.1 ÁMBITO DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.2 ANTECEDENTES	15
1.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
1.3.1 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	26
1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	27
1.4 OBJETIVOS.....	28
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	28
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
1.5 HIPÓTESIS.....	29
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	29
1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	30
1.6 MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
1.6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	30
1.6.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	30
1.6.3 FUENTES DE INFORMACIÓN	31
1.7 VARIABLES E INDICADORES	31
1.7.1 VARIABLE DEPENDIENTE	31
1.7.2 VARIABLE INDEPENDIENTE	31
1.7.3 INDICADORES	31
1.8 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	32
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	33
2.1 ÓSMOSIS	33
2.2 PRINCIPIOS DE LA ÓSMOSIS	34
2.2.1 PRESIÓN OSMÓTICA	35

2.3	FUNDAMENTO FÍSICO	35
2.4	POTENCIAL QUÍMICO	37
2.5	PROCESOS OSMÓTICOS	38
2.5.1	ÓSMOSIS DIRECTA (FO)	39
2.5.2	ÓSMOSIS INVERSA (RO).....	39
2.5.3	ÓSMOSIS RETARDADA POR PRESIÓN (PRO)	39
2.6	APLICACIÓN DE LA ENERGÍA DISPONIBLE DEL PROCESO DE ÓSMOSIS RETARDADA POR PRESIÓN.....	43
2.7	TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS SEMIPERMEABLES	44
2.7.1	MÓDULOS DE MEMBRANA	44
2.7.2	TIPOS DE MÓDULO DE MEMBRANA.....	44
2.7.3	MODO DE FUNCIONAMIENTO DE MÓDULOS	51
2.7.4	MÓDULOS DE MEMBRANA PARA PROCESO PRO	53
CAPÍTULO 3. MEMORIA DESCRIPTIVA		57
3.1	ÁREA DE INFLUENCIA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	57
3.2	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA.....	57
3.3	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y GEOTÉCNICA.....	58
3.4	EVALUACIÓN HIDROLÓGICA Y PLUVIOMÉTRICA	61
3.5	ALTURA	62
3.6	CAUDAL.....	63
CAPÍTULO 4. INGENIERÍA DEL PROYECTO		64
4.1	OBRAS CIVILES.....	64
4.1.1	BOCATOMA / DESRIPEADOR.....	64
4.1.2	CANAL DE CONDUCCIÓN	68
4.1.3	DESARENADOR	70
4.2	CÁLCULOS ELECTROMECÁNICOS.....	73
4.2.1	CASA DE MÁQUINAS	73
4.3	SIMULACIÓN DE LA TURBINA PELTON CON EL SOFTWARE ANSYS 14.5.....	94
4.3.1	SIMULACIÓN EN LA TOBERA	96
4.3.2	SIMULACIÓN EN LA CUCHARA Y EL RODETE DE LA TURBINA PELTON.....	109
CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....		115

5.1	MARCO LEGAL	115
5.2	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	118
5.3	EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS	119
5.4	ACCIONES PARA ATENUAR LOS IMPACTOS.....	121
CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....		122
6.1	MERCADO ELÉCTRICO EN EL PERÚ	122
6.2	EVALUACIÓN DE COSTOS	126
6.3	INDICADORES ECONÓMICOS DEL PROYECTO	127
CONCLUSIONES.....		129
RECOMENDACIONES.....		131
BIBLIOGRAFÍA		132
ANEXO A: CURVAS Y GRÁFICOS PARA SELECCIÓN DE TURBINA Y PARÁMETROS DE ESTA.....		135
ANEXO B: PLANOS		140
ANEXO C: HOJA DE CÁLCULO DE LA BOCATOMA		141
ANEXO D: HOJA DE CÁLCULO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN.....		144
ANEXO E: HOJA DE CÁLCULO DEL DESARENADOR		146
ANEXO F: HOJA DE CÁLCULO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA.....		148
ANEXO G: REPORTE DE SIMULACIÓN CON ANSYS 14.5		151

INTRODUCCIÓN

El concepto de energía osmótica también llamada energía azul surgió a mediados de los 50s y fue durante la década de los 70s; motivados por la crisis del petróleo, que se hicieron varias investigaciones de la técnica. Los resultados obtenidos en estas investigaciones mostraban energías de salida muy por debajo de lo esperado ya que se usaron membranas destinadas a otros procesos. La ausencia de membranas y módulos de membrana que se adapten al proceso de Ósmosis Retardada por Presión (“PRO” por sus siglas en inglés) obstaculizó los esfuerzos para establecer esta tecnología, además se sumó durante este período la falta de modelos propuestos para predecir comportamientos de flujos y presiones.

Actualmente se cuenta con resultados de experimentos realizados en procesos de PRO y que han sido comparados con modelos predictivos que permiten adecuar características que deben tener las membranas y los módulos de membrana para lograr un alto rendimiento en la obtención de energía eléctrica.

La empresa noruega STATKRAFT es la pionera en este campo, en 2009 puso en marcha la primera planta prototipo de este tipo de energía. Dicha planta está ubicada en Tofte al sur de Oslo.

En el Perú el mercado eléctrico viene creciendo e incluyendo con gran aceptación proyectos de generación con Recursos Energéticos Renovables, el Estado promueve el desarrollo de este tipo de proyectos mediante mecanismos de subasta donde los licitantes tienen un precio garantizado por la duración del contrato así como preferencias para el despacho de sus energías.

La energía osmótica representa pues una nueva opción en el Perú para ser incluida dentro de las tecnologías de generación de electricidad con energías renovables.

CAPÍTULO 1.

DESCRIPCIÓN Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 ÁMBITO DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La planta de la micro central hidroeléctrica estará ubicada en la margen izquierda de la desembocadura del río Rímac, en las coordenadas 12° 01' 54" de latitud Sur y 77° 08' 52" de longitud Oeste, en el distrito del Callao, provincia constitucional del Callao, contando con un área aproximada de 18 000 m² disponibles para la construcción de la planta.

El lugar de la planta es fácilmente accesible desde la Av. Contralmirante Mora; muy cerca del cruce de ésta al río Rímac, frente a la Base Naval del Callao. Se puede llegar por camino totalmente carrozable hasta 50 metros de la futura planta.

En la siguiente figura se puede observar la ubicación de la microcentral hidroeléctrica:



Fuente: Google Earth

1.2 ANTECEDENTES

El hombre desde tiempos históricos ha buscado aprovechar las fuerzas naturales para aliviar su trabajo muscular y generar ahorros tal que pueda realizar cantidades importantes de trabajo que de otra forma hubiera necesitado abundante mano de obra.

El descubrimiento de la electricidad y el desarrollo de tecnologías de generación de la misma forman parte de nuestra realidad. Una forma de obtener la energía eléctrica es aprovechando las caídas de masas de agua, producida por los desniveles por donde éstas discurren, para mover una turbina que acoplada a un generador producen electricidad.

Al respecto menciona ZOPPETTI¹: “El aprovechamiento de los saltos de agua tiene lugar, no por la velocidad de ésta, sino por la presión que puede obtenerse conduciéndola a un punto elevado en relación con la altura de la toma de agua y desde donde desciende para obtener en su caída la energía aprovechable”.

VILLANUEVA & ALATA² indican que: “Se debe aplicar una metodología (planteada en su tesis de postgrado) para obtener el Caudal Ecológico, preferentemente a los ríos costeros de nuestro país, ya que los mismos tienen serias limitaciones en épocas de estiaje”. Pero a diferencia de las centrales hidroeléctricas convencionales, en este tipo de central la captación de agua no busca trazar una ruta que genere un desnivel de cotas en el río (con largos recorridos entre la captación y la descarga), la captación sólo se dispone para conducir las aguas, desarenarlas e inyectarlas a los módulos de membrana semipermeable, con este nuevo concepto los tramos entre bocatoma y descarga representan cortos recorridos que no generan impactos considerables o la necesidad de determinar el caudal ecológico.

Se usará el término correspondiente para la central hidroeléctrica según la clasificación hecha por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), la cual parte de la potencia instalada, así:

¹ ZOPPETTI JÚDEZ GAUDENCIO, “Centrales Hidroeléctricas”, Editorial Gustavo Gili S.A., España, 1965.

² VILLANUEVA REYNALDO & ALATA JOSUE, Análisis y Propuesta de una Metodología para la Determinación del Caudal Ecológico en Centrales Hidroeléctricas del Perú, Aplicación a un Caso Típico, Lima 2011

Tabla 1-1 Tipos de Central³

Potencia	Tipo de Central
0 - 50 kW	Micro Central
50 - 500 kW	Mini Central
500 - 5000 kW	Pequeña Central

Fuente: R. Ortiz – 2001

Las centrales que aprovechan el salto de agua para la generación de electricidad son llamadas “Centrales Hidroeléctricas” y si bien usan las aguas de un río (que es un recurso renovable), en nuestro país no son catalogadas dentro del grupo de energías renovables salvo algunas. El Estado Peruano define como energías renovables no convencionales⁴ a:

- Energía Solar Fotovoltaica
- Energía Solar Térmica
- Energía Eólica
- Energía Geotérmica
- Energía de Biomasa
- Energía Hidroeléctrica sólo hasta 20 MW

En general en el mundo se mencionan algunas tipos de energías renovables adicionales a los ya mencionados como la Energía de Biogás, la Energía Maremotriz y la **Energía Osmótica**⁵, también conocida como energía azul; siendo esta última el

³ ORTIZ FLÓREZ RAMIRO, “Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”, Editorial Nomos S.A., Colombia 2001.

⁴ GOBIERNO PERUANO, “Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables”, Decreto Legislativo N° 1002, Lima, 2008.

⁵ TECNOLOGÍA PIRINEOS, <http://tecnologiapirineos.blogspot.com/2013/04/energias-renovables-iv-energia-azul.html>

tipo de energía que se contemplará en esta tesis para la generación de la energía eléctrica.

La energía Osmótica puede aprovecharse a través del proceso de Ósmosis Retardada por Presión (PRO), en el cual el agua de río atraviesa la membrana semipermeable impulsado por la presión osmótica; la misma que aparece por la diferencia de concentración de sales entre el agua de río y el agua de mar, diluyendo el agua de mar y aumentando la presión en este lado, esta presión se puede aprovechar en la generación de electricidad.

La presión osmótica se manifiesta cuando dos soluciones con diferente concentración entran en contacto a través de una membrana semipermeable. ENGEL⁶ indica que “la presión osmótica es una Propiedad Coligativa de las soluciones ya que depende de la concentración del soluto y no de la naturaleza o composición de este”.

Las soluciones que se usará para este trabajo son principalmente el agua de mar cuya composición es típicamente de alrededor de 36 000 partes por millón (ppm) de soluto, esta concentración presenta ligeras variaciones por los cambios de temperatura y la latitud en la que se encuentre. HISHAM⁷ muestra en la Tabla 1-1 la composición típica del agua de mar con una concentración de 36 000 ppm:

⁶ ENGEL T., “Introducción a la Fisicoquímica: Termodinámica”, Pearson Educación, 2007

⁷ ETTOUNEY HISHAM M., “Fundamentals of Salt Water Desalination”, Kuwait University, 2002

Tabla 1-1: Composición típica del agua de mar

Compound	Composition	Mass Percent	ppm
Chloride	Cl ⁻	55.00	19,810.80
Sodium	Na ⁺⁺	30.60	11,019.60
Sulfate	(SO ₄) ⁻⁻	7.68	2,764.80
Magnesium	Mg ⁺⁺	3.69	1,328.40
Calcium	Ca ⁺⁺	1.16	417.60
Potassium	K ⁺	1.16	417.60
Carbonic Aci	(CO ₃) ⁻⁻	0.41	147.60
Bromine	Br ⁻	0.19	68.40
Boric Acid	H ₃ BO ₃ ⁻	0.07	25.20
Strontium	Sr ⁺⁺	0.04	14.40
Total		100.00	36,014.40

Las aguas existentes en la naturaleza tienen presencia de sales disueltas en diferentes proporciones, a continuación se muestra una clasificación de tipos de agua según el rango de salinidad o total de sólidos disueltos (Total Dissolved Solids TDS).

Tabla 1-2 Rangos de Salinidad⁸

Tipo de agua	Salinidad (PPM de TDS)
Ultrapura	0.03
Pura	0.3
Desionizada	3
Dulce	< 1,000
Salobre	1,000 - 10,000
Salina	10,000 - 30,000
Marina	30,000 - 50,000

Fuente: Medina – 2000

Es necesario saber que los valores de salinidad varían según la procedencia y fenómenos físico-químicos a los que están sometidas las aguas. En la Tabla 1.2 se muestra la salinidad de mares y océanos en la superficie del planeta.

⁸ MEDINA J. A., “Desalación de aguas salobres y de mar, Ósmosis Inversa”, España 2000

Tabla 1-3 Salinidad de Mares y Océanos

Mar / Océano	Salinidad (PPM de TDS)
Mar Báltico	28,000
Mar del Norte	34,000
Océano Pacífico	33,600
Océano Atlántico Sur	35,000
Mar Mediterráneo	36,000
Mar Rojo	44,000
Golfo Pérsico	43,000 - 50,000
Mar Muerto	50,000 - 80,000

Fuente: Medina – 2000

Para usar una membrana en una aplicación dada ésta tiene que estar instalada en un dispositivo apropiado el cual generalmente es llamado módulo de membrana.

Referente a esto WISTON⁹ menciona que: “los módulos de membrana deberían reunir ciertos requerimientos como, su costo de producción, su densidad de empaquetamiento, consumo de energía y especialmente el control de la polarización de la concentración y el ensuciamiento de la membrana”.

Industrialmente se producen seis tipos básicos de membrana, las cuales se mencionan en el desarrollo de este informe y se resalta el tipo de membrana que mejor se adapta al proceso de Ósmosis Retardada por Presión (PRO).

La revista americana “Journal of Membrane Science” indica en un artículo científico¹⁰: “Los resultados experimentales obtenidos durante la investigación con el proceso PRO en módulos con membrana semipermeable tipo asimétrica, se aproximan a las predicciones del modelo matemático planteado en dicha

⁹ WISTON and KAMALESH, “Membrane Handbook”, Kluwer Academic Publisher, US, 2001

¹⁰ACHILLI A., CATH Y. y CHILDRESS A., “Power generation with pressure retarded osmosis”, Journal of Membrane Science 343(2009) 42-52
www.elsevier.com/locate/memsci

investigación. En 972 kPa de presión en el lado de la solución salobre, la densidad de potencia permitida alcanzó 2.8 W/m^2 para una concentración de la solución concentrada de 35 g/L de NaCl y se alcanzó 5.1 W/m^2 para una de 60 g/L de NaCl”.

YONGHAU YOU y SAYI HUANG¹¹, realizaron una investigación sobre: “Transferencia de Masa en una membrana semipermeable en un proceso PRO”. El paper estudió la transferencia de masa de una plancha plana de membrana asimétrica en proceso PRO y presentó un modelo teórico, el cual incluyó los fenómenos de Polarización por Concentración Interna, polarización por concentración externa, fugas de sal, solución salmuera y pérdidas de presión. El modelo fue resuelto con método numérico y se tomó a la membrana comercial Toray CA-3000 para la estancia de simulación. Las pruebas demostraron que a mayor concentración de la solución concentrada mayor es el flujo de solución diluída a través de la membrana semipermeable y mayor es la densidad de potencia. Además se concluyó para cada solución se tiene un valor óptimo de densidad de potencia generada.

P. JAN¹², realizó investigaciones en membranas con el proceso de Osmosis Retardada por Presión (PRO) y el proceso de Electrodiálisis Inversa (RE), en su paper indica: “De acuerdo al modelo, el rendimiento del potencial de ambas técnicas son mucho mejores que el rendimiento de corriente. Para lograr el rendimiento de estos potenciales el proceso PRO deberá enfocar el desarrollo de ciertas características en las membranas como por ejemplo incrementar la permeabilidad del

¹¹YOU Y., HUANG S., “Semipermeable Membrane Mass Transfer in Pressure Retarded Osmosis Process”, Huazhong University of Science & Technology Wuhan, China 2012

¹²JAN P., JOOST V. Y HAMELERS, “Evaluation of Pressure Retarded Osmosis and Reverse Electrodialysis”, Journal of Membrane Science, 288(2007) 218-230, <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2006.11.018>

agua de la película y optimizar el soporte poroso. Mientras que el proceso RE deberá enfocar el desarrollo en las características del sistema como por ejemplo optimización de la resistencia interna, la cual es determinada principalmente por el ancho de los espacios”.

Q. SHE, D. HOU y J. LIU¹³ realizaron investigaciones con membranas de diferente espacio geométrico de alimentación en el proceso PRO, determinando que hay una significativa influencia por la deformación de la membrana cuando estos espacios están en operación en el rendimiento del proceso PRO. En su paper indican: “Se observó que las membranas con los espacios de alimentación con aberturas grandes induce deformaciones más severas cuando se les aplica presiones altas”. Más tarde un modelo teórico mecánico revela que la deformación de la membrana es proporcional a la presión aplicada y al cuadrado del tamaño de la abertura del espacio de alimentación e inversamente proporcional al esfuerzo mecánico de la membrana. Se encontró luego que la deformación severa de la membrana no solo redujo drásticamente los flujos de agua en el proceso PRO sino también incrementó las pérdidas de presión estática en el canal del flujo de alimentación. “Para espacios de alimentación con grandes aberturas, la reducción del flujo de agua en conjunto con el incremento de las pérdidas de presión, decrece severamente la salida de la potencia neta. En contraste, el uso de espacios de alimentación con pequeñas aberturas resultó en una significativa mejora del rendimiento del proceso PRO”.

¹³SHE Q., HOU D. y LIU J., “Effect of feed spacer induced membrane deformation on the performance of pressure retarded osmosis (PRO): Implications for PRO process operation”, *Journal of Membrane Science*, 445(2013) 170-182
<http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2013.05.061>

Una vez determinada la potencia disponible y el caudal involucrado en el proceso PRO, se inicia el desarrollo de los principales componentes de la micro central hidroeléctrica. Para cada componente se ha revisado varios libros que detallan los requerimientos y la forma de diseñarlo.

NOSAKI en su “Manual de Minicentrales” plantea una metodología para poder ir determinando el tipo, el cálculo y el diseño de cada componente de la central según las condiciones del caso del proyecto, desde la bocatoma donde se capta el agua del río, pasando por el canal de conducción, los desarenadores, la casa de máquinas, el canal de descarga, etc.

Adicionalmente para los componentes de la central se ha complementado con información extraída del libro “Ingeniería de los Recursos Hidráulicos” de RAY LINSLEY y JOSEPH FRANZINI¹⁴ donde se facilitan los cálculos de los canales de cielo abierto con el uso de nomogramas. Ellos mencionan: “Aunque el diseño más simple para los canales de construcción artificial es proporcionando una sección transversal uniforme, esto no siempre es factible debido a las condiciones topográficas, en consecuencia el ingeniero debe tratar frecuentemente con escurrimientos no uniformes en canales de cielo abierto.”

Para la selección del tipo de turbina se usa las tablas de NOSAKI¹⁵ donde entrando con la altura y el caudal se sugiere el tipo de turbina más adecuado.

¹⁴ LINSLEY RAY, J. Franzini, “Ingeniería de los Recursos Hidráulicos”, México 1988

¹⁵ NOSAKI TSUGUO, “Guía para la elaboración de proyectos centrales hidroeléctricas destinados a la electrificación rural”, Tokio 1985

Respecto a las turbinas, ZOPPETTI indica que: “no se debe olvidar la conveniencia, desde el punto de vista económico, de que las máquinas funcionan a elevado número de revoluciones para reducir el costo de las mismas”.

Ya en la etapa de cálculo y diseño de la turbina, se han usado las ecuaciones sacadas del libro POLO¹⁶, y se han complementado con información obtenida de las Tesis de Grado de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNI de autores diversos tales como JIROSI SHOJI OGOSAWARA, de la tesis “Turbina Pelton” por mencionar alguno.

Para la elaboración del análisis por elementos finitos de la turbina en este trabajo se ha usado el Software ANSYS 14.5, con lo cual se obtenido el cálculo de los esfuerzos y deformaciones críticas en el álabe y el disco de la turbina.

Finalmente para la evaluación económica del proyecto se usa la legislación vigente (como la Ley de Concesiones Eléctricas, Ley N°28832, Ley de Energías Renovables, Decreto de Urgencia 049, etc.) y los informes emitidos por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), el Comité de Operación Económica del Sistema (COES), etc.

SIERRA & GUERRERO¹⁷ indican: “Los costos específicos de las pequeñas y micro centrales hidroeléctricas varían desde US\$ 400 hasta US\$ 800 por 1.0 kW de capacidad instalada, las cargas en el transporte y las instalaciones pueden incrementar el valor entre US\$ 600 y US\$ 1200 por kW. Generalmente estos gastos

¹⁶ POLO ENCINAS MANUEL, “Turbomáquinas Hidráulicas”, México 1983

¹⁷SIERRA F. & GERRERO C., “Pequeñas y Microcentrales Hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica”, Colombia, Diciembre 2011

se determinan por las condiciones del emplazamiento, la tecnología usada, las facilidades de transporte, etc. En estos gastos, de un 30% a un 50% corresponden a obras civiles, el equipo electromecánico de 20% a 35%, el sistema de transmisión 10% a 25% y la parte de ingeniería y administración de un 5% a un 15%”.

También se ha sumado al análisis la actual situación del mercado eléctrico en el Perú, así RAFAEL VERA TUDELA¹⁸ indica en una publicación que: “es importante resaltar que tanto la generación hidroeléctrica como aquella basada en fuentes térmicas se concentra en la zona central del país. En efecto, la potencia efectiva proveniente de ambas fuentes y localizada en el centro es de 4 850.7 MW, muy superior a los 868.6 MW de potencia ubicada en el sur y a los 725.1 MW de potencia en el norte del país. Esta excesiva concentración geográfica genera diversos problemas al sistema, como las pérdidas que se producen en la transmisión de energía y, por ende, los mayores costos para el sur y norte del país. A lo anterior se suma la vulnerabilidad sistémica a la que lleva la alta concentración si no se logra asegurar la redundancia necesaria para enfrentar posibles fallas en los sistemas de generación ó transmisión”.

Así mismo se ha complementado esta evaluación económica con información de lectura de tesis de grado de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNI, de autores como GERMAN QUINO QUIJANDRÍA, “Proyecto de Prefactibilidad de una Central Hidroeléctrica de 200 MW” por mencionar alguno.

¹⁸ VERATUDELA RAFAEL, PAREDES CARLOS E. Y DEFILIPPI ENZO, “Mercado Eléctrico en el Perú”, Instituto del Perú, Lima 2013

1.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Hace más de una década las fuentes principales de generación eléctrica provenían de recursos hídricos y petróleo. Con las reservas probadas del gas de Camisea aún sin explotar, el Estado inició el desarrollo de la diversificación de fuentes energéticas principalmente con centrales térmicas a gas y de ciclo combinado.

En la actualidad el abastecimiento de gas natural proveniente de Camisea depende en promedio casi el 40% de producción de energía eléctrica del país y esta producción depende de un solo gasoducto que viene desde Camisea hasta Pisco, hoy este ducto se encuentra en el límite de su capacidad de transporte, por lo que constituye un cuello de botella el más importante para la expansión de la oferta de energía eléctrica en el corto y mediano plazo.

En el 2009 Transportadora de Gas del Perú (TGP) presentó al gobierno un cronograma de expansión de la capacidad del ducto en dos etapas: la primera para pasar de 530 MMPCD a 650 MMPCD y la segunda para pasar de 650 MMPCD a 920 MMPCD hacia mediados del 2012. Sin embargo por factores diversos como dilatación en la aprobación del EIA, fallas de coordinación que determinaron el cambio del trazo original y problemas de seguridad nacional, la expansión se encuentra suspendida y se ha postergado por lo menos hasta el año 2015. Como consecuencia hay termoeléctricas construidas o en fase final de construcción en la costa que no cuentan con el abastecimiento de gas, a pesar de que algunos cuentan con contratos de transporte del recurso.

La actual situación del gasoducto nos muestra que el sistema es vulnerable y frágil, pudiéndose, en un escenario de un posible ataque terrorista al gasoducto, desabastecer al sistema y obligar un racionamiento eléctrico para el país (afectando a más del 20% de la demanda del sistema eléctrico nacional)

Desde el año 2004 el parque generador aumentó su concentración geográfica en la costa centro, esto causa que las redes de transmisión que evacúan electricidad desde Lima hacia las zonas con déficit registren congestión durante más del 40% del tiempo. Esto implica la necesidad de importar electricidad de Ecuador, siendo un impacto negativo a las tarifas e implica saturación.

1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo la evaluación técnica – económica influye en la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica?

1.3.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es el potencial energético disponible que se tiene para la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac?

¿Cuál es el tipo de turbina que se adapta para la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac?

¿Cuál es el resultado del análisis del TIR para la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac?

¿Cuál es el resultado del análisis del VAN para la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac?

- Por un lado la concentración geográfica de las centrales en la zona centro del país que causan congestión en las redes de transmisión y por consecuencia riesgo de fallas de transmisión.
- Por otro lado al tener un alto porcentaje de centrales cuya energía eléctrica proviene del gas y el gasoducto actual no tiene la capacidad para atender a nuevas centrales y a la vez es vulnerable.

Es necesario buscar nuevas fuentes de energía diferente a las convencionales, que sean energías limpias y que puedan ser instaladas en el norte y sur del país para desconcentrar y diversificar la oferta eléctrica.

1.4 OBJETIVOS

Se tiene un objetivo general y algunos objetivos específicos:

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar técnica y económicamente la influencia para la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar con criterio técnico la potencia de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica a partir del proceso de Ósmosis Retardada a Presión (PRO) en la desembocadura del río Rímac, para la construcción de la misma.
- Seleccionar el tipo de turbina para la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac.
- Calcular la Tasa Interna de Retorno para la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac.
- Calcular el Valor Actual Neto para la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac.

No es alcance de esta tesis la elaboración de planos definitivos, ni la determinación de rendimientos para el proceso de construcción, ni la elaboración del cronograma de obra de la construcción de la planta.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

- La evaluación técnica y económica influye significativamente en la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac.

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El potencial energético del proceso PRO en la desembocadura del río Rímac influye para la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW.
- Existe un tipo de turbina adecuado para la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW en la desembocadura del río Rímac.
- El resultado del análisis de la Tasa Interna de Retorno muestra que es viable la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW en la desembocadura del río Rímac.
- El resultado del análisis del Valor Actual Neto muestra que es viable la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW en la desembocadura del río Rímac.

1.6 MÉTODOLÓGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo usará como tipo una investigación lo siguiente:

- Según la finalidad: Investigación Aplicada
- Según la fuente: Investigación bibliográfica o documental

1.6.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo se realizará una investigación de nivel Descriptivo y Explicativo.

1.6.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

La información obtenida, revisada y analizada para la elaboración del presente trabajo, tuvo como principales fuentes, libros, papers, revistas técnicas, leyes gubernamentales, páginas web y publicaciones de internet.

1.7 VARIABLES E INDICADORES

1.7.1 VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente es la construcción de la Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac.

1.7.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Como variable independiente se tiene a la Evaluación Técnica - Económica.

1.7.3 INDICADORES

Como indicador principal de la variable dependiente se tiene a:

- La potencia de la Micro Central Hidroeléctrica que usa energía osmótica en la desembocadura del río Rímac.

Como indicadores de la variable independiente se tiene:

- Al potencial energético obtenido del proceso de Ósmosis Retardada a Presión (PRO).
- La selección del tipo de turbina
- La Tasa Interna de Retorno (TIR).
- El Valor Actual Neto (VAN)

1.8 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La energía osmótica ó “energía azul” es una energía renovable libre de emisiones de CO₂, su producción es estable y predecible.

La mayoría de los ríos peruanos que desembocan en el océano pacífico están muy próximos a las ciudades y/o áreas industrializadas, por lo cual la energía producida con el proceso PRO no necesita la construcción de grandes distancias de líneas de transmisión para llevarla al consumidor final.

En nuestro país se tienen muchos ríos que llegan al mar y que representan un gran potencial que aportaría al aumento del porcentaje de energía eléctrica comercial generada con energías renovables y con bajo impacto ecológico.

Es importante considerar nuevas alternativas de generación en nuestro país que aporten a la demanda y al cambio de la matriz energética nacional hacia el uso de energías limpias.

La presente tesis pretende presentar a la energía osmótica como una alternativa técnica y económicamente viable.

CAPÍTULO 2.

MARCO TEÓRICO

2.1 ÓSMOSIS

La ósmosis es un fenómeno físico y se define como el paso espontáneo de solvente (a través de una membrana semipermeable) desde una solución con baja concentración hacia una con alta concentración. El fenómeno puede interpretarse como la tendencia de los solventes a “diluir” y esto ocurre a temperatura constante.

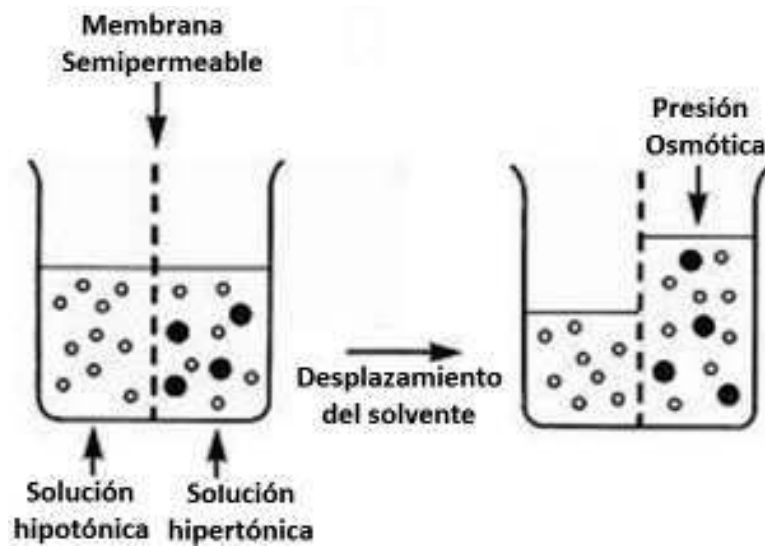


Fig. 1.- Esquema del fenómeno de ósmosis

Fuente: Elaboración propia

2.2 PRINCIPIOS DE LA ÓSMOSIS

La causa que genera el fenómeno de ósmosis tiene que ver con la búsqueda del equilibrio de los potenciales químicos de cada componente de un sistema.

El resultado de la búsqueda del equilibrio es la aparición de una fuerza que impulsa el flujo de solvente de un lado hacia otro de la membrana semipermeable. Esta fuerza se expresa como una presión a la que se le denomina **Presión Osmótica**. El flujo neto de solvente a través de la membrana semipermeable se detiene cuando se llega a establecer un equilibrio de los potenciales químicos (entendiéndose estos como las concentraciones).

La presión osmótica también se define como la presión que se debe aplicar a una solución para evitar el flujo neto de solvente a través de una membrana semipermeable.



Fig. 2.- Representación del flujo neto de solvente en la ósmosis

Fuente: Elaboración propia

2.2.1 PRESIÓN OSMÓTICA

La presión osmótica es una de las propiedades coligativas de las soluciones; es decir, dependen de la concentración del soluto en la solución, sin importar su naturaleza.

Cumple con la siguiente expresión:

$$\pi = MRT \quad (1)$$

Donde

π : Presión osmótica

M: Molaridad

R: Constante universal de los gases $R = 8.314472 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

T: Temperatura

2.3 FUNDAMENTO FÍSICO

En un sistema binario no reaccionante, en que los componentes no acarrean carga eléctrica y existe una temperatura uniforme e igual para dos reservorios, se tiene que la producción de entropía es la combinación lineal de productos entre flujos y fuerzas del sistema:

$$\sigma = \sum_i Y_i X_i \quad (2)$$

donde los flujos Y_i son simplemente el flujo de difusión relativo del compuesto 1

(j'_1) y el flujo relativo de velocidades de los componentes (j_v):

$$j'_1 = j_1 - \frac{c_1}{c_2} j_2 \quad (3) \quad j_v = v_1 j_1 + v_2 j_2 \quad (4)$$

c_1 y c_2 : concentración del componente 1 y 2 respectivamente

v_1 y v_2 : velocidades de los componentes 1 y 2 respectivamente

Las fuerzas termodinámicas son diferencias entre magnitudes intensivas¹⁹ entre los dos reservorios: potencial químico y presión.

$$X_1 = -\frac{(\Delta\mu_1)_{T,p}}{T} = -\mu_{11}^c \frac{\Delta c_1}{T} \quad (5) \qquad X_v = -\frac{\Delta p}{T} \quad (6)$$

Donde:

μ : es el potencial químico del componente

p : es la presión del componente

T : es la temperatura del sistema

Se cumple:

$$\begin{pmatrix} j'_1 \\ j_v \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{v1} \\ \lambda_{1v} & \lambda_{vv} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} -\mu_{11}^c \frac{\Delta c_1}{T} \\ -\frac{\Delta p}{T} \end{pmatrix} \quad (7)$$

De lo que se deduce, para una situación estacionaria ($j_v = 0$) que una diferencia de concentraciones en los depósitos provoca una diferencia de presiones y viceversa.

Son los fenómenos de osmosis y osmosis inversa, dados por la relación:

$$\frac{\Delta p}{\Delta c_1} = -\mu_{11}^c \frac{\lambda_{v1}}{\lambda_{vv}} \quad (8)$$

A la diferencia de presiones Δp que provoca una determinada diferencia de concentración Δc se denomina presión osmótica.

¹⁹ Magnitud Intensiva: no depende de la cantidad de materia de un sistema, por ejemplo la densidad, la temperatura, la presión de un sistema estacionario, etc.

2.4 POTENCIAL QUÍMICO

El potencial químico de un sistema termodinámico es el cambio de energía que experimentaría el sistema si fuera introducida en este una partícula adicional, manteniendo la entropía y el volumen constantes.

El potencial químico se asocia a la cantidad de materia y mide la tendencia de las partículas a difundirse.

En un sistema de n especies constituyentes, su energía interna U está dada en función de la entropía S , el volumen V y la cantidad de sustancia de cada especie n , así:

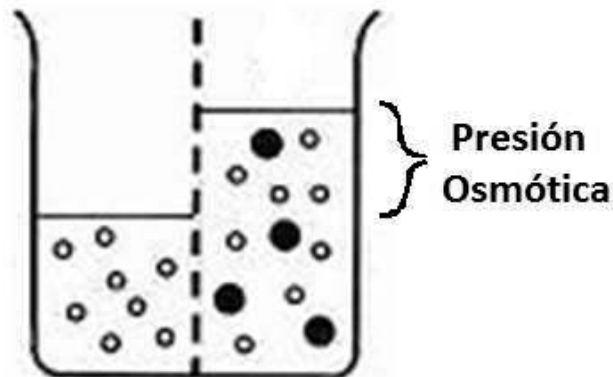
$$U = U(S, V, n_1, \dots, n_n) \quad (9)$$

El potencial químico de la especie i del sistema se define matemáticamente como la derivada parcial:

$$\mu_i = \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S, V, n_{j \neq i}} \quad (10)$$

Donde los subíndices indican que la entropía, el volumen y la cantidad de sustancia de las otras especies se deben mantener constantes.

Así, si un sistema está en equilibrio los potenciales químicos de las especies deben ser iguales, de lo contrario cualquier aumento del potencial químico produciría emisión neta e irreversible de la energía del sistema.



En la búsqueda del equilibrio del potencial químico, aparece una fuerza a manera de presión que impulsa el solvente en una dirección

Fig. 3.- Equilibrio del potencial químico

Fuente: Elaboración Propia

2.5 PROCESOS OSMÓTICOS

La ósmosis es el transporte de agua; a través de una membrana selectivamente permeable, de una solución de alto potencial químico (de baja presión osmótica) a una solución de bajo potencial químico (de alta presión osmótica). Esto tiene lugar por la diferencia de concentración molar del soluto de las dos soluciones y que se manifiesta con la presencia de una membrana permitiendo el paso de agua y rechazando el paso de moléculas de soluto e iones.

La diferencia de presión osmótica ($\Delta\Pi$) está representado por la columna de líquido que queda formada en el lado de la solución concentrada al lograr el equilibrio tal como se muestra en la siguiente figura.

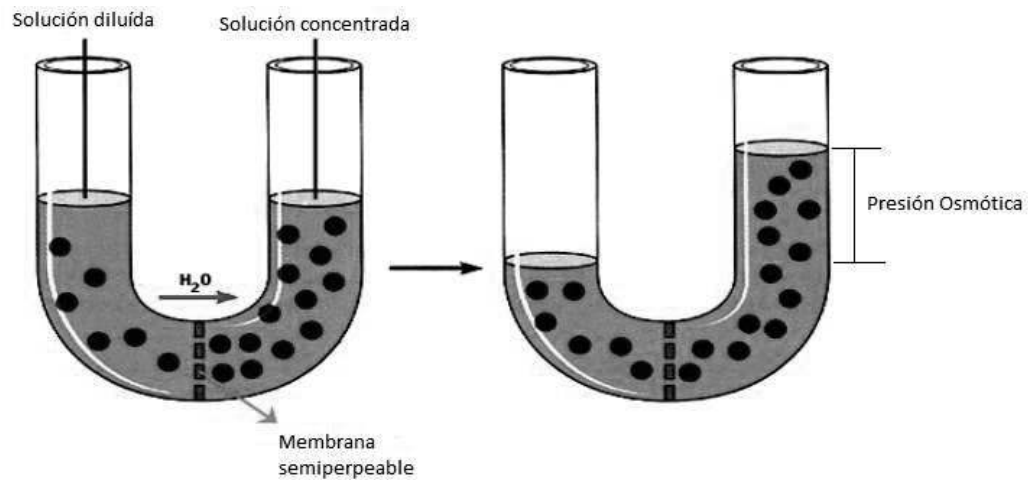


Fig. 4.-Representación del fenómeno de Ósmosis Directa (FO)

La presión hidráulica (Δp), es la presión externa que se aplica a una de las soluciones para conseguir un fin determinado.

2.5.1 ÓSMOSIS DIRECTA (FO)

La fuerza que genera el transporte de agua a través de la membrana semipermeable está representado sólo por la $\Delta\pi$ no hay presencia de presiones hidráulicas externas ($\Delta p = 0$).

2.5.2 ÓSMOSIS INVERSA (RO)

La fuerza generadora del transporte de agua a través de la membrana es causada por la resultante de las presiones presentes, siendo $\Delta p > \Delta\pi$

2.5.3 ÓSMOSIS RETARDADA POR PRESIÓN (PRO)

La fuerza generadora del transporte de agua a través de la membrana es causada por la resultante de las presiones presentes, siendo $\Delta p < \Delta\pi$

A continuación se muestra los procesos osmóticos descritos:

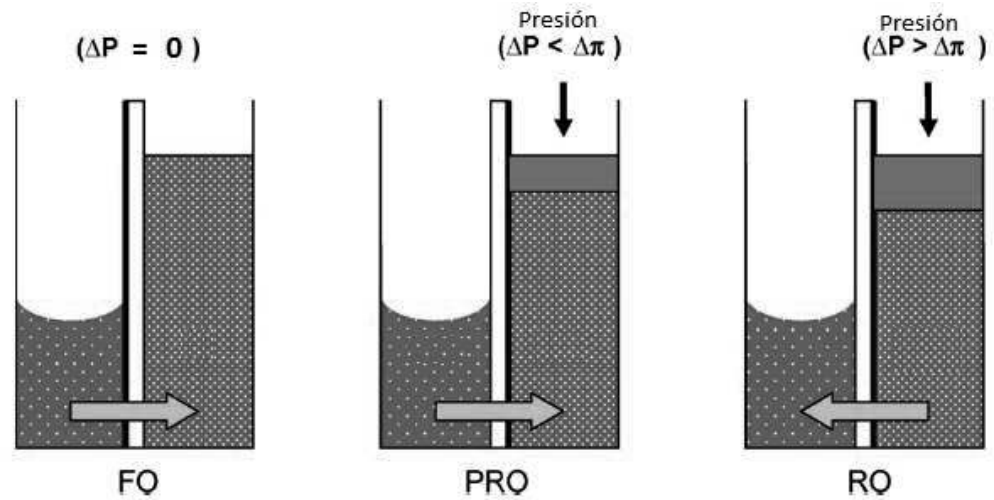


Fig. 5.- Representación del flujo de solvente en procesos FO, PRO y RO

Fuente: Journal of Membrane Science 343, 2009

En los procesos osmóticos se puede escribir la ecuación general para el transporte de agua, así:

$$J_w = A(\Delta\pi - \Delta p) \quad (11)$$

Donde J_w es el flujo de agua (m/s) y A es el coeficiente de permeabilidad de agua de la membrana, $\Delta\pi$ y Δp son variaciones de presión. Las direcciones son ilustradas en la Fig. 5. También se puede apreciar en esta imagen la orientación de la membrana asimétrica en cada proceso, se describe esta membrana con mayor detalle en la Fig. 20.

Además la potencia que puede ser generada por unidad de superficie de membrana (W/m^2) se puede obtener de la siguiente expresión:

$$Pot = J_w \Delta p = A(\Delta\pi - \Delta p)\Delta p \quad (12)$$

Por diferenciación respecto de Δp se puede considerar que la potencia máxima será

cuando $\Delta p = \frac{\Delta \pi}{2}$ tal que:

$$Pot_{m\acute{a}x} = A \frac{(\Delta \pi)^2}{4} \quad (13)$$

De las ecuaciones anteriores se puede obtener las curvas de comportamiento de los procesos osmóticos para obtener el flujo de agua en función de la ΔP , así como la densidad de potencia generada, en la Fig. 6 se puede observar el comportamiento ideal basado en las ecuaciones y el comportamiento real.

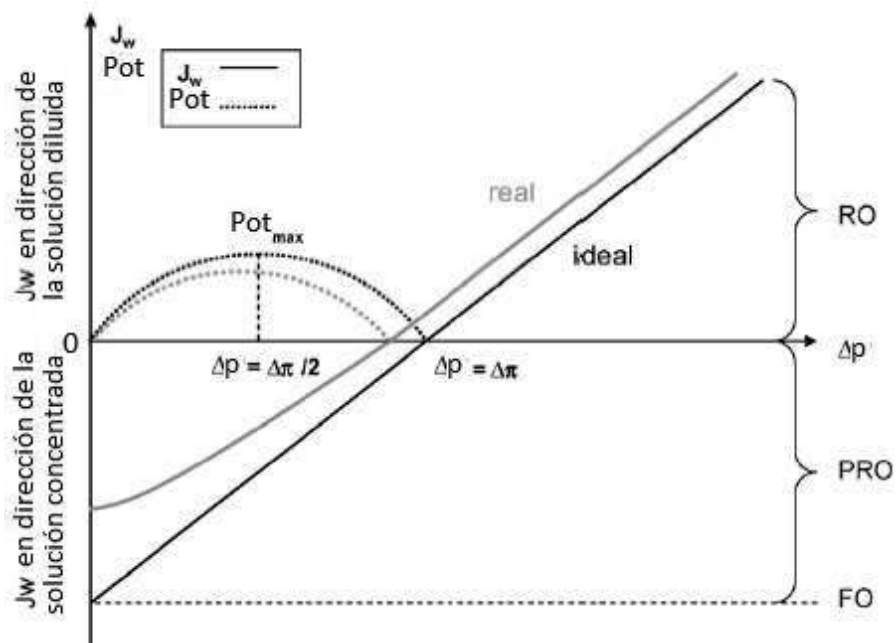


Fig.6.- Curvas de comportamiento del flujo de agua y la potencia generada

Fuente: Journal of Membrane Science 343, 2009

En resultados experimentales realizados y publicados en un artículo de la revista “Journal of Membrane Science” en julio de 2009 se obtuvieron para membranas de

tipo asimétricas los siguientes coeficientes (A=permeabilidad del agua y B=permeabilidad del soluto):

$$A=1.87 \times 10^{-9} \text{ (m/s)/KPa} \quad \text{y} \quad B=1.11 \times 10^{-7} \text{ (m/s)}$$

Las características de las soluciones usadas en dichos experimentos se muestran en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1

C (g/L NaCl)	π (kPa)	μ (mPa*s)	ρ (g/L)
0	0	0.892	997
2.5	189	0.895	999
5	380	0.898	1000
20	1550	0.918	1011
35	2763	0.939	1021
60	4882	0.976	1037

Fuente: *Journal of Membrane Science* 343, 2009

Donde:

C: concentración de la solución

π : Presión osmótica

μ : Viscosidad

ρ : Densidad

En este mismo artículo se mostró el comportamiento del flujo de agua a través de la membrana semipermeable así como la densidad de potencia en diferentes condiciones experimentales y con diferentes concentraciones de las soluciones diluida y concentrada. En el anexo A se muestran las gráficas publicadas en el artículo científico; de la revista mencionada, usando el proceso PRO.

2.7 TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS SEMIPERMEABLES

2.7.1 MÓDULOS DE MEMBRANA

La membrana semipermeable permiten el paso selectivo de ciertas sustancias, en este caso agua, pero impide el paso de otras, como las sales disueltas en ellas.

Para usar una membrana en alguna aplicación dada, ésta tiene que estar instalada en un dispositivo apropiado el cual es denominado módulo de membrana. El módulo de la membrana está dado por el recipiente que contiene a la misma, debe permitir un fácil acceso a las membranas para mantenimiento de éstas.

2.7.2 TIPOS DE MÓDULO DE MEMBRANA

Los tipos de módulos más usados actualmente a escala industrial son seis: de cartucho, planos, espirales, tubulares, capilares y de fibra hueca. Estos difieren entre sí por su diseño, su modo de operación, su costo de producción y sus requerimientos de energía para bombear la solución de alimentación a través del módulo.

2.7.2.1 MÓDULO DE MEMBRANA DE CARTUCHO

Más conocido como Filtro Cartridge, consiste en una membrana plisada dentro de una cámara presurizada usando principalmente en procesos de microfiltración (MF). La solución de alimentación entra en la cámara atravesando el cartucho hacia un tubo central sellado a la cámara con un o-ring. Estos módulos operan con bajas presiones de 1 a 2 bar.

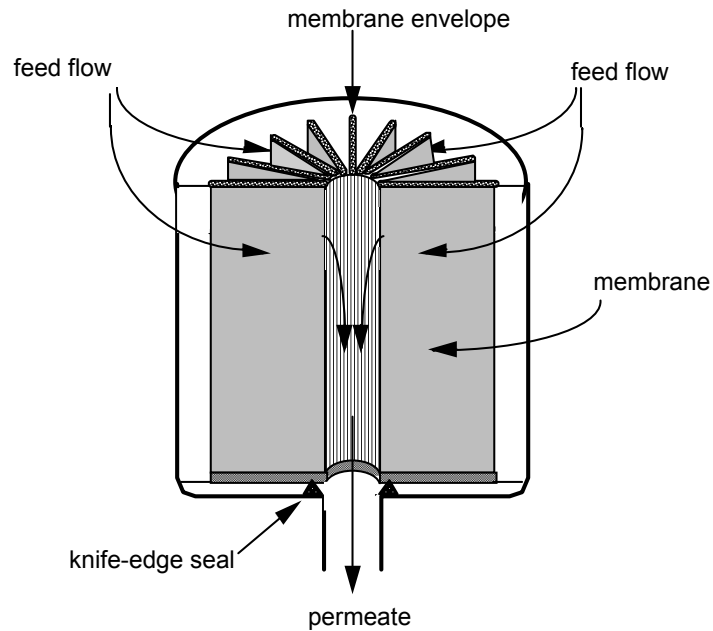


Fig. 8.- Esquema que muestra una unidad de filtro Cartridge

Fuente: [www.colorado.edu/ Membrane Course](http://www.colorado.edu/Membrane Course), 2006

2.7.2.2 MÓDULO DE MEMBRANA PLANA

Consiste en membranas porosas soportadas en placas y sujetadas tal que forman un canal de flujo de alimentación. Es usado principalmente en la producción de ciertas sustancias farmacéuticas, bioproductos y químicos finos. Estos módulos son fabricados en acero inoxidable tal que pueden ser fácilmente esterilizados con vapor.

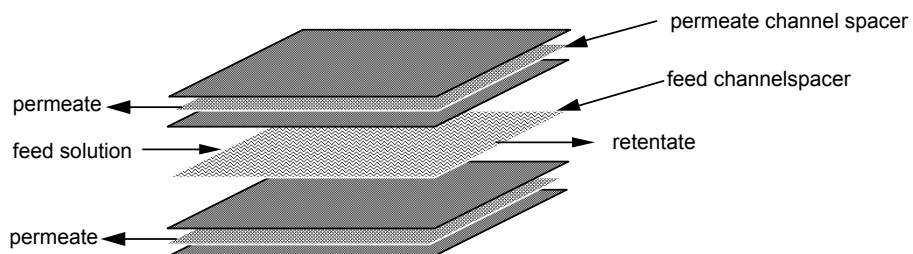


Fig. 9.- Ilustración del concepto del módulo de una membrana plana

Fuente: [www.colorado.edu/ Membrane Course](http://www.colorado.edu/Membrane Course), 2006

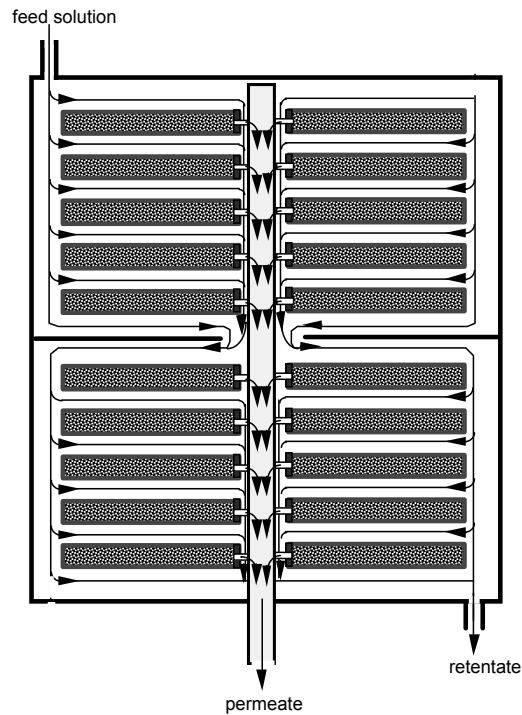


Fig. 10.- Módulo de membrana plana en disposición circular

2.7.2.3 MÓDULO DE MEMBRANA EN ESPIRAL

Es una variación de los módulos planos, este tipo es ampliamente usado en la actualidad en procesos de ósmosis inversa (RO), ultrafiltración (UF) y separación de gases (GS). Formada por la membrana principal, el soporte poroso y el canal de flujo, son enrollados alrededor de un tubo colector central perforado. Se consigue instalar de 1 a 2 m² de membrana.

La principal aplicación es en procesos de RO y UF. Este módulo tiene la desventaja que es sensible al efecto de polarización por concentración y capa de suciedad.

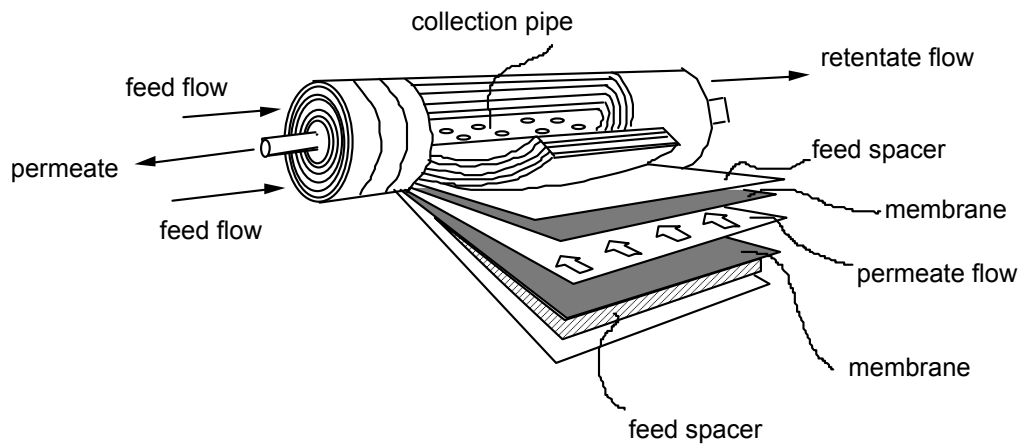


Fig. 11.- Esquema de un módulo de membrana en espiral

Fuente: www.colorado.edu/ Membrane Course, 2006

Mientras que los tres primeros módulos descritos hasta ahora usan membranas planas para su preparación, las de tipo tubulares, capilares y de fibra hueca usan configuraciones especiales para la preparación de los módulos respectivos.

2.7.2.4 MÓDULO DE MEMBRANA TUBULAR

Consiste en tubos de membrana colocados dentro de tuberías porosas de acero inoxidable o de plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP). La principal ventaja de este módulo es que permite el fácil control del efecto de polarización por concentración y capa de suciedad; es usado en ciertos procesos químicos y tratamiento de algunos efluentes industriales.

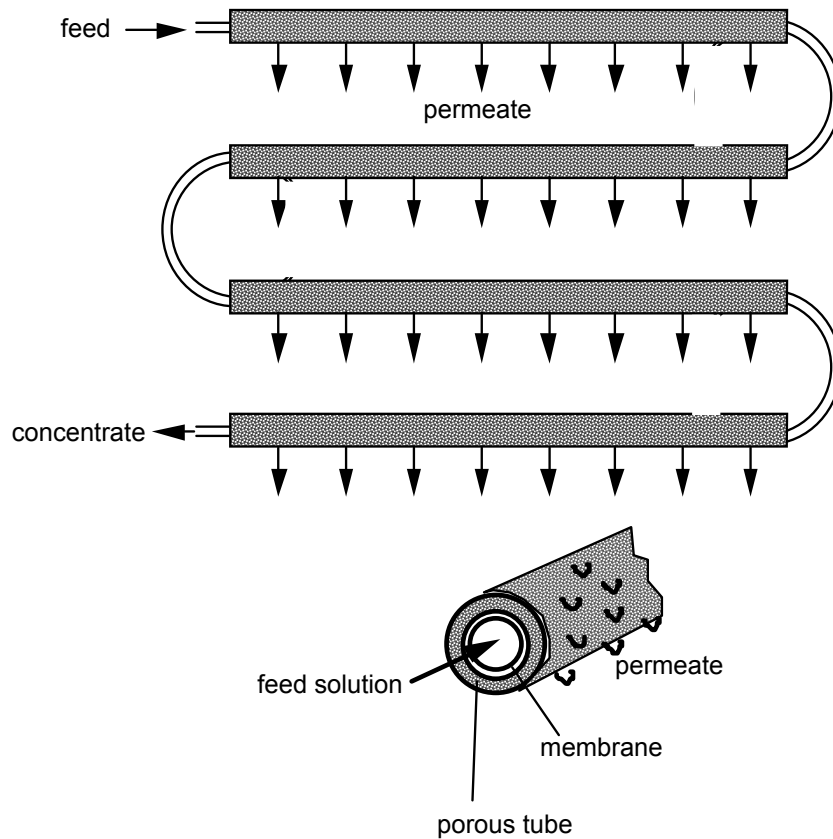


Fig. 12.- Esquema de módulo de membrana tubular

Fuente: www.colorado.edu/ Membrane Course, 2006

2.7.2.5 MÓDULO DE MEMBRANA CAPILAR

Consiste en un largo número de membranas capilares con diámetro interior de 0.2 a 3 mm dispuestos en paralelo como un paquete dentro de un contenedor tubular. Son usados en procesos de UF de baja presión, diálisis (D) y MF. Presenta un fácil control del efecto de polarización por concentración y la capa de suciedad; su uso más significativo es el riñón artificial.

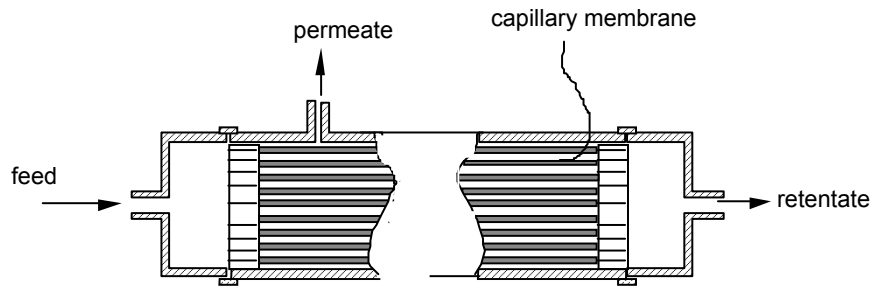


Fig. 13.- Esquema de módulo de membrana tubular

Fuente: www.colorado.edu/ Membrane Course, 2006

2.7.2.6 MÓDULO DE MEMBRANA DE FIBRA HUECA

Consiste en un empaquetado de miles de fibras con huecos de diámetros entre 50 y 100 μm . La capa selectiva está en el lado de la salida de las fibras, cuyos extremos libres se unen con una resina epóxica. El filtrado pasa a través de las paredes de las fibras y fluye hasta llegar al extremo en el cabezal epóxico. Este tipo tiene la más alta densidad de empaquetado y puede operarse en presiones por encima de los 100 bar. La principal dificultad es el control del efecto de polarización por concentración y capa de suciedad. Son usados en procesos de RO para desalar agua de mar y GS; requieren de una etapa de pre acondicionamiento de las soluciones de trabajo.

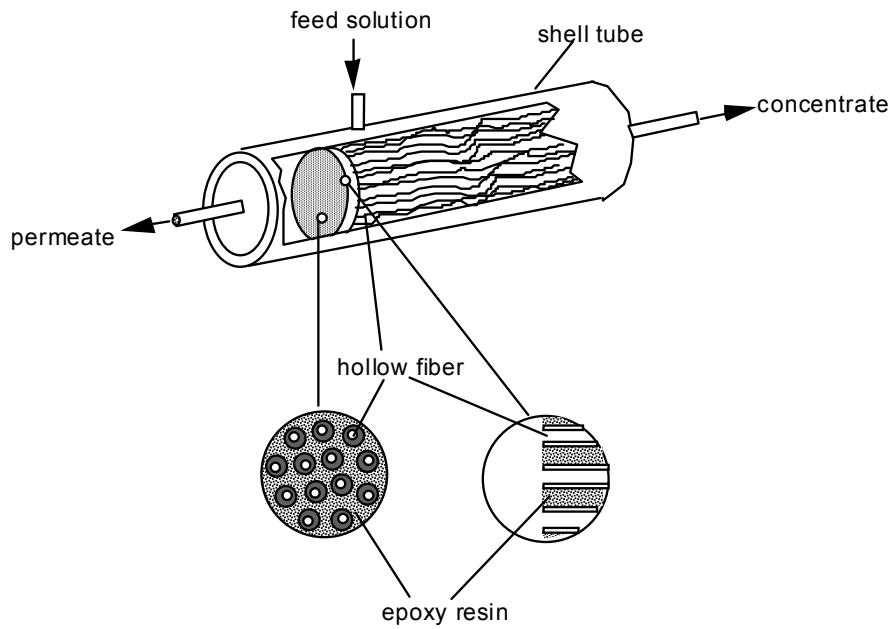


Fig. 14.- Esquema de módulo con membrana de fibra hueca

Fuente: [www.colorado.edu/ Membrane Course](http://www.colorado.edu/Membrane Course), 2006

En el siguiente cuadro se muestra una comparación de los tipos de módulos descritos

Tipo de Módulo	Área de membrana por volumen (m ² /m ³)	Costos de Membrana	Control de polarización por concentración	Aplicación
membrana de cartucho	800 -1 000	bajo	muy pobre	MF
membrana plana	400 – 800	medio	Bueno	MF, UF, RO, D,ED
membrana en espiral	800 – 1 200	pobre	Bueno	UF, RO, GS
Membrana tubular	20 – 100	muy alto	muy bueno	MF, UF, RO
membrana capilar	600 – 1 200	bajo	muy bueno	UF, MF, D
membrana de fibra hueca	2 000 – 5 000	muy bajo	muy pobre	RO, GS

2.7.3 MODO DE FUNCIONAMIENTO DE MÓDULOS

En el funcionamiento de los módulos de membranas se tiene dos modos principales de funcionamiento: el modo de filtración frontal y el modo de filtración tangencial

En los módulos de filtración frontal todo el líquido es forzado a pasar a través de la membrana, los sólidos y componentes quedan retenidos en ella. En este modo el líquido experimentará gradualmente una mayor resistencia a pasar por la membrana, debido a la acumulación de sustancias; si hay una presión constante entonces se traducirá en un decrecimiento del flujo a través de la membrana, luego de un tiempo éste habrá disminuido tanto que la membrana necesitará ser limpiada.

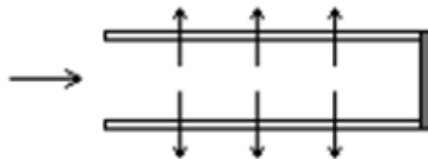


Fig. 15.- Filtración Frontal

Los módulos en filtración tangencial está destinada a disminuir los fenómenos de polarización, concentración y de taponamiento, que siempre están presentes cuando se trabaja con fluidos reales.

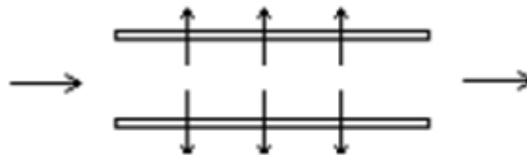


Fig. 16.- Flujo Tangencial

En filtración tangencial hay varios modos de funcionamiento tales como:

- a.- flujo de alimentación y permeato en co-corriente
- b.- flujo de alimentación tangencial con permeato perpendicular a la membrana
- c.- flujo de alimentación y permeato en contracorriente
- d.- agitación perfecta de la alimentación y del permeato en ambos lados de la membrana

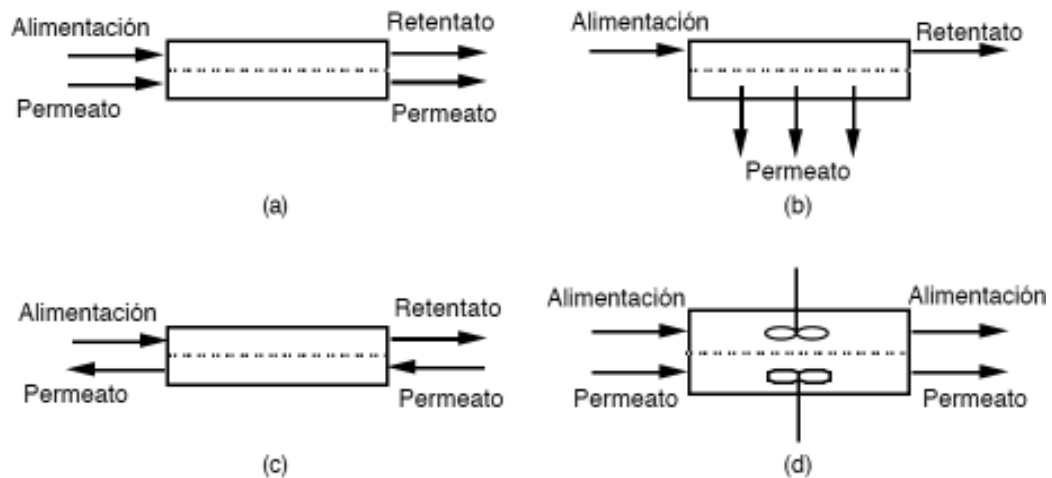


Fig. 17.- Modos de funcionamiento de los módulos en filtración tangencial

Fuente: Christian Guizard, 1999

Los modos de funcionamiento más eficaces son en contracorriente y en alimentación perpendicular con la salida del permeato.

En la fig. 18 se puede observar el comportamiento en el tiempo de los dos modos principales de funcionamiento de las membranas.

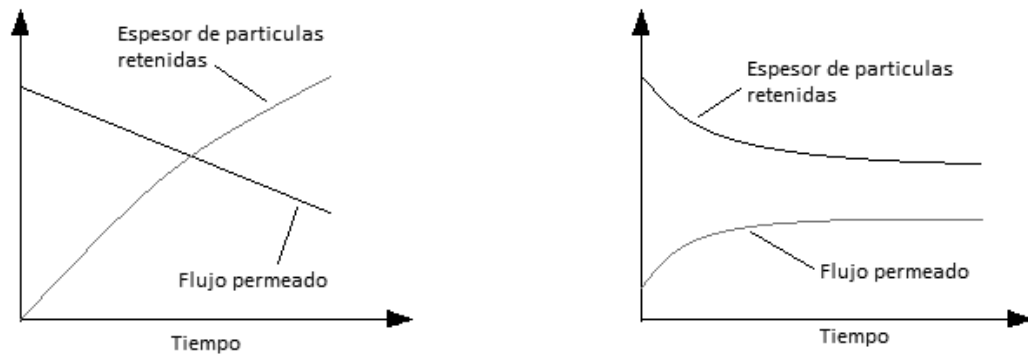


Fig. 18.- Comportamiento del flujo permeado y la acumulación de partículas en el tiempo

Fuente: F. Sánchez Font, 2007

2.7.4 MÓDULOS DE MEMBRANA PARA PROCESO PRO

El proceso PRO pareciera ser el opuesto al proceso de RO, usando este último una presión hidráulica para vencer la presión osmótica de una disolución concentrada (agua de mar) para obtener agua purificada. Esta similitud llevó a que en los primeros desarrollos se emplee membranas de RO, pero producían menos energía de la esperada, debido fundamentalmente al fuerte grosor del soporte, a que no soportan altas velocidades de flujo en la superficie y a las sales que se aglomeran en las capas de la membrana, reduciendo la diferencia de presión osmótica.

Uno de los aspectos más importantes en el proceso PRO es la membrana, la cual debe reunir una serie de características como: alta permeabilidad al agua, baja permeabilidad a las sales, baja resistencia de la capa soporte, reducido efecto de polarización por concentración, resistencia al ensuciamiento y formación de costras.

En aplicaciones de proceso PRO las membranas son típicamente asimétricas; es decir una combinación de una delgada capa densa en la parte superior y una capa soporte

porosa de mayor espesor, tal como se muestra en la Fig. 16. La capa densa superior es la que actúa como barrera selectiva mientras que la capa de soporte es una membrana porosa que no influye en la selectividad y es de mayor espesor que la capa densa. Este tipo de membrana combina la alta tasa de filtración de una membrana fina con la alta selectividad de una membrana densa.

En las membranas asimétricas la capa densa y cuerpo soporte están fabricados de diferentes materiales. Los proveedores usan mayormente para la capa filtrante óxidos de aluminio, de circonio, o de titanio; y para el cuerpo soporte usan compuestos de carbono. Estos materiales tienen la ventaja de una muy buena estabilidad térmica y química, pero presentan el inconveniente de que en general se sinterizan a muy elevadas temperaturas y, además, forman pastas de muy baja plasticidad.

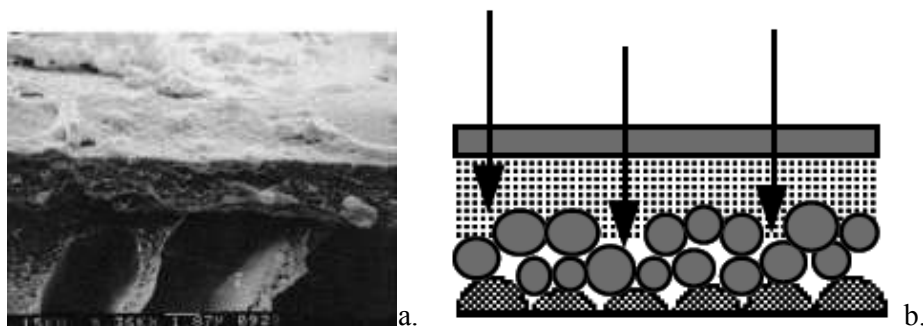


Fig.19.- a.- Imagen de microscopio electrónico b.- Detalle esquemático de membrana

Fuente: a. Sagle y Freeman, 2004 y b. Christian Guizard, 1999

En ésta configuración asimétrica se presenta el fenómeno de polarización por concentración tanto externa como interna.

La concentración de la polarización externa es el resultado del soluto que empieza a diluirse en el límite de la membrana y la solución concentrada, puede calcularse usando la teoría de películas (M. Elimelech et al. 1998), el módulo de polarización por concentración externa ($\pi_{D,m}/\pi_{D,b}$) se obtiene de :

$$\frac{\pi_{D,m}}{\pi_{D,b}} = \exp\left(-\frac{J_w}{k}\right) \quad (14)$$

Donde $\pi_{D,m}$ y $\pi_{D,b}$ son respectivamente las presiones osmóticas en la cara de la membrana (cara en contacto con la solución concentrada) y de la solución concentrada, J_w es el flujo de agua que es negativa porque va de la membrana hacia la solución concentrada y k es el coeficiente de transferencia de masa, ver Fig. 20.

La polarización por concentración interna es el resultado del soluto que empieza a concentrarse dentro de la capa de soporte porosa de la membrana. Del modelo trabajado por K.L. Lee en 1981, se tiene la expresión:

$$J_w = A \left[\pi_{D,m} \frac{1 - \frac{C_{F,b}}{C_{D,m}} \exp(J_w K)}{1 + \frac{B}{J_w} [\exp(J_w K) - 1]} - \Delta P \right] \quad (15)$$

Donde $C_{F,b}$ y $C_{D,m}$ son respectivamente las concentraciones de la solución diluída (o de alimentación) y de la cara de la membrana (cara en contacto con la solución concentrada), B es el coeficiente de permeabilidad de sal de la membrana y K es la resistividad del soluto para difundirse dentro de la capa de soporte porosa, la cual está definida por:

$$K = \frac{t\tau}{D\varepsilon} \quad (16)$$

Siendo t , τ y ε el espesor, la tortuosidad y la porosidad de la capa soporte y D es el coeficiente de difusión del soluto en la solución concentrada.

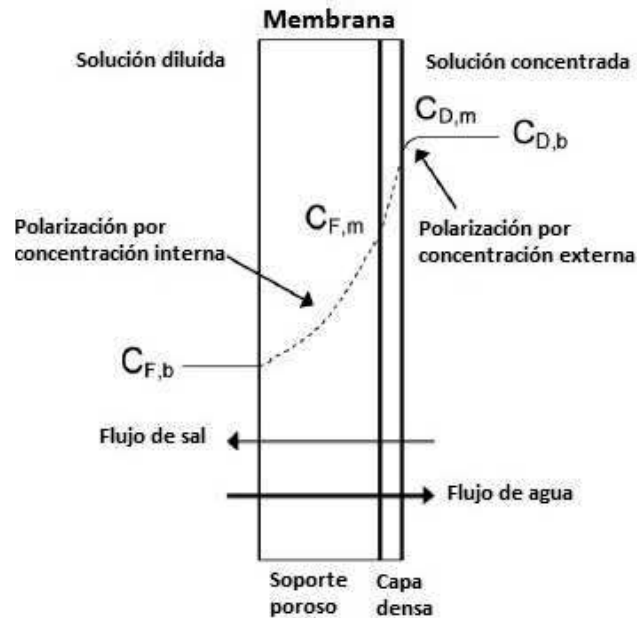


Fig. 20.- Fenómeno de polarización en la membrana usada en proceso PRO

Fuente: Journal of Membrane Science 343, 2009

Actualmente la compañía Hydration Technology Innovations, ha desarrollado membranas de ósmosis directa que se acercan al comportamiento deseado para el proceso PRO. También la compañía Statkraft junto con Osmotic Power viene desarrollando nuevas membranas habiendo pasado de densidades de 0.1 a 3 W/m^2 en pocos años.

En el futuro próximo se espera que se desarrolle una membrana con la permeabilidad de las usadas en procesos de nanofiltración (NF) y con baja permeabilidad a las sales, así mismo con un soporte que tenga la décima parte del grosor de las actuales; tal que se puedan alcanzar valores de 30 W/m^2 con una producción de 3 kWh/m^3 .

CAPÍTULO 3.

MEMORIA DESCRIPTIVA

3.1 ÁREA DE INFLUENCIA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El proyecto está prácticamente inmerso en una zona de gran importancia ya que radica en las múltiples actividades económicas que se desarrollan en ella, debidas a la presencia del Puerto del Callao, el mayor puerto exterior del país, que soporta actividades comerciales, navales y pesqueras, las cuales han logrado que cerca de medio millón de habitantes resida en las cercanías de este.

La Base Naval del Callao que está muy próxima a la desembocadura del río Rímac es alimentada desde la Subestación Santa Marina del Callao perteneciente a la empresa EDELNOR y que forma parte del SEIN.

3.2 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA

A diferencia de otros proyectos de generación, que comúnmente se encuentran en zonas poco pobladas, de bajo consumo energético, muy alejadas, difícilmente accesibles y donde sí amerita el desarrollo de un análisis de la demanda local y su proyección para justificar su implementación; en este proyecto al estar en un sector de alto consumo eléctrico la energía que se genere será entregada a la red nacional, es decir se conectará a una subestación cercana que forme parte del Sistema

interconectado Nacional (SEIN). Para nuestro caso se conectará a la SE Santa Marina del Callao en 10 kV.

3.3 EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y GEOTÉCNICA

La geología en la zona del proyecto al igual que gran parte del Callao hay predominancia de limos arenosos. Está conformada por sedimentos aluviales que han sido depositados durante la última etapa del Pleistoceno Cuaternario. El río Rimac presenta sedimentos que provienen de rocas intrusivas del Baltolito Andino tales como el granito, granodiorita, tonalita, etc.

La geomorfología del área final del cono deyectivo²⁰ del río Rímac está caracterizada por las terrazas aluviales que se formaron desde fines del Terciario Superior; cuando el río tenía gran poder erosivo, hasta el Holoceno en que éste disminuye; al disminuir la velocidad del río, se deposita material fino originando la cubierta superficial arcillosa de hasta 15 m. en el Callao (*Maggiolo, 1969*)

Respecto a la geotécnica, el perfil estratigráfico que caracteriza a esta zona está formado por suelos blandos. Los materiales que conforman estos estratos blandos son principalmente suelos limo-arcillosos de baja plasticidad, que están por encima de arenas limosas y por debajo de la grava arenosa del cono deyectivo del río Rímac. En la figura 21 se puede observar la zona II a la que pertenece el proyecto.

Las condiciones de cimentación hacen recomendable el empleo de zapatas armadas conectadas entre sí por vigas de cimentación para estructuras de poca carga, plateas

²⁰ Acumulaciones torrenciales que se producen cuando los principales torrentes llegan a los valles.

de cimentación para estructuras de más de dos pisos y pilotes para estructuras pesadas. Para cimentaciones superficiales, está recomendado profundidades de cimentación de 1.0 a 3.0 m. con capacidad de carga generalmente menores de 1 Kg/cm². (VI Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentación, 1995).

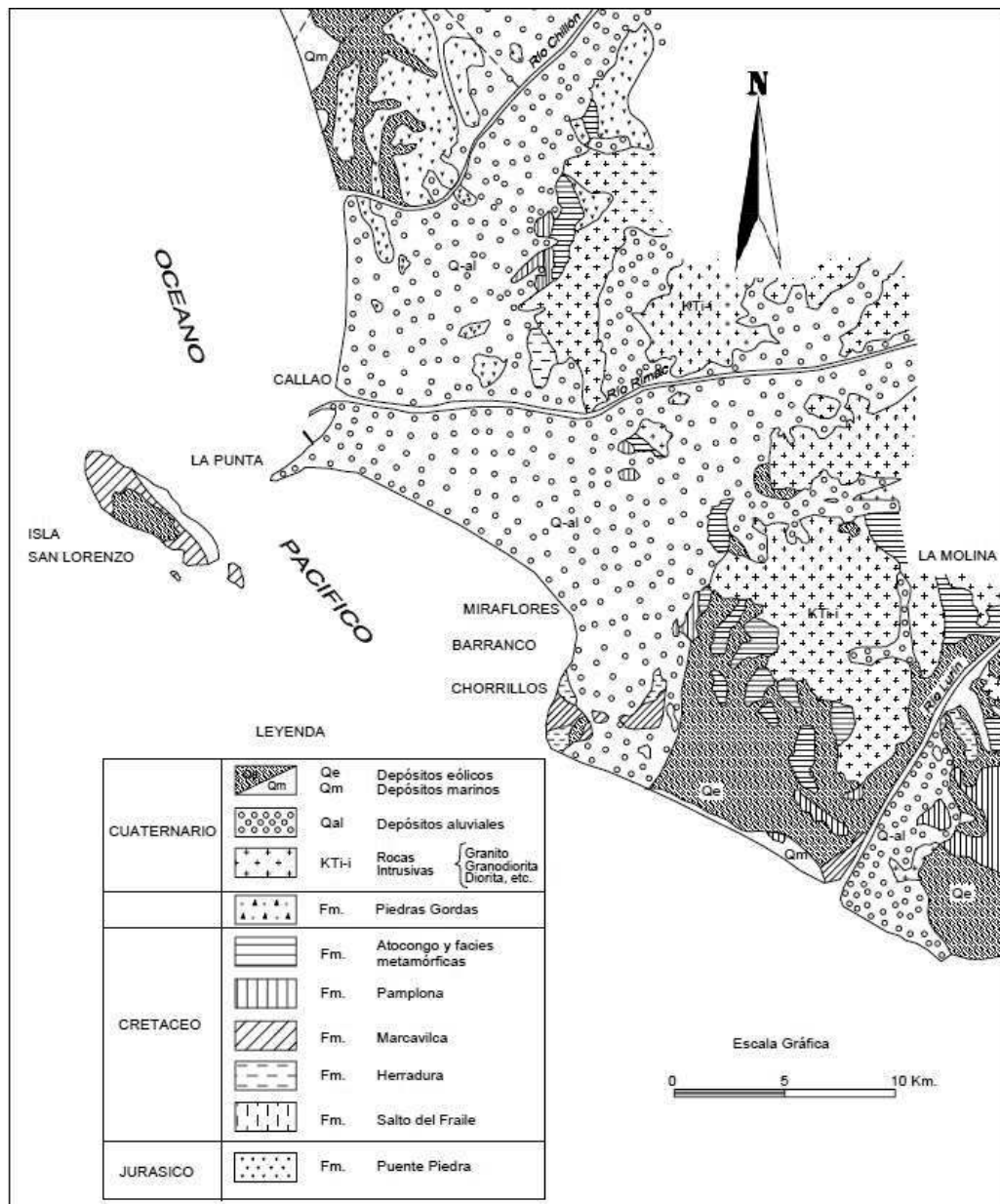


Fig. 21.-Mapa geológico de Lima
Fuente. Martínez y Porturas, 1975

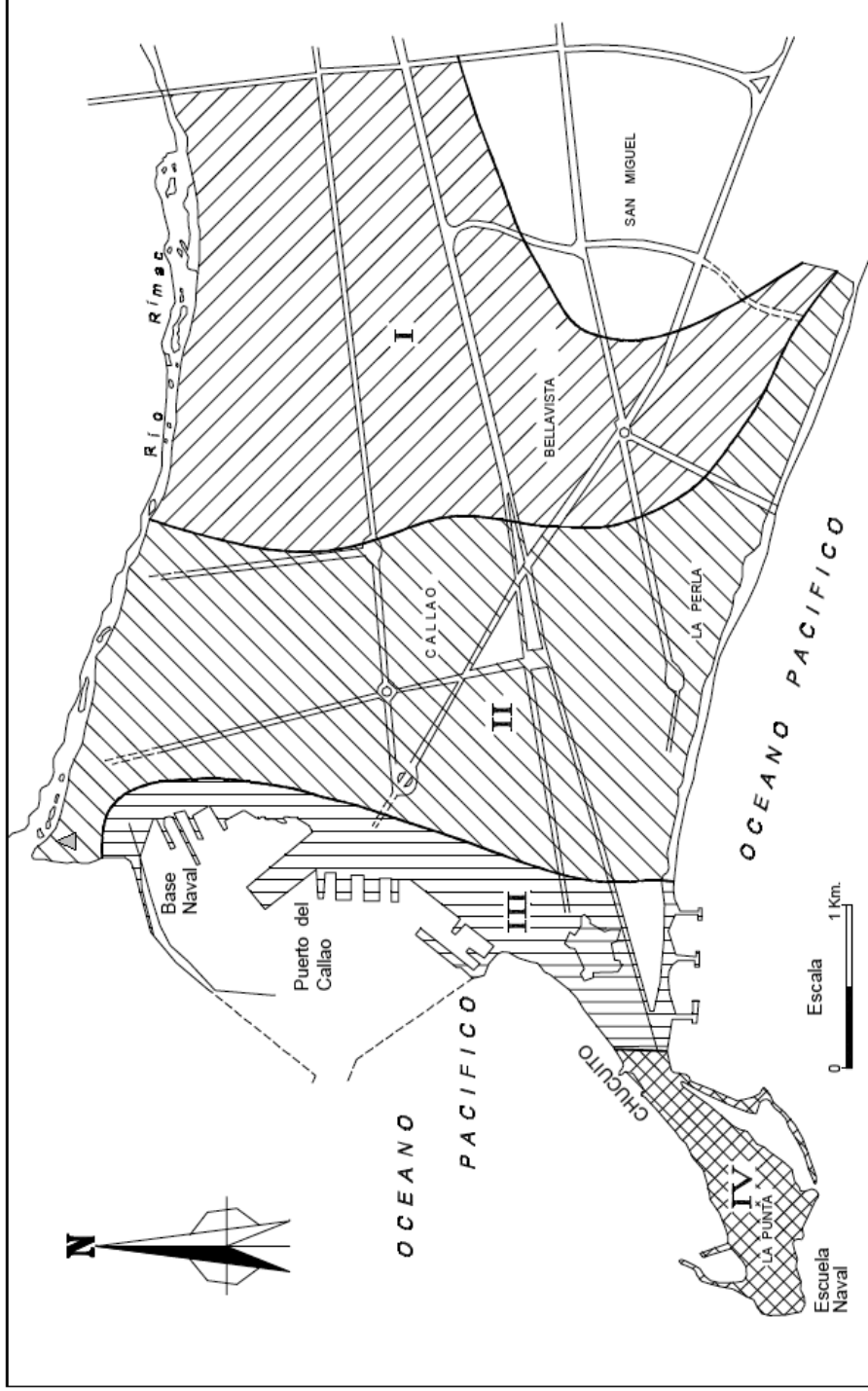


Fig. 22.-Mapa de Microzonificación del Callao

Fuente. Huamán, 1991

3.4 EVALUACIÓN HIDROLÓGICA Y PLUVIOMÉTRICA

Al igual que todos los ríos que desaguan en el océano pacífico, el caudal del río Rímac varía según las estaciones del año. El año hidrológico empieza el 01 de setiembre de cada año y termina el 31 de agosto del siguiente año, los mayores caudales se registran entre diciembre y abril debido a precipitaciones estacionales, entre mayo y noviembre el río Rímac presenta los menores caudales, pero en este período recibe los aportes del sistema regulado; es decir, las aguas almacenadas por un conjunto de 19 lagunas (lagunas de Marcapomacocha + lagunas de Santa Eulalia y Yuracmayo).

El caudal de estiaje (época no lluviosa en la cuenca alta del río Rímac) mensual fluctúa entre $16.9 \text{ m}^3/\text{s}$ y $18.19 \text{ m}^3/\text{s}$ de los cuales aproximadamente $5 \text{ m}^3/\text{s}$ provienen del trasvase de Marcapomacocha.

Estos valores mencionados para el caudal del río Rímac son datos tomados en la Estación Chosica R-2. Aguas abajo en el río Rímac a la altura de Carapongo la empresa Sedapal ha construido la “*Planta de Tratamiento de Agua Potable de Huachipa*” la cual actualmente está tomando un caudal de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ y aguas más abajo a la altura de Seremsa en El Agustino, Sedapal tiene la “*Planta de Tratamiento de Agua Potable La Atarjea*” donde se tiene una toma diseñada para $35 \text{ m}^3/\text{s}$ (total en ambos márgenes del río) la cual almacena cerca de $1\,700\,000 \text{ m}^3$ de agua durante los meses de avenida para regular la demanda anual de agua potable en Lima; un equivalente promedio que se toma para esta planta es de alrededor de $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.5 ALTURA

En la ecuación (1) podemos observar que la potencia generada de energía eléctrica, usando el fenómeno de Ósmosis Retardada a Presión (PRO), está en función del flujo de agua a través de las membranas (J_w) y la variación de presión (Δp) a la que se mantendrá el agua salobre (agua de mar mezclada con agua de río que turbinará).

Además del gráfico de comportamiento de la densidad de potencia (Fig. 4) se tiene que para lograr una máxima potencia en una condición dada, el valor de Δp debe aproximarse a la mitad del diferencial de la presión osmótica del sistema. Para este caso se tendría:

$$\Delta p = \frac{\Delta \pi}{2} = \frac{(2763-17.91)}{2}$$

$$\Delta p = 1372.54 \text{ KPa}$$

Haciendo una similitud de esta presión con la caída bruta se tiene lo siguiente:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H' \quad (17)$$

$$\rho: 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$g: 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p: 1372.54 \text{ KPa}$$

$$\text{Luego en (18):} \quad H' = 140 \text{ m}$$

Considerando las pérdidas h en la tubería (NPS 6" y una longitud de $L = 50 \text{ m}$) con la fórmula de HAZEN WILLIAMS. Cuyo coeficiente es $C = 130$ (tubería de acero)

$$h = 10.674 * \left(\frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.871}} \right) * L = 1 \text{ m}$$

Luego la Altura es: $H = H' - h = 139 \text{ m}$

3.6 CAUDAL

Para consideraciones del diseño en la nueva planta de generación eléctrica en la desembocadura del río Rímac, se deberá considerar el caudal mínimo disponible en este punto.

De la información obtenida del río Rímac se sabe que:

Caudal mínimo medido en la estación R-2 de Chosica : $Q_{\min} = 16.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Caudal tomado en la PTAP de Huachipa : $Q_H = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

Caudal tomado en la PTAP de La Atarjea : $Q_A = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

Caudal disponible en la desembocadura del río Rímac : $Q_1 = Q_{\min} - Q_H - Q_A$

Luego : $Q_1 = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$, es el caudal disponible del río para poder usarse en los módulos de la planta; pero el caudal neto Q que turbinará deberá considerar también el agua de mar con la que se une, así se tendrá la siguiente relación:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (18)$$

CAPÍTULO 4.

INGENIERÍA DEL PROYECTO

4.1 OBRAS CIVILES

4.1.1 BOCATOMA / DESRIPEADOR

Para el presente trabajo se va a optar por construir una bocatoma “en el lecho” ó “de fondo”. Las principales consideraciones que se tiene para esta elección son:

- La configuración recta del río en este sector de su desembocadura.
- El bajo caudal que presenta el río en períodos de estiaje.
- La baja presencia de elementos sólidos en suspensión en el río, esto debido a que el tramo de desembocadura presenta poca pendiente.

Descripción de la bocatoma: La toma comprende una estructura extendida a lo ancho del cauce, la cual está acompañada de un colector fijado en dirección del flujo cubierto con una rejilla. El agua cae en el colector a un canal de aducción y es conducida a la obra de conducción. El colector lleva una rejilla con un número determinado de barras direccionadas en sentido de la corriente impidiendo el ingreso de material sólido en suspensión. El material que logra colarse por la rejilla es expulsado posteriormente a través de una compuerta por un canal de limpieza.

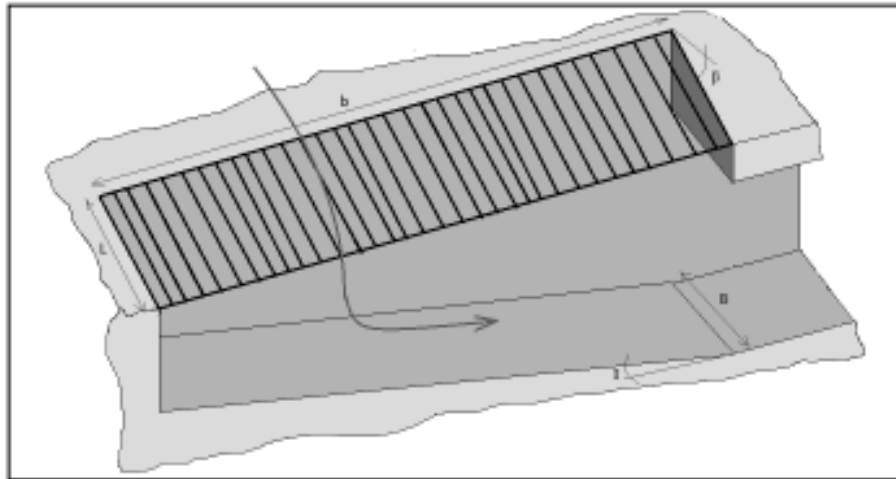


Fig. 23.- Perfil de la Bocatoma de lecho o de fondo
Elaboración propia

Para el dimensionamiento de esta estructura se tendrán las siguientes consideraciones:

- La construcción debe ser maciza, de concreto, con el fin de resistir las fuerzas de abrasión.
- El ángulo de inclinación para el tramo de la rejilla debe estar entre 5° y 35° aguas abajo.
- La rejilla debe ser compacta y estar firmemente fijada a la toma, sus barrotes no deben ser redondos, ya que dificultan su limpieza y sufren mayor deterioro.
- El canal de aducción debe tener una pendiente mínima de 30% que permita evacuar los sedimentos que hayan llegado hasta aquí.
- El curso del río debe ser recto, tal que el paso del agua sea uniforme por la rejilla.
- La profundidad del canal colector será aproximadamente igual a su ancho.

Tanto para el diseño de la toma como del canal de aducción se usarán las relaciones indicadas en la publicación de “Pequeñas Centrales Hidroeléctricas de Ramiro Ortiz en la editorial McGraw-Hill el año 2001.

Diseño de la toma: Para el cálculo del caudal en este tipo de toma se usarán la siguiente expresión:

$$Q = c * \mu * b * L * (2 * g * h)^{1/2} \quad (19)$$

Donde:

Q es el caudal que debe ser captado en la bocatoma, en nuestro caso $Q = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$

ψ es un coeficiente de derrame, para rejilla de barras rectangulares $\psi = 0.7$

b es el ancho efectivo del vertedero (m)

L es la longitud efectiva de la rejilla (m)

g es la aceleración de la gravedad (m/s^2)

c es un coeficiente de contracción (depende de la disposición de las barras)

h es la altura inicial del agua (m)

L' es la longitud total de la rejilla (m)

$$L' = 1.2 * L$$

$$c = 0.6 * \frac{a}{d} * (\cos \beta)^{3/2} \quad (20)$$

Donde:

a es la abertura (espaciamiento) de las barras de la rejilla, nuestro caso $a = 0.04 \text{ m}$

d es la distancia entre ejes de las barras, nuestro caso $d = 0.06 \text{ m}$

δ es el ángulo de inclinación de la rejilla, nuestro caso $\delta = 26^\circ$

$$h = \frac{2}{3} * \chi * h_o \quad (21)$$

Donde:

χ es un coeficiente según la inclinación de la rejilla, para 26° se tiene $\chi = 0.8$

h_o es el nivel mínimo de las aguas en el río, para nuestro caso $h_o = 0.35$ m

$$b' = b + N * e \quad (22)$$

Donde:

b' es el ancho total del vertedero (m)

N es el número de barrotes de la rejilla, en nuestro caso es $(\frac{b}{0.04} + 1)$

e es el ancho de los barrotes de la rejilla, para nuestro caso será 0.02 m

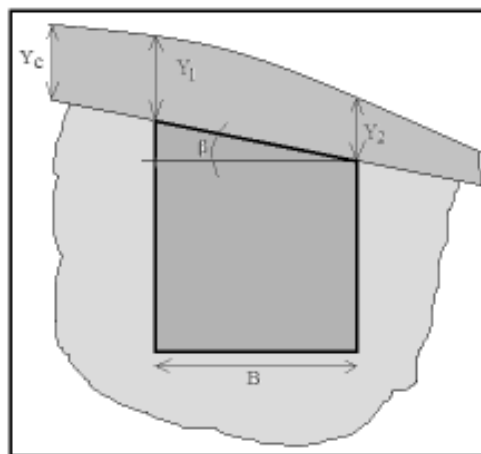


Fig. 24.- Perfil del canal de aducción
Elaboración propia

Diseño del canal de aducción: Para la determinación del canal colector se obtendrán la profundidad crítica (Y_c), la velocidad crítica (V_c) y la velocidad al final del canal (V_f) y debe cumplirse que $V_f < V_c$. Las expresiones son las siguientes:

$$Y_c = \left(\frac{Q^2}{g * B^2}\right)^{1/3} \quad (23)$$

$$V_c = (g * Y_c)^{1/2} \quad (24)$$

$$V_f = \frac{Q}{h_f * B} \quad (25)$$

Donde:

B es el ancho del canal, en nuestro caso es $(1.2 * L * \cos(20^\circ))$ (m)

h_f es la altura del agua al final del canal, en nuestro caso $(1.1 * Y_c)$ (m)

Tabulando para varios valores se tiene la Tabla 4-1:

Tabla 4-1

Item	Q	L	b	N	b'	Vc	Vf
1	1.5	0.25	13.15	330	19.75	3.15786499	1.60148757
2	1.5	0.3	10.96	275	16.46	2.1929618	1.92178509
3	1.5	0.4	8.217	206	12.337	1.23354101	2.56238012
4	1.5	0.5	6.574	165	9.874	0.78946625	3.20297515

Se observa que las opciones 1 y 2 cumplen la condición requerida respecto a las velocidades crítica y final del canal de aducción, pero se tomará en cuenta la opción 2 por ser de mayor longitud la rejilla y así reducir la probabilidad de obstrucción.

4.1.2 CANAL DE CONDUCCIÓN

Debido a que el terreno donde se pretende instalar la pequeña central hidroeléctrica es relativamente horizontal, se construirá un canal de sección rectangular, el material a usar será el hormigón sin alisado hecho con un buen encofrado, el canal comunicará la bocatoma con el desarenador. Con la finalidad de evitar que se precipiten en el canal de conducción materiales en suspensión que trae el agua de río se diseñará el canal de tal manera que la velocidad que se desarrolle en él sea mayor a la velocidad límite VL (por debajo de esta velocidad VL el material en suspensión empieza a precipitarse).

La densidad promedio que se tiene en este sector para los materiales en suspensión es de 2.32 g/ml.

La concentración volumétrica de los materiales en suspensión en época de avenida es alrededor del 15% en el sector de la desembocadura del río (valor estimado).

De la muestra tomada en el sector de la desembocadura del río Rímac aproximadamente a 20 cm de la superficie de la corriente, se tiene una granulometría promedio de 0.1 mm.

4.1.2.1 Cálculo del Canal de Conducción

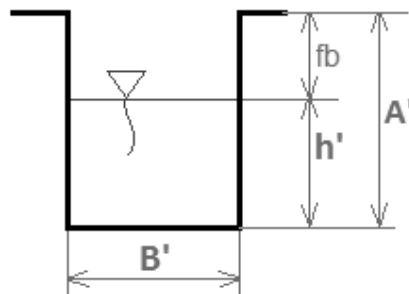


Fig. 25.- Perfil del canal de conducción
Elaboración propia

Densidad de Líquido: $\rho_1 = 1000 \text{ Kg/m}^3$

Densidad de Sólido: $\rho_s = 2320 \text{ Kg/m}^3$

Gravedad: $g = 9.807 \text{ m/s}^2$

Concentración Volumétrica: $C_v = 0.15$

Granulometría: $u = 100 \text{ um}$

Asumiendo: $B' = 0.3 \text{ m}$ $h' = 0.150 \text{ m}$

Caudal: $Q_1 = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Factor de diseño: $fd = 1.2$

Caudal de diseño: $Q_d = f d * Q_1 = 1.8 \text{ m}^3/\text{s}$

Coefficiente de Manning: $n = 0.013$ (Concreto)

Pendiente: $i = 0.02$

Factor Durand: $FL = 0.47 + (0.38 + 0.00305 * Cv) * \log(0.1 * u) = 0.85$

Velocidad Límite (Agua de río a superficie libre):

$$VL = FL * \sqrt{2 * g * h' * \left(\frac{\rho_s - \rho_1}{\rho_1}\right)} = 1.67 \text{ m/s}$$

Velocidad de flujo en el canal: $Vc = \frac{\left(\frac{0.3 * 0.150}{2 * 0.150 + 0.3}\right)^{2/3} * \sqrt{0.02}}{0.013} = 1.93 \text{ m/s} < V_{\text{máx}}$

Esta velocidad del flujo es aceptable según la recomendación de ORTIZ²¹ para material en suspensión en un canal con tipo de revestimiento de concreto ($V_{\text{máx}} = 2.0 \text{ m/s}$).

Altura libre: $fb = 1.5 * \left(\frac{1.93^2}{2 * 9.81}\right) = 0.286 \text{ m}$

Dimensiones del canal: $A' = 0.150 + 0.286 = 0.436 \text{ m}$ $B' = 0.3 \text{ m}$

4.1.3 DESARENADOR

Para el diseño de la cámara de sedimentación o desarenador, partiremos mencionando los diámetros máximos admitidos de las partículas en suspensión en el agua según la carga disponible para la generación de electricidad:

²¹ RAMIRO ORTIZ FLOREZ, “Pequeñas Centrales Hidroeléctricas” (pág. 158-159)

Tabla 4-2: Tamaño de partícula según la caída disponible

Diámetro de partícula (mm)	Altura o Caída Disponible (m)
0.2 a 0.5	H < 10 m (caída baja)
0.1 a 0.2	H < 100 m (caída media)
0.01 a 0.05	H ≥ 100 m (caída alta)

Fuente: R. Ortiz Flores-2001

En la tabla 4-3 siguiente se muestran las velocidades de sedimentación asociadas al tamaño de partícula:

Tabla 4-3: Velocidades de Sedimentación

Diámetro de partícula (mm)	Velocidad de sedimentación Vs (m/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.440
2.00	15.390
3.00	19.250
5.00	24.900

Fuente: R. Ortiz Flores, 2001

Para el caso de estudio tenemos que la caída disponible es de $H= 140$ m usando los valores de la Tabla 4-2 y la Tabla 4-3 obtendremos el rango de velocidades de sedimentación.

$$V_s = 0.178 \text{ m/s}$$

Se usará el valor de la velocidad de empuje ascensional dinámico $e = 0.152 \cdot V_s = 0.027$ (según SOKOLOV).

Además se sabe que la velocidad horizontal en el desarenador deberá estar en el siguiente rango²²:

$$0.1 \text{ m/s} \leq V_d \leq 0.4 \text{ m/s} \quad (26)$$

Asumiendo la velocidad horizontal del flujo y el ancho del desarenador:

$$h = 2 \text{ m} \quad B = 2 \text{ m}$$

La altura de flujo en el desarenador: $V_d = \frac{Q}{B \cdot h} = \frac{1.5}{2 \cdot 2} = 0.375 \text{ m/s}$

Al comparar el valor en la ecuación (26) cumple.

La longitud mínima del desarenador:

$$L_{\text{mín}} = \frac{V_d \cdot h}{(V_s - e)} = \frac{0.375 \cdot 2}{0.178 - 0.027} = \frac{0.75}{0.151} = 4.97 \text{ m}$$

²² RAMIRO ORTIZ FLOREZ, “Pequeñas Centrales Hidroeléctricas” (pág. 180-181)

Y se comprueba que: $\alpha = \text{atan}\left(\frac{B-B'}{2*(L/3)}\right) = 27.1^\circ$ (rango de α es: $12^\circ - 30^\circ$)

Luego las dimensiones del desarenador:

$L = 5 \text{ m}$ $h = 2 \text{ m}$ $B = 2 \text{ m}$ $l = 1.6 \text{ m}$ $\alpha = 27^\circ$

Ver fig. 23 donde se puede observar un esquema del perfil en corte y vista de planta del desarenador a usar.

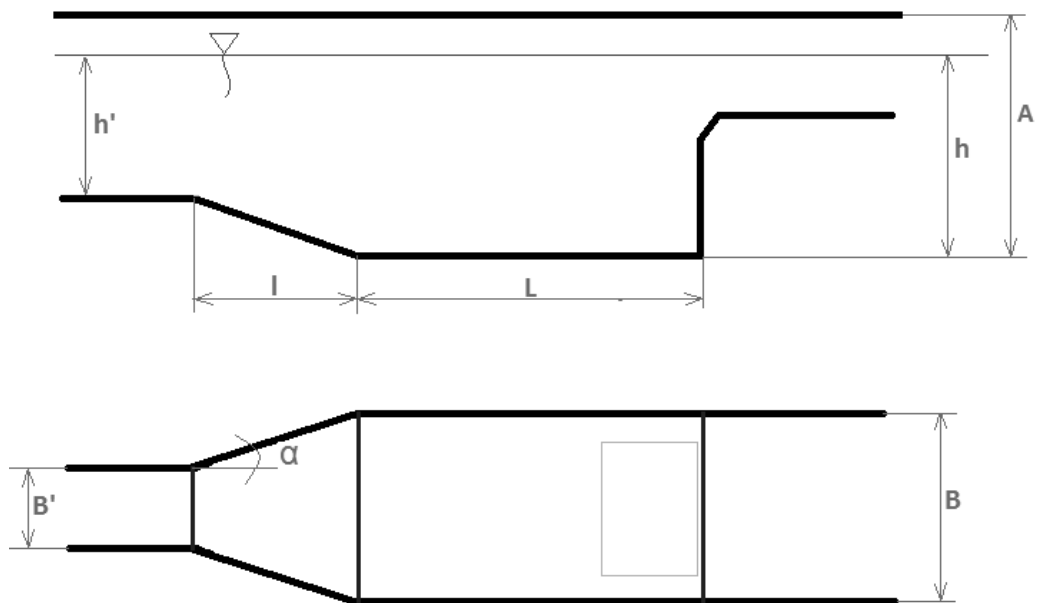


Fig. 26.- Perfil del desarenador
Elaboración propia

4.2 CÁLCULOS ELECTROMECÁNICOS

4.2.1 CASA DE MÁQUINAS

Siguiendo la recomendación dada en el Manual de Minicentrales Hidroeléctricas de Nosaki, debería corresponder a la casa de máquinas un área de 66 m^2 (ya que la

potencia está dentro del rango de hasta 200 kW). Esta área incluye la sala de máquinas y las celdas donde estarán alojados los equipos de seccionamiento, de protección y el transformador que en conjunto representan un área 44 m² y una sala que será destinada para taller de 16 m² y un baño de 6 m². Pero al ser esta micro central nueva en su género necesitará un área adicional para albergar los módulos de membranas semi permeables, a continuación se calculará el número de módulos a partir del cual se estimará el área adicional que será necesaria para la construcción de la casa de fuerza.

4.2.1.1 MÓDULOS DE MEMBRANA SEMIPERMEABLE

El resultado obtenido en la medición de la concentración del agua de mar en la desembocadura del río se aproxima al valor de 35 g/L, para la cual corresponde una presión osmótica de $\Delta\pi = 2\ 763\ \text{KPa}$.

Hasta el 2009 se tenía membranas asimétricas que sólo soportaban hasta una presión de 972 kPa antes de romperse²³. Pero actualmente ensayos en membranas más resistentes llegan hasta 17.2 bares (1 737 kPa)²⁴; los resultados de los estudios teórico experimentales publicados en el Journal of Membrane Science nos muestra los valores de flujo a través de la membrana y la potencia obtenida para los niveles de concentración de este trabajo tal como se indica en la Tabla 4-4, por cada metro cuadrado de este tipo de membrana se obtiene un flujo de agua neto de

$$J_w = 2.81 * 10^{-6}\ \text{m}^3/\text{s}\ \text{y se puede desarrollar una potencia de Pot} = 3.8\ \text{W}.$$

²³ A. ACHILLI, Y CATH & A.CHILDRESS, "Power generation with pressure retarded osmosis", Journal of Membrane Science 343(2009) 42-52

²⁴ Q. SHE, D.HOU, "Effect of feed spacer induced membrane deformation on the performance of Pressure Retarded Osmosis (PRO)", Journal of Membrane Science, 445(2013) 170-182

Tabla 4-4

$\Delta\pi$ (kPa)	ΔP (kPa)	J_w (10^{-6} m/s)	Pot (W/m ²)
2763	1360.5	2.81	3.8

Fuente: *Journal of Membrane Science* 343 & 445

Para el presente estudio se considerará el uso de módulos comerciales con las siguientes características:

- Tipo de membrana: Asimétrica
- Material de la membrana: Tri-acetato de Celulosa
- Coeficiente de permeabilidad de agua de la membrana: $1.87 \cdot 10^{-9}$ (m/s)/KPa
- Coeficiente de permeabilidad de sal de la membrana: $1.11 \cdot 10^{-7}$ m/s
- Fabricante de membrana: Hydration Technology Innovations, Albany, OR
- Área de membrana semipermeable en cada módulo: 2.63 m²
- Diámetro del módulo: 3 pulgadas
- Longitud del módulo: 3.66 m
- factor de corrección del volumen del módulo: 0.72

2.63 m² de área de membrana semipermeable del tipo asimétrica, 3.66 m de longitud y un diámetro de 3 pulg; también se tomará un factor de corrección del volumen del módulo igual a 0.72 debido al espacio que ocupa la membrana y el soporte de membrana. Además se considerará una eficiencia de la pequeña central hidroeléctrica de $\eta = 85\%$.

De la tabla 4-4 podemos escribir a la potencia y el caudal que turbinará en función del número de módulos 'z', así:

$$Pot_{tot} = Pot * A_{total} = 3.8 * (2.63 * z) = 10.20 * z \text{ W} \quad (27)$$

$$Q = \frac{Pot}{\rho * g * H * \eta} = \frac{10.20 * z}{1000 * 9.81 * 140 * 0.85} = 0.0087 * 10^{-3} z \text{ m}^3/\text{s} \quad (28)$$

Donde :

Pot_{tot} = Potencia total

Pot = Potencia por cada metro cuadrado de membrana

A_{total} = Área total de membrana en los 'z' módulos

z = Número de módulos de membrana semipermeable

Q = Caudal total que turbinará

En el esquema siguiente (Fig.24) se está representando los caudales de agua en cada módulo, siendo "z" el valor que representa el total de módulos que se instalarán en la planta.

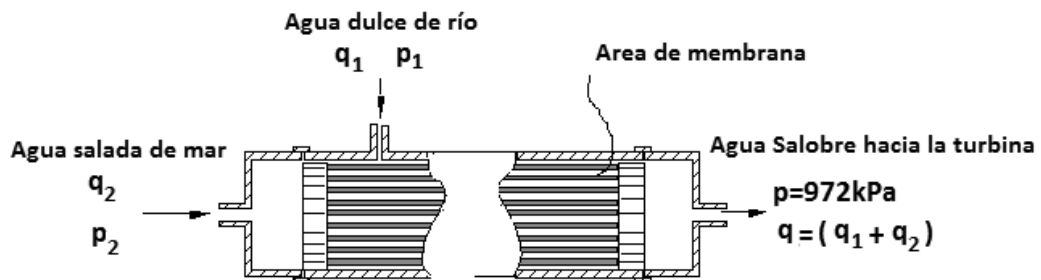


Fig. 27.-Esquema de flujos en el módulo de membrana semipermeable
Elaboración propia

Se debe notar que p_1 y p_2 son presiones pequeñas cercanas a la atmosférica ya que lo que se busca es hacer llegar las aguas (de río y de mar) hasta el módulo y ponerlas en contacto a través de la membrana semipermeable dentro de la cavidad del módulo.

Parte del agua salobre (diluída) es derivada hacia el intercambiador de presión, en este dispositivo le transfiere energía (alrededor del 50%) al agua de mar, la cual entra

a la cámara del módulo de membrana con una presión mayor a la atmosférica. De esto se tiene que el flujo neto que turbinará está representado por el flujo neto (q_1) de agua de río que fluye a través de la membrana (ya que el flujo de agua salobre que se pierde en el intercambiador de presión es igual al flujo de agua de mar que ingresa al intercambiador q_2).

$$Q = q_1 * z = 2.81 * 10^{-6} * 2.63 * z = 7.39 * 10^{-6} * z \text{ m}^3/\text{s} \quad (29)$$

$$\text{vol. celdas} = 0.72 * \left(\frac{\pi * (0.1016)^2}{4} \right) * 3.66 * z = 0.0213644 * z \text{ m}^3 \quad (30)$$

Tabulando para diferentes valores de la cantidad de módulos ‘z’ se tendrá:

Tabla 4-5

z (# módulos)	A total (m ²)	Pot (kW)	Q (m ³ /s)	Q1 (m ³ /s)	Q2 (m ³ /s)	N (RPM)				
						1800	1200	900	800	600
						ns	ns	ns	ns	ns
1000	2630	10.20	0.009	0.007	0.001	13.9	9.3	7.0	6.2	4.6
2000	5260	20.41	0.018	0.015	0.003	19.7	13.1	9.8	8.8	6.6
3000	7890	30.61	0.026	0.022	0.004	24.1	16.1	12.1	10.7	8.0
4000	10520	40.82	0.035	0.03	0.006	27.8	18.6	13.9	12.4	9.3
4100	10783	41.84	0.036	0.03	0.006	28.2	18.8	14.1	12.5	9.4
4200	11046	42.24	0.037	0.031	0.006	28.5	19.0	14.3	12.7	9.5
4300	11309	43.88	0.038	0.032	0.006	28.9	19.2	14.4	12.8	9.6
5000	13150	51.02	0.044	0.037	0.007	31.1	20.8	15.6	13.8	10.4
6000	15780	61.23	0.053	0.044	0.008	34.1	22.7	17.1	15.2	11.4
202969	533808	2071.17	1.786	1.5	0.286	198.4	132.3	99.2	88.2	66.1

De la Tabla 4-5 podemos ver que si usamos todo el caudal disponible del río, se necesitará un número muy alto de módulos de membrana, pero para lograr una potencia adecuada que permita la construcción de una turbina y la selección de un

generador comercial, se optará para esta tesis una planta pequeña con 4200 módulos de membrana semipermeable con lo cual se tiene:

$$\text{Area Total de Membrana} = 2.63 \times 4200 = 11046 \text{ m}^2$$

$$\text{Caudal disponible } Q = (0.0088 \times 10^{-3}) \times 4200 = 0.037 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Altura disponible } H = 139 \text{ m}$$

Se obtiene una potencia neta calculada como sigue:

$$\text{Pot.}_{\text{neta}} = \gamma Q H \eta = 9.81 \times 0.037 \times 139 \times 0.85 = 42.2 \text{ kW}$$

Luego para esta potencia se procederá a calcular la turbina.

4.2.1.2 TURBINA

La altura disponible que se puede conseguir usando el principio del proceso PRO (con las membranas semi permeables desarrolladas en la actualidad) es de alrededor de 138.7 mts. y el caudal disponible de diseño que está en función del número de módulos disponibles en la planta es relativamente bajo. Con los datos de caudal que turbinará $Q=0.031 \text{ m}^3/\text{s}$ y altura disponible $H=139 \text{ m}$ se usará la gráfica “Alcance y Aplicación del Tipo de Turbina”, Tabla N° 20 del Manual de Minicentrales de NOSAKI (ver ANEXO A), donde la opción es:

Turbina Pelton – Eje Horizontal, 1 rueda, 1 inyector.

Se optará por usar en esta tesis una turbina de acción o tipo Pelton. A continuación se realizarán los cálculos para su diseño.

4.2.1.2.1 CÁLCULO

De los alternadores comerciales que hay en el mercado se tiene: de 2, 4, 6, 8, 10, 12 polos.

Sabemos también que la frecuencia está dada por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{p \cdot N}{60} \quad (31)$$

Donde :

p es el número de polos del alternador

N son la RPM del conjunto turbina-alternador

f es la frecuencia de trabajo del alternador, 60 Hz para nuestro caso

De la ecuación (13) se obtiene:

$$N = \frac{120 f}{p} \quad (32)$$

Tabulando los valores comerciales del número de polos de un alternador tenemos:

Tabla 4-6

(# de polos)	N (RPM)
4	1 800
6	1 200
8	900
9	800
12	600

También se tiene que la velocidad específica está dada por:

$$n_s = \frac{N}{H} * \sqrt{\frac{P}{\sqrt{H}}} \quad (33)$$

Donde:

n_s : es la velocidad específica de la turbina

P : es la potencia de la turbina en HP

H : es la altura neta en metros.

N : son las RPM de la turbina

Reemplazando valores conocidos en la ecuación (15) se obtiene:

$$n_s = \frac{N}{139} * \sqrt{\frac{42.2 * 1.36}{\sqrt{139}}}$$

Tabulando para los valores de las RPM tenemos:

Tabla 4-7

N (RPM)	Ns
1 800	28.5
1 200	19.0
900	14.3
800	12.7
600	9.5

Para obtener la mayor potencia de la turbina el chorro de agua debe ser tangente a la circunferencia de la rueda de la turbina. El diámetro de la turbina Pelton viene dado por:

$$D_p = \frac{60.U}{\pi.N} \quad (34)$$

Donde:

D_p : es el diámetro de Pelton de la turbina

U : es la velocidad tangencial de la rueda de la turbina²⁵

N : son las RPM de la turbina

$$U = 0.47 * \sqrt{2gH} = 0.47 * \sqrt{2 * 9.81 * 139} = 24.63 \text{ m/s}$$

Reemplazando en la ecuación (12) : $D_p = \frac{60 * 24.63}{\pi * N}$

Tabulando para los valores de las RPM tenemos:

Tabla 4-8

N (RPM)	Dp (m)
1 800	0.261
1 200	0.392
900	0.522
800	0.588
600	0.784

También a la salida de la tobera se desarrollará una velocidad menor a la velocidad torricelliana; esta velocidad está afectada por un factor C_v que experimentalmente se demuestra que está entre 0.97 y 0.98, por lo tanto la velocidad a la salida viene dada por la siguiente expresión:

$$C_0 = 0.98 * \sqrt{2gH} = 0.98 * \sqrt{2 * 9.81 * 138.7} = 51.12 \text{ m/s}$$

Para aproximarnos a la cantidad de los posibles chorros ingresaremos al gráfico mostrado en el anexo A (fig. 4.29 de MANUEL POLO ENCINAS “Turbomáquinas Hidráulicas”) de límites de velocidad específica métrica en función de la carga $H=$

²⁵ POLO ENCINAS, indica que se cumple $U = \frac{C_0}{2}$, donde U es velocidad tangencial del álabe y C_0 es la velocidad del chorro, esta ecuación representa la condición para obtener la máxima utilización de la energía del agua. El coeficiente de velocidad de la tobera 0.98 reducido a la mitad es 0.49 pero se toma un valor ligeramente menor (0.47 en este caso) porque justifica mejores rendimientos experimentales.

138.7 m. De este gráfico podemos ver que todas las velocidades específicas que tenemos cubren el uso de una Turbina Pelton con un solo chorro.

Para obtener el diámetro del chorro al salir de la tobera, se usará la siguiente expresión donde ‘n’ representa el número de chorros de ataque que tendrá la turbina:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*C_0*n}} = \sqrt{\frac{4*0.031}{\pi*51.12*1}} = 0.024 = 0.030 \text{ m aprox.}$$

También del gráfico mostrado en el anexo A (fig 6.4 de MANUEL POLO ENCINAS “Turbomáquinas Hidráulicas”) se observa que el valor d_0 está entre el 5 y 12% del valor de D_p , del cual podemos considerar:

$$5\% < \frac{d_0}{D_p} < 12\% \quad (35)$$

Al reemplazar el valor del diámetro del chorro en la ecuación (13) y despejar el término del diámetro de Pelton de la turbina tendremos:

$$0.25 < D_p < 0.60 \quad (36)$$

También se tiene que el número de álabes “z” debe estar entre 17 y 26, y se obtiene de la relación:

$$z = \frac{\pi * D_p}{1.6 * d_0}$$

De donde se obtiene: $0.259 < D_p < 0.397 \quad (37)$

Al comparar estas últimas expresiones (37) y (38) con los valores de la Tabla 4-8 se definen los parámetros de diseño de la turbina:

$$D_p = 0.392 \text{ m}$$

$$d_o = 0.030 \text{ m}$$

$$N = 1\,200 \text{ RPM}$$

$$n_s = 19$$

$$\# \text{ polos: } p = 6$$

$$\# \text{ toberas} = 1 \text{ unidad}$$

$$\# \text{ álabes: } z = 25 \text{ unidades}$$

$$C_o = 51 \text{ m/s}$$

4.2.1.2.2 TAMAÑO DE LOS ÁLABES Ó CUCHARAS

El tamaño de los álabes tiene la siguiente influencia, si los álabes son grandes aumenta el camino que recorre el agua y por ende aumenta las pérdidas por rozamiento y por el contrario al ser los álabes más pequeños se les tendría que dar curvaturas muy pronunciadas con la consiguiente pérdida por torbellino y aún más con el riesgo de cavitación local, produciendo desgaste.

Las formas y las escotaduras de los álabes varían de un fabricante a otro y tal es así que las pruebas y mejoras hechas en turbinas reales y en modelos reducidos se sintetizan en el siguiente cuadro, donde los valores mostrados son factores del diámetro del chorro d_o :

Tabla 4-9A

Constructor o Autor	L	B	H	F	l	l'	d
WAGENBACH	2.1	2.5	0.85	0.85	-	0.35	1
NEYRET-BEYLIER et P.P.	2.75	3.5	1	-	1.66	-	1.15
ALLIS-CHALMERS	2.5	3.7	1	-	1.7	0.32	2
TOSI a TURIN	2.2	3.2	-	-	1.67	0.4	1
RIVA a MILAN	2.5	2.95	1	-	-	0.21	-
DUBBEL	2.1	2.5	0.85	0.85	-	0.35	1.1

TENOT ejem 1	2.865	3.46	-	1.18	-	0.42	1.31
TENOT ejem 2	-	-	-	1.17	-	0.5	$d_0 + 5$ a 10 mm
HANOCQ	2.8 a 3.0	3.3 a 3.5	0.85	0.9	1.6	-	-
H. SCHAEFER	2.0 a 2.5	2.5 a 3.0	0.8 a 1.0	0.8 a 1.0	-	0.3 a 0.4	1.0 a 1.1
ALBRECHT	2.8 a 3.0	3.0 a 4.0	-	1.2 a 1.4	-	0.6	-
RUBIO SAN JUAN	2.0 a 3.5	2.5 a 4.0	0.8 a 1.5	1.2 a 1.4	-	0.6	-
QUANTS	3.5	3.75	1.5	-	-	-	-
HOLL Y TREIBER	2.35 a 2.85	2.75 a 3.5	0.9 a 1.0	-	-	-	-

Tabla 4-9B

Constructor o Autor	2γ	β_2	(Paso real) / (paso teórico)	Coefic. Veloc. Del chorro	Coefic. Veloc. Tangencial	Varios
DUBBEL	14° a 30°	4° a 20°	0.65 a 0.85	0.98	0.41 a 0.48	-
E. SCHAEFER	14° a 30°	4° a 7°	0.8	0.96 a 0.98	0.43 a 0.44	-
TENOT	14° a 30°	4° a 7°	0.65 a 0.85	0.96 a 0.98	0.42 a 0.49	$l''=1.04*d_0$
QUANTS	-	4° a 8°	-	0.96 a 0.98	0.5	-
HOLL Y TREIBER	10° a 25°	10°	0.57 a 0.9	0.95 a 0.98	0.42 a 0.45	-
ALBRECHT	15° a 30°	(1)	0.65 a 0.85	0.95 a 0.98	0.42 a 0.43	$l''=1.0*d_0$
RUBIO SAN JUAN	14° a 30°	4° a 7°	0.65 a 0.85	0.95 a 0.98	0.42 a 0.43	$l''=1.0*d_0$
NEYRET-BEYLIER et P.P.	-	-	-	-	-	$r''=0.75*d_0$

Fuente: SHOJI OGOSAWARA, "Turbinas Pelton" M3-TP 0055

- (1) El ángulo β_2 se encuentra a base del triángulo de velocidades a la salida teniendo en cuenta una pérdida en la salida de : $\delta = 0.01$ a 0.02

Para obtener las dimensiones del álabe se tomará para esta tesis los recomendados por H. SCHAEFER.

Constructor o Autor	L	B	H	f	l	l'	d
H. SCHAEFER	70	95	33	28	-	10	35

Constructor o Autor	2γ	β_2	(Paso real) / (paso teórico)	Coefic. Veloc. Del chorro	Coefic. Veloc. Tangencial	Varios
E. SCHAEFER	14°	7°	26	0.98	0.47	-

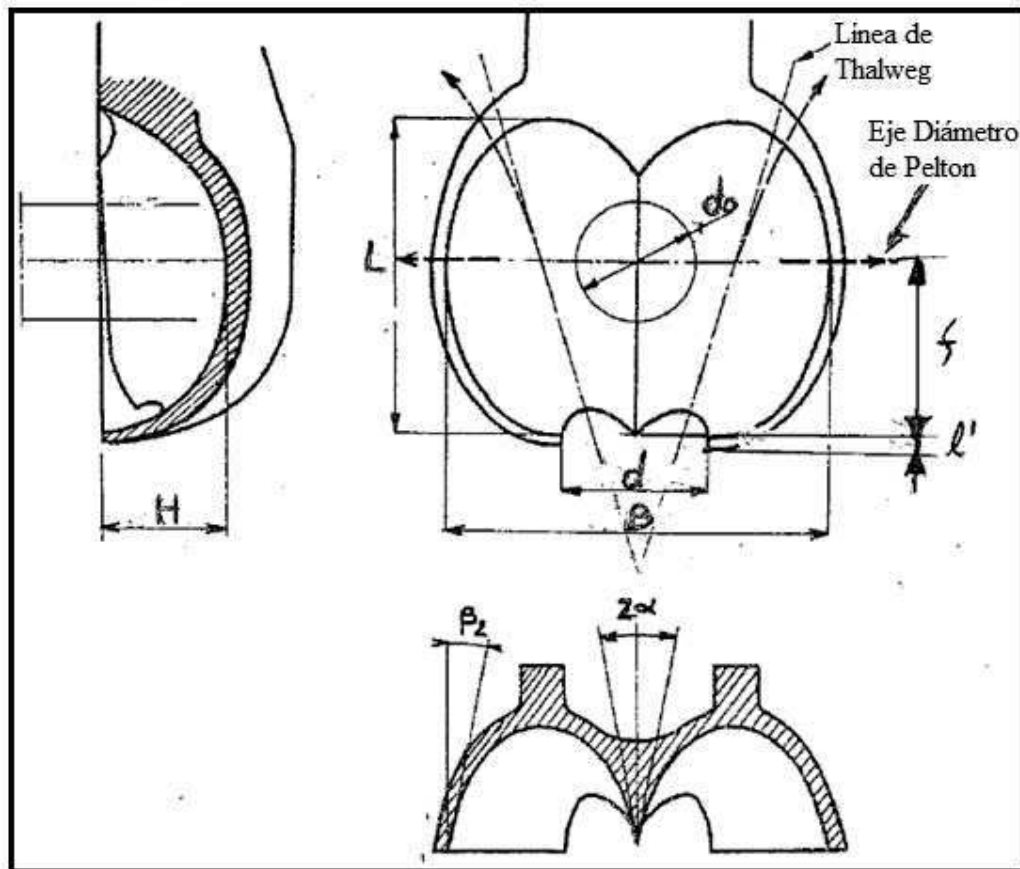


Fig. 27.- Esquema de los álabes de la turbina Pelton
Fuente: M. POLO ENCINAS, "Turbomáquinas Hidráulicas"

4.2.1.2.3 MATERIAL DEL DISCO Y ÁLABES DE LA TURBINA

Se debe tener especial cuidado al escoger el material de fabricación adecuado en la turbina Pelton; este material debe resistir la fatiga, la corrosión y la erosión; la fundición de grafito laminar y acero, resisten perfectamente estas condiciones cuando son moderadas. Cuando las condiciones de trabajo son más drásticas se recurre al acero aleado con níquel, en el orden de 0.7 a 1% y con un 0.3% de molibdeno. Los aceros con 13% de cromo y los aceros austenoferríticos (Cr 20, Ni 8, Mo 3) presentan una resistencia extraordinaria a la cavitación y abrasión.

4.2.1.2.4 VELOCIDAD DE EMBALAMIENTO DE LA TURBINA

Se produciría si la micro central quedara bruscamente sin carga, sin que intervenga algún sistema de regulación, la velocidad aumenta hasta un valor máximo y toma el nombre de velocidad de embalamiento o de fuga. Se debe determinar la velocidad máxima permisible hasta la cual puede girar la turbina, sin que se produzca deformaciones u distorsiones en su eje motriz; los fabricantes de turbinas las construyen teniendo como límite una velocidad periférica de 100 m/s como máximo que es la velocidad que puede soportar el material (acero especial), se determina con la siguiente relación:

$$N_e = K * n_s = 1.9 * 1\ 200 = 2\ 280 \text{ RPM}$$

Donde:

N_e : Velocidad de embalamiento

K : Coeficiente de embalamiento

n_s : Velocidad específica de la turbina

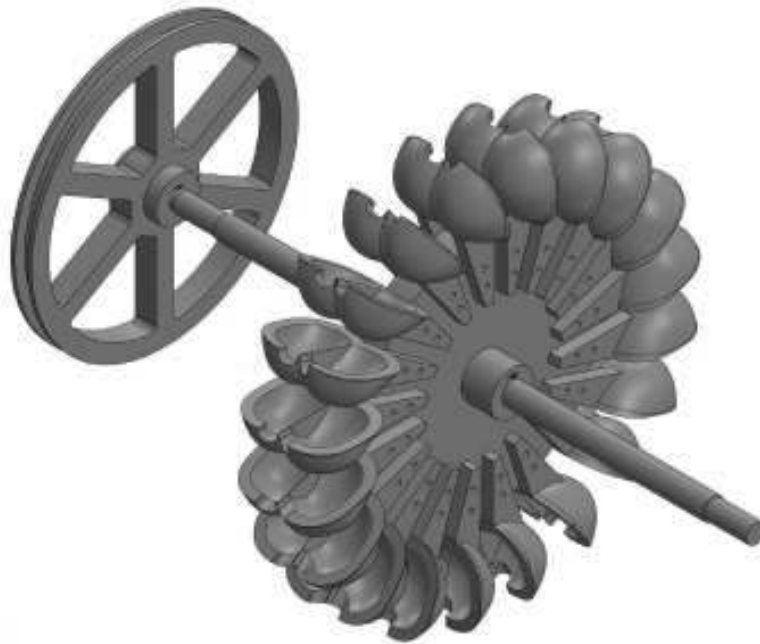


Fig. 28.- Vista de turbina Pelton ensamblada al eje y la polea
Fuente: Elaboración propia

4.2.1.3 SISTEMA DE REGULACIÓN

La regulación consiste en compensar las variaciones que normalmente se producen en la potencia absorbida del generador según las exigencias de la curva de demanda de energía eléctrica del sistema a que está conectado, esta regulación puede hacerse:

-Regulación por caudal si se usa por ejemplo para la turbina pelton un inyector con deflector el cual es gobernado por un servomotor de doble acción, que actúa sobre la aguja del inyector y sobre el deflector para mantener la velocidad de giro de la turbina constante.

-Regulación electrónica de carga que son las más indicadas para las micro centrales (con potencias menores de 100 kW). El grupo generador entrega una potencia constante, esto es no hay regulación de caudal. El exceso de potencia generada se disipará en forma de calor a través de resistencia sumergida en agua ó aire. Esta

regulación se puede realizar manual o automática, para este caso se usará la automática por ser la más eficiente, operación y mantenimiento sencillo, mayor rapidez de respuesta a los cambios de carga y menos costos.

4.2.1.4 GENERADOR

El generador o alternador es una máquina eléctrica rotativa que transforma la energía mecánica de rotación adquirida por la turbina, en energía eléctrica la cual se entrega a un sistema existente para ser usada.

Selección

- El factor de potencia (f.p) lo obtenemos al entrar a la tabla N° 26 (Guía de NOSAKI) con la potencia y el número de polos. $P = 42.2 \text{ kW}$ y $p = 6$; $f.p = 0.85$
- La potencia aparente (S) será: $S = P/(f.p) = 50.35 \text{ kVA}$
- La eficiencia del generador (η_{gen}) lo obtenemos al entrar a la tabla N° 25 (Guía de NOSAKI) con la potencia aparente y el número de polos. $S = 50.35 \text{ kVA}$ y $p = 6$; $\eta_{gen} = 87\%$
- La potencia del generador ($P_{generador}$) será: $P_{generador} = P \cdot \eta_{gen} = 37.3 \text{ kW}$
- Recalculando el factor de potencia y la potencia aparente se tiene:
 $P_{generador} = 37.3 \text{ kW}$ y $p = 6$; entonces $f.p = 0.85$ y
 $S = P_{generador}/(f.p) = 43.88 \text{ kVA}$

Seleccionamos finalmente un alternador de potencia comercial: $50 = \text{kVA}$, síncrono, autoexcitado, refrigerado por aire (ventilador), de polos salientes, en circuito abierto, sin escobillas, con regulador automático de tensión y rectificadores rotativos. El

alternador tendrá una tensión nominal de 230 VAC a 60 Hz con o sin carga, en servicio continuo.

4.2.1.5 TABLERO ELÉCTRICO DE PROTECCIÓN, MEDICIÓN, CONTROL Y SERVICIOS AUXILIARES

El tablero eléctrico auto soportado deberá contar con cables flexibles, borneras, canaletas, pulsadores de prueba y reseteo, así como indicadores de operación; el tablero estará conformado por los módulos de protección, medición, control y servicios auxiliares, así:

El módulo de protección estará formado por los relés de mínima tensión, de sobre tensión, de sobre corriente, de frecuencia, diferencial, térmico y de protección a tierra.

El módulo de medición estará formado por los instrumentos de medición tales como: amperímetro (de 0-300 A, 5ª), voltímetro (de 0-500 V, 5ª), vatímetro (de 0-50 kW), frecuencímetro, cosfímetro, medidor de energía en kW-h.

El módulo de control estará formado por un interruptor magnético trifásico (230 VAC, 250 A, 18 kA) que protegerá al generador, interruptores termo magnéticos de 15 A para el regulador electrónico de carga y para la fuente de poder de la válvula mariposa principal.

El módulo de servicios auxiliares estará formado por los circuitos de alumbrado de la casa de máquinas, tomacorrientes y cargador de batería.

4.2.1.6 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

La relación del transformador trifásico será 10 / 0.23 kV, su conexión de arrollamiento será Dyn5 con el neutro puesto a tierra; esto debido a que no genera terceras armónicas.

Considerando pérdidas totales de 1.7% de la potencia generada, se tendría una potencia útil ($P_{\text{útil}} = 36.6 \text{ kW}$); luego usando un factor de potencia de 0.8 se tendrá una potencia aparente $S = 45.8 \text{ kVA}$.

Se seleccionará un transformador de potencia normalizado de 50 kVA. Como la micro central hidroeléctrica estará a nivel del mar el aislamiento externo será 10% más de la tensión nominal: en el lado de baja tensión 0.253 kV y en el lado de alta será 11 kV; y las sobretensiones máximas de servicio admisibles será: en el lado de baja tensión 1 kV y en el lado de alta tensión 15 kV.

Las sobre temperatura permisible para el transformador sumergido en aceite estará de acuerdo a lo indicado en el Código Nacional de Electricidad tomo IV, para altitudes hasta 1000 msnm no deberán pasar de los siguientes valores:

Devanados : 65°C

Aceite (en su superficie) : 60°C

Circuitos magnéticos : la temperatura que alcancen no deberá deteriorar las partes aislantes.

Referente a la sobrecarga, el transformador podrá ser sobrecargado siempre que no disminuya su vida útil. Esta sobrecarga dependerá de las características del

transformador y deberá ser especificada por el fabricante. También el transformador será refrigerado naturalmente.

4.2.1.7 CABLES Y BARRAS DE CONEXIÓN

La distribución primaria tendrá una tensión de 10 kV por ser normalizada y de uso comercial, además se tiene próxima a la micro central hidroeléctrica (1.5 km aprox.) un sistema de distribución en esta tensión a la cual se conectará nuestra subestación.

La corriente que pasará por los conductores para entregar la potencia $S = 45.8$ kVA a

la tensión de 10 kV es: $I = \frac{36.6}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2.11$ A

Para esta corriente de acuerdo al código Nacional de Electricidad le corresponde un conductor mínimo de sección nominal 10 mm^2 .

4.2.1.7.1 RESISTENCIA DEL CONDUCTOR

La resistencia del conductor a 25°C se calculará:

$$R_{25} = R_{20} (1 + \alpha (T_2 - T_1)) \text{ en } \Omega/\text{km} \quad (38)$$

R_{25} : Resistencia del conductor a 25°C

R_{20} : Resistencia del conductor a 20°C

α = coeficiente de resistencia térmico ($1/^\circ\text{C}$)

T_1 : Temperatura inicial del conductor, $T_1 = 20^\circ\text{C}$

T_2 : Temperatura final del conductor, $T_2 = 25^\circ\text{C}$

Considerando el conductor de aluminio se tiene que

$R_{20} = 0.6714 \Omega/\text{km}$ y $\alpha = 0.0036/^\circ\text{C}$; entonces: $R_{25} = 0.683 \Omega/\text{km}$

4.2.1.7.2 DISTANCIA MEDIA GEOMÉTRICA (DMG)

Se considerará la disposición triangular del cable conductor

$$\text{DMG} = (\text{DMG RS} \cdot \text{DMG ST} \cdot \text{DMG RT})^{1/3} \text{ en m} \quad (39)$$

DMG RS: Distancia geométrica del conductor RS =756

DMG ST: Distancia geométrica del conductor ST =756

DMG RT: Distancia geométrica del conductor RT =1 340

Luego $\text{DMG} = 424 \text{ mm}$ y el radio medio geométrico $\text{RMG} = 1\ 748 \text{ mm}$

4.2.1.7.3 REACTANCIA DEL CONDUCTOR (X)

Se obtiene de la relación:

$$X = 4\pi f \cdot 10^{-4} \cdot \ln (\text{DMG}/\text{RMG}) \quad (40)$$

Siendo $f = 60 \text{ Hz}$, se tiene: $X = 0.4125$

4.2.1.7.4 IMPEDANCIA DEL CONDUCTOR (Z)

Se obtiene de la relación:

$$Z = R \cdot \text{Cos}\phi + X \cdot \text{Sen}\phi \text{ en } \Omega/\text{km} \quad (41)$$

Siendo $\text{Cos}\phi = 0.9$ y $\text{Sen}\phi = 0.4359$, se tiene: $Z = 0.795 \Omega/\text{km}$

4.2.1.7.5 CAÍDA DE TENSIÓN EN LA LÍNEA (ΔV)

Se obtiene de la relación:

$$\Delta V = (\text{P.L.Z})/(\text{V} \cdot \text{Cos}\phi) \text{ en V} \quad (42)$$

Siendo $P = 25.6 \text{ kW}$; $L = 1 \text{ km}$; $Z = 0.795 \text{ } \Omega/\text{km}$; $V = 10 \text{ kV}$ y $\text{Cos}\phi = 0.9$

Se tiene: $\Delta V = 3.23 \text{ V}$ y las pérdidas de potencia $\Delta P = R.L.(P/V.\text{Cos}\phi)^2 = 0.041 \text{ W}$

4.2.1.8 PANEL DEL CIRCUITO INTERRUPTOR DEL GENERADOR

- **El Seccionador:** Aparato de conmutación mecánica que proporciona una distancia de aislamiento en la posición abierta que puede comprobarse visualmente. Se diseña para soportar la tensión nominal, transporta continuamente la corriente nominal soportándola un corto plazo (1 seg.).
- **Interruptor de puesta a tierra:** Dispositivo de interrupción mecánica que permite una conexión directa del aparato con el recinto y de esta manera con la tierra para asegurar el sistema antes de realizar las apariciones de mantenimiento. Soporta la corriente nominal a corto plazo (1 seg.), se diseña para soportar la tensión nominal.
- **Interruptor de Arranque:** Es un inyector de corriente conectado mecánicamente con el variador de frecuencia estática (VFE). Permite un suministro temporal al alternador para que funcione como motor. Inyecta una corriente permanente desde el exterior al interior del aparato para poder arrancar el alternador.
- **Condensador:** Se usa para reducir la velocidad de subida de la tensión de restablecimiento. Se instala entre la fase y la tierra. Se encuentra en el lado del transformador para ayudar a interrumpir la corriente de cortocircuito de origen del sistema.
- **Descargador de sobretensión:** De óxido de zinc (ZnO); son soluciones eficaces para proteger los equipos de rayos e impulsos de conmutación. Están

instalados dentro del panel del circuito interruptor al costado del transformador.

- **Transformador de corriente:** De medición para dar aislamiento galvánico entre el equipo de alta tensión y de baja tensión (funcionamiento de seguridad) y para dar corriente a sus bobinados secundarios, proporcional a la corriente que fluye por el bobinado principal. Son instalados dentro del panel del circuito interruptor para asegurar las centrales de energía y las redes mientras se garantiza el suministro de energía eléctrica y se proporciona un flujo permanente de datos en las corrientes.
- **Transformador de tensión:** Se utiliza para medir y proteger los circuitos de alta tensión. Su diseño presenta una carga poco significativa en el suministro que se está midiendo y presenta una proporción de tensión precisa para poder reducir correctamente las altas tensiones de forma que el equipo de medición y relés de protección funcionen con un potencial menor. Son de fase única y están conectados entre la fase y la tierra.

4.3 SIMULACIÓN DE LA TURBINA PELTON CON EL SOFTWARE ANSYS 14.5

Para realizar el análisis por elementos finitos de la turbina Pelton que formará parte de la planta de generación eléctrica se usará la herramienta ANSYS 14.5. Para ello se determinarán dos etapas:

- 1.- la primera que estará dada por la *tobera* y el flujo del agua al salir de la misma.
- 2.- la segunda que estará dada por el impulso que entregará el fluido en movimiento a la *cuchara* y al *rodete* de la turbina para generar un momento o torque en el eje de la misma.

Metodología:

- Para el análisis de la *tobera* se usará un análisis con CFD (Computational Fluid Dynamics) el FLUENT exactamente, para lo cual se seguirá la siguiente metodología:

- **Modelamiento:** Se elaborará el modelo 3D de la tobera en SolidWorks.
- **Mallado:** Se procederá a desarrollar el modelo para obtener los elementos finitos y nodos, así como el método de mallado a usar.
- **Seteo:** Se aplicarán las cargas, las restricciones, el material, las condiciones del fluido y las condiciones de contorno que afectan al modelo a fin de obtener un resultado.
- **Solución:** Se procederá a calcular usando como modelos la ecuación de la energía y k-epsilon para la turbulencia.
- **Resultados:** Se procederá a visualizar los resultados reflejados en una leyenda de colores y valores.

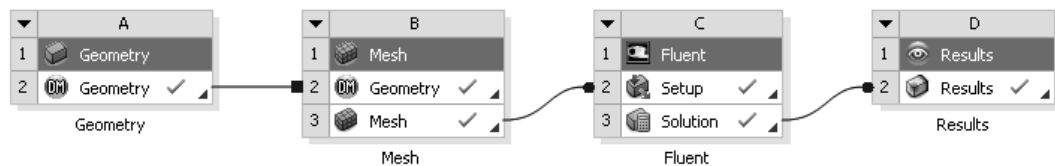


Fig. 29.- Esquema de Secuencia en el Workbench del FLUENT ANSYS

Fuente: Elaboración propia con ANSYS 14.5

Para el análisis de la *cuchara y el rodete* de la turbina se usará un análisis FEA (Finite Element Analysis) el STATIC STRUCTURAL exactamente, para lo cual se seguirá la siguiente metodología:

- **Modelamiento:** Se elaborará el modelo 3D de la cuchara y el rodete de la turbina en SolidWorks.
- **Mallado:** Se procederá a desarrollar el modelo para obtener los elementos finitas y nodos que formarán la malla.
- **Seteo:** Se aplicarán las cargas, las restricciones, el material, y las condiciones de contorno que afectan al modelo a fin de obtener un resultado.
- **Solución:** Se procederá a calcular los esfuerzos y deformaciones usando como modelo la ecuación de Von-Mises. Así también se obtendrá el Momento en el eje de la turbina.
- **Resultados:** Se procederá a visualizar los resultados reflejados en una leyenda de colores y valores.

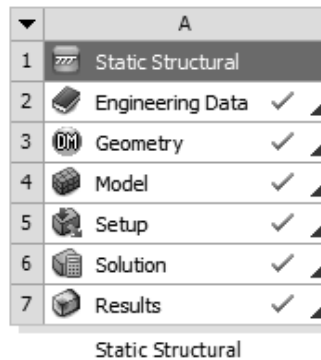


Fig. 30.- Esquema de Secuencia en el Workbench del STATIC STRUCTURAL ANSYS
Fuente: Elaboración propia con ANSYS 14.5

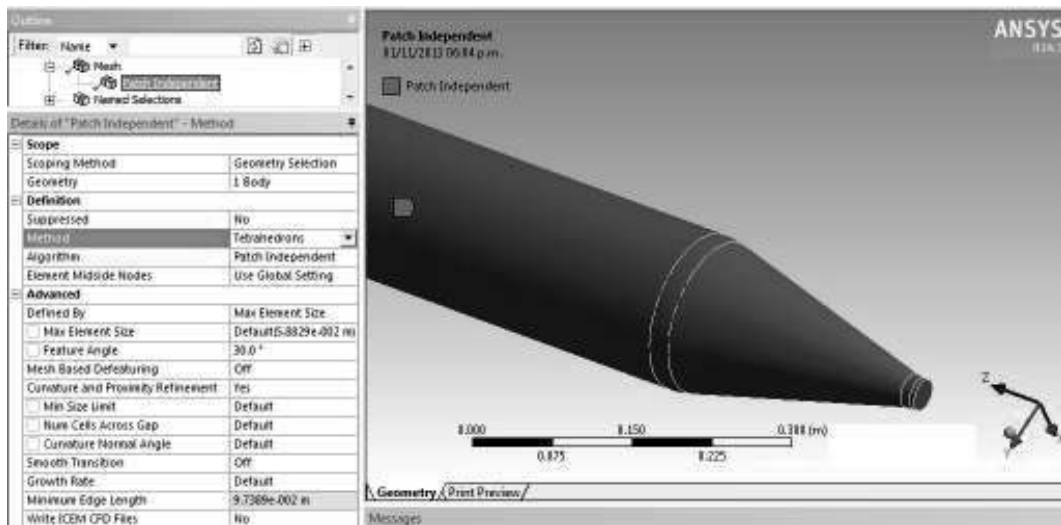
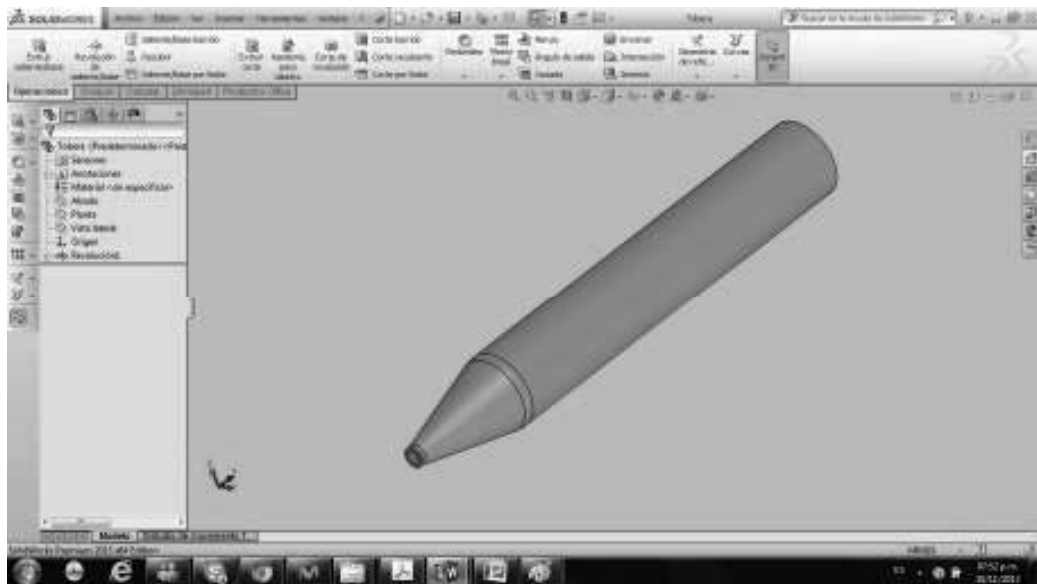
4.3.1 SIMULACIÓN EN LA TOBERA

4.3.1.1 MODELAMIENTO DE LA TOBERA

Para el modelado de la tobera se ha usado el software SolidWorks 2013, el cual ha sido exportado luego al ANSYS 14.5 debido a que es compatible. Se ha usado las

dimensiones que generan el tamaño deseado del chorro, el cual fue calculado en este mismo capítulo.

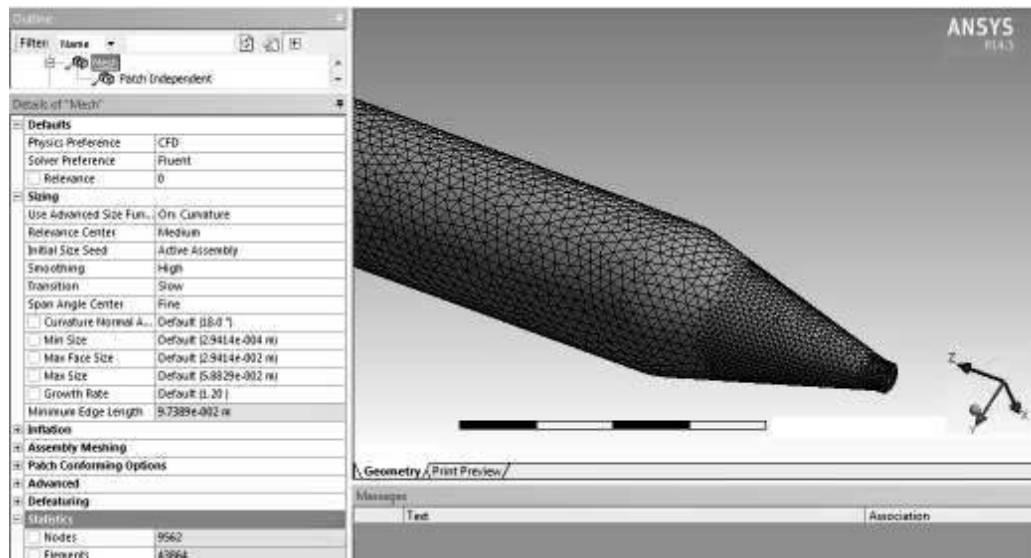
A continuación se muestra el modelo de la tobera en SolidWorks y luego el mismo pero exportado al ANSYS 14.5



4.3.1.2 MALLADO DE LA TOBERA

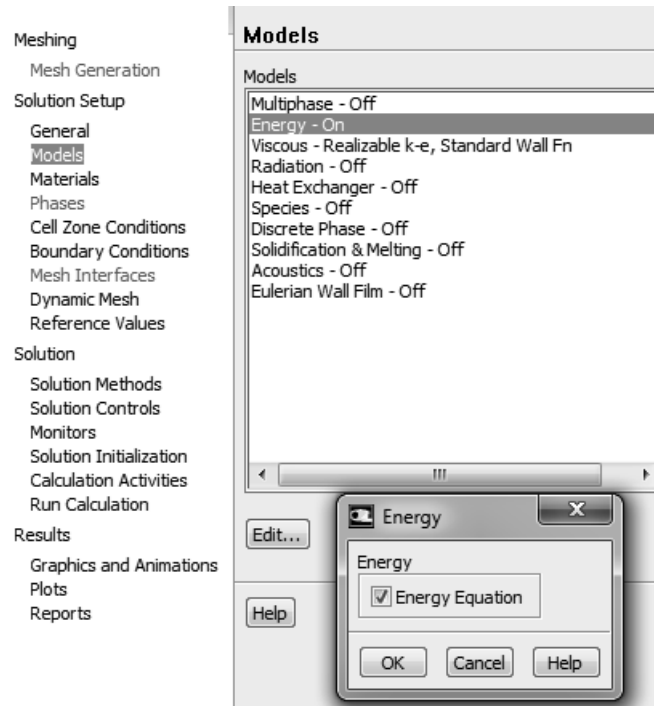
De acuerdo a la literatura de ANSYS con la intención de obtener resultados más precisos, se tiene que los elementos finitos hexaédricos (en 3D) y cuadrados (en 2D) son usados para mallar regiones simples (que no presentan curvaturas, cambios de dirección bruscos, etc.), mientras que los elementos tetraédricos (en 3D) y triángulos (en 2D) son usados para mallar regiones complejas.

Para el análisis de la tobera se ha usado el método Tetrahedrons con el algoritmo Patch Independent el cual usa elementos finitos tetrahédricos para aumentar la precisión en las regiones complejas con detalles geométricos pequeños.

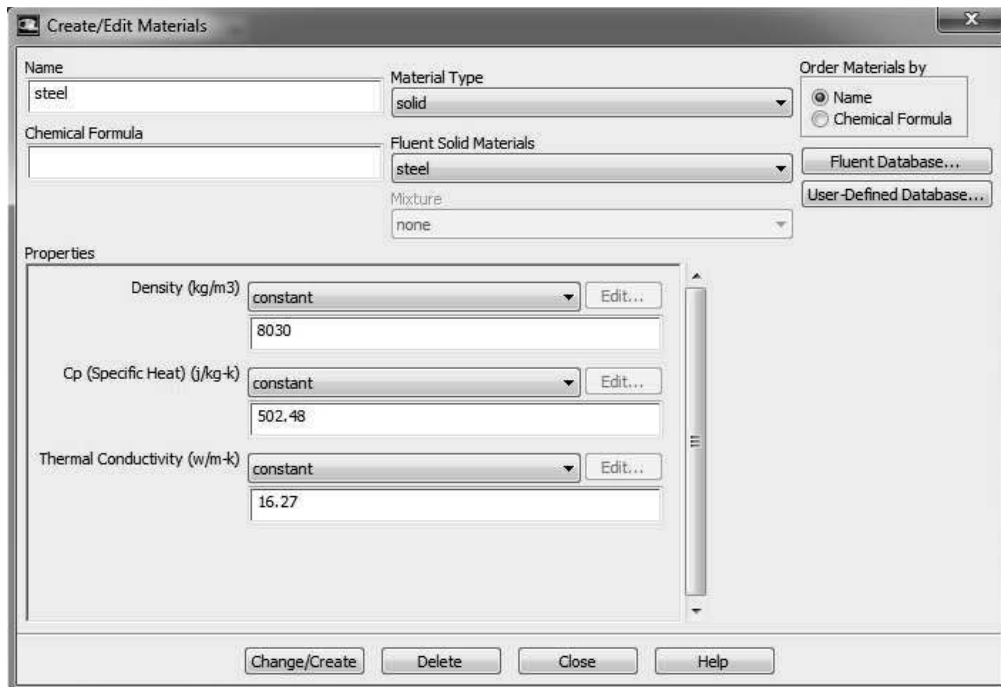
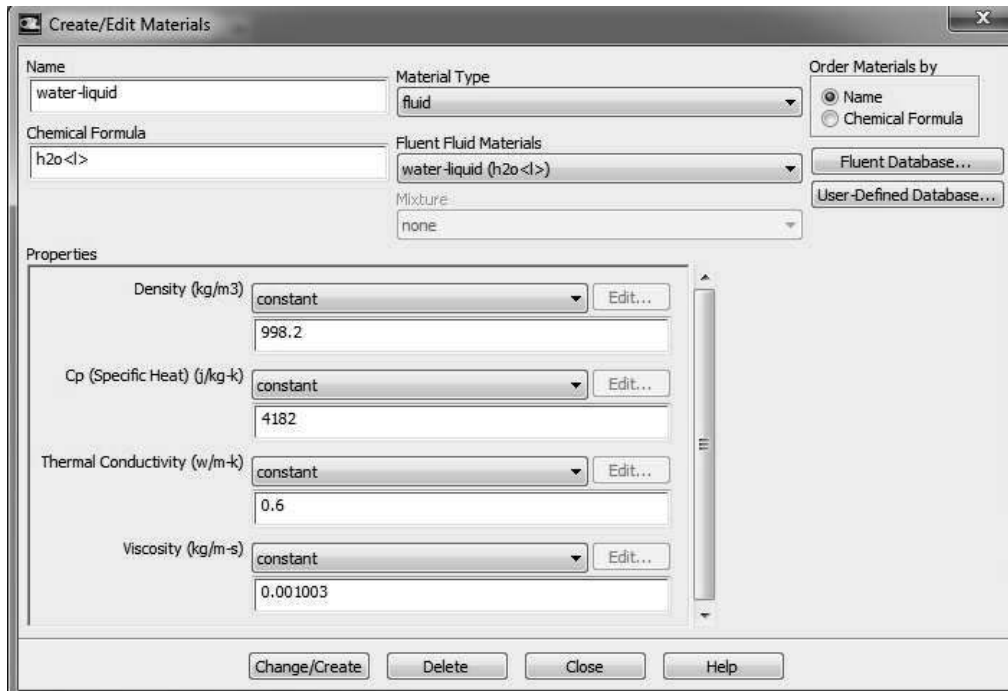


4.3.1.3 SETEO PARA EL CÁLCULO

A continuación se activará el modelo de la Ecuación de la Energía para la realización de los cálculos.



Se selecciona el fluido que se usará en el modelo con sus respectivas características, así como el material de la tobera. El fluido será agua a temperatura ambiente a nivel del mar y el material de la tobera será de acero.



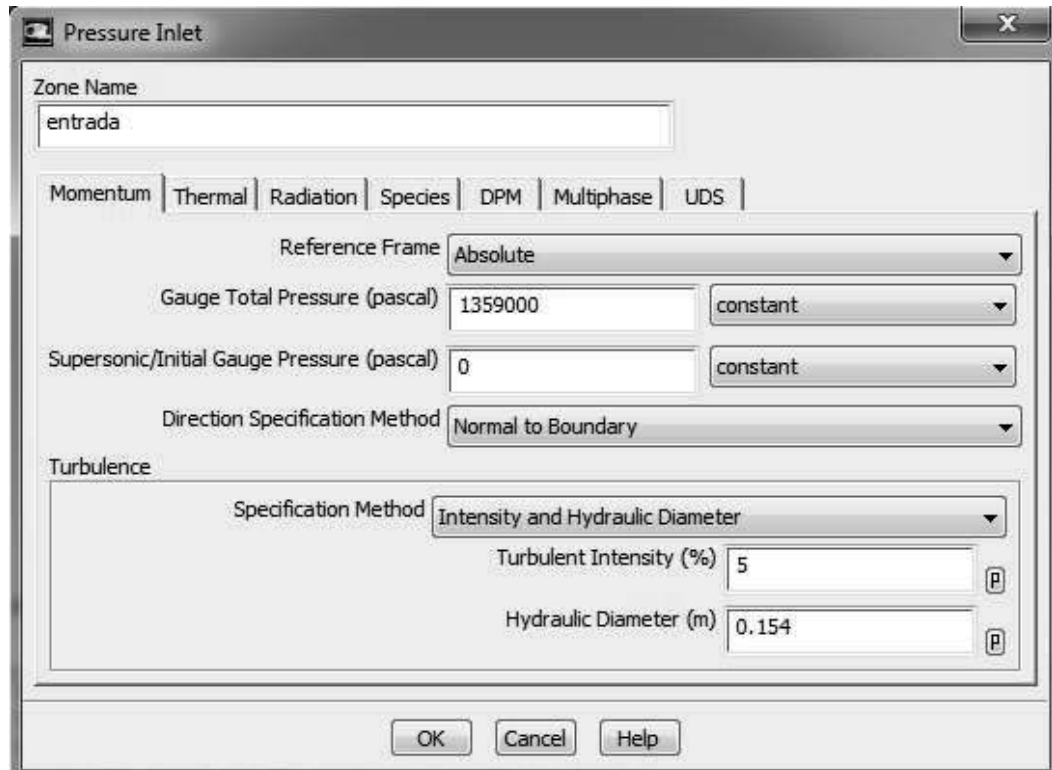
Se ingresan las condiciones de contorno del modelo, datos de entrada, de salida y de la pared de la tobera.

Las condiciones en la entrada a la tobera está dado por:

Velocidad de entrada: $V_e = 1.66 \text{ m/s}$

Diámetro de entrada: $D = 0.154 \text{ m}$

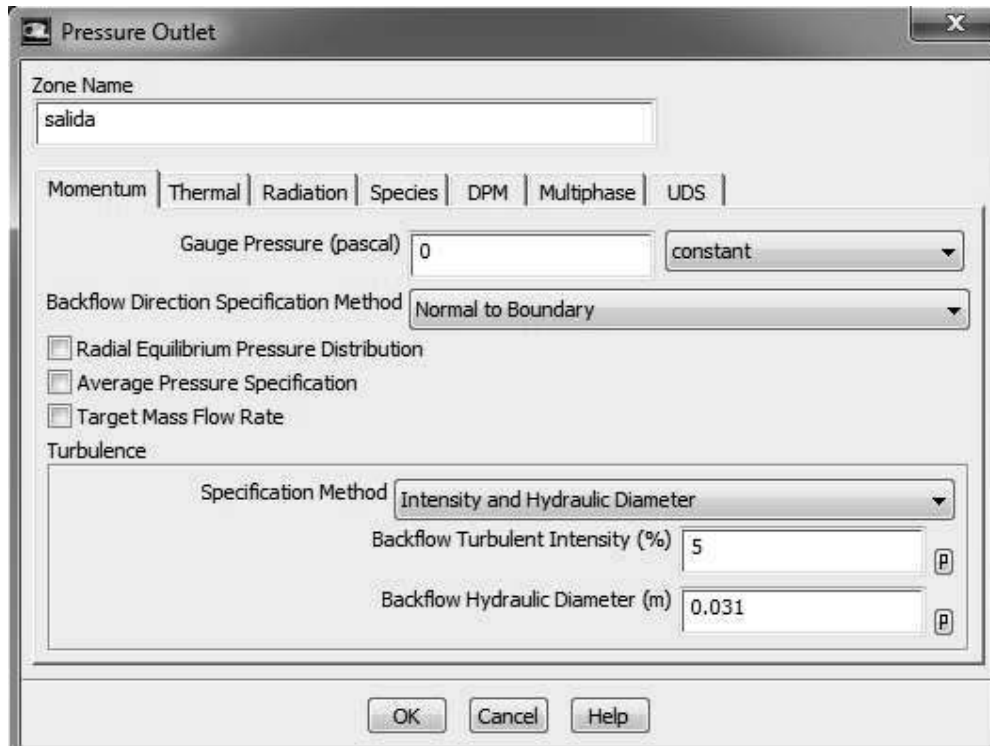
Presión de entrada: $P_e = 1359 \text{ KPa}$ (equivalente a $H = 139 \text{ m}$)



Las condiciones en la salida de la tobera está dado por:

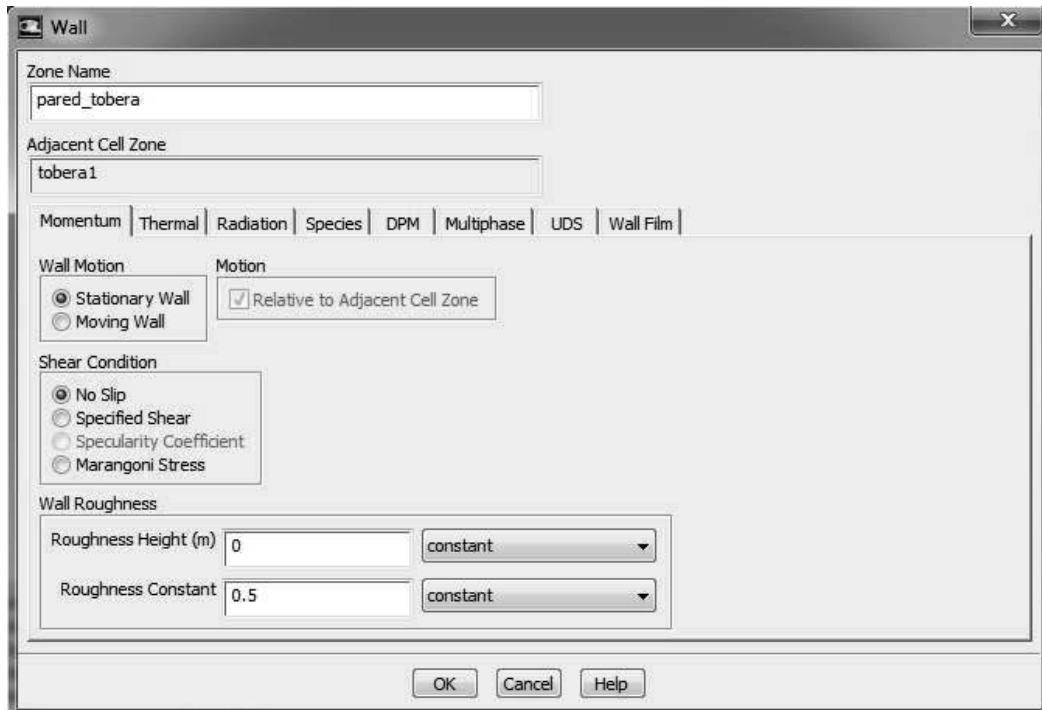
Diámetro de salida: $d = 0.031 \text{ m}$

Presión de salida: $P_s = 0 \text{ Pa}$ (equivalente a la presión atmosférica)



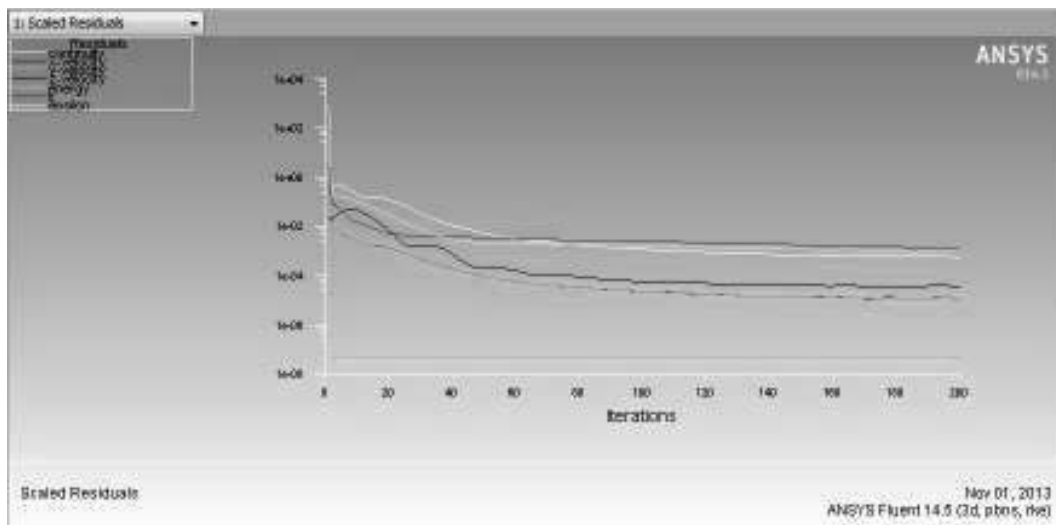
La condición de frontera concerniente a la pared de la tobera, estará dada por una pared estacionaria sin presencia de resbalamiento y asociada al material de acero previamente definido al name selection: pared_tobera.

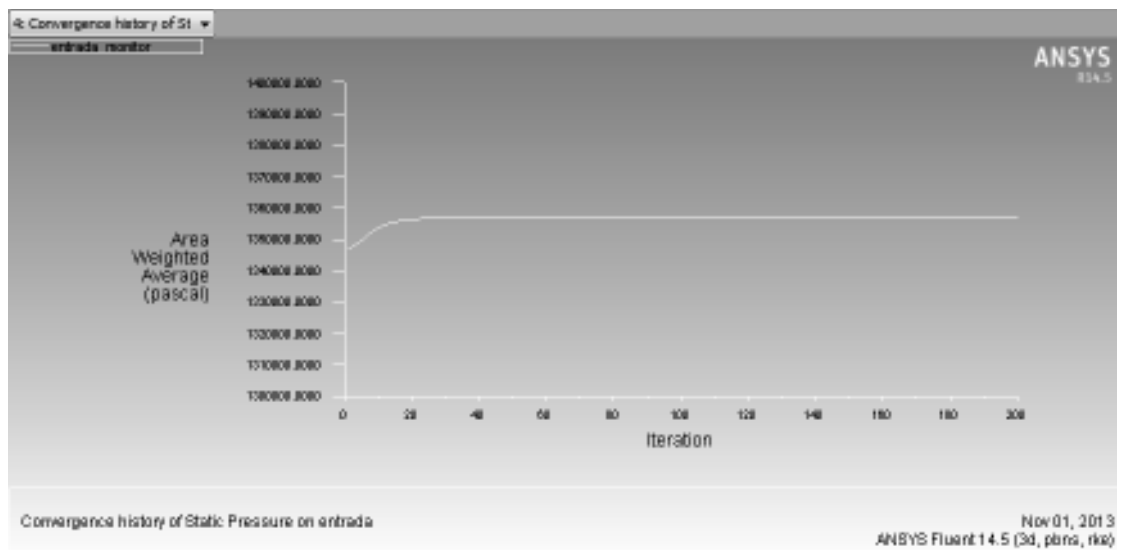
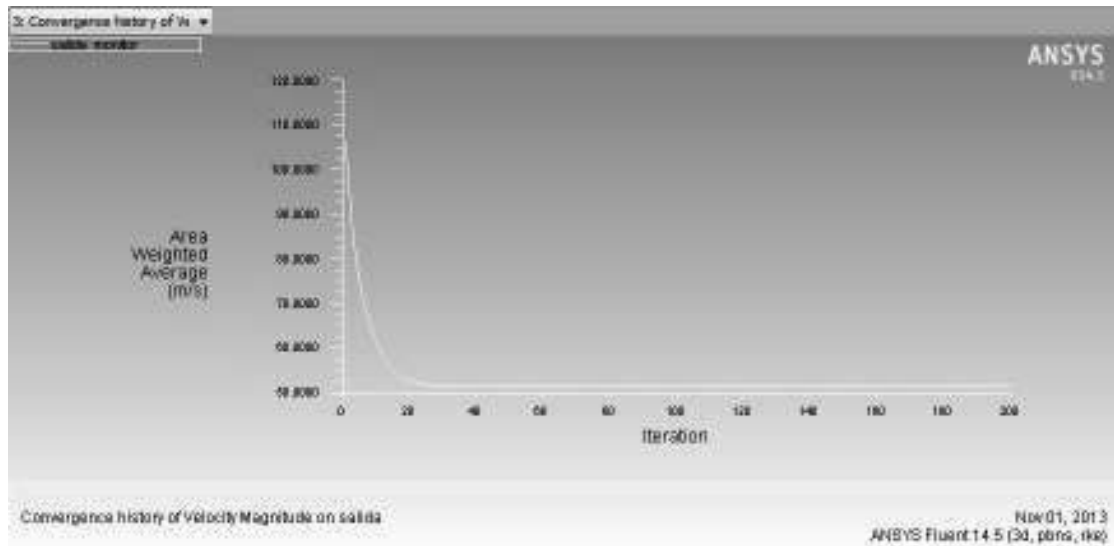
También se mantendrá las condiciones constantes de la rugosidad de la pared que son controladas automáticamente por el software.



4.3.1.4 SOLUCIÓN

Luego se procede a realizar los cálculos, realizando las iteraciones, el programa muestra algunos gráficos durante el proceso de cálculo, los cuales nos muestran la convergencia de los resultados.





4.3.1.5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN LA TOBERA

Finalmente se obtiene los resultados del cálculo con CFD, el software permite ver usando una leyenda de colores asignada a valores de las magnitudes calculadas, las cuales son fácilmente identificadas en el gráfico del modelo analizado.

Para nuestro caso se tiene los resultados de las velocidades las cuales se han seleccionado la opción de vectores para mostrar las variaciones de esta magnitud en

el modelo de la tobera. El tamaño de la flecha del vector simboliza la magnitud y dirección de la velocidad del fluido en las diferentes zonas de la tobera.

También es posible mostrar el resultado como líneas de flujo donde la coloración de acuerdo a la leyenda de colores tiende al color rojo (aumento de la magnitud velocidad) a medida que el fluido sale de la tobera.

Se puede observar el resultado del análisis con el FLUENT-ANSYS, donde la velocidad del chorro en la salida de la tobera llega a un valor aproximado de 53 m/s.

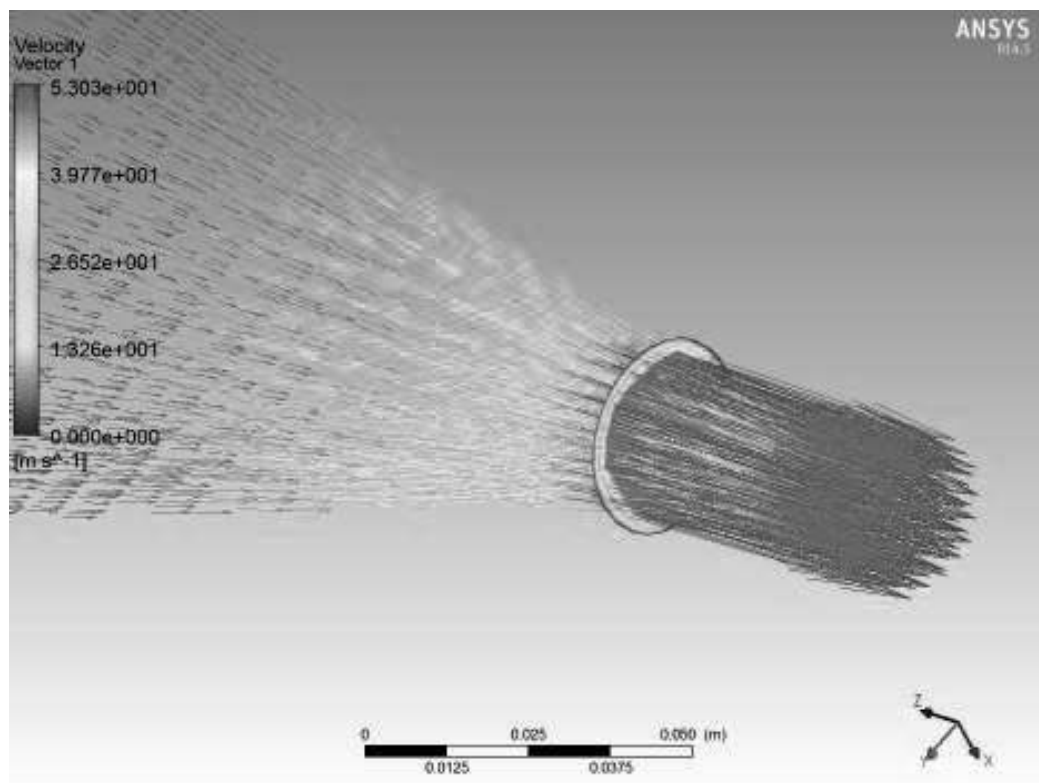


Fig. 31.- Representación Vectorial de la velocidad de salida de la tobera
Fuente: Elaboración propia con ANSYS 14.5

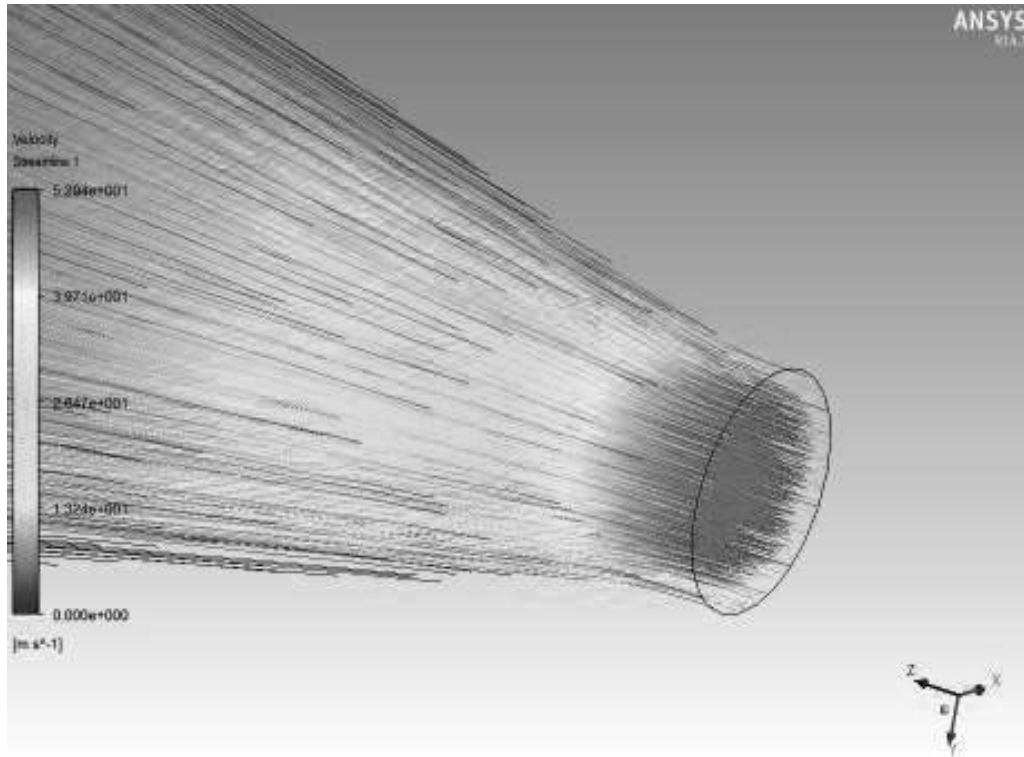


Fig. 32.- Representación con Líneas de Flujo de la velocidad de salida de la tobera
Fuente: Elaboración propia con ANSYS 14.5

4.3.1.6 PROYECCIÓN DEL CHORRO SOBRE LA CUCHARA

Al proyectar el chorro de agua proveniente de la tobera sobre la cuchara, se consigue observar la trayectoria que toma el agua sobre la cara de la cuchara.

A continuación podemos ver las trayectorias sobre la cuchara como imágenes representadas con vectores y con líneas de flujo.

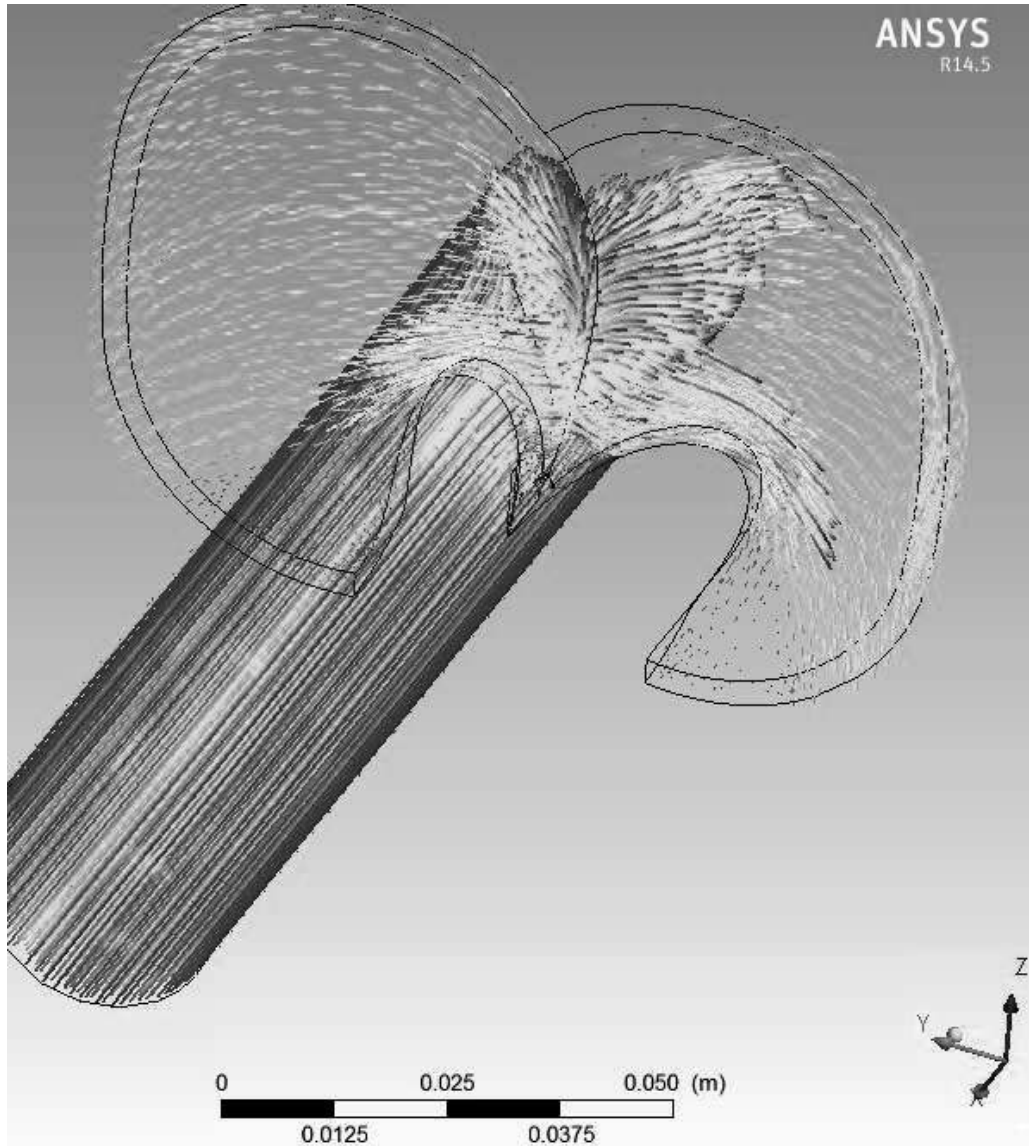


Fig. 33.- Chorro de agua sobre la cuchara
Fuente: Elaboración propia con ANSYS 14.5

Puede observarse que el chorro al impactar sobre la cuchara se bifurca a ambos lados de la misma, las trayectorias del agua se concentran más en la zona central de la cuchara, mientras que la parte superior presenta poco flujo y la parte inferior de la cuchara (cercana a los destajes) presenta una zona con un mayor desorden, este

desorden nos da la idea de una turbulencia generada en este sector lo cual se traduce en pérdidas de energía (energía que no se aprovecha).

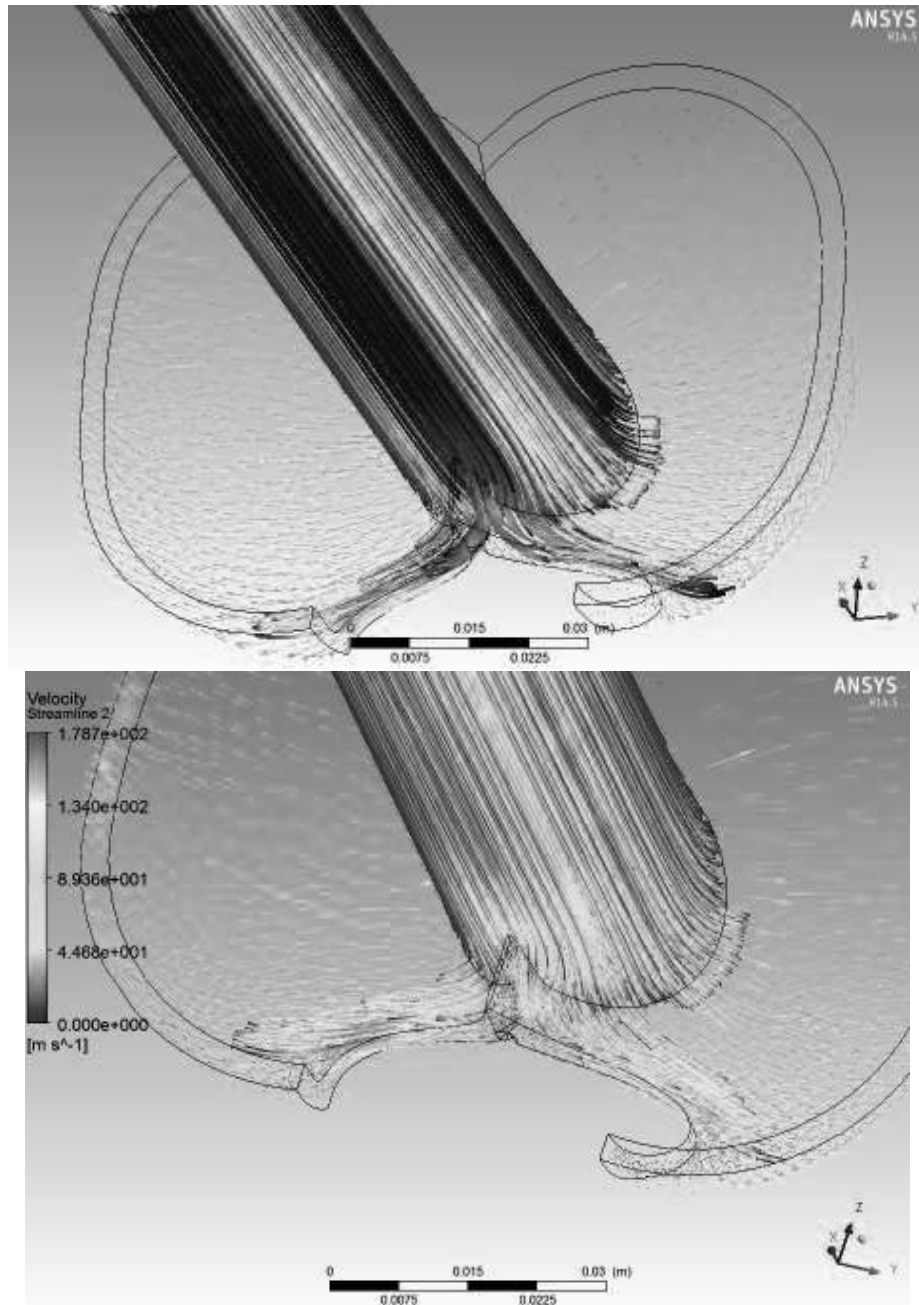


Fig. 34.- Representación de trayectorias del fluido sobre la cuchara
Fuente: Elaboración propia con ANSYS 14.5

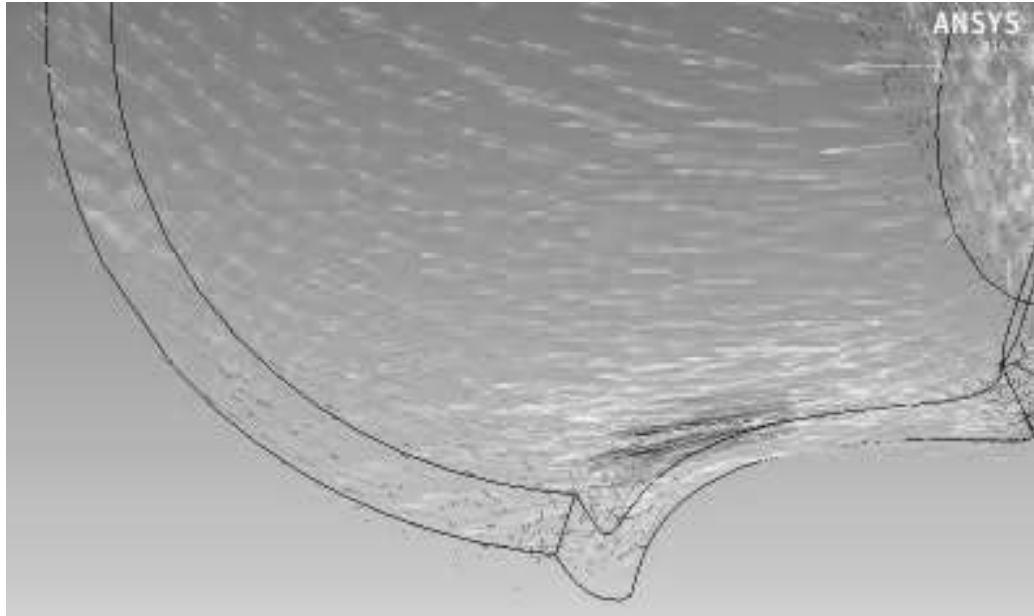


Fig. 35.- Detalle del desorden del fluido en la zona inferior de la cuchara
Fuente: Elaboración propia con ANSYS 14.5

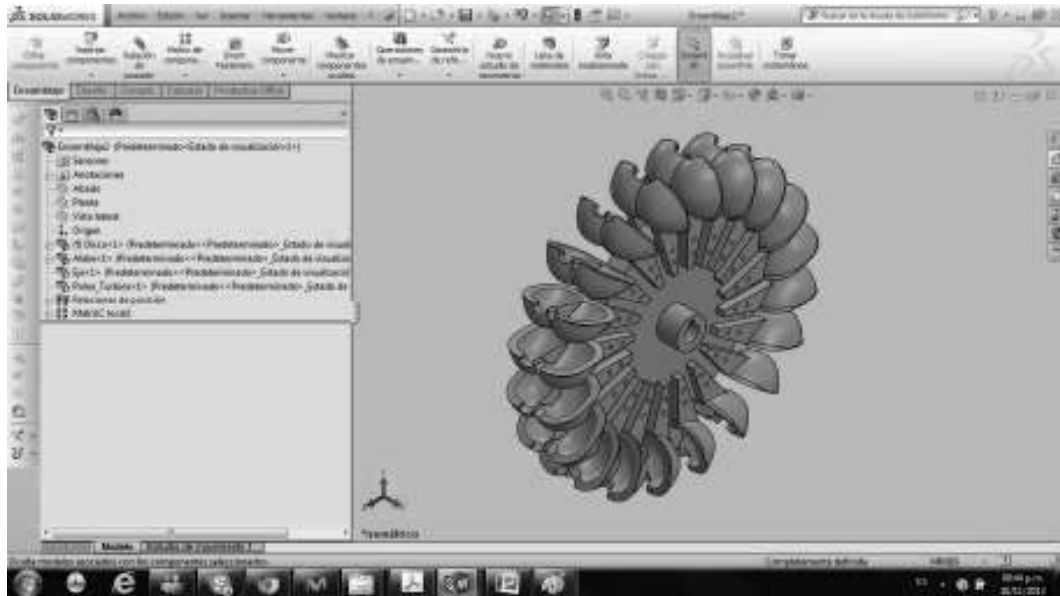
Este desorden genera choques y roces en la masa del fluido y contra la pared de la cuchara, causando pérdidas de energía y tendencia con el tiempo a desgastar la pared de la cuchara.

4.3.2 SIMULACIÓN EN LA CUCHARA Y EL RODETE DE LA TURBINA PELTON

4.3.2.1 MODELAMIENTO DE LA CUCHARA Y EL RODETE

Para el análisis de la cuchara y el rodete se ha elaborado en SolidWorks 2013 el modelo de estas piezas usando las dimensiones principales calculadas en la primera parte de este capítulo.

A continuación se muestra el ensamble en SolidWorks del rodete con las cucharas de la turbina Pelton.



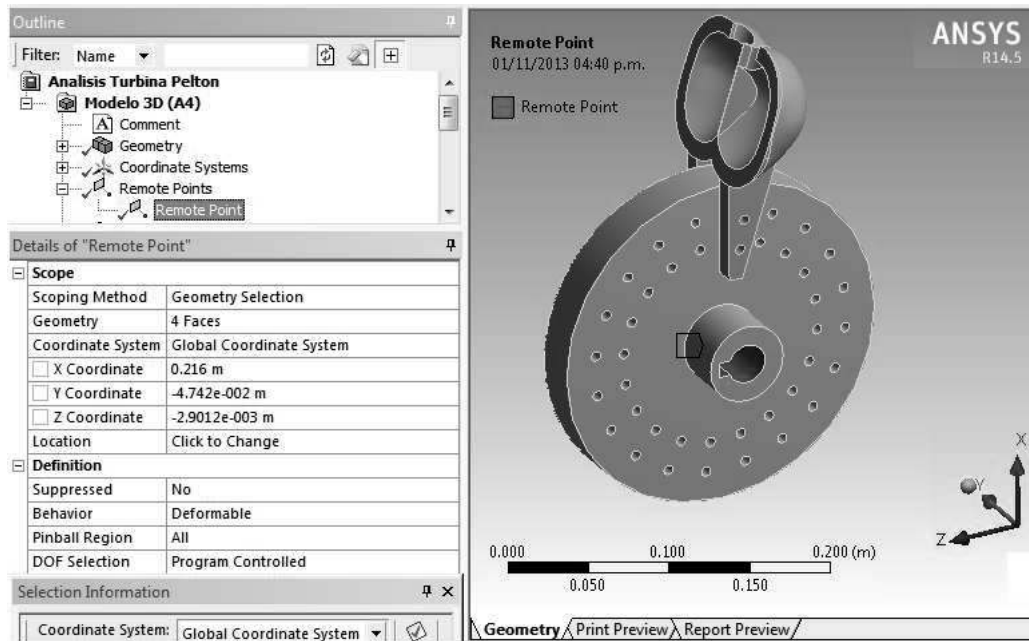
La velocidad tangencial (V_t) en el diámetro de Pelton ($D_p = 0.392$ m) estará dada en función de las RPM de la turbina (1200 para nuestro caso), así:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1200}{60} = 125.66 \text{ rad/s}$$

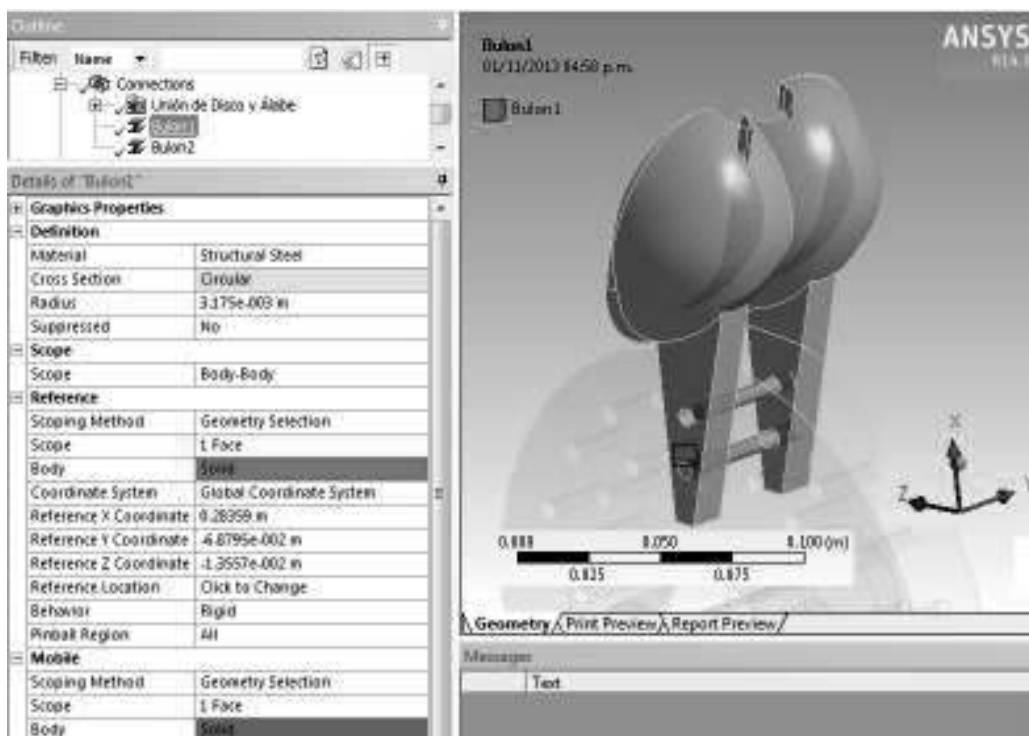
$$V_t = \omega \cdot \frac{D_p}{2} = 125.66 \cdot \frac{0.392}{2} = 24.63 \text{ m/s}$$

Del flujo másico y la velocidad de salida del chorro de agua de la tobera se tiene una fuerza en el álabe de 1 700 N aproximadamente. Esta será usada en el análisis estructural del ensamble rodete-cuchara para determinar los esfuerzos y las deformaciones en estos elementos, así como también el torque que se genera en el eje del rodete, el cual con la velocidad angular ω nos dará la potencia al eje generada.

Se insertó un Punto Remoto que representará al eje de la turbina y al cual se transmitirá el momento o torque que se quiere simular.



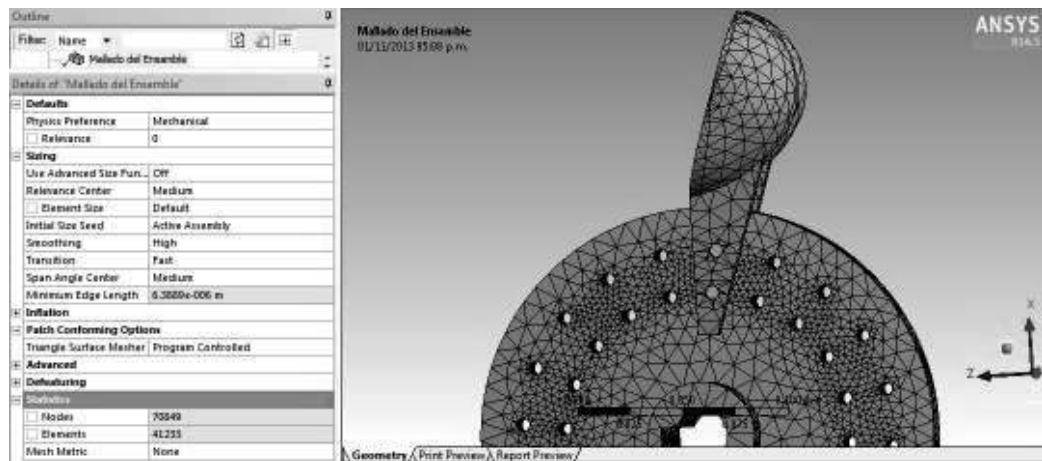
Se usó conexiones del ANSYS (bulones) para unir el álabe al disco con la intención de simplificar el modelo y así evitar complicaciones en el proceso de mallado.



4.3.2.2 MALLADO DEL MODELO RODETE-CUCHARA

Para obtener mayor precisión se ha establecido una malla fina aumentando así el número de elementos finitos en el modelo.

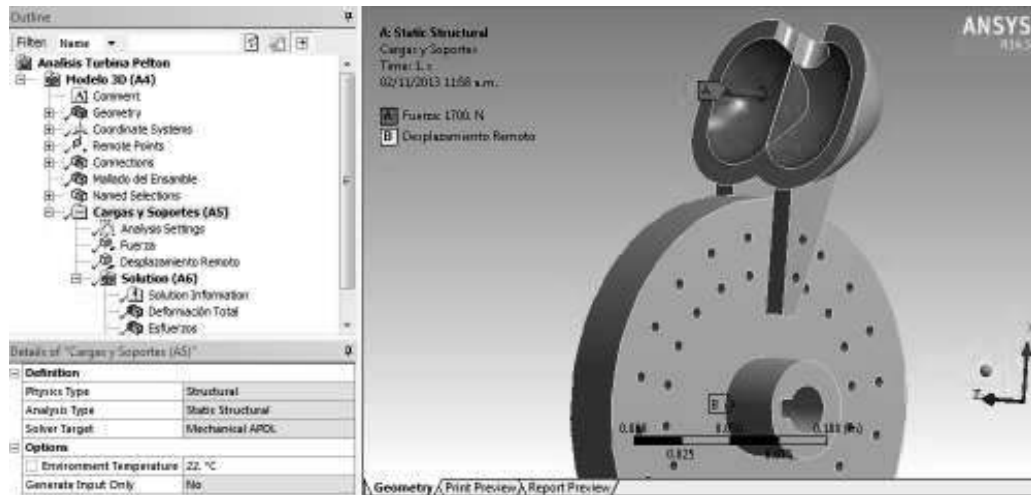
En forma similar que en el análisis de la tobera, se ha seleccionado un mallado con elementos tetraédricos, los cuales brindarán mayor precisión en los resultados del análisis de las zonas complejas de este modelo Rodete-Cuchara.



4.3.2.3 SETEO DEL MODELO RODETE - CUCHARA

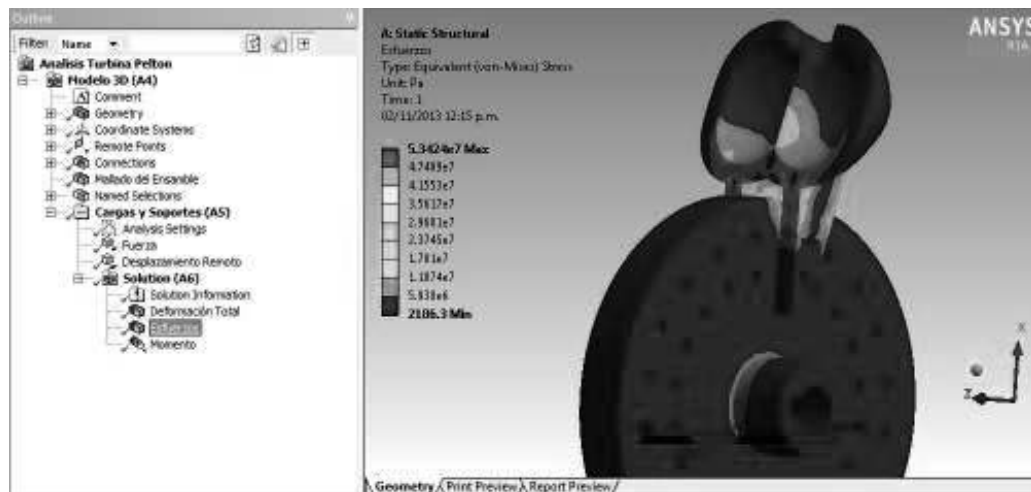
Como carga se ha usado la fuerza transmitida por el fluido al salir de la tobera y como restricción se ha usado un Desplazamiento Remoto en el Punto Remoto creado en un paso anterior (que simulará al eje de la turbina) el cual luego del cálculo nos mostrará el momento o torque transmitido al eje de la turbina.

Para efectos de usar menos elementos finitos es que se ha usado los artificios (Punto Remoto y Bulones) que nos permitirán hacer un análisis sin tener que complicar el modelo con más elementos y por ende con más memoria.



4.3.2.4 SOLUCIÓN Y RESULTADOS EN EL MODELO RODETE-CUCHARA

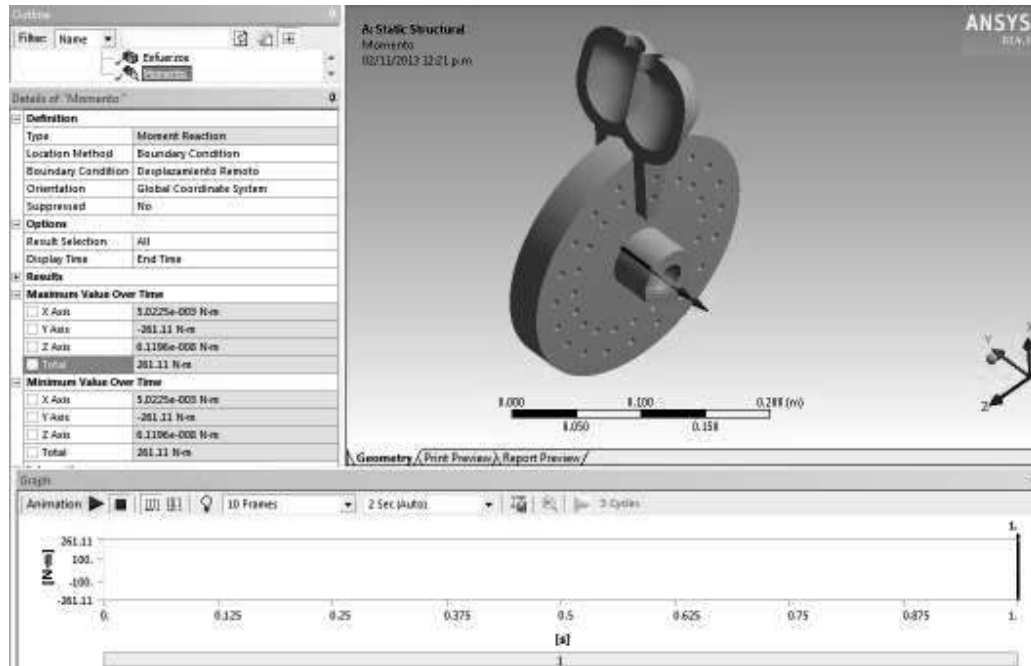
Se puede observar que los esfuerzos se concentran en la cuchara y en el cubo del disco de la turbina, y los valores a los que llega no superan los 53 MPa



Los esfuerzos más críticos se localizan en la zona del borde del rodete muy cerca del borde de contacto con el brazo de la cuchara.

Esto invita a considerar en el acabado de los elementos, rodete y cuchara un redondeo de los bordes o esquinas que reduzcan la concentración de esfuerzos.

Finalmente se obtiene el valor del momento o torque generado en el eje de la turbina



El resultado del Momento que se genera en el eje de la turbina es $T= 261 \text{ N}\cdot\text{m}$

Por lo tanto la potencia al eje de la turbina simulada con las formas y dimensiones diseñadas en este trabajo nos da como resultado:

$$Pot_{eje} = T * \omega = 261.11 * 125.66 = 33 \text{ kW}$$

CAPÍTULO 5.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

5.1 MARCO LEGAL

En el Perú la gestión ambiental está basada en el siguiente marco legal:

- Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, Decreto Legislativo 1013 de mayo 2008.
- Ley General del Ambiente, Ley 28611 de octubre 2005.
- Reglamento de la Ley Sistema Nacional de Gestión Ambiental SNGA, Decreto Supremo N° 008-2005 – PCM de enero 2005.
- Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, Ley 28245 de junio 2004.

En el sector energético la supervisión y fiscalización ambiental está dado bajo el cumplimiento de las normas legales y las normas técnicas referidas a la conservación y protección del medio ambiente en el desarrollo de las actividades de este sector, dentro de estas normas se tiene:

- Ley General del Ambiente (2005).
- Ley General de Residuos Sólidos (2000) y su reglamento (2004)

- Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (2001)
- Ley Forestal y de Fauna Silvestre (2000) y su reglamento (2001)
- Ley de Áreas Naturales Protegidas (1997) y su reglamento (2001)
- Ley de Conservación y Aprovechamiento Sostenible de Diversidad Biológica (1997) y su reglamento (2001)
- Ley orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales (1991)
- Ley Marco para el crecimiento de la Inversión Privada (1991), modificada por Ley de creación de OSINERG (1996).
- Reglamentos Ambientales para Actividades de Hidrocarburos (1993) y Electricidad (1994)
- Ley General de Aguas (1969) y sus reglamentos.

El Ministerio de Energía y Minas a través de La Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA) es la autoridad encargada de dictar los lineamientos generales y específicos de política para la protección del medio ambiente en las actividades eléctricas en coordinación con la Dirección General de Electricidad (DGE).

Los límites máximos permisibles de emisión para actividades eléctricas está dado en la Resolución Directoral N° 008-97-EM / DGAA y el Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas aprobado por Decreto Supremo N° 029-94-EM artículos 19°, 20°, 21°, 23°, 24°, 29°, 38°, y 39°.

Proceso a Seguir.- Una vez realizado y documentado un Estudio Ambiental (EA) se debe dirigir a la DGAA mediante una solicitud de aprobación del mismo, esta

procederá a su revisión y emitirá opinión al respecto dentro de un plazo máximo de 120 días y 45 días en los casos de Declaración de Impacto Ambiental (DIA) el cual tendrá carácter de declaración jurada; cumplido este plazo, se aplicará silencio administrativo negativo. La DGAA podrá hacer observaciones, aclaraciones, o solicitar mayor detalle de los temas tratados en el Estudio Ambiental y Plan de Manejo Ambiental y la empresa debe atenderlas en el plazo que fijará la DGAA (este plazo no será mayor a 90 días).

Una vez terminada la construcción de un proyecto de generación eléctrica, la empresa correspondiente deberá presentar al OSINERGMIN un informe de cumplimiento de las medidas recomendadas en su Estudio Ambiental. En este informe se establecerán las medidas de control o mitigación de pasivos ambientales si en caso se hayan generado.

La central hidroeléctrica contará con un programa de manejo y administración del recurso hídrico tal que se asegure el uso y control adecuado y no desestabilizar el sistema hidrológico. Este plan tendrá carácter de declaración jurada.

El EIA del proyecto que trata esta tesis deberá tener los siguientes aspectos:

- a.- Se deberá realizar un estudio de línea base que determine el estado ambiental actual y el nivel de contaminación del área.
- b.- Se deberá elaborar una descripción del proyecto de generación eléctrica.
- c.- Se deberá realizar la identificación, predicción y evaluación de los impactos ambientales que podrían ser causados al ambiente físico, biológico, socio económico y cultural en cada etapa del proyecto.

d.- Se deberá elaborar un programa de manejo ambiental donde se propongan medidas para prevenir, reducir, remediar, o compensar cada uno de los impactos adversos evaluados como significativos.

e.- Se deberá elaborar un programa de monitoreo del medio que pueda determinar tendencias del comportamiento ambiental en relación con las obras del proyecto para así poder reducir los impactos potenciales.

f.- Se deberá elaborar un Plan de Contingencias para controlar sucesos que podrían presentarse durante la ejecución del proyecto en las diferentes fases.

5.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Como se mencionó en el Capítulo 3 (punto 3.1) el proyecto está muy próximo al puerto más grande del país y a la Base Naval del Callao. El área específica del proyecto; de tez árida, con perfil de terreno ligeramente inclinado en dirección al litoral, tanto en la actualidad como en el mediano plazo no presenta actividad humana, ni agrícola, ni industrial, ni comercial. Se observa también pequeñas poblaciones de aves marinas que circundan la zona y no hay presencia masiva de personas ya que la zona es colindante con la Base Naval y está resguardada por la Marina de Guerra.

Durante la temporada de estiaje el caudal disponible en la desembocadura del río Rímac es alrededor de $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ del cual se tomará $0.031 \text{ m}^3/\text{s}$ que representa el 2.1% del caudal disponible. De esto se puede considerar que, sólo basado en el volumen de agua del río, el flujo de agua que llega a la desembocadura no percibirá cambios

considerables que traiga como consecuencia alguna alteración de la biodiversidad en la zona de la desembocadura.

Debido también a que en la captación de aguas del río se pretende usar una bocatoma en el lecho con estructura sobre nivel del río, se generará una ligera acumulación de agua a manera de represamiento disminuyendo el ingreso de materiales extraños al canal de aducción y por ende alargando los períodos de su mantenimiento.

Una característica de la zona en la margen izquierda de la desembocadura del río Rímac; lugar de la futura casa de máquinas, presenta una suave pendiente ó ligeramente plano y esto representa un volumen bajo de movimiento de tierra durante la etapa de construcción de la planta, el canal y la bocatoma.

5.3 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS

Etapas de Construcción.- Durante la etapa de construcción de la planta se podrá observar lo siguiente:

- Se tendrá un tráfico mediano de camiones que entrarán y saldrán por el sector izquierdo del puente del río Rímac en la Av. Néstor Gambeta en dirección paralela a la corriente del río. Esto puede representar un impacto al normal tránsito que cubre las rutas Callao – Ventanilla.
- Durante la construcción de la bocatoma las aguas del río deberán desviarse del cauce, esto generará un rompimiento abrupto del normal transcurso del río lo cual podría influir en ciertas especies de peces que podrían haber llegado provenientes del océano hasta este sector para poner sus huevos.

- Durante las excavaciones y actividades que involucran el movimiento de tierra, se tendrá la presencia de polvo en el ambiente lo cual afectará el desenvolvimiento normal de las personas que laboran allí y a la pequeña población de aves que circundan la zona.
- Durante todo el proceso de construcción se tendrá la presencia de ruidos en el ambiente por las máquinas y equipos de trabajo, sumándose a ello el toque de clackson de las unidades como camiones, grúas, camionetas, etc.

Etapas de Operación.- Durante la etapa de operación de la planta se podrá observar lo siguiente:

- La operación de los equipos en la casa de máquinas, como la turbina, el generador, el transformador y los demás equipos eléctricos, producirán ruidos característicos que podría impactar ligeramente al normal desenvolvimiento de las aves.
- La presencia de una línea aérea que transmite la electricidad en mediana tensión (10 KV), puede traer ciertos inconvenientes por la vibración que produce y el efecto del campo electromagnético. Genera una probabilidad de electrocución.
- La posición de la bocatoma representará una barrera límite para ciertas especies de peces que migran hacia aguas dulces para reproducirse.

En contra posición de los impactos negativos, la presencia de una mini central representará un impacto positivo para el sector socioeconómico de la zona, principalmente para la Base Naval que podría ser la primera en beneficiarse de la energía eléctrica producida.

5.4 ACCIONES PARA ATENUAR LOS IMPACTOS

Etapa de Construcción.- Durante la etapa de construcción los impactos potenciales pueden atenuarse con lo siguiente:

- Se deberá planificar con gran atención las actividades que impliquen la entrada y salida de vehículos por la zona del puente de la Av. Néstor Gambeta sobre todo en las horas donde el flujo de tránsito desde y hacia la zona de Ventanilla aumenta. Se deberá tener presencia de personal de guía y señales adecuadas que apoyen el tráfico.
- La construcción de la bocatoma deberá realizarse durante los meses de estiaje del río para poder coincidir con la baja presencia de peces en este sector.
- Se deberá usar motobombas temporales que impulsarán el agua del río para poder regar y así mitigar el polvo del ambiente durante los trabajos de movimiento de tierra principalmente.
- Durante la etapa de construcción se deberá reducir en lo posible el toque innecesario del clacson o sonido prolongado de sirenas a través de charlas de seguridad y concientización de todos los operadores de vehículos.

Etapa de Operación.- Durante la etapa de operación los impactos potenciales pueden atenuarse con lo siguiente:

- La casa de máquinas deberá en lo posible ser diseñada cerrada para reducir el nivel de ruido.
- La línea de transmisión deberá tener el distanciamiento adecuado y de ser necesario los postes deberán tener un cerco para evitar que individuos ajenos escalen y puedan salir dañados por alguna descarga eléctrica.

CAPÍTULO 6.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.1 MERCADO ELÉCTRICO EN EL PERÚ

En nuestro país se tiene una mixtura en cuanto a la generación eléctrica, presentándose las centrales hidroeléctricas, las centrales térmicas, eólicas, fotovoltaicas y de otros tipos de fuentes de energías renovables. Una característica de éstas centrales hidroeléctricas desde el punto de vista de inversión en capacidad de generación es que sus costos fijos son altos y sus costos variables son bajos, siendo estas preferidas para la demanda constante a lo largo del año (demanda base); mientras que lo contrario caracteriza a las centrales térmicas a gas natural, que tienen costos fijos bajos y costos variables altos, siendo preferidas para demandas que no se presentan de forma regular (demanda pico).

La micro central hidroeléctrica del presente trabajo podría ubicarse desde el punto de vista de inversión en capacidad de generación en una zona intermedia en relación a las centrales mencionadas en el párrafo anterior, donde los costos fijos y costos variables de este tipo de central son medianamente altos y que en suma total en la actualidad representa un costo mayor a los otros tipos de centrales, esto debido a la implementación de nuevas tecnologías en la generación de electricidad.

En el Perú los usuarios consumidores de la energía eléctrica pueden ser usuarios libres ó usuarios regulados.

Usuarios Libres son aquellos con potencia contratada ≥ 10 MW, estos usuarios no están sujetos a regulación de precios por la energía o potencia que consumen; comprenden las grandes compañías industriales y comerciales.

Usuarios Regulados son aquellos con potencia contratada < 10 MW y están representados por la mayor parte de la población del país.

La energía que es inyectada al sistema por orden del COES (Comité de Operación Económica del Sistema), es valorizada de acuerdo a su costo marginal de generación, en un punto específico de la red (su barra de referencia). El costo marginal de generación es determinado por el COES, para cada intervalo de tiempo.

En el 2008 se produce un alza de costos marginales generada por las limitaciones para transferir energía a través de las líneas de transmisión (que habían llegado a un punto de saturación) y la congestión producida en el ducto de Camisea (el ducto no tenía capacidad para transportar más gas a nuevas plantas termoeléctricas). Como respuesta el Estado promulgó el Decreto de Urgencia 049-2008, que creó el régimen de “Costos Marginales Idealizados” hasta el 31 de Diciembre del 2013; con esto las empresas a despachar energía con costos variables superiores al costo marginal “idealizado” son compensadas en su costo variable sin afectar el costo marginal del sistema y son los consumidores regulados quienes pagan este sobre costo a través de un cargo adicional en el peaje de transmisión.

Cabe destacar también que en el 2008 el Estado a través de la Ley de Energías Renovables (Decreto Legislativo N° 1002 de mayo de 2008) promueve el desarrollo de proyectos basados en Recursos Energéticos Renovables (RER) mediante licitaciones ad-hoc, donde los proyectos de generación con este tipo de energías compiten exclusivamente entre ellos y obtienen un precio garantizado por la duración del contrato (entre 20 y 30 años), además las centrales que se instalen al amparo de estos procesos tienen, además, preferencia en el despacho de energía.

OSINERMIN es el ente que fija las tarifas base (máxima) y las primas, por categorías de tecnología de Energía Renovable (ER) y mediante mecanismos de subasta. Las primas son cubiertas por los usuarios como un recargo anual en el peaje por transmisión.

Las tarifas de adjudicación son las que se garantiza a cada adjudicatario por la venta de su producción de energía expresada en ctv US\$/kWh y estas tendrán un plazo de vigencia de entre 20 y 30 años.

A los generadores RER se les paga por la venta de su energía a costo marginal y si esta no cubre la tarifa de adjudicación se le entrega una prima al final del año.

A continuación se muestra los resultados de la Primera Subasta de Energías Renovables:

Tabla 6-1: Primera Convocatoria de Energía Renovables-2010

	Precio base fijado por Osinergmin	Precio promedio ofrecido	Nº de proyectos propuestos	Nº de proyectos Adjudicados
Biomasa (ctv US\$/kWh)	12.00	8.10	2	2
Eólica (ctv US\$/kWh)	11.00	7.92	6	3
Solar (ctv US\$/kWh)	26.90	22.14	6	4
Hidroeléctrica (ctv US\$/kWh)	7.40	5.99	17	17

Fuente: Osinergmin-Marzo 2012

Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Es un mecanismo establecido con la firma del protocolo de Kyoto y basado en este el Perú lleva a cabo acciones para la implementación, promoción y desarrollo de proyectos que califiquen al Mecanismo de Desarrollo Limpio, para promover la reducción de emisiones de los gases causantes del efecto de invernadero, principalmente el CO₂. En el Perú las acciones son realizadas por dos instituciones:

- El consejo Nacional del Ambiente (CONAM) que es el organismo que establece las políticas y es la autoridad nacional designada del MDL. A través del procedimiento ISO P-34 en menos de 45 días, los proponentes del proyecto pueden obtener una declaración de aprobación o desaprobación de la actividad del proyecto MDL propuesto.
- El Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) que es el promotor de proyectos MDL, trabaja directamente con el sector privado y público, brindando asesoría en el desarrollo de los proyectos y apoyando en la obtención de financiamiento con organismos nacionales e internacionales.

6.2 EVALUACIÓN DE COSTOS

Para la construcción de la micro central hidroeléctrica usando energía osmótica se ha realizado estimaciones de costos preliminares, estas estimaciones se han basado en presupuestos de otros proyectos.

Del estudio técnico-económico de fijación tarifaria de mayo del 2013 del COES y los resultados que arroja el modelo Perseo del precio básico de la potencia y la energía para la barra de Lima se tiene lo siguiente:

Precio Básico de la Potencia	US\$ 85.89 / kW-año
Precio de la Energía en Horas Punta	US\$ 29.04 / MWh
Precio de la Energía en Horas Fuera de Punta	US\$ 25.70 / MWh

Considerando 5 horas pico para el cálculo de la energía promedio anual, se tiene 158 695.71 kWh y la capacidad en hora pico garantizada es aproximadamente de 32.8 kW. A continuación se muestra el ingreso anual que se tendría por la potencia y energía:

Tabla 6-2: Ingreso Anual sin considerar RER

	Salida	Precio	Valor (US\$/año)
Ingreso por Potencia	42.88 kW	85.89 US\$/kW-año	3 682.96
Ingreso por Energía HP	59 833.71 kWh/año	29.04 US\$/MWh	1 737.57
Ingreso por energía HFP	98 861.99 kWh/año	25.7 US\$/MWh	2 540.75
		Ingreso Anual	7 961.29

Pero al ser esta micro central hidroeléctrica un proyecto de generación con Recursos Energéticos Renovables estaría gozando de las tarifas que OSINERMIN subasta amparado en el Decreto Legislativo 1002 de mayo de 2008. Se está considerando una tarifa de 25 ctv US\$/kWh con lo cual se tendrá el siguiente ingreso anual:

Tabla 6-3: Ingreso anual considerando RER

	Salida	Precio	Valor (US\$/año)
Ingreso por Potencia	42.88 kW	85.89 US\$/kW-año	3 682.96
Ingreso por Energía	158 695.71 kWh/año	250 US\$/MWh	39 673.93
		Ingreso Anual	43 356.89

Por otro lado para el cálculo del beneficio de MDL al valor de reducción de emisiones de CO₂ se le multiplica por el costo por tonelada reducida. Para la producción de CO₂ en generación eléctrica se está considerando que 1.0 GWh produce 500 ton²⁶ de CO₂ y se considera una cotización de US\$ 4.0/ton CO₂ que se deja de emitir con la tecnología del proyecto declarado como MDL.

Estimación de Costos de la planta

Rubro	Descripción de Componente	Costo Estimado
Obra Civil	Preliminar y General	14 800
	Bocatoma	34 597
	Desarenador	1 491
	Canal de Conducción	11 668
	Estanque de almacenamiento diario	1 100
Equipo Electromecánico	Casa de Maquinas	38 200
	Módulos de Membrana Semipermeable	60 000
	Turbina -Generador-Trafo	37 010
	Subtotal	198 866
	Contingencia 15%	29 829.9
	Ingeniería y Administración 6%	11 931.96
	Trafo	25 000
	Costo sin LT	265 627.86
	Costo de LT 3%	5 965.98
	Costo total	271 593.84

²⁶ M. BILEK & C. HARDY, “Life-cycle energy balance and greenhouse gas emissions o nuclear energy”, Energy Conversion & Management 49: 2178-2199

Estimación de Costos Fijos y Variables de Operación de la Planta

Para la estimación de los costos fijos y variables anuales de la operación de la planta se ha tomado en cuenta el valor recomendado en la Guía para la Elaboración de Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en el Perú de NOSAKI, así se tiene que por cada kWh de energía consumida se debe considerar 0.05 US\$.

Para el caso de nuestra planta se tiene un consumo anual de : 158 695.71 kWh/año

Se tiene: Costos de operación = $158\ 695.71 \times 0.05 = 7\ 934.79$ US\$

6.3 INDICADORES ECONÓMICOS DEL PROYECTO

Los indicadores económicos del proyecto los calcularemos a una tasa de 12% y un tiempo estimado de vida de 30 años para la micro central hidroeléctrica. Así mismo durante su operación y mantenimiento se está estimando un valor de US\$ 50/MWh.

En la siguiente tabla se muestra la inversión del proyecto; esta inversión se ha obtenido de estimar los costos de implementar los diferentes componentes de la microcentral como la bocatoma, canal de conducción, desarenador, casa de máquinas, descarga, transformador, pequeña línea de transmisión, etc.

Tabla 6-4: Inversión del Proyecto

Inversión Inicial del Proyecto	US\$	271 593.84
Reducción por MDL	US\$	466.57
Inversión Total del Proyecto	US\$	271 127.27

La siguiente tabla muestra el flujo operativo de la micro central.

Tabla 6-5: Flujo Operativo

Costos fijos y variables anuales	US\$	7 934.79
Ingresos por Potencia y Energía	US\$	43 356.89
Ingreso Total Anual	US\$	35 422.10

Estos valores se han tabulado para el número de períodos que operará la planta, con lo cual se ha calculado los indicadores del proyecto tal como se puede ver a continuación:

Tabla 6-6: Tabulación de fondos y valor actual

Período	Flujo de fondos	Valor Actual	Período	Flujo de fondos	Valor Actual
0	\$ -271 127.27	\$ -271 127.27	16	\$ 35 422.10	\$ 5 778.11
1	\$ 35 422.10	\$ 31 626.88	17	\$ 35 422.10	\$ 5 159.03
2	\$ 35 422.10	\$ 28 238.28	18	\$ 35 422.10	\$ 4 606.28
3	\$ 35 422.10	\$ 25 212.75	19	\$ 35 422.10	\$ 4 112.75
4	\$ 35 422.10	\$ 22 511.39	20	\$ 35 422.10	\$ 3 672.09
5	\$ 35 422.10	\$ 20 099.45	21	\$ 35 422.10	\$ 3 278.66
6	\$ 35 422.10	\$ 17 945.94	22	\$ 35 422.10	\$ 2 927.37
7	\$ 35 422.10	\$ 16 023.16	23	\$ 35 422.10	\$ 2 613.72
8	\$ 35 422.10	\$ 14 306.39	24	\$ 35 422.10	\$ 2 333.68
9	\$ 35 422.10	\$ 12 773.57	25	\$ 35 422.10	\$ 2 083.65
10	\$ 35 422.10	\$ 11 404.97	26	\$ 35 422.10	\$ 1 860.40
11	\$ 35 422.10	\$ 10 183.01	27	\$ 35 422.10	\$ 1 661.07
12	\$ 35 422.10	\$ 9 091.97	28	\$ 35 422.10	\$ 1 483.10
13	\$ 35 422.10	\$ 8 117.83	29	\$ 35 422.10	\$ 1 324.19
14	\$ 35 422.10	\$ 7 248.06	30	\$ 35 422.10	\$ 1 182.32
15	\$ 35 422.10	\$ 6 471.49			

Tabla 6-7: Indicadores Económicos

Tasa Interna de Retorno	TIR	13%
Valor Actual Neto en US\$	VAN	14 204.29

CONCLUSIONES

1. Para el caudal de $Q = 0.037 \text{ m}^3/\text{s}$ y una altura de $H = 139 \text{ m}$ se logra una potencia $Pot. = \gamma Q H \eta = 9.81 \times 0.037 \times 139 = 50.045 \text{ kW}$ y quitando las pérdidas de 8.0 kW generadas durante el proceso se obtiene la potencia efectiva de $Pot.\text{efectiva} = 50.045 - 8.0 = 42 \text{ kW}$ con una eficiencia: $Pot.\text{efectiva}/Pot.\text{disponible} = 42/50.045 = 84\%$
2. El potencial energético en la desembocadura del río Rímac de 1372 kPa del proceso de Ósmosis Retardada a Presión influye notablemente en la construcción de una MCH
3. Existe una influencia significativa de la evaluación técnica-económica en la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW en la desembocadura del río Rímac.
4. La Tasa Interna de Retorno de 13% indica que es viable la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW en la desembocadura del río Rímac.
5. El Valor Actual Neto de $14\,204.29 \text{ US\$}$ indica que la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida y por lo tanto es viable la construcción de una Micro Central Hidroeléctrica de 42 kW en la desembocadura del río Rímac²⁷.

²⁷ Para cumplir este requisito actualmente, es necesario que el estado reconozca este tipo de energía renovable como un Recurso Energético Renovable (RER) y se implante dentro de la normativa existente (Decreto Legislativo N°1002) y se fije un precio de alrededor de los $25 \text{ ctv. US\$/kWh}$.

6. La generación eléctrica usando energía osmótica es una alternativa con bajo impacto ecológico y viable y debe ser integrada al parque generador peruano.
7. La generación de electricidad usando energía osmótica a través del proceso de Ósmosis Retardada por Presión (PRO) aporta en la desconcentración de la zona centro del país, descongestionando las líneas de transmisión ya que es factible instalar plantas en los ríos que desembocan en el mar tanto en la zona norte y en la zona sur del país.
8. Mediante la simulación con ANSYS 14.5 se optimiza el resultado de la potencia sin necesidad de construir físicamente un prototipo de la turbina para ponerla a prueba.
9. Las plantas hidroeléctricas que usan energía osmótica, requieren de líneas de transmisión de cortas distancias ya que es posible construirlas muy próximas a las zonas de consumo (ciudades, puertos, fábricas costeras, etc.)
10. La energía osmótica es una alternativa para la generación de electricidad que deberá tenerse en cuenta en los próximos años donde el desarrollo tecnológico permitirá el uso de membranas semipermeables mucho más eficientes a la actualidad.
11. En el mediano plazo este tipo de energía bajo las condiciones actuales del proceso PRO mostradas en este trabajo, los principales ríos de la cuenca del pacífico podrían aportar al sistema con 350 MW.

RECOMENDACIONES

1. En el sector norte del país se recomienda tener especial cuidado en la ubicación de las posibles plantas de generación con energía osmótica, en la desembocadura de los ríos ya que éstos periódicamente son afectados por el fenómeno del Niño.
2. Se recomienda a los representantes del Ministerio de Energía y Minas revisar y estudiar a la energía osmótica para ser incluida como un Recurso Energético Renovable (RER) dentro de la legislación correspondiente y pueda asignársele en un futuro cercano una tarifa para promocionar su uso en el parque generador peruano.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACHILLI A., CATH Y. & CHILDRESS A.**, “Power generation with pressure retarded osmosis”, *Journal of Membrane Science* 343(2009) 42-52
www.elsevier.com/locate/memsci
2. **COMITÉ DE OPERACIONES ECONÓMICAS DEL SISTEMA - COES**, “Procedimiento Técnico N° 07 – Cálculo de los Costos Marginales de Energía de Corto Plazo”, Lima 2001.
3. **ENGEL T.**, “Introducción a la Fisicoquímica: Termodinámica”, Pearson Educación, 2007.
4. **ETTOUNEY HISHAM M.**, “Fundamentals of Salt Water Desalination”, Kuwait University, 2002.
5. **GOBIERNO PERUANO**, “Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables”, Decreto Legislativo N° 1002, Lima, 2008.
6. **GROOR S. & MANZUR P.**, “Non-equilibrium thermodynamics”, Dover publicatios, 1962.
7. **GUILLESPIE R.J. & BELTRAN A.**, “Química”, Editorial Reverté, 1990.
8. **JAN P., JOOST V. & HAMELERS**, “Evaluation of Pressure Retarded Osmosis and Reverse Electrodialysis”, *Journal of Membrane Science*, 288(2007) 218-230, <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2006.11.018>
9. **LINSLEY RAY & FRANZINI J.**, “Ingeniería de los Recursos Hidráulicos”, México 1988.

10. **MEDINA J. A.**, “Desalación de aguas salobres y de mar, Ósmosis Inversa”, España 2000.
11. **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS - MINEM**, “Balance Oferta – Demanda 2012 – 2016”, Lima 2012.
12. **MORENO GUTIERREZ SANTOS**, “Cálculo de una Turbina Pelton”, Tesis (M3-TP 0052), 1967
13. **NOSAKI TSUGUO**, “Guía para la elaboración de proyectos centrales hidroeléctricas destinados a la electrificación rural”, Tokio 1985.
14. **OGOSAWARA JIROSI SHOJI**, “Turbina Pelton”, Tesis, (M3-TP 0055), 1953.
15. **ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA - OSINERGMIN**, “Reporte Estadístico – Operación del Sector Eléctrico”, Lima, 2013.
16. **ORTIZ FLÓREZ RAMIRO**, “Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”, Editorial Nomos S.A., Colombia 2001.
17. **POLO ENCINAS MANUEL**, “Turbomáquinas Hidráulicas”, México 1983.
18. **QUINO QUIJANDRÍA GERMAN**, “Proyecto de Prefactibilidad de una Central Hidroeléctrica de 200 MW”, Tesis, (M4-TP 3039),2009.
19. **SEDAPAL**, “La Atarjea – Revista Institucional”, Año 1 N°1, Mayo 2011.
20. **SHE Q., HOU D. & LIU J.**, “Effect of feed spacer induced membrane deformation on the performance of pressure retarded osmosis (PRO):

Implications for PRO process operation”, Journal of Membrane Science, 445(2013) 170-182, <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2013.05.061>

21. **SIERRA F. & GERRERO C.**, “Pequeñas y Microcentrales Hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica”, Colombia, Diciembre 2011.
22. **SOCIEDAD INTEGRADA DE CONSULTORÍA - SIDEC**, “Estudio Técnico Económico Fijación Tarifaria Mayo 2013”, Lima, 2012.
23. **TECNOLOGÍA PIRINEOS**,
<http://tecnologiapirineos.blogspot.com/2013/04/energias-renovables-iv-energia-azul.html>
24. **VERA TUDELA RAFAEL, PAREDES CARLOS E. & DEFILIPPI ENZO**, “Mercado Eléctrico en el Perú”, Instituto del Perú, Lima 2013.
25. **VILLANUEVA REYNALDO & ALATA JOSUE**, “Análisis y Propuesta de una Metodología para la Determinación del Caudal Ecológico en Centrales Hidroeléctricas del Perú, Aplicación a un Caso Típico”, Tesis de Postgrado – UNI, Lima 2011.
26. **WISTON & KAMLESH**, “Membrane Handbook”, Kluwer Academic Publisher, US, 2001.
27. **YOU Y. & HUANG S.**, “Semipermeable Membrane Mass Transfer in Pressure Retarded Osmosis Process”, Huazhong University of Science & Technology Wuhan, China 2012.
28. **ZOPPETTI JÚDEZ GAUDENCIO**, “Centrales Hidroeléctricas”, Editorial Gustavo Gili S.A., España, 1965.

ANEXO A: CURVAS Y GRÁFICOS PARA SELECCIÓN DE TURBINA Y PARÁMETROS DE ESTA.

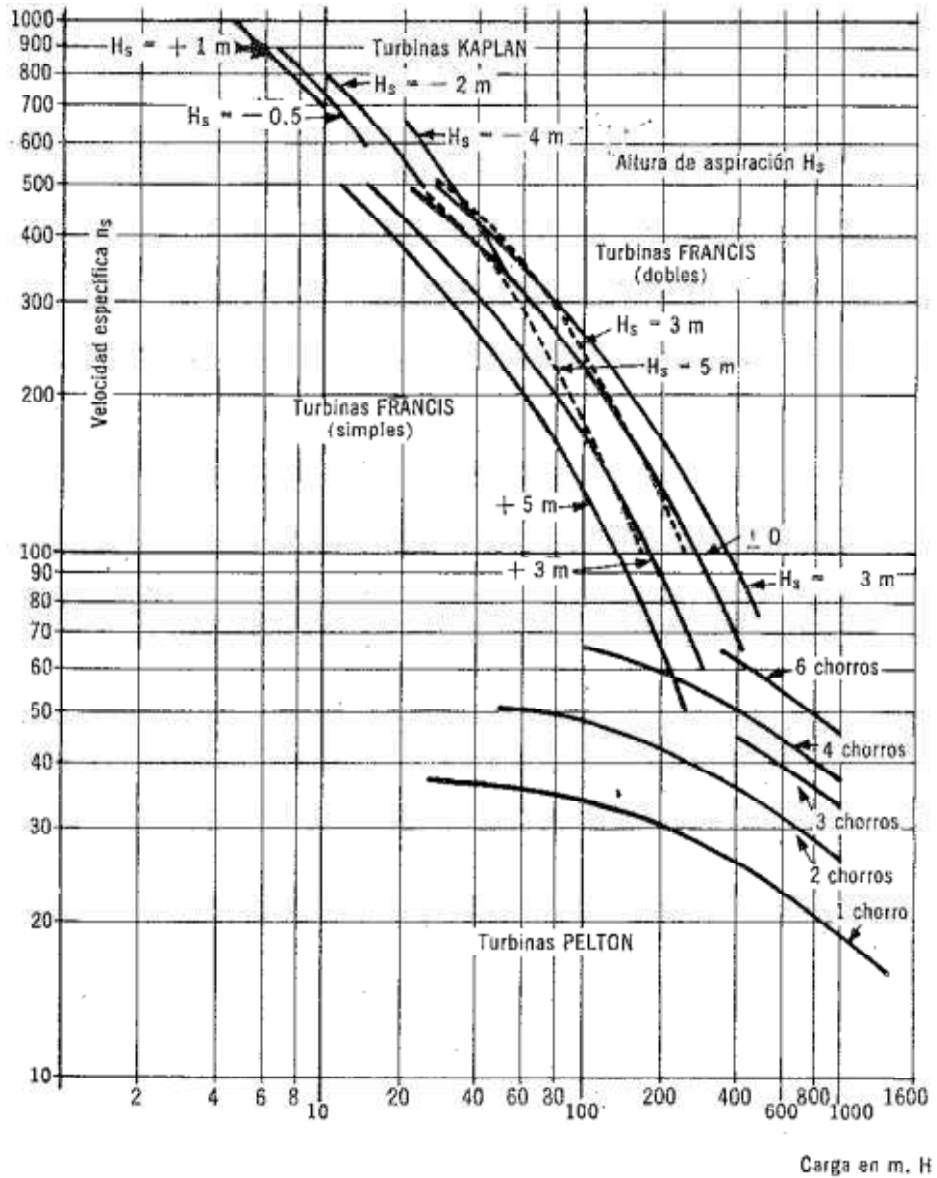


Fig. 4.29 Límites de la velocidad específica (métrica) en función de la carga en m, para turbinas Francis, Kaplan y Pelton.
(Según Th. Bell. Kriens-Lucerna, Suiza)

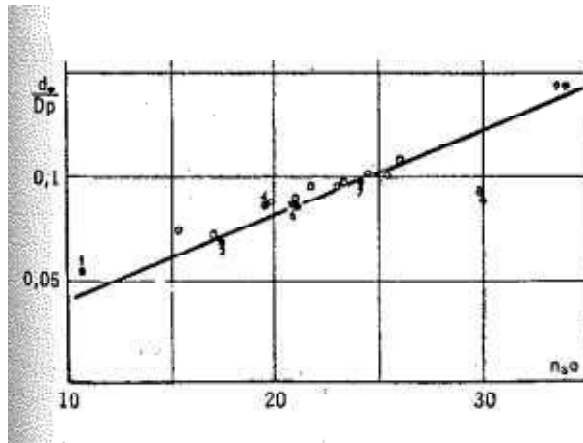
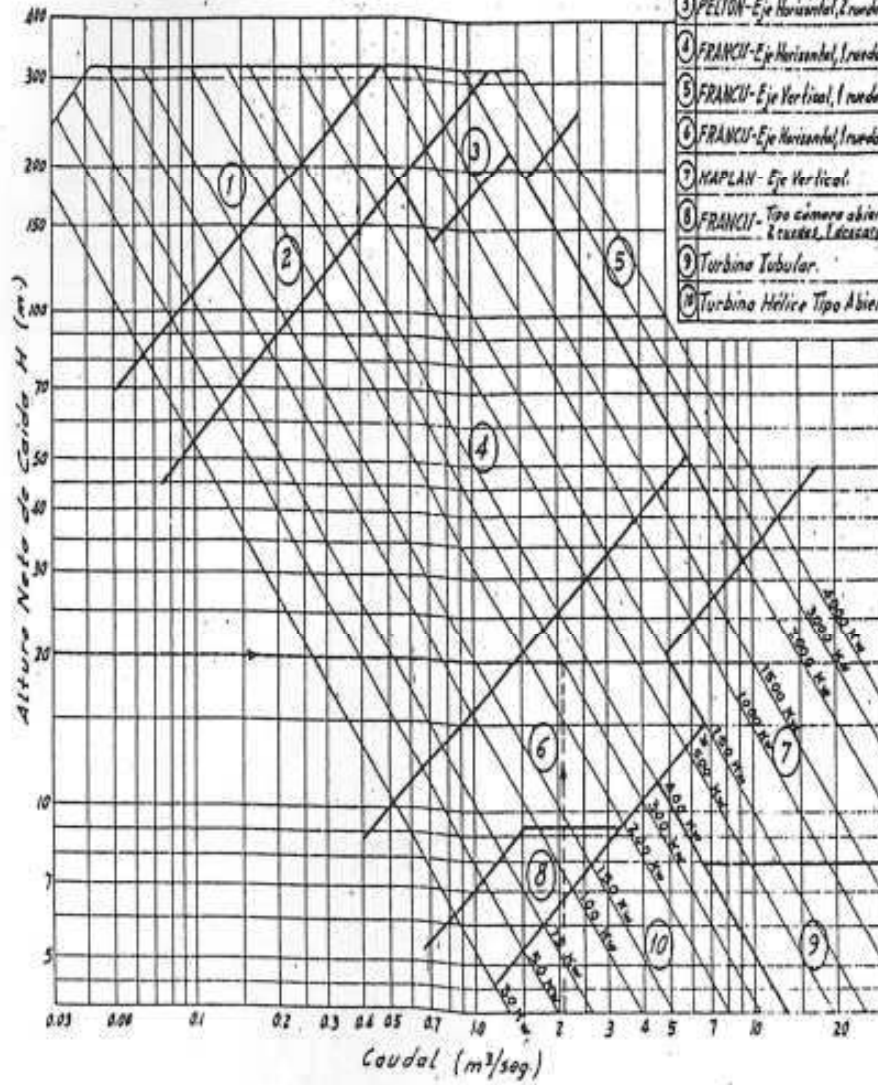


Fig. 6.4 Relación del diámetro del chorro al diámetro de la rueda en una turbina Pelton, en función de la velocidad específica por chorro.
(L. Vivier)

Tabla N° 20

ALCANCE Y APLICACION DEL TIPO DE TURBINA



1	PELTON-Eje Horizontal, 1 rueda, 1 inyector.
2	PELTON-Eje Horizontal, 1 rueda, 2 inyector.
3	PELTON-Eje Horizontal, 2 ruedas, 2 inyector.
4	FRANCIU-Eje Horizontal, 1 rueda, 1 descarga.
5	FRANCIU-Eje Vertical, 1 rueda, 1 descarga.
6	FRANCIU-Eje Horizontal, 1 rueda, doble descarga.
7	KAPLAN-Eje Vertical.
8	FRANCIU-Tipo cámara abierta, Eje Horizontal, 2 ruedas, 1 descarga.
9	Turbina Tubular.
10	Turbina Hélice Tipo Abierta.

GRAFICO DE LA EFICIENCIA DE GENERADORES DE INDUCCION
(a plena carga-100%)

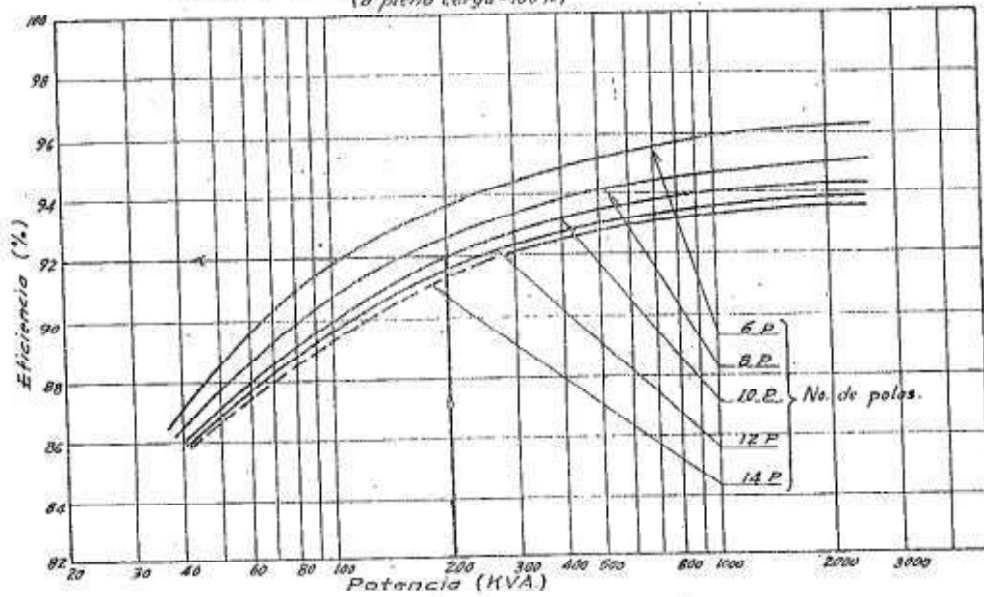


GRAFICO DE LA EFICIENCIA DE GENERADORES DE INDUCCION
(a carga parcial)

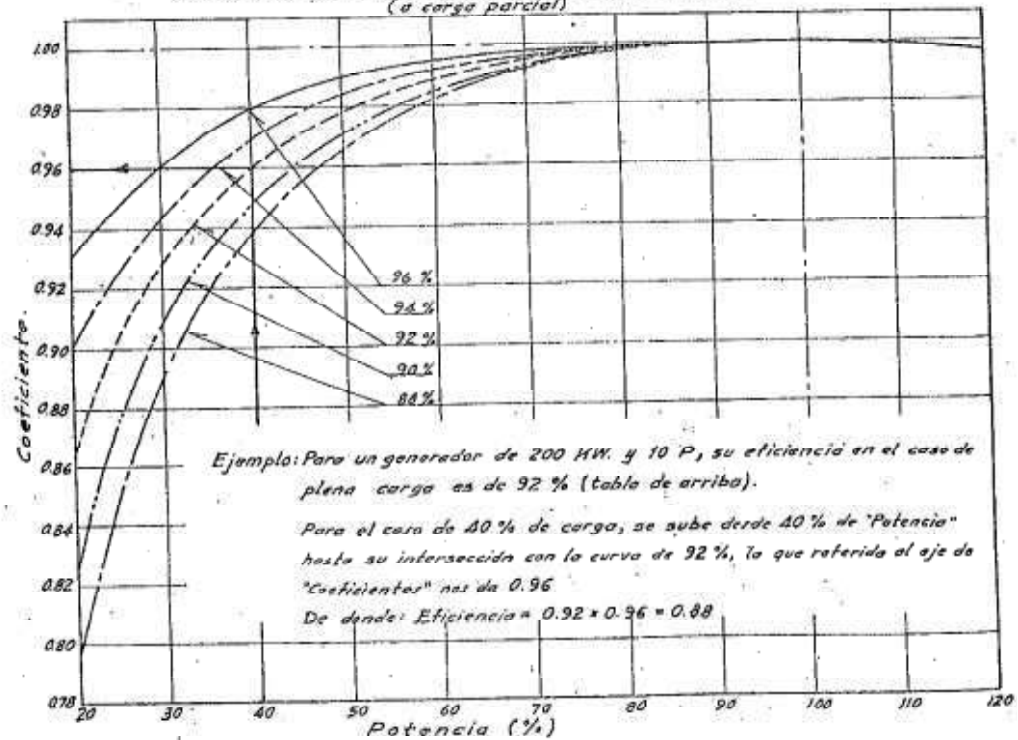
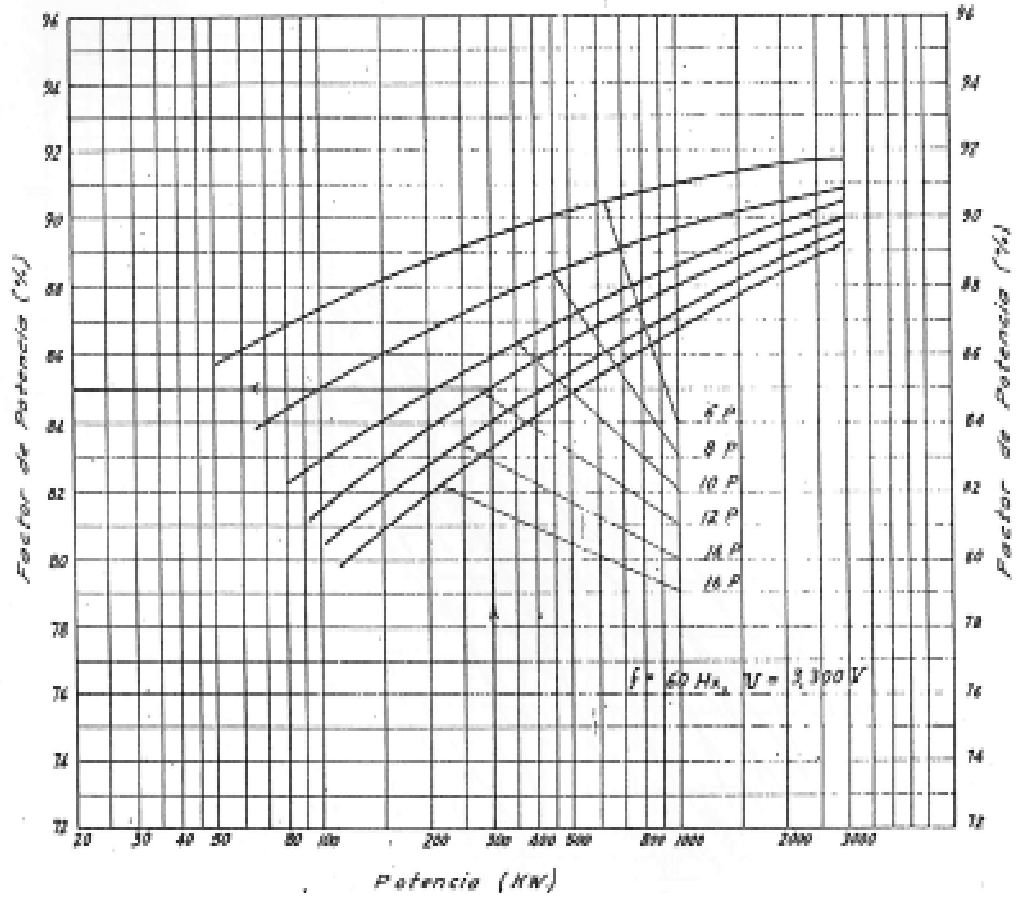
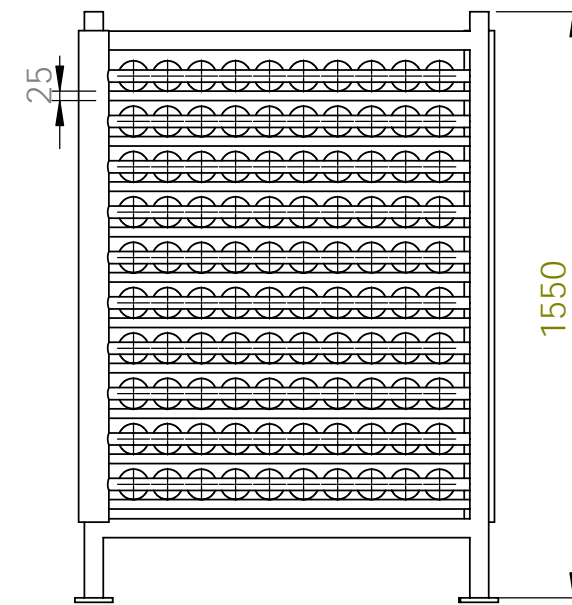
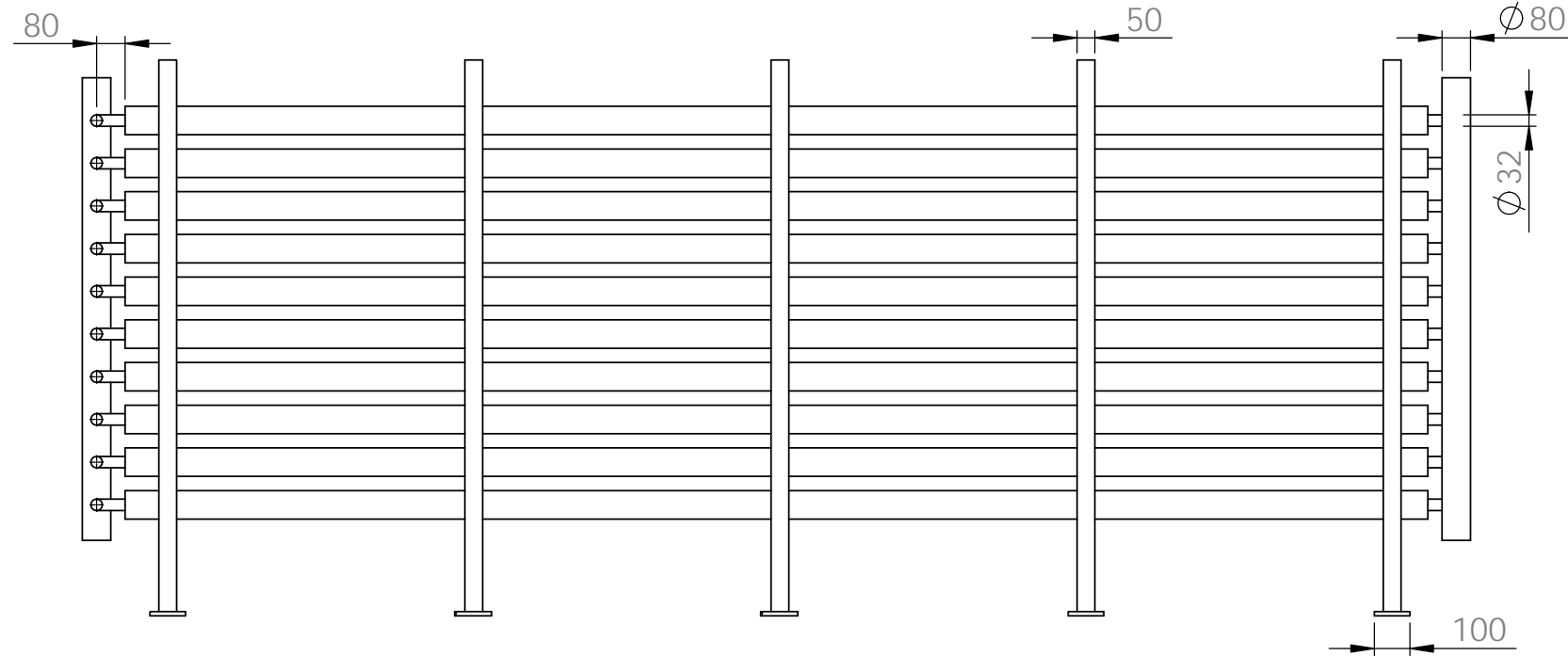
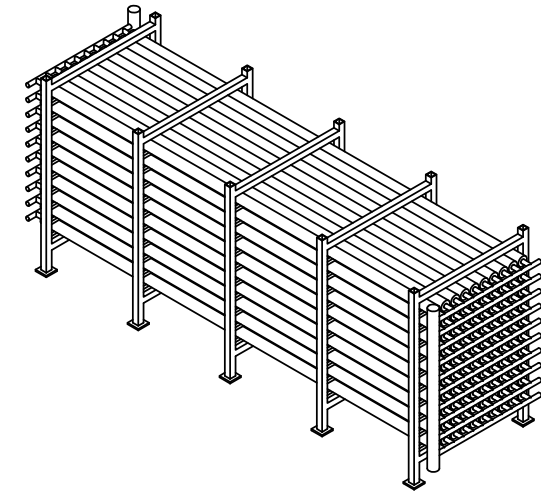
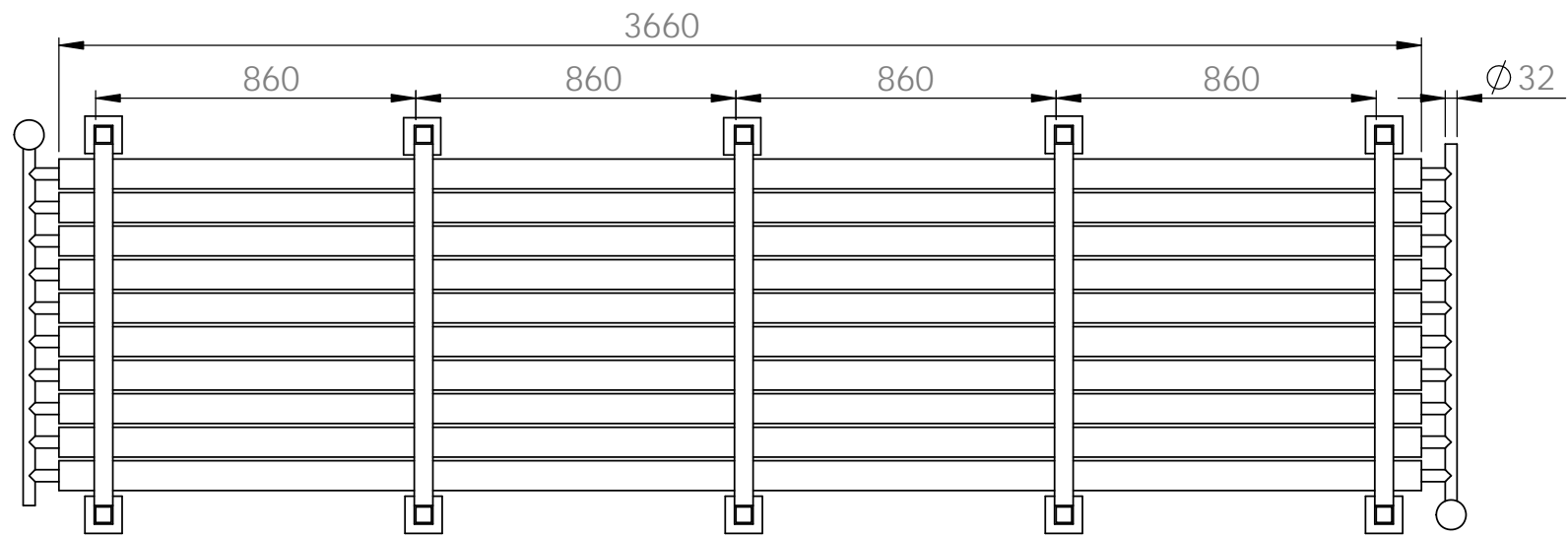


Tabla Nº 26

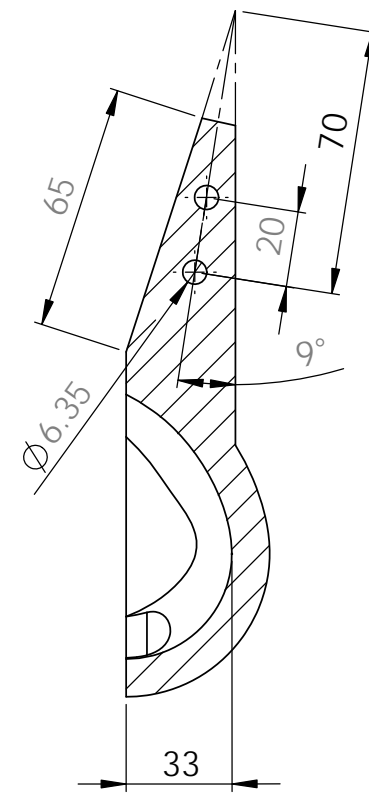
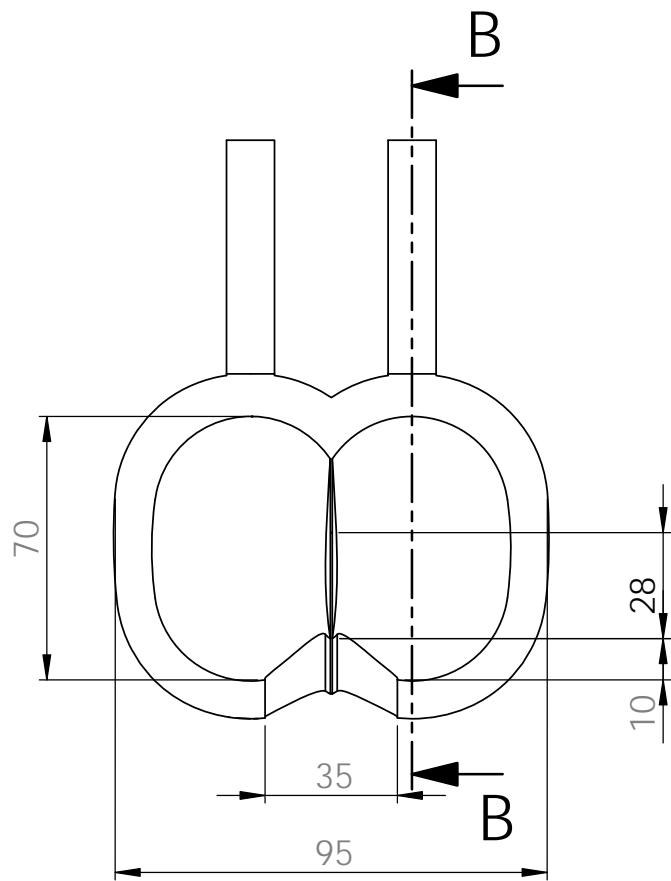
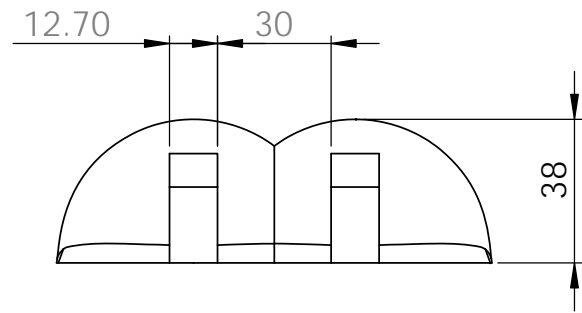
GRAFICO DE FACTOR DE POTENCIA INDUCTIVO
(100 % de carga.)



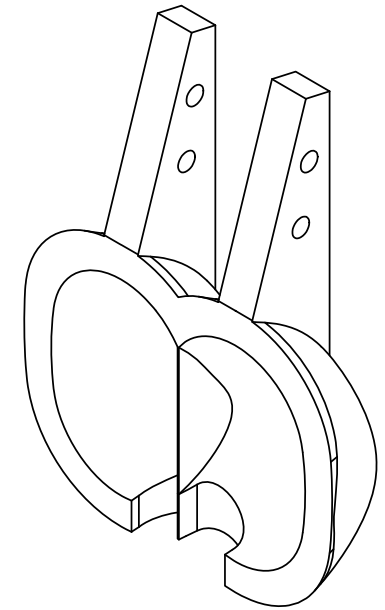
ANEXO B: PLANOS



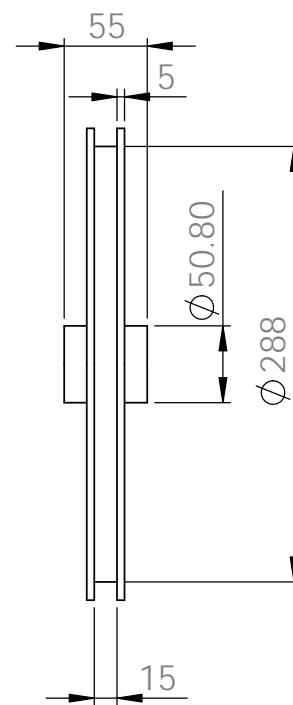
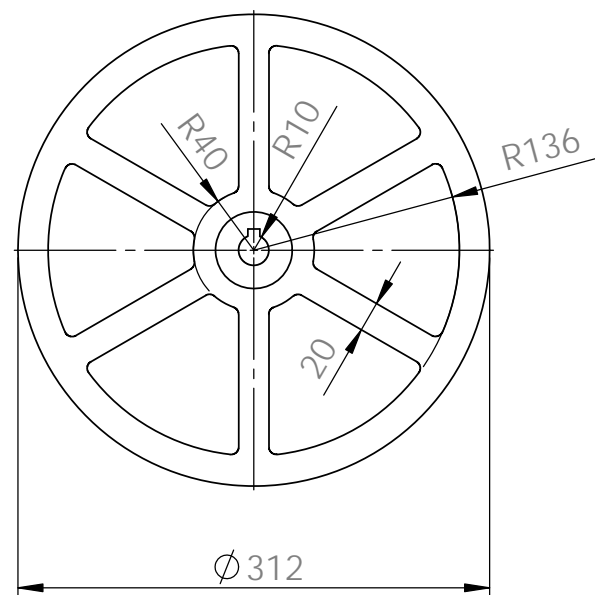
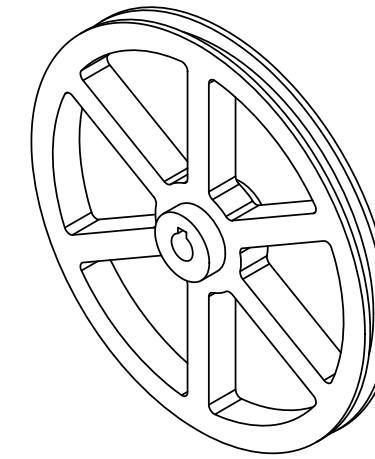
ITEM	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO:
DIBUJ.	W. Cruzado		28-Oct-2013	Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica
VERIF.	W. Cruzado		28-Oct-2013	
APROB.	J. Espinoza		04-Nov-2013	
				N.º DE DIBUJO
				Modulo de Membranas
				Rev.0
				UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
				PESO:
				ESCALA: 1:50
				HOJA 1 DE 1



SECCIÓN B-B

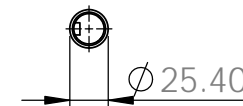
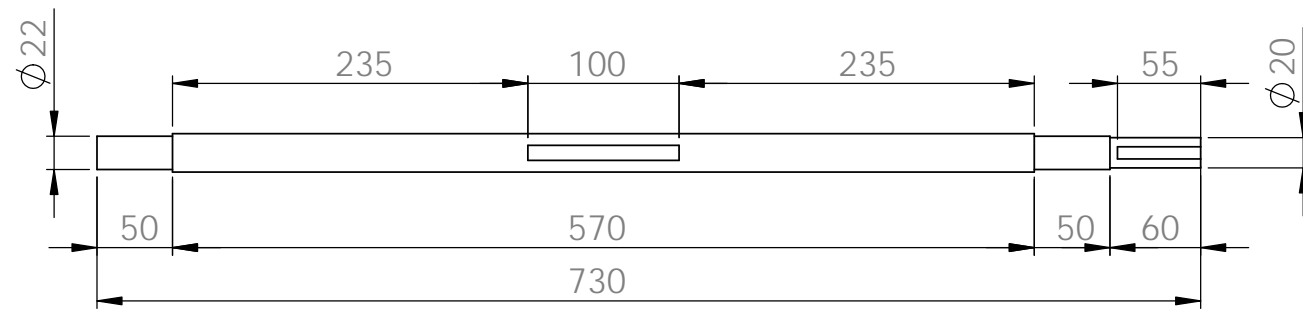
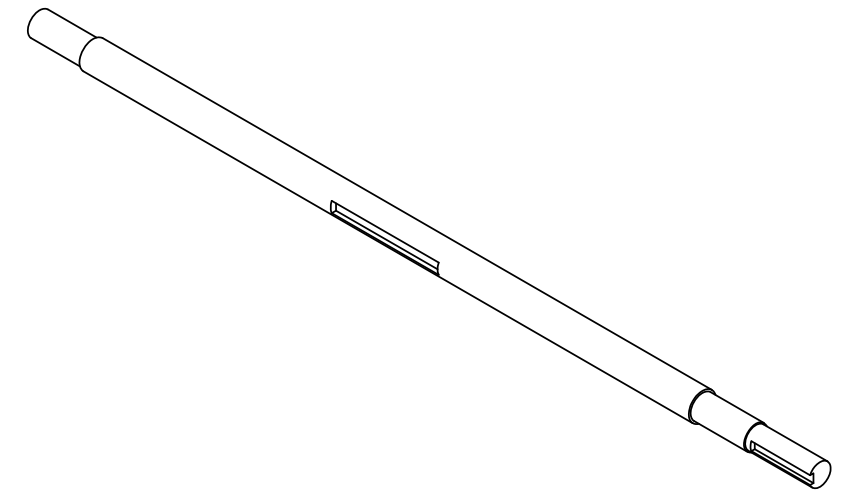


ITEM	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO:		
DIBUJ.	W. Cruzado		28-Oct-2013	Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica		
VERIF.	W. Cruzado		28-Oct-2013			
APROB.	J. Espinoza		04-Nov-2013			
				Universidad Nacional de Ingeniería	N.º DE DIBUJO	REV.0
				PESO:	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1
				Cuchara		

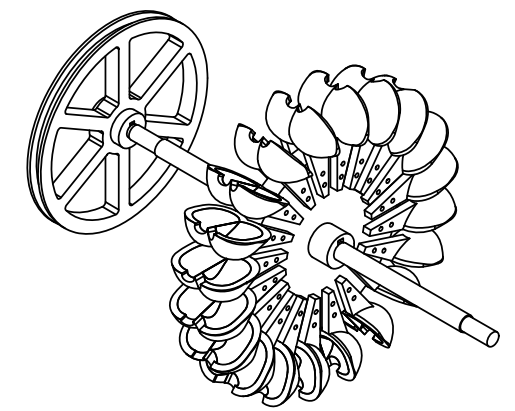
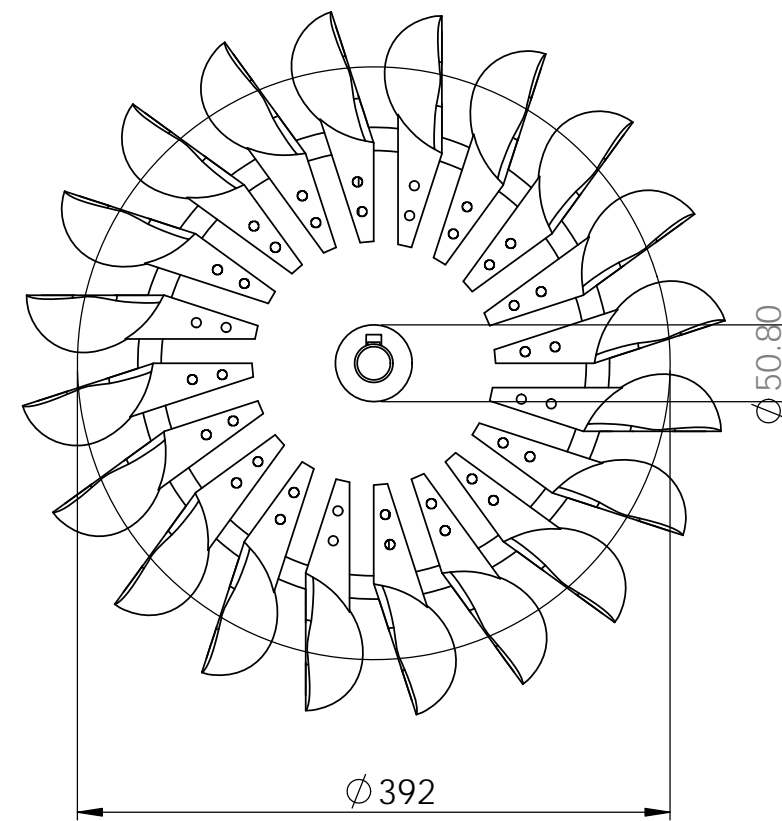
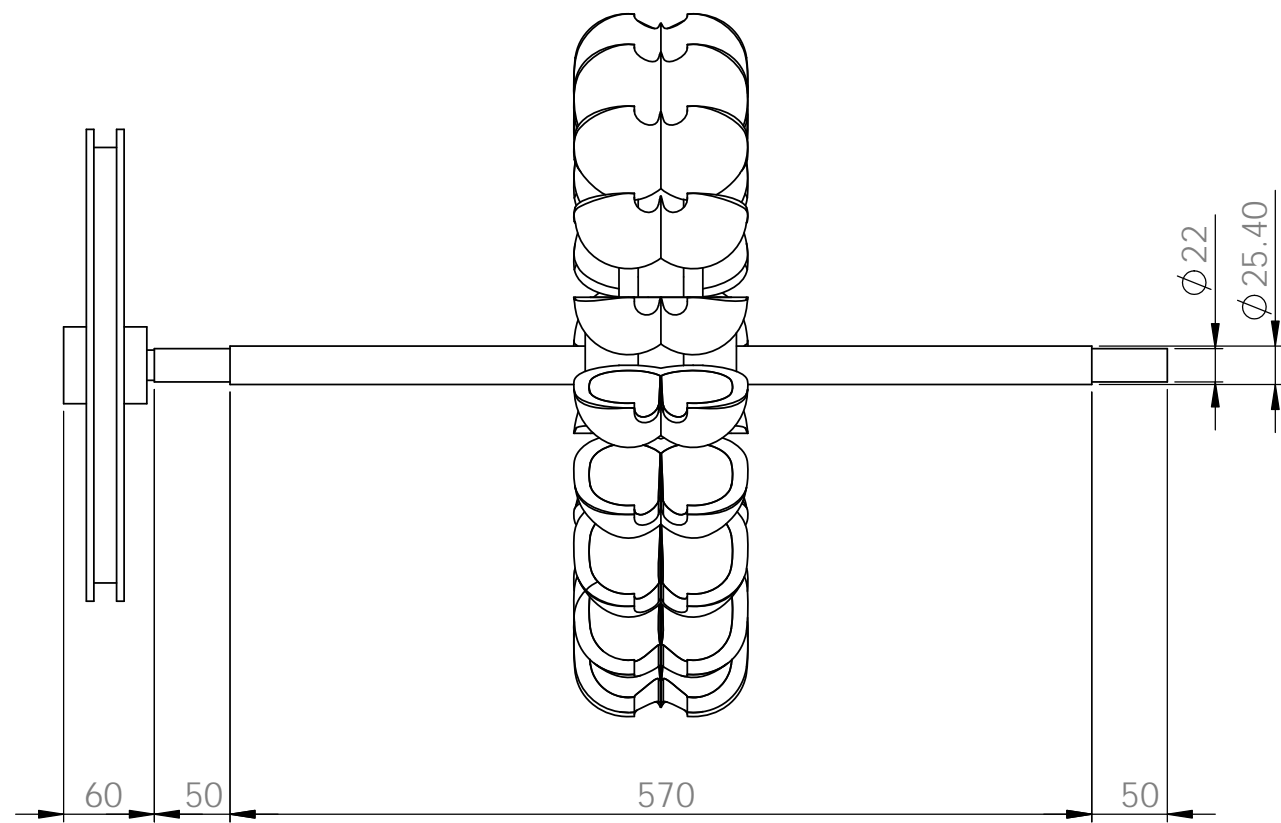


ITEM	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO:		
DIBUJ.	W. Cruzado		28-Oct-2013	Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica		
VERIF.	W. Cruzado		28-Oct-2013			
APROB.	J. Espinoza		04-Nov-2013			
				Universidad Nacional de Ingeniería	N.º DE DIBUJO	REV.0
				PESO:	ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1

Polea

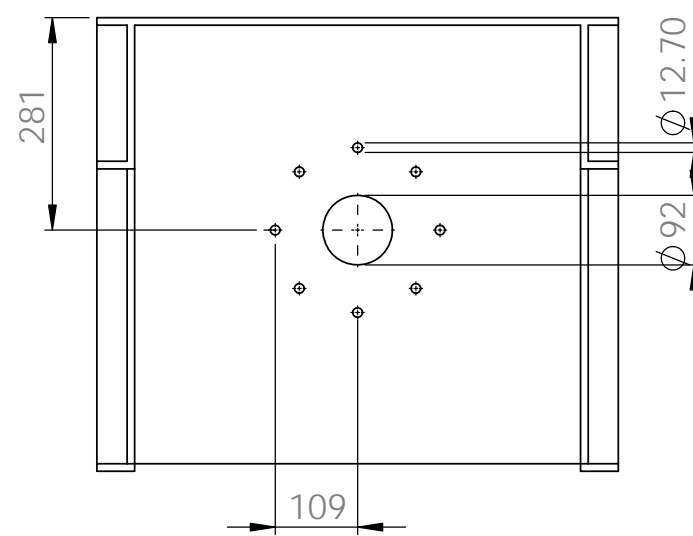
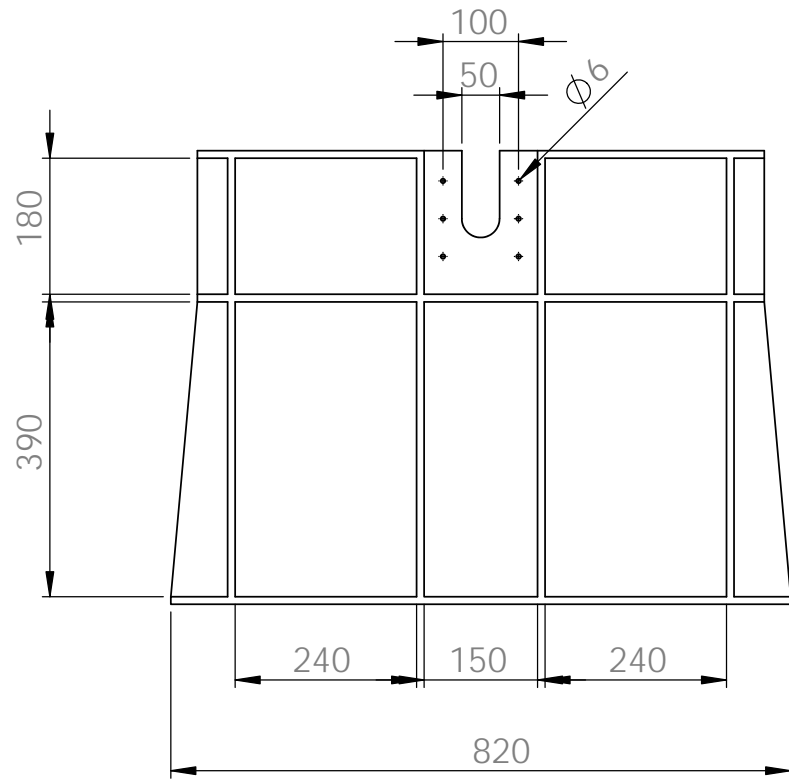
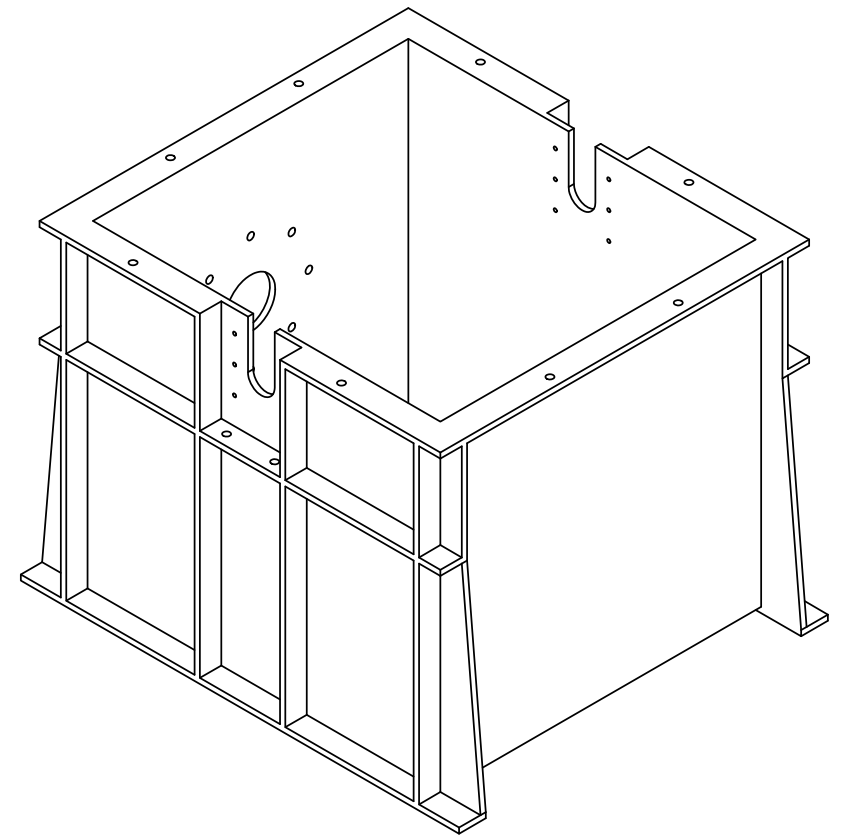
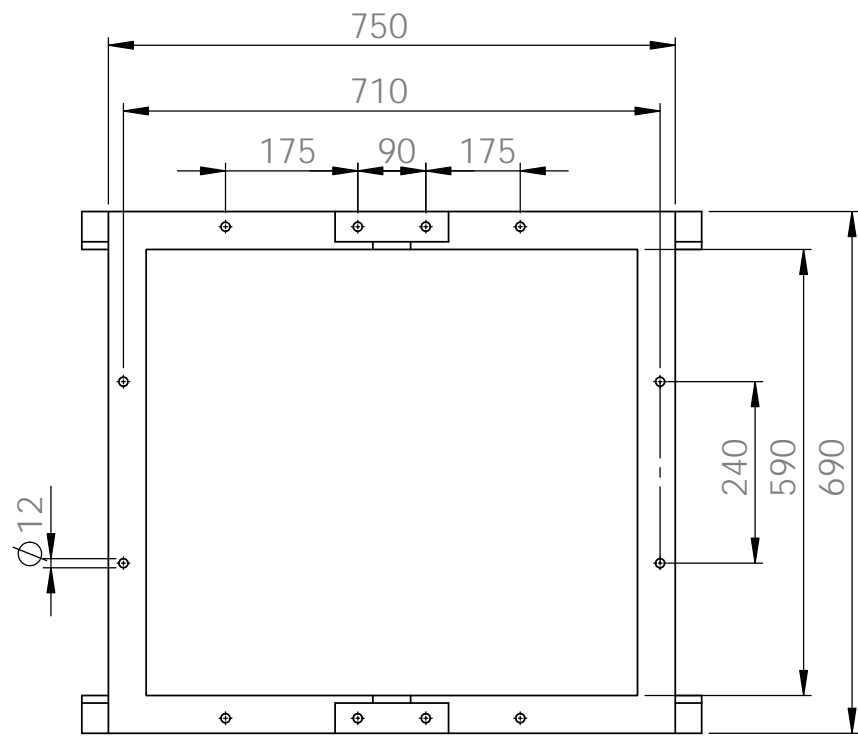


ITEM	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO:	
DIBUJ.	W. Cruzado		28-Oct-2013	Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica	
VERIF.	W. Cruzado		28-Oct-2013		
APROB.	J. Espinoza		04-Nov.2013		
				Universidad Nacional de Ingeniería	N.º DE DIBUJO
					Eje
				PESO:	REV.0
				ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1

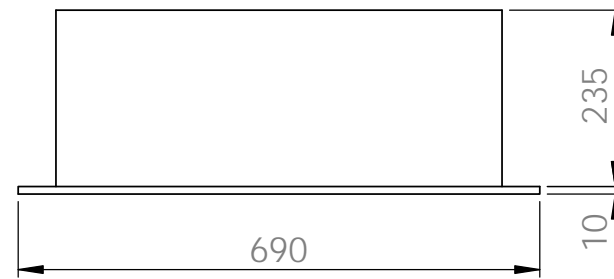
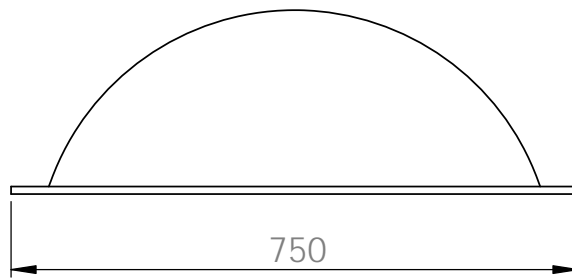
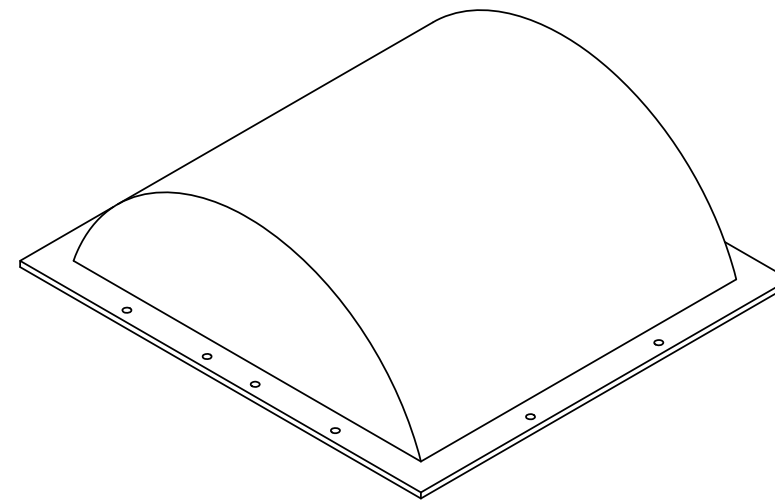
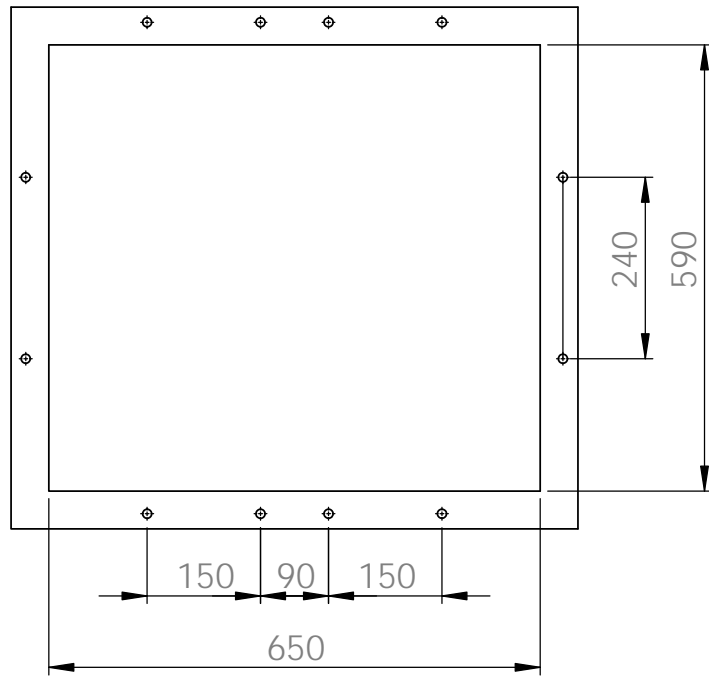


ITEM	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO:	
DIBUJ.	W. Cruzado		28-10-2013	Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica	
VERIF.	W. Cruzado		28-10-2013		
APROB.	J. Espinoza		28-10-2013		
				Universidad Nacional de Ingeniería	N.º DE DIBUJO
				PESO:	ESCALA: 1:10
				HOJA 1 DE 1	

Rueda Pelton y Polea REV.0



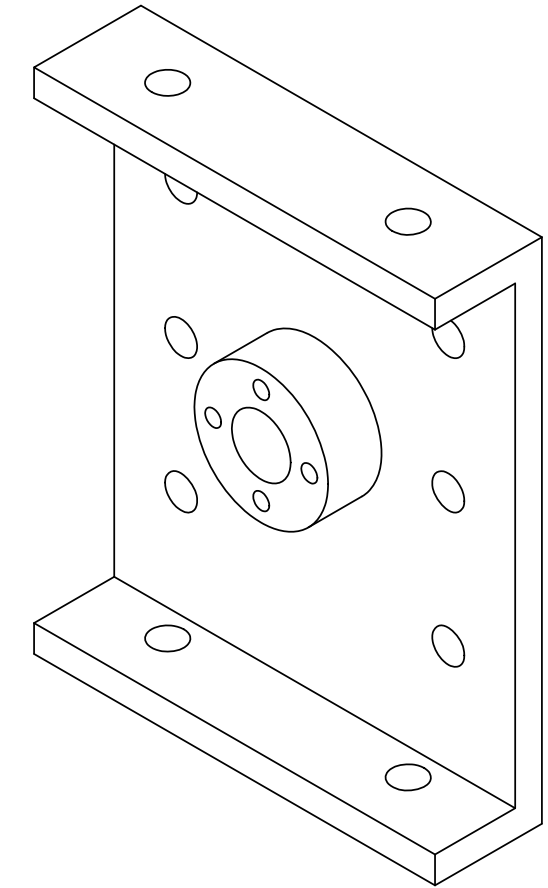
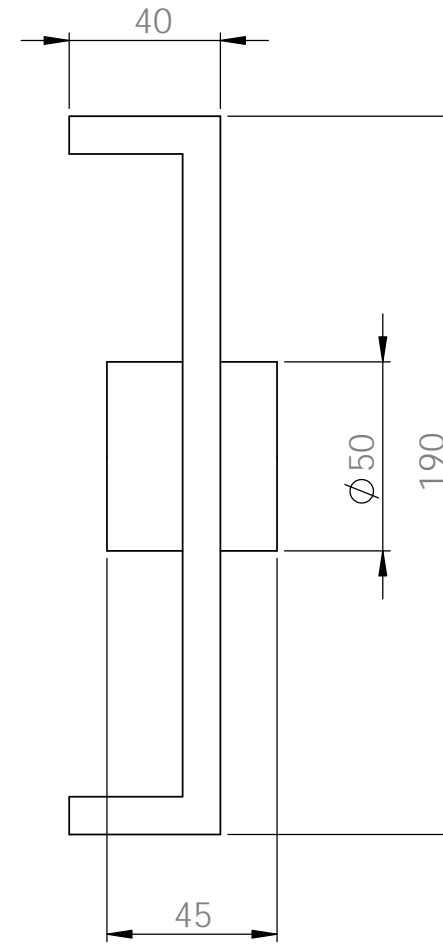
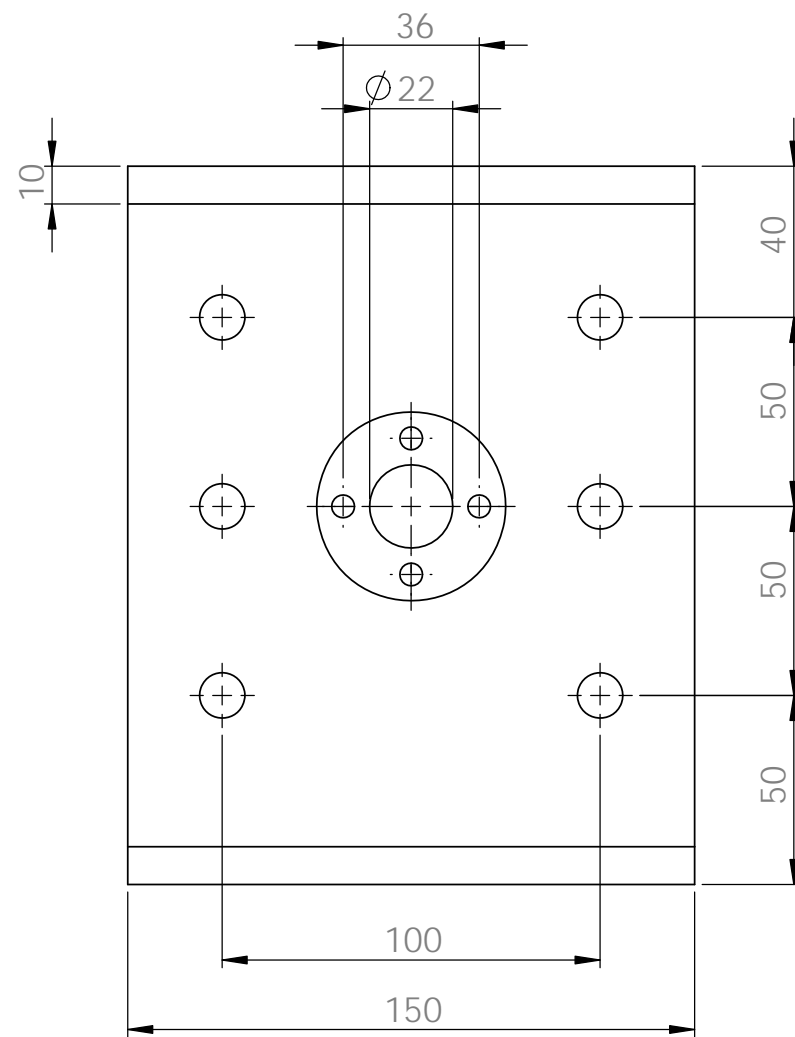
ITEM	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO:		
DIBUJ.	W. Cruzado		28-Oct-2013	Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica		
VERIF.	W. Cruzado		28-Oct-2013			
APROB.	J. Espinoza		04-Nov-2013			
				Universidad Nacional de Ingeniería	N.º DE DIBUJO	REV.0
				PESO:	ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1
				<h1>Carcasa</h1>		



	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TITULO:
DIBUJ.	W. Cruzado		28-Oct-2013			Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica
VERIF.	W. Cruzado		28-Oct-2013			
APROB.	J. Espinoza		04-Nov-2013			
						N.º DE DIBUJO
						Tapa de carcasa
						REV.0
						ESCALA: 1:10
						HOJA 1 DE 1

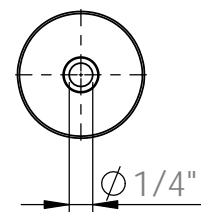
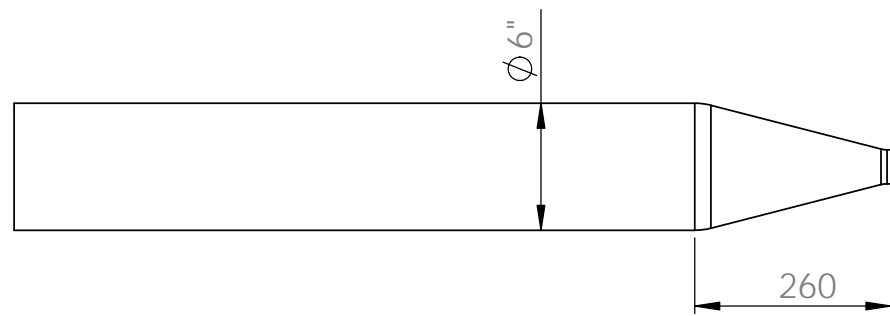
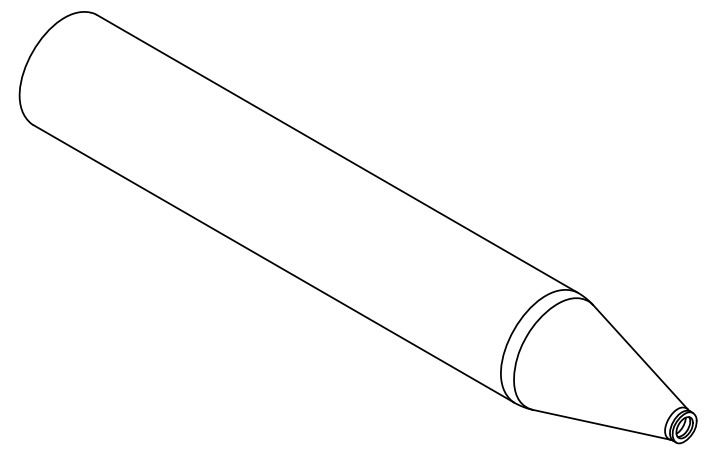
Universidad Nacional
de Ingeniería

PESO:



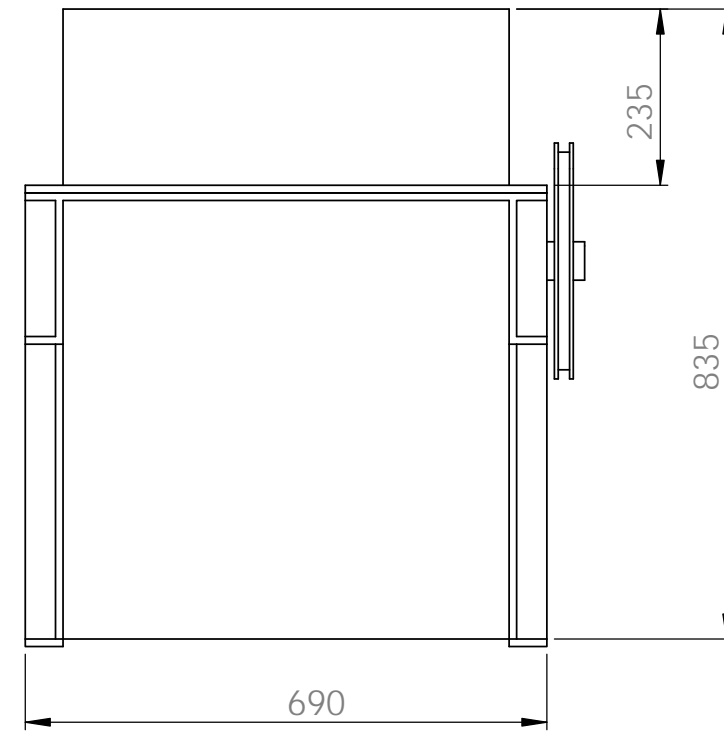
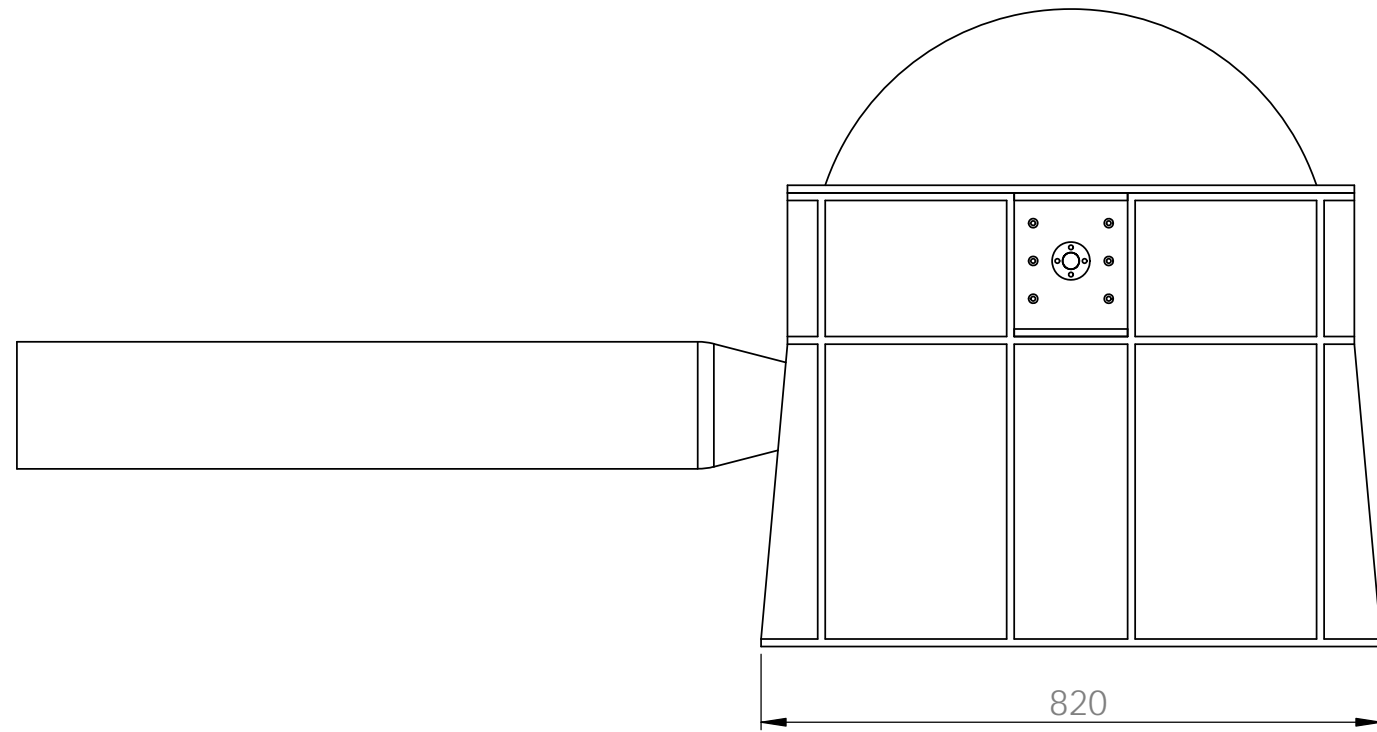
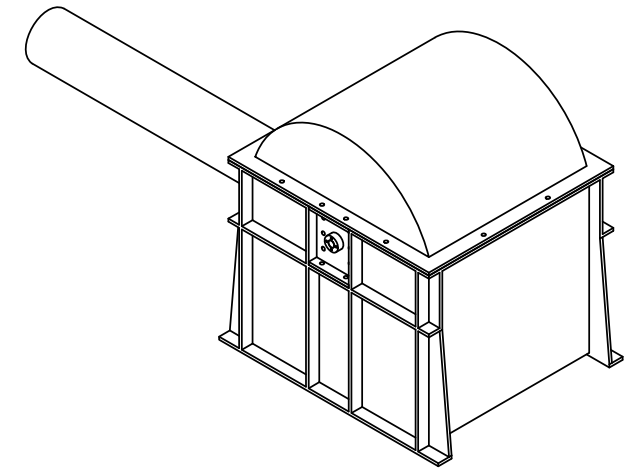
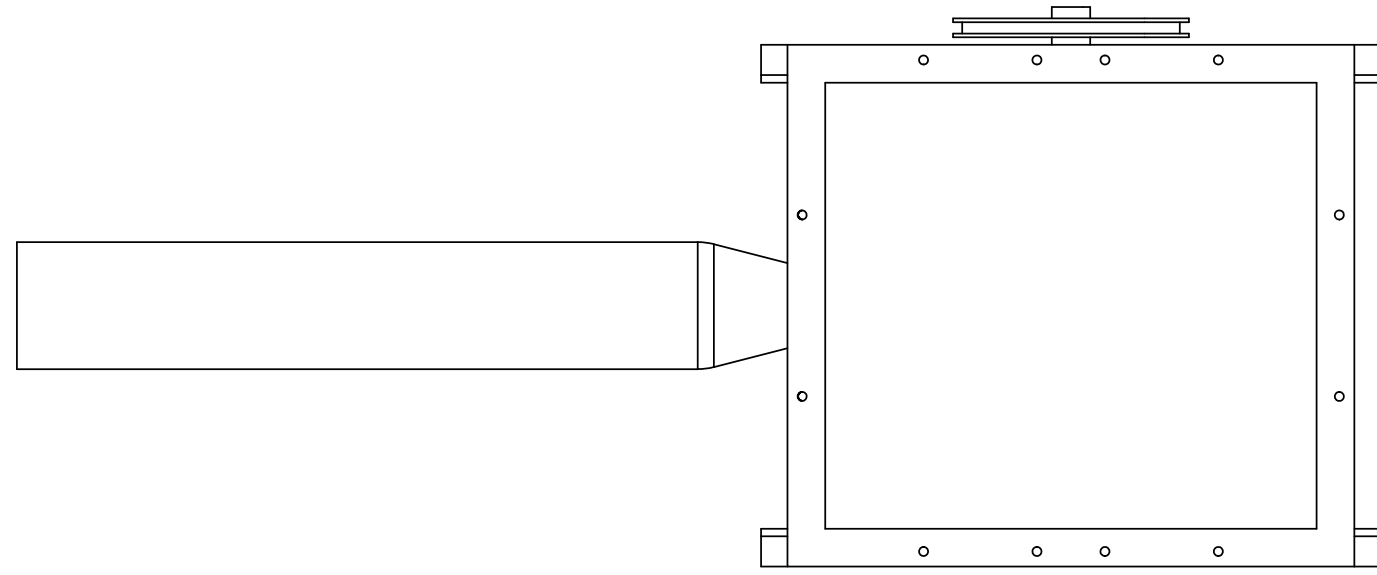
ITEM	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO:	
DIBUJ.	W. Cruzado		28-Oct-2013	Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica	
VERIF.	W. Cruzado		28-Oct-2013		
APROB.	J. Espinoza		04-Nov-2013		
				Universidad Nacional de Ingeniería	N.º DE DIBUJO Soporte Rodamiento
				PESO:	ESCALA: 1:2
					HOJA 1 DE 1

REV.0

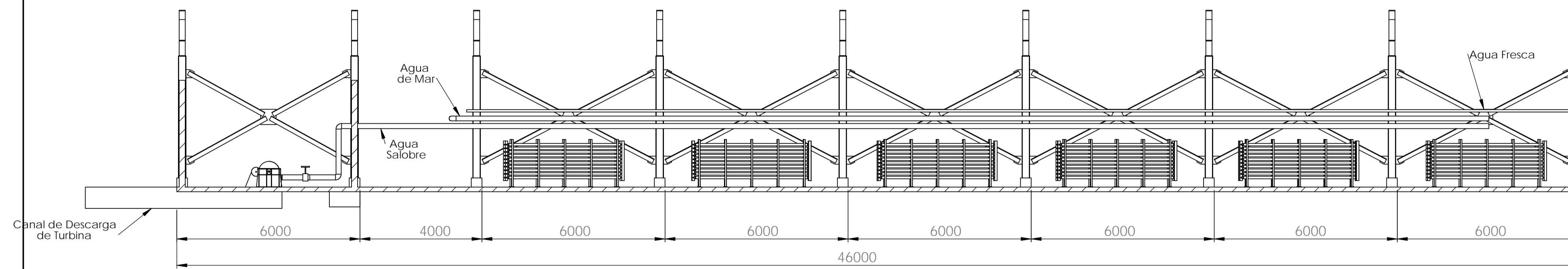
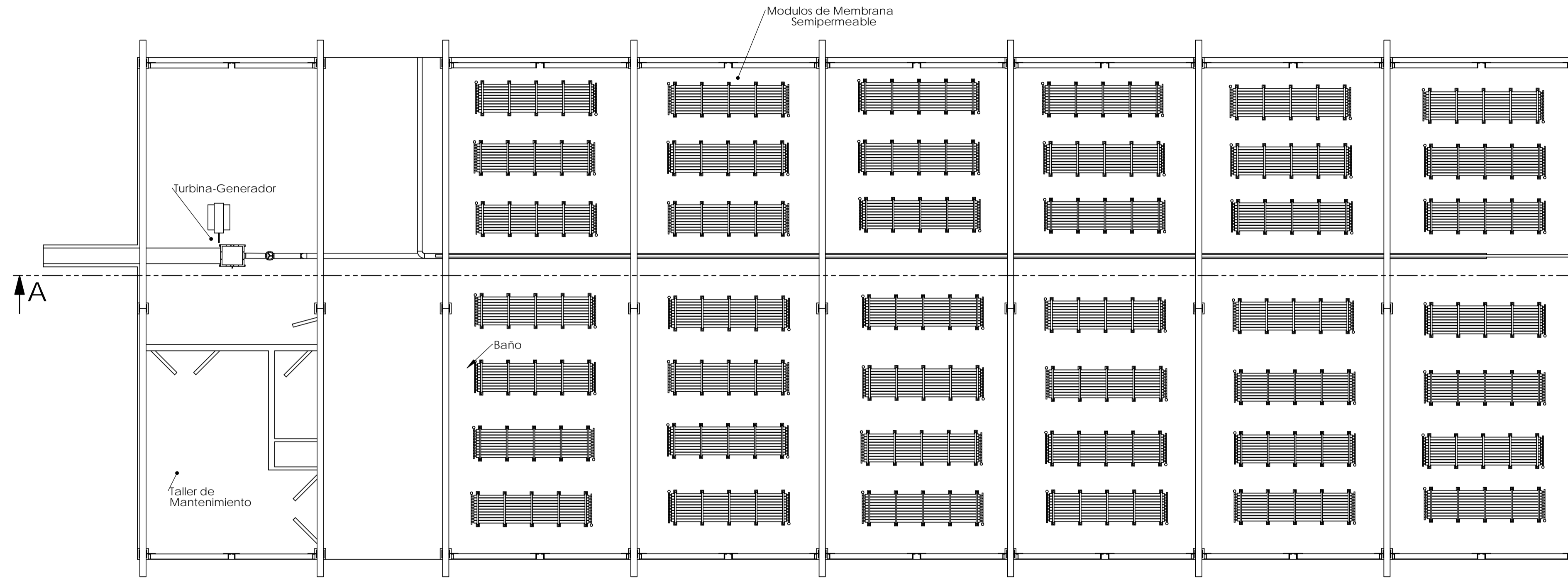
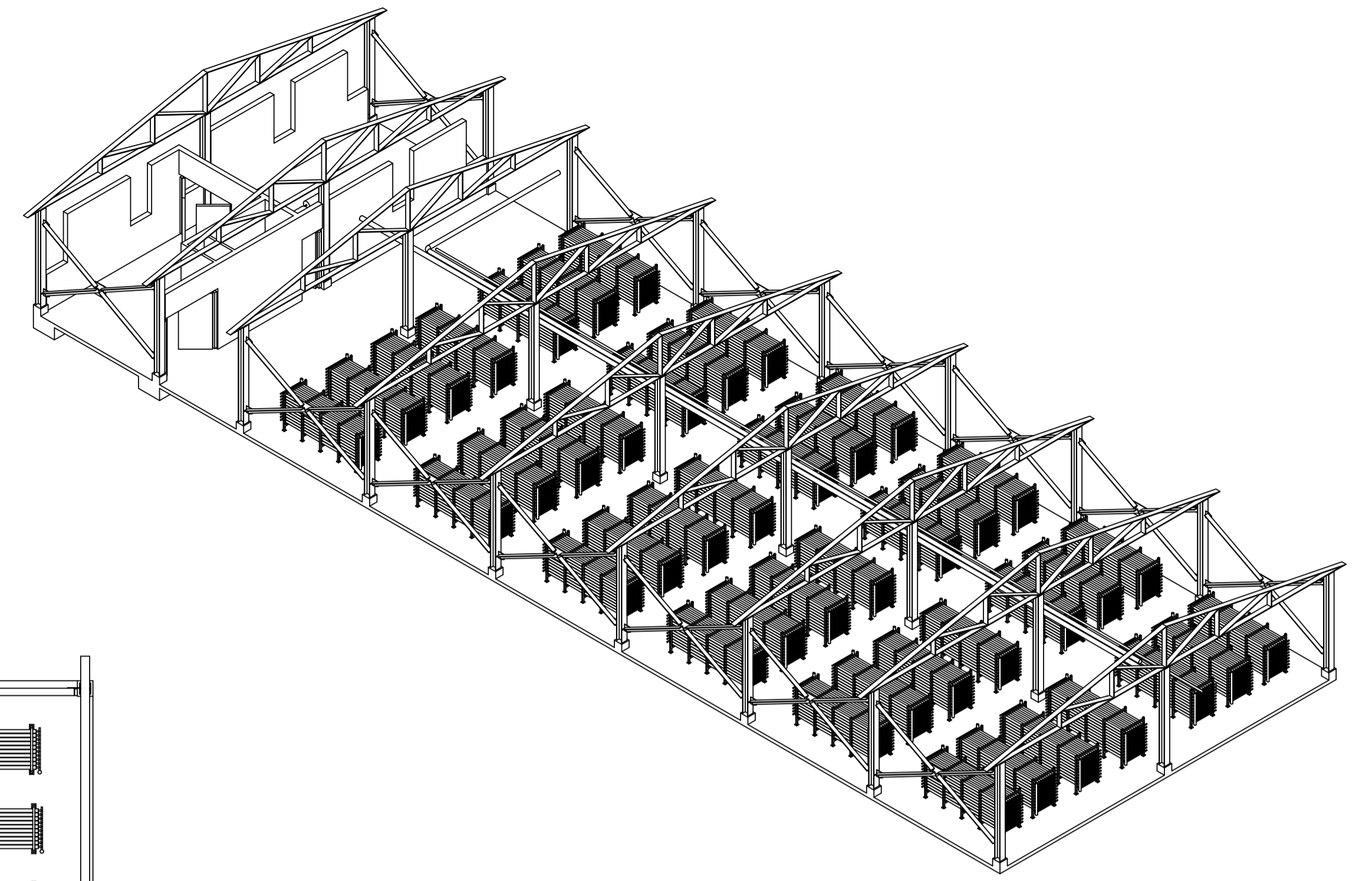


	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO:	
DIBUJ.	W. Cruzado		28-Oct-2013	Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica	
VERIF.	W. Cruzado		28-Oct-2013		
APROB.	J. Espinoza		04-Nov-2013		
				Universidad Nacional de Ingeniería	N.º DE DIBUJO
					Tobera
				PESO:	ESCALA: 1:10
					HOJA 1 DE 1

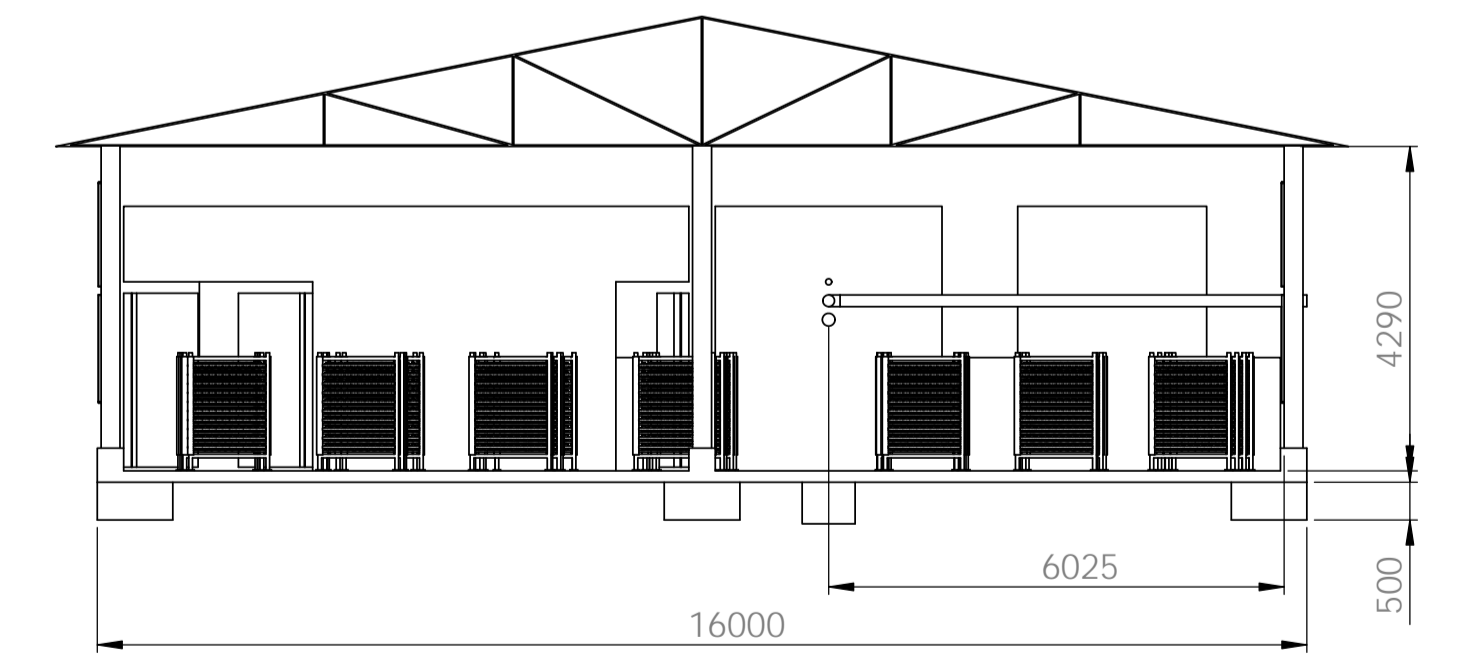
REV.0



ITEM	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO:	
DIBUJ.	W. Cruzado		28-Oct-2013	Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica	
VERIF.	W. Cruzado		28-Oct-2013		
APROB.	J. Espinoza		28-Oct-2013		
				Universidad Nacional de Ingeniería	N.º DE DIBUJO
					Ensamble Turbina Pelton
					REV.0
				ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 100



ITEM	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO	
DESA	W. Cruzado		28-Oct-2013	Microcentral Hidroeléctrica Usando Energía Osmótica	
DIRU	W. Cruzado		28-Oct-2013		
APROB	J. Espinoza		04-Nov-2013		
				Universidad Nacional de Ingeniería	Nº DE DIBUJO
				RESO	ESCALA 1:200
					INICIA 1 DE 1

Casa Máquinas REV.0

ANEXO C: HOJA DE CÁLCULO DE LA BOCATOMA

Cálculo de la Bocatoma

Leyenda

- Valor conocido o dato
- Valor asumido ó calculado
- Valor calculado

Fórmulas

$$Q = c * \mu * b * L * (2 * g * h)^{1/2}$$

$$h = \frac{2}{3} * \chi * h_o$$

$$c = 0.6 * \frac{a}{d} * (\cos \beta)^{3/2}$$

$$b' = b + N * e$$

Tipo de Bocatoma	De Lecho ó Fondo
Caudal a captar	Q = 1.5 m3/s
Altura inicial del agua	h = 0.187 m
Coeficiente de derrame de la rejilla	$\mu = 0.7$
Ancho efectivo del vertedero	b = 10.96
Longitud efectiva de la rejilla	L = 0.3
Aceleración de la gravedad	g = 9.8 m/s ²
Coeficiente de contracción	c = 0.341
Inclinación de la rejilla	$\beta = 26^\circ$

Espaciamiento de los barrotes	a = 0.04 m
Distancia entre los barrotes	d = 0.06 m
Espesor de los barrotes	e = 0.02 m
Coefficiente según inclinación de rejilla	X = 0.8
Nivel mínimo de las aguas del río	ho = 0.35 m
Longitud total de la rejilla	L' = 0.36 m

Cálculo del Canal de Aducción

$$B = L' * \text{Cos}\beta \quad Y_c = \frac{Q^2}{g * B^2} \quad V_c = \sqrt{g * Y_c} \quad V_f = \frac{Q}{H_2 * B}$$

$$H_2 = 1.1 * Y_c \quad H_1 = \sqrt{\frac{2 * Y_c^3}{H_2} + \left(H_2 - \frac{L * I}{300}\right)^2} - \frac{2 * L * I}{300}$$

Ancho del canal de aducción	B = 0.324 m
Profundidad Crítica	Yc = 2.193 m
Velocidad Crítica	Vc = 4.636 m/s
Velocidad final del agua en el canal	Vf = 1.922 m/s
Altura inicial del agua en el canal	H1 = 3.803 m

Altura del agua al final del canal	$H_2 = 2.412$ m
rango de seguridad	$\rho = 1.206$ m
Longitud inclinada del canal	$b'' = 10.48$ m
Pendiente interna del canal de aducción	$I = 5$ %

ANEXO D: HOJA DE CÁLCULO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN

Cálculo del Canal de Conducción

Leyenda

	Valor conocido o dato
	Valor asumido
	Valor calculado

Fórmulas

$$FL = 0.47 + (0.38 + 0.0305 * C_v) * \log (0.1 * u)$$

$$VL = FL * \sqrt{2 * g * h' * \left(\frac{\rho_s - \rho_1}{\rho_1}\right)}$$

$$V_c = \frac{\left(\frac{B' * h'}{2 * h' + B'}\right) * \sqrt{i}}{m} \quad f_b = 1.5 * \left(\frac{V_c^2}{2 * g}\right)$$

Densidad de Líquido: $\rho_1 = 1000$ Kg/m³

Densidad de Sólidos: $\rho_s = 2320$ Kg/m³

Gravedad: $g = 9.807$ m/s²

Concentración Volumétrica: $C_v = 0.15$

Granulometría de Sólidos: $d = 100$ μ m

Ancho y Alto del Flujo: $B' = 0.3$ m

$h' = 0.15$ m

Factor de Durand: $FL = 0.85$

Velocidad Límite (agua de río a superficie libre): $VL = 1.676 \text{ m/s}$

Velocidad de Flujo (Fórmula de Manning)

Caudal Nominal: $Q = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Factor de espuma: $f = 1$

Factor de diseño: $fd = 1.2$

Caudal de diseño: $Q' = 1.8 \text{ m}^3/\text{s}$

Coefficiente de Gauckler-Manning : $m = 0.013 \text{ (Concreto)}$

Pendiente del canal: $i = 0.02$

Perímetro mojado: $x = 0.6 \text{ m}$

Sección de flujo: $y = 0.045 \text{ m}^2$

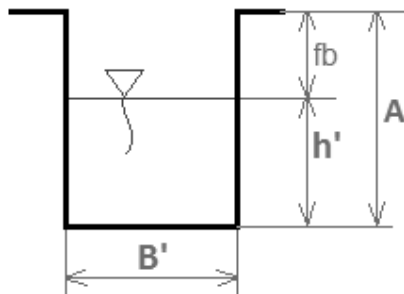
Velocidad de flujo: $V = 1.935 \text{ m/s}$

Caudal de capacidad: $Q'' = 0.087 \text{ m}^3/\text{s}$

Altura libre: $fb = 0.286 \text{ m}$

Dimensiones del canal: $B' = 0.3 \text{ m}$

$A = 0.436 \text{ m}$



ANEXO E: HOJA DE CÁLCULO DEL DESARENADOR

Cálculo del Desarenador

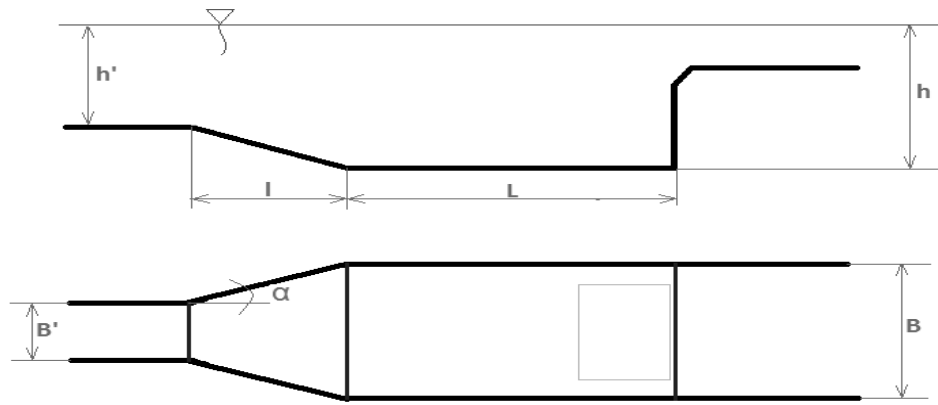
Leyenda

	Valor conocido o dato
	Valor asumido
	Valor calculado

Fórmulas

$$e = 0.152 * V_s \quad V_d = \frac{Q}{B * h} \quad L = \frac{V_d * h}{(V_s - e)} \quad \alpha = \text{atan} \left(\frac{B - B'}{2 * \frac{L}{3}} \right)$$

Velocidad de Sedimentación:	Vs =	0.178	m/s
Caudal Nominal:	Q =	1.5	m ³ /s
Velocidad de empuje ascensional:	e =	0.027	m/s (Según SOKOLOV)
Profundidad del desarenador:	h =	2	m
Ancho del desarenador:	B =	2	m
Velocidad horizontal en el desarenador:	Vd =	0.375	m/s Vd < 0.4 m/s (Según Dubuat)
Longitud mínima del desarenador:	L =	4.969	m
Ancho del canal de conducción:	B' =	0.3	m
Longitud de transición canal-desarenador:	L/3 =	1.656	m
Ángulo de divergencia:	α =	27.167	° 12° < α < 30°



ANEXO F: HOJA DE CÁLCULO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

Ingreso anual considerando micro central hidroeléctrica

	Salida	Precio	Valor (US\$/año)
Ingreso por Potencia	42.88 kW	US\$/kW- 85.89 año	3 682.96
Ingreso por Energía HP	59 833.71 kWh/año	29.04 US\$/MWh	1 737.57
Ingreso por energía HFP	98 861.99 kWh/año	25.7 US\$/MWh	2 540.75
		Ingreso Anual	7 961.29

Ingreso anual considerando proyecto RER

	Salida	Precio	Valor (US\$/año)
Ingreso por Potencia	42.88 kW	US\$/kW- 85.89 año	3 682.96
Ingreso por Energía	158 695.71 kWh/año	250 US\$/MWh	39 673.93
		Ingreso Anual	43 356.89

Precio Base fijado por Osinermin	25 ctv US\$/kWh	0.25 US\$/kWh	250 US\$/MWh
---	-----------------	---------------	--------------

Mecanismo de Desarrollo Limpio

Producción de CO₂ en Generación Eléctrica

1 GWh Produce 735 ton CO₂

Costo que plantea el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

4 US\$/ton CO₂

Energía generada por la micro central hidroeléctrica

158 695.71 kWh

CO₂ que deja de emitirse por esta tecnología de generación

116.64 ton CO₂

Beneficio por ser Proyecto MDL

466.57 US\$

Estimación de Costos de la planta

Rubro	Descripción de Componente	Costo Estimado
Obra Civil	Preliminar y General	14 800
	Bocatoma	34 597
	Desarenador	1 491
	Canal de Conducción	11 668
	Estanque de almacenamiento diario	1 100
Equipo Electromecánico	Casa de Maquinas	38 200
	Módulos de Membrana Semipermeable	60 000
	Turbina -Generador-Trafo	37 010
	Subtotal	198 866
	Contingencia 15%	29 829.9
	Ingeniería y Administración 6%	11 931.96
	Trafo	25 000
	Costo sin LT	265 627.86
	Costo de LT 3%	5 965.98
	Costo total	271 593.84

Cálculo de Indicadores

Datos:

Tasa de actualización	i	12%
Tiempo	t	30 años
Costo promedio micro central		50 US\$/MWh

Inversión del Proyecto

Inversión Inicial del Proyecto	US\$	271 593.84
Reducción por MDL	US\$	466.57
Inversión Total del Proyecto	US\$	271 127.27

Flujo Operativo del Proyecto

Costos fijos y variables anuales	US\$	7 934.79
Ingresos por Potencia y Energía	US\$	43 356.89
Ingreso Total Anual	US\$	35 422.10

Tabulando los los valores anuales, se tiene:

Período	Flujo de fondos	Valor Actual
0	\$ -271 127.27	\$ -271 127.27
1	\$ 35 422.10	\$ 31 626.88
2	\$ 35 422.10	\$ 28 238.28
3	\$ 35 422.10	\$ 25 212.75
4	\$ 35 422.10	\$ 22 511.39
5	\$ 35 422.10	\$ 20 099.45
6	\$ 35 422.10	\$ 17 945.94
7	\$ 35 422.10	\$ 16 023.16
8	\$ 35 422.10	\$ 14 306.39
9	\$ 35 422.10	\$ 12 773.57
10	\$ 35 422.10	\$ 11 404.97
11	\$ 35 422.10	\$ 10 183.01
12	\$ 35 422.10	\$ 9 091.97
13	\$ 35 422.10	\$ 8 117.83
14	\$ 35 422.10	\$ 7 248.06
15	\$ 35 422.10	\$ 6 471.49

Período	Flujo de fondos	Valor Actual
16	\$ 35 422.10	\$ 5 778.11
17	\$ 35 422.10	\$ 5 159.03
18	\$ 35 422.10	\$ 4 606.28
19	\$ 35 422.10	\$ 4 112.75
20	\$ 35 422.10	\$ 3 672.09
21	\$ 35 422.10	\$ 3 278.66
22	\$ 35 422.10	\$ 2 927.37
23	\$ 35 422.10	\$ 2 613.72
24	\$ 35 422.10	\$ 2 333.68
25	\$ 35 422.10	\$ 2 083.65
26	\$ 35 422.10	\$ 1 860.40
27	\$ 35 422.10	\$ 1 661.07
28	\$ 35 422.10	\$ 1 483.10
29	\$ 35 422.10	\$ 1 324.19
30	\$ 35 422.10	\$ 1 182.32

Indicadores Económicos

Tasa Interna de Retorno	TIR	13%
Valor Actual Neto en US\$	VAN	14 204.29

ANEXO G: REPORTE DE SIMULACIÓN CON ANSYS 14.5



Title

Análisis de tobera

Author

Wilder Cruzado Díaz

Date

2013/10/31 20:01:50

1. File Report

Table 1. File Information for FLU

Case	FLU
File Path	C:\Users\Principal\Desktop\Tobera_Pelton_files\dp0\FLU\Fluent\SYS.1-1-00253.dat.gz
File Date	30 octobre 2013
File Time	07:30:32 p.m.
File Type	FLUENT
File Version	14.5.0

2. Mesh Report

Table 2. Mesh Information for FLU

Domain	Nodes	Elements	Tetrahedra	Wedges	Pyramids	Hexahedra	Polyhedra
tobera1	9562	43864	43864	0	0	0	0

Table 3. Mesh Statistics for FLU

Domain	Minimum Face Angle	Maximum Face Angle	Maximum Edge Length Ratio	Maximum Element Volume Ratio	Connectivity Range
tobera1	17.053 [degree]	111.173 [degree]	3.38042	25.6132	4 84

3. Physics Report

Table 4. Domain Physics for FLU

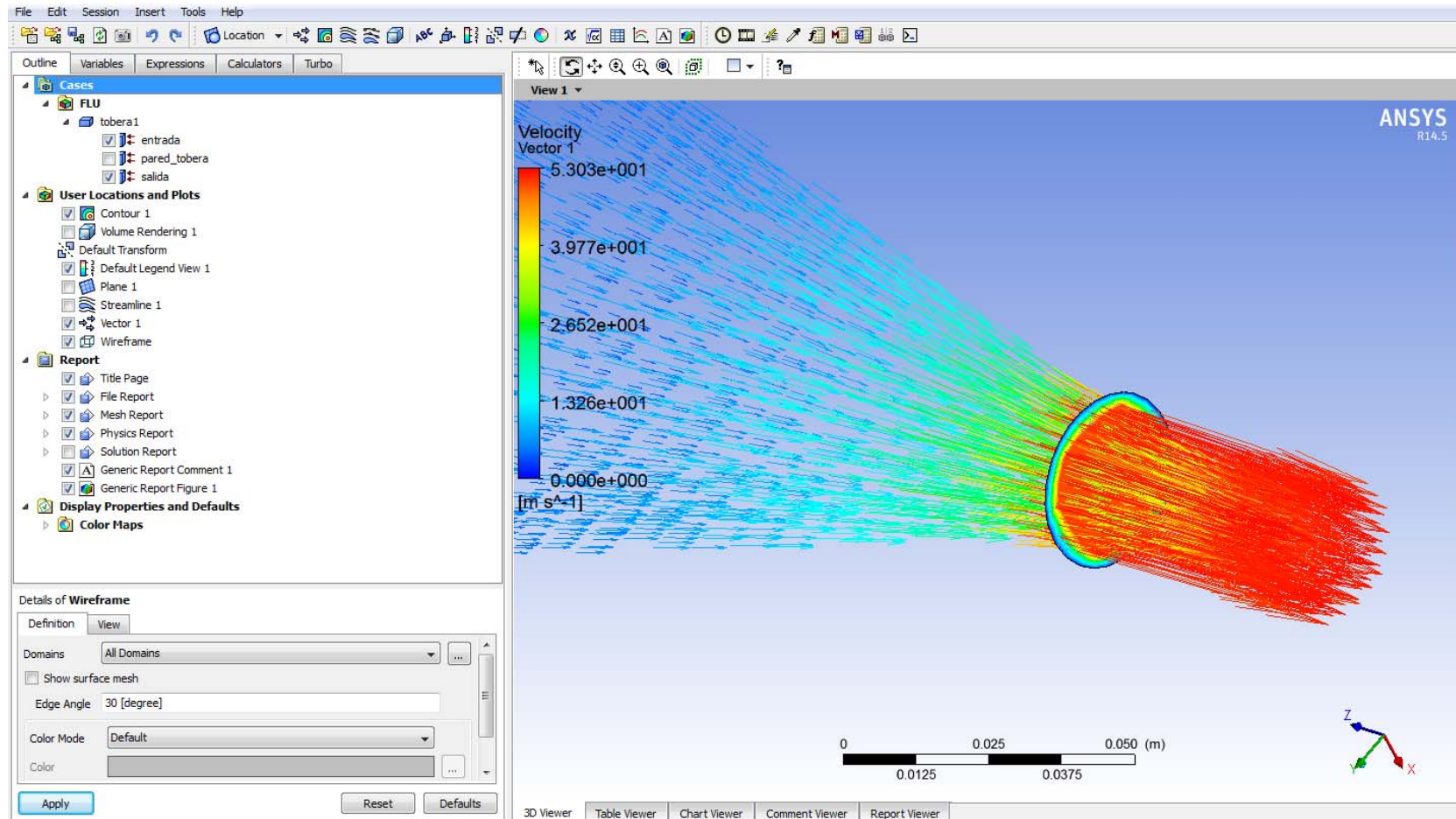
Domain - tobera1	
Type	cell

Table 5. Boundary Physics for FLU

Domain	Boundaries	
tobera1	Boundary – entrada	
	Type	PRESSURE-INLET
	Boundary - pared_tobera	
	Type	WALL
	Boundary – salida	
	Type	PRESSURE-OUTLET

4. Pictures

Figure 1. Iso View of Wireframe



Welcome to ANSYS Fluent 14.5.0

Copyright 2012 ANSYS, Inc.. All Rights Reserved.

Unauthorized use, distribution or duplication is prohibited.

This product is subject to U.S. laws governing export and re-export.

For full Legal Notice, see documentation.

Build Time: Sep 21 2012 18:31:16 Build Id: 10329

Loading "C:\PROGRA~1\ANSYSI~1\v145\fluent\fluent14.5.0\lib\fl_s1119-64.dmp"

Done.

Cleanup script file is C:\\Users\\Principal\\Desktop\\cleanup-fluent-AMDA84X-1660.bat

```
> Reading "" | gunzip -c  
\\C:\Users\Principal\Desktop\Tobera_Pelton_files\dp0\FLU\Fluent\SYS.1-  
1.cas.gz\ ""...
```

43864 tetrahedral cells, zone 2, binary.

83739 triangular interior faces, zone 1, binary.

44 triangular pressure-inlet faces, zone 5, binary.

104 triangular pressure-outlet faces, zone 6, binary.

7830 triangular wall faces, zone 7, binary.

9562 nodes, binary.

9562 node flags, binary.

Building...

mesh

materials,

interface,
domains,
mixture
zones,
pared_tobera
interior-tobera1
entrada
salida
tobera1
Done.

Preparing mesh for display...

Done.

Setting Post Processing and Surfaces information ... Done.

Reading "\\| gunzip -c
\\\"C:\Users\Principal\Desktop\Tobera_Pelton_files\dp0\FLU\Fluent\SYS.1-1-
00253.dat.gz\\\"\"\"...

Done.

Mass Flow Rate	(kg/s)
entrada	38.540703
interior-tobera1	-56.665001
pared_tobera	0
salida	-38.540688
Net	1.5258789e-05

Forces

Forces (n)
Coefficients

Zone	Pressure			Viscous		
	Total	Pressure	Pressure	Total	Viscous	Viscous
pared_tobera	(4.4012527	2.3436279	-22673.824)	(-0.0062992037	-	
	0.0049104425	-13.673695)	(4.3949535	2.3387175	-22687.498)	
	(7.1857188	3.8263313	-37018.489)	(-0.010284414	-0.008017049	-
	22.324399)	(7.1754344	3.8183143	-37040.813)		

Net	(4.4012527	2.3436279	-22673.824)	(-0.0062992037	-	
	0.0049104425	-13.673695)	(4.3949535	2.3387175	-22687.498)	
	(7.1857188	3.8263313	-37018.489)	(-0.010284414	-0.008017049	-
	22.324399)	(7.1754344	3.8183143	-37040.813)		

Forces - Direction Vector (1 0 0)

Zone	Forces (n)		Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous
pared_tobera	4.4012527	-0.0062992037	4.3949535	7.1857188	-
	0.010284414	7.1754344			

Net	4.4012527	-0.0062992037	4.3949535	7.1857188	-
	0.010284414	7.1754344			

Forces

Forces (n)
Coefficients

Zone	Pressure	Viscous
Total	Pressure Total	Viscous
pared_tobera	(4.4012527 2.3436279 -22673.824)	(-0.0062992037 -
	0.0049104425 -13.673695) (4.3949535 2.3387175 -22687.498)	
	(7.1857188 3.8263313 -37018.489) (-0.010284414 -0.008017049 -	
	22.324399) (7.1754344 3.8183143 -37040.813)	

Net	(4.4012527 2.3436279 -22673.824)	(-0.0062992037 -
	0.0049104425 -13.673695) (4.3949535 2.3387175 -22687.498)	
	(7.1857188 3.8263313 -37018.489) (-0.010284414 -0.008017049 -	
	22.324399) (7.1754344 3.8183143 -37040.813)	

Forces - Direction Vector (1 0 0)

Zone	Forces (n)		Coefficients		
	Pressure	Viscous Total	Total	Pressure	Viscous
pared_tobera	4.4012527	-0.0062992037	4.3949535	7.1857188	-
		0.010284414	7.1754344		

Net	4.4012527	-0.0062992037	4.3949535	7.1857188	-
		0.010284414	7.1754344		

Mass Flow Rate (kg/s)

entrada	38.540703
interior-tobera1	-56.665001
pared_tobera	0
salida	-38.540688

Net	1.5258789e-05
-----	---------------

Area (m2)

entrada	0.018129328
interior-tobera1	7.7608476
pared_tobera	0.51245296
salida	0.00074713735

Net	8.2921762
-----	-----------

Welcome to ANSYS Fluent 14.5.0

Copyright 2012 ANSYS, Inc.. All Rights Reserved.

Unauthorized use, distribution or duplication is prohibited.

This product is subject to U.S. laws governing export and re-export.

For full Legal Notice, see documentation.

Build Time: Sep 21 2012 18:31:16 Build Id: 10329

Loading "C:\PROGRA~1\ANSYSI~1\v145\fluent\fluent14.5.0\lib\fl_s1119-64.dmp"

Done.

Cleanup script file is C:\\Users\\Principal\\Desktop\\cleanup-fluent-AMDA84X-4152.bat

> Reading Settings file

C:\Users\Principal\Desktop\Tobera_Pelton_files\dp0\FLU\Fluent\SYS.1.set...

Reading "C:\Users\Principal\Desktop\Tobera_Pelton_files\dp0\SYS\MECH\SYS.1.msh"...

5571 nodes, binary.

3991 nodes, binary.

83739 triangular interior faces, zone 1, binary.

44 triangular wall faces, zone 5, binary.

104 triangular wall faces, zone 6, binary.

7830 triangular wall faces, zone 7, binary.

43864 tetrahedral cells, zone 2, binary.

Building...

mesh

materials,

interface,

domains,

 mixture

zones,

 pared_tobera

 salida

 entrada

 tobera1

 interior-tobera1Setting tobera1 (mixture) ... Done.

Applying mesh operation "Change Zone Type"

Applying mesh operation "Change Zone Type [2]"

Setting zone id of tobera1 to 2.

Setting zone id of salida to 6.

Setting zone id of entrada to 5.

Setting zone id of interior-tobera1 to 1.

Setting zone id of pared_tobera to 7.

Done.

Setting tobera1 (mixture) ... Done.

Setting salida (mixture) ... Done.

Setting entrada (mixture) ... Done.

Setting interior-tobera1 (mixture) ... Done.

Setting pared_tobera (mixture) ... Done.

Done.

Preparing mesh for display...

Done.

Setting Post Processing and Surfaces information ... Done.

/solve/initialize/hyb-initialization

Initialize using the hybrid initialization method.

Checking case topology...

-This case has both inlets & outlets

-Pressure information is available at the boundaries

iter	scalar-0	scalar-1
1	1.000000e+00	1.000000e+00
2	2.595629e-04	2.451396e-04
3	4.211336e-05	4.851145e-05
4	1.046941e-05	2.015354e-05
5	6.389247e-06	6.942191e-06

6	2.402889e-06	8.493103e-06
7	2.897064e-06	2.068091e-06
8	7.215992e-07	2.440064e-06
9	9.426446e-07	6.004787e-07
10	2.006708e-07	8.311255e-07

hybrid initialization is done.Writing Settings file...

writing rp variables ... Done.

writing domain variables ... Done.

writing tobera1 (type fluid) (mixture) ... Done.

writing salida (type pressure-outlet) (mixture) ... Done.

writing entrada (type pressure-inlet) (mixture) ... Done.

writing interior-tobera1 (type interior) (mixture) ... Done.

writing pared_tobera (type wall) (mixture) ... Done.

writing zones map name-id ... Done.

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	energy	k	epsilon	entrada_moni	salida_monit	time/iter
1	1.0000e+00	1.2456e-02	1.2377e-02	2.6514e-02	4.1134e-08	2.8327e+00	7.6096e+02	1.3468e+06	1.0583e+02	0:03:19 199
2	3.8757e-01	8.3397e-03	8.2926e-03	1.6887e-02	4.7453e-08	8.3498e-02	1.8226e-01	1.3473e+06	9.5990e+01	0:03:58 198

3 4.2936e-01 6.8243e-03 6.7670e-03 2.4880e-02 5.1917e-08 8.3448e-02 1.6082e-01
1.3480e+06 8.6861e+01 0:03:49 197

4 4.6851e-01 5.9558e-03 5.9162e-03 3.3783e-02 5.1571e-08 5.6385e-02 1.7074e-01
1.3488e+06 8.0339e+01 0:03:41 196

5 4.4421e-01 4.9991e-03 4.9620e-03 3.8834e-02 5.1487e-08 4.2000e-02 1.6932e-01
1.3496e+06 7.5340e+01 0:03:35 195

6 3.9512e-01 4.2170e-03 4.1965e-03 4.3182e-02 5.0778e-08 2.9831e-02 1.5571e-01
1.3505e+06 7.1615e+01 0:03:30 194

7 3.3904e-01 3.6521e-03 3.6359e-03 4.6820e-02 4.9341e-08 2.3236e-02 1.4129e-01
1.3514e+06 6.8737e+01 0:03:26 193

8 2.8939e-01 3.3296e-03 3.3161e-03 4.9743e-02 4.8886e-08 1.9091e-02 1.2626e-01
1.3523e+06 6.6113e+01 0:03:22 192

9 2.3817e-01 2.9932e-03 2.9934e-03 5.0006e-02 4.8580e-08 1.6439e-02 1.1344e-01
1.3531e+06 6.3730e+01 0:03:19 191

10 1.8704e-01 2.5633e-03 2.5585e-03 4.6886e-02 4.7994e-08 1.4777e-02 1.0203e-01
1.3537e+06 6.1411e+01 0:03:54 190

11 1.5689e-01 2.1313e-03 2.1268e-03 4.0419e-02 4.7703e-08 1.3336e-02 9.2168e-02
1.3542e+06 5.9594e+01 0:03:44 189

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

12 1.5999e-01 1.9599e-03 1.9490e-03 3.4404e-02 4.7155e-08 1.2399e-02 8.2726e-02
1.3546e+06 5.8230e+01 0:03:36 188

13 1.5991e-01 1.8229e-03 1.8128e-03 3.0263e-02 4.6683e-08 1.1094e-02 7.3318e-02
1.3550e+06 5.6938e+01 0:03:29 187

14 1.6448e-01 1.7932e-03 1.7750e-03 2.5350e-02 4.6378e-08 9.7448e-03 6.5265e-02
1.3553e+06 5.5985e+01 0:04:01 186

15 1.6231e-01 1.7230e-03 1.6951e-03 2.1504e-02 4.6186e-08 8.7045e-03 5.7354e-02
1.3555e+06 5.5122e+01 0:03:49 185

16 1.5840e-01 1.6883e-03 1.6507e-03 1.7703e-02 4.6076e-08 7.6693e-03 5.0658e-02
1.3558e+06 5.4394e+01 0:03:39 184

17 1.5312e-01 1.6577e-03 1.6170e-03 1.4065e-02 4.5437e-08 6.8482e-03 4.4589e-02
1.3560e+06 5.3789e+01 0:03:31 183

18 1.4529e-01 1.6056e-03 1.5672e-03 1.0901e-02 4.5390e-08 6.1801e-03 3.9263e-02
1.3561e+06 5.3377e+01 0:03:24 182

19 1.3144e-01 1.4779e-03 1.4457e-03 8.9312e-03 4.5681e-08 5.5905e-03 3.3947e-02
1.3562e+06 5.2916e+01 0:03:19 181

20 1.2253e-01 1.4137e-03 1.3898e-03 6.4260e-03 4.5670e-08 5.2280e-03 3.0126e-02
1.3564e+06 5.2691e+01 0:03:14 180

21 1.0792e-01 1.2633e-03 1.2491e-03 5.3477e-03 4.5922e-08 4.8696e-03 2.5329e-02
1.3565e+06 5.2407e+01 0:03:10 179

22 9.7043e-02 1.1560e-03 1.1481e-03 4.0320e-03 4.5477e-08 4.7827e-03 2.2485e-02
1.3565e+06 5.2197e+01 0:03:07 178

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

23 8.7550e-02 1.0530e-03 1.0511e-03 2.9742e-03 4.5569e-08 4.6096e-03 1.9037e-02
1.3566e+06 5.2051e+01 0:03:04 177

24 7.6759e-02 9.3727e-04 9.4042e-04 2.3545e-03 4.5138e-08 4.5669e-03 1.6777e-02
1.3567e+06 5.1851e+01 0:02:26 176

25 7.0015e-02 8.6530e-04 8.6952e-04 1.8058e-03 4.4774e-08 4.5435e-03 1.4348e-02
1.3567e+06 5.1734e+01 0:02:31 175

26 6.1734e-02 7.7852e-04 7.8599e-04 1.6677e-03 4.5072e-08 4.5099e-03 1.3012e-02
1.3567e+06 5.1671e+01 0:03:10 174

27 5.2762e-02 6.8601e-04 6.9368e-04 1.5804e-03 4.4815e-08 4.4367e-03 1.0734e-02
1.3568e+06 5.1609e+01 0:03:06 173

28 4.5465e-02 6.0951e-04 6.1573e-04 1.5687e-03 4.5093e-08 4.4180e-03 9.8284e-03
1.3568e+06 5.1560e+01 0:03:02 172

29 3.9397e-02 5.4419e-04 5.4930e-04 1.5968e-03 4.5371e-08 4.3386e-03 8.1155e-03
1.3568e+06 5.1523e+01 0:02:59 171

30 3.4255e-02 4.8691e-04 4.9142e-04 1.6203e-03 4.5072e-08 4.3120e-03 7.5922e-03
1.3568e+06 5.1497e+01 0:02:22 170

31 2.9883e-02 4.3619e-04 4.4027e-04 1.6185e-03 4.5634e-08 4.2505e-03 6.2951e-03
1.3568e+06 5.1475e+01 0:02:27 169

32 2.6330e-02 3.9289e-04 3.9671e-04 1.6298e-03 4.5566e-08 4.2260e-03 6.1189e-03
1.3568e+06 5.1460e+01 0:02:31 168

33 2.3313e-02 3.5443e-04 3.5852e-04 1.6189e-03 4.5564e-08 4.1729e-03 5.1295e-03
1.3568e+06 5.1452e+01 0:02:33 167

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

34 2.0723e-02 3.2143e-04 3.2443e-04 1.5912e-03 4.5542e-08 4.1324e-03 5.0009e-03
1.3568e+06 5.1448e+01 0:02:35 166

35 1.8547e-02 2.9248e-04 2.9439e-04 1.5489e-03 4.5523e-08 4.0834e-03 4.3267e-03
1.3568e+06 5.1453e+01 0:02:36 165

36 1.6506e-02 2.6678e-04 2.6771e-04 1.4507e-03 4.5539e-08 4.0430e-03 4.1865e-03
1.3568e+06 5.1460e+01 0:02:37 164

37 1.4815e-02 2.4417e-04 2.4509e-04 1.3434e-03 4.5321e-08 4.0007e-03 3.6696e-03
1.3568e+06 5.1484e+01 0:02:37 163

38 1.3200e-02 2.2428e-04 2.2556e-04 1.1218e-03 4.6001e-08 3.9560e-03 3.4715e-03
1.3568e+06 5.1506e+01 0:02:38 162

39 1.2013e-02 2.0759e-04 2.0912e-04 9.0676e-04 4.5920e-08 3.9114e-03 3.0961e-03
1.3568e+06 5.1526e+01 0:02:37 161

40 1.1109e-02 1.9208e-04 1.9338e-04 7.4279e-04 4.5518e-08 3.8780e-03 2.9686e-03
1.3567e+06 5.1546e+01 0:02:37 160

41 1.0331e-02 1.7781e-04 1.7906e-04 5.9447e-04 4.5795e-08 3.8289e-03 2.7127e-03
1.3567e+06 5.1565e+01 0:02:37 159

42 9.6727e-03 1.6497e-04 1.6635e-04 4.6696e-04 4.5594e-08 3.7904e-03 2.6487e-03
1.3567e+06 5.1577e+01 0:02:36 158

43 8.9710e-03 1.5227e-04 1.5369e-04 3.9273e-04 4.5683e-08 3.7449e-03 2.4937e-03
1.3567e+06 5.1590e+01 0:02:04 157

44 8.3274e-03 1.4105e-04 1.4278e-04 3.3122e-04 4.5282e-08 3.7072e-03 2.4607e-03
1.3567e+06 5.1601e+01 0:02:10 156

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

45 7.7504e-03 1.3108e-04 1.3290e-04 2.8407e-04 4.5630e-08 3.6629e-03 2.3414e-03
1.3567e+06 5.1613e+01 0:02:14 155

46 7.2539e-03 1.2249e-04 1.2470e-04 2.4983e-04 4.5339e-08 3.6301e-03 2.3191e-03
1.3567e+06 5.1620e+01 0:02:18 154

47 6.7101e-03 1.1432e-04 1.1673e-04 2.3354e-04 4.5419e-08 3.5901e-03 2.2245e-03
1.3567e+06 5.1625e+01 0:02:20 153

48 6.2099e-03 1.0693e-04 1.0916e-04 2.2269e-04 4.5372e-08 3.5575e-03 2.2457e-03
1.3567e+06 5.1629e+01 0:02:22 152

49 5.7647e-03 1.0045e-04 1.0247e-04 2.1366e-04 4.5205e-08 3.5172e-03 2.1879e-03
1.3567e+06 5.1633e+01 0:02:23 151

50 5.3893e-03 9.5039e-05 9.6714e-05 2.1019e-04 4.5239e-08 3.4849e-03 2.2283e-03
1.3567e+06 5.1637e+01 0:01:53 150

51 5.0541e-03 9.0072e-05 9.1607e-05 2.0890e-04 4.5174e-08 3.4507e-03 2.1806e-03
1.3567e+06 5.1639e+01 0:02:00 149

52 4.7434e-03 8.5629e-05 8.6816e-05 2.0797e-04 4.5750e-08 3.4239e-03 2.2210e-03
1.3567e+06 5.1641e+01 0:02:05 148

53 4.4613e-03 8.1415e-05 8.2308e-05 2.0585e-04 4.5339e-08 3.3875e-03 2.1768e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:02:09 147

54 4.2195e-03 7.7635e-05 7.8062e-05 2.0394e-04 4.5657e-08 3.3621e-03 2.1959e-03
1.3567e+06 5.1644e+01 0:02:11 146

55 4.0147e-03 7.4231e-05 7.4211e-05 2.0156e-04 4.5485e-08 3.3269e-03 2.1353e-03
1.3567e+06 5.1645e+01 0:01:44 145

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

56 3.8282e-03 7.1114e-05 7.0783e-05 1.9734e-04 4.5138e-08 3.2998e-03 2.1457e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:01:52 144

57 3.6679e-03 6.8115e-05 6.7738e-05 1.9170e-04 4.5379e-08 3.2649e-03 2.0891e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:01:57 143

58 3.5190e-03 6.5408e-05 6.4831e-05 1.8509e-04 4.5409e-08 3.2394e-03 2.1230e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:02:02 142

59 3.3868e-03 6.2785e-05 6.2232e-05 1.7715e-04 4.5374e-08 3.2110e-03 2.0741e-03
1.3567e+06 5.1645e+01 0:02:05 141

60 3.2586e-03 6.0348e-05 6.0014e-05 1.6646e-04 4.5620e-08 3.1908e-03 2.1163e-03
1.3567e+06 5.1644e+01 0:02:07 140

61 3.1558e-03 5.7993e-05 5.7870e-05 1.4974e-04 4.5708e-08 3.1632e-03 2.0462e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:01:41 139

62 3.0457e-03 5.5779e-05 5.5780e-05 1.3940e-04 4.5432e-08 3.1422e-03 2.0723e-03
1.3567e+06 5.1641e+01 0:01:48 138

63 2.9612e-03 5.4024e-05 5.3903e-05 1.2609e-04 4.5176e-08 3.1149e-03 2.0013e-03
1.3567e+06 5.1641e+01 0:01:53 137

64 2.8503e-03 5.2071e-05 5.1851e-05 1.1866e-04 4.4953e-08 3.0949e-03 2.0421e-03
1.3567e+06 5.1639e+01 0:01:57 136

65 2.7667e-03 5.0277e-05 5.0125e-05 1.1109e-04 4.5329e-08 3.0727e-03 1.9829e-03
1.3567e+06 5.1639e+01 0:02:00 135

66 2.6763e-03 4.8528e-05 4.8460e-05 1.0603e-04 4.5524e-08 3.0501e-03 2.0112e-03
1.3567e+06 5.1637e+01 0:02:02 134

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

67 2.6044e-03 4.7096e-05 4.7047e-05 1.0244e-04 4.5322e-08 3.0229e-03 1.9390e-03
1.3567e+06 5.1637e+01 0:01:37 133

68 2.5278e-03 4.5611e-05 4.5710e-05 1.0055e-04 4.5226e-08 3.0042e-03 1.9474e-03
1.3567e+06 5.1636e+01 0:01:43 132

69 2.4471e-03 4.4411e-05 4.4582e-05 1.0014e-04 4.5068e-08 2.9811e-03 1.8747e-03
1.3567e+06 5.1635e+01 0:01:48 131

70 2.3761e-03 4.3282e-05 4.3526e-05 9.9883e-05 4.4971e-08 2.9640e-03 1.8821e-03
1.3567e+06 5.1635e+01 0:01:52 130

71 2.3026e-03 4.2138e-05 4.2585e-05 9.9482e-05 4.5252e-08 2.9396e-03 1.8175e-03
1.3567e+06 5.1634e+01 0:01:55 129

72 2.2319e-03 4.0936e-05 4.1641e-05 9.8524e-05 4.5188e-08 2.9232e-03 1.8386e-03
1.3567e+06 5.1634e+01 0:01:57 128

73 2.1676e-03 3.9830e-05 4.0694e-05 9.8037e-05 4.4992e-08 2.8983e-03 1.8257e-03
1.3567e+06 5.1633e+01 0:01:33 127

74 2.1143e-03 3.8802e-05 3.9922e-05 9.8442e-05 4.5355e-08 2.8875e-03 1.8546e-03
1.3567e+06 5.1633e+01 0:01:39 126

75 2.0556e-03 3.7906e-05 3.9044e-05 9.8130e-05 4.5499e-08 2.8677e-03 1.8763e-03
1.3567e+06 5.1633e+01 0:01:43 125

76 2.0000e-03 3.7113e-05 3.8007e-05 9.8823e-05 4.4885e-08 2.8561e-03 1.9088e-03
1.3567e+06 5.1633e+01 0:01:47 124

77 1.9478e-03 3.6341e-05 3.6972e-05 9.9451e-05 4.5174e-08 2.8404e-03 1.9323e-03
1.3567e+06 5.1633e+01 0:01:49 123

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

78 1.9087e-03 3.5738e-05 3.5927e-05 9.8002e-05 4.4804e-08 2.8300e-03 1.9786e-03
1.3567e+06 5.1633e+01 0:01:27 122

79 1.8592e-03 3.5264e-05 3.5112e-05 9.5971e-05 4.5011e-08 2.8123e-03 1.9683e-03
1.3567e+06 5.1634e+01 0:01:33 121

80 1.8009e-03 3.4588e-05 3.4388e-05 9.3385e-05 4.5004e-08 2.7978e-03 1.9781e-03
1.3567e+06 5.1634e+01 0:01:38 120

81 1.7392e-03 3.3648e-05 3.3550e-05 9.0497e-05 4.4548e-08 2.7782e-03 1.9201e-03
1.3567e+06 5.1634e+01 0:01:41 119

82 1.6892e-03 3.2591e-05 3.2511e-05 8.6960e-05 4.5165e-08 2.7617e-03 1.9088e-03
1.3567e+06 5.1634e+01 0:01:44 118

83 1.6485e-03 3.1540e-05 3.1647e-05 8.4111e-05 4.4774e-08 2.7450e-03 1.8782e-03
1.3567e+06 5.1635e+01 0:01:46 117

84 1.6083e-03 3.0528e-05 3.0821e-05 8.1839e-05 4.4913e-08 2.7344e-03 1.9092e-03
1.3567e+06 5.1635e+01 0:01:24 116

85 1.5650e-03 2.9679e-05 3.0173e-05 7.9527e-05 4.5328e-08 2.7178e-03 1.8813e-03
1.3567e+06 5.1636e+01 0:01:30 115

86 1.5302e-03 2.8957e-05 2.9671e-05 7.7258e-05 4.4979e-08 2.7012e-03 1.9198e-03
1.3567e+06 5.1636e+01 0:01:34 114

87 1.4973e-03 2.8326e-05 2.9115e-05 7.5769e-05 4.4785e-08 2.6867e-03 1.8687e-03
1.3567e+06 5.1636e+01 0:01:37 113

88 1.4705e-03 2.7771e-05 2.8438e-05 7.4814e-05 4.4662e-08 2.6785e-03 1.9236e-03
1.3567e+06 5.1637e+01 0:01:39 112

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

89 1.4451e-03 2.7329e-05 2.7952e-05 7.3202e-05 4.5319e-08 2.6608e-03 1.8536e-03
1.3567e+06 5.1637e+01 0:01:41 111

90 1.4179e-03 2.6978e-05 2.7392e-05 7.0998e-05 4.4956e-08 2.6504e-03 1.9278e-03
1.3567e+06 5.1638e+01 0:01:20 110

91 1.3916e-03 2.6604e-05 2.6908e-05 6.9159e-05 4.5145e-08 2.6324e-03 1.8481e-03
1.3567e+06 5.1638e+01 0:01:25 109

92 1.3722e-03 2.6361e-05 2.6641e-05 6.7154e-05 4.4859e-08 2.6266e-03 1.9037e-03
1.3567e+06 5.1639e+01 0:01:29 108

93 1.3456e-03 2.6055e-05 2.6475e-05 6.5685e-05 4.4844e-08 2.6050e-03 1.7997e-03
1.3567e+06 5.1640e+01 0:01:32 107

94 1.3193e-03 2.5679e-05 2.6246e-05 6.4415e-05 4.4794e-08 2.5905e-03 1.8396e-03
1.3567e+06 5.1640e+01 0:01:34 106

95 1.2998e-03 2.5250e-05 2.5875e-05 6.3252e-05 4.5006e-08 2.5675e-03 1.7382e-03
1.3567e+06 5.1640e+01 0:01:36 105

96 1.2741e-03 2.4861e-05 2.5540e-05 6.2514e-05 4.5365e-08 2.5557e-03 1.7928e-03
1.3567e+06 5.1641e+01 0:01:16 104

97 1.2544e-03 2.4481e-05 2.5087e-05 6.1561e-05 4.4837e-08 2.5342e-03 1.6893e-03
1.3567e+06 5.1641e+01 0:01:21 103

98 1.2327e-03 2.4202e-05 2.4671e-05 6.0616e-05 4.4993e-08 2.5215e-03 1.7340e-03
1.3567e+06 5.1641e+01 0:01:24 102

99 1.2147e-03 2.3884e-05 2.4284e-05 5.9626e-05 4.5072e-08 2.4993e-03 1.6470e-03
1.3567e+06 5.1642e+01 0:01:27 101

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

100 1.1990e-03 2.3513e-05 2.3901e-05 5.8855e-05 4.5278e-08 2.4886e-03 1.6655e-03
1.3567e+06 5.1642e+01 0:01:29 100

101 1.1855e-03 2.3269e-05 2.3530e-05 5.8372e-05 4.4961e-08 2.4682e-03 1.6288e-03
1.3567e+06 5.1642e+01 0:01:10 99

102 1.1745e-03 2.3057e-05 2.3249e-05 5.8540e-05 4.5688e-08 2.4556e-03 1.6347e-03
1.3567e+06 5.1642e+01 0:01:15 98

103 1.1668e-03 2.2984e-05 2.3023e-05 5.9076e-05 4.5342e-08 2.4348e-03 1.6313e-03
1.3567e+06 5.1642e+01 0:01:19 97

104 1.1583e-03 2.2938e-05 2.2835e-05 6.0022e-05 4.5501e-08 2.4260e-03 1.6427e-03
1.3567e+06 5.1642e+01 0:01:22 96

105 1.1487e-03 2.2946e-05 2.2799e-05 6.0694e-05 4.4923e-08 2.4095e-03 1.6630e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:01:24 95

106 1.1427e-03 2.2915e-05 2.2604e-05 6.1786e-05 4.5543e-08 2.4014e-03 1.7087e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:01:25 94

107 1.1294e-03 2.2675e-05 2.2249e-05 6.1578e-05 4.5325e-08 2.3866e-03 1.7306e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:01:26 93

108 1.1240e-03 2.2590e-05 2.2184e-05 6.1293e-05 4.5018e-08 2.3766e-03 1.7474e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:01:08 92

109 1.0996e-03 2.2403e-05 2.2022e-05 5.9344e-05 4.5185e-08 2.3555e-03 1.6736e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:01:12 91

110 1.0754e-03 2.1984e-05 2.1847e-05 5.6776e-05 4.4977e-08 2.3404e-03 1.6332e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:01:15 90

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

111 1.0571e-03 2.1488e-05 2.1605e-05 5.4975e-05 4.4979e-08 2.3226e-03 1.5794e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:01:17 89

112 1.0350e-03 2.0978e-05 2.1316e-05 5.3793e-05 4.5313e-08 2.3105e-03 1.5875e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:01:19 88

113 1.0185e-03 2.0489e-05 2.0999e-05 5.2963e-05 4.4854e-08 2.2909e-03 1.5498e-03
1.3567e+06 5.1643e+01 0:01:02 87

114 9.9897e-04 2.0094e-05 2.0849e-05 5.2619e-05 4.5161e-08 2.2779e-03 1.5663e-03
1.3567e+06 5.1644e+01 0:01:06 86

115 9.7692e-04 1.9746e-05 2.0562e-05 5.2178e-05 4.5238e-08 2.2590e-03 1.5328e-03
1.3567e+06 5.1644e+01 0:01:09 85

116 9.6472e-04 1.9517e-05 2.0124e-05 5.2353e-05 4.5119e-08 2.2476e-03 1.5442e-03
1.3567e+06 5.1644e+01 0:01:12 84

117 9.5667e-04 1.9378e-05 1.9779e-05 5.2511e-05 4.5117e-08 2.2328e-03 1.5130e-03
1.3567e+06 5.1644e+01 0:01:13 83

118 9.4261e-04 1.9332e-05 1.9362e-05 5.1936e-05 4.5201e-08 2.2200e-03 1.5061e-03
1.3567e+06 5.1644e+01 0:01:14 82

119 9.3549e-04 1.9193e-05 1.8953e-05 5.1102e-05 4.5390e-08 2.2052e-03 1.4890e-03
1.3567e+06 5.1644e+01 0:00:59 81

120 9.2881e-04 1.9086e-05 1.8608e-05 5.0335e-05 4.4977e-08 2.1931e-03 1.4668e-03
1.3567e+06 5.1644e+01 0:01:02 80

121 9.1705e-04 1.8943e-05 1.8519e-05 4.9395e-05 4.4576e-08 2.1792e-03 1.4796e-03
1.3567e+06 5.1645e+01 0:01:05 79

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

122 9.0734e-04 1.8741e-05 1.8504e-05 4.8934e-05 4.5177e-08 2.1663e-03 1.4194e-03
1.3567e+06 5.1645e+01 0:01:07 78

123 8.9275e-04 1.8315e-05 1.8401e-05 4.8210e-05 4.5139e-08 2.1487e-03 1.4306e-03
1.3567e+06 5.1645e+01 0:01:08 77

124 8.7788e-04 1.7869e-05 1.8125e-05 4.7697e-05 4.4924e-08 2.1328e-03 1.3755e-03
1.3567e+06 5.1645e+01 0:00:54 76

125 8.6612e-04 1.7441e-05 1.7850e-05 4.7298e-05 4.5070e-08 2.1187e-03 1.3730e-03
1.3567e+06 5.1645e+01 0:00:58 75

126 8.4986e-04 1.7151e-05 1.7488e-05 4.6503e-05 4.5214e-08 2.1023e-03 1.3289e-03
1.3567e+06 5.1645e+01 0:01:00 74

127 8.3784e-04 1.6848e-05 1.7161e-05 4.5494e-05 4.4950e-08 2.0871e-03 1.2980e-03
1.3567e+06 5.1645e+01 0:01:02 73

128 8.1961e-04 1.6431e-05 1.6749e-05 4.4543e-05 4.4615e-08 2.0727e-03 1.2849e-03
1.3567e+06 5.1645e+01 0:01:03 72

129 8.1285e-04 1.6096e-05 1.6413e-05 4.3840e-05 4.5290e-08 2.0564e-03 1.2505e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:01:04 71

130 8.0527e-04 1.5799e-05 1.6077e-05 4.3382e-05 4.5084e-08 2.0417e-03 1.2597e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:00:51 70

131 7.9850e-04 1.5556e-05 1.5771e-05 4.3373e-05 4.5320e-08 2.0262e-03 1.2472e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:00:54 69

132 7.9505e-04 1.5410e-05 1.5511e-05 4.3867e-05 4.5234e-08 2.0179e-03 1.2866e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:00:56 68

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

133 7.8549e-04 1.5302e-05 1.5345e-05 4.4289e-05 4.5066e-08 2.0061e-03 1.3066e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:00:58 67

134 7.8717e-04 1.5208e-05 1.5266e-05 4.5302e-05 4.4414e-08 1.9986e-03 1.3535e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:00:59 66

135 7.9329e-04 1.5259e-05 1.5126e-05 4.6597e-05 4.5082e-08 1.9856e-03 1.3799e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:00:59 65

136 7.9150e-04 1.5180e-05 1.4838e-05 4.6009e-05 4.5023e-08 1.9819e-03 1.4305e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:00:47 64

137 7.8788e-04 1.5292e-05 1.4878e-05 4.5961e-05 4.4741e-08 1.9663e-03 1.3970e-03
1.3567e+06 5.1646e+01 0:00:49 63

138 7.7350e-04 1.5281e-05 1.4846e-05 4.4616e-05 4.4906e-08 1.9508e-03 1.3731e-03
1.3567e+06 5.1647e+01 0:00:51 62

139 7.5522e-04 1.5126e-05 1.4818e-05 4.3004e-05 4.4826e-08 1.9316e-03 1.2962e-03
1.3567e+06 5.1647e+01 0:00:52 61

140 7.4598e-04 1.4905e-05 1.4777e-05 4.2075e-05 4.5079e-08 1.9201e-03 1.3170e-03
1.3567e+06 5.1647e+01 0:00:53 60

141 7.4136e-04 1.4748e-05 1.4764e-05 4.1484e-05 4.5368e-08 1.9073e-03 1.2766e-03
1.3567e+06 5.1647e+01 0:00:54 59

142 7.3222e-04 1.4532e-05 1.4821e-05 4.1351e-05 4.4590e-08 1.8942e-03 1.3132e-03
1.3567e+06 5.1647e+01 0:00:54 58

143 7.1724e-04 1.4336e-05 1.4838e-05 4.1509e-05 4.4763e-08 1.8790e-03 1.2834e-03
1.3567e+06 5.1647e+01 0:00:42 57

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

144 7.1708e-04 1.4299e-05 1.4777e-05 4.1902e-05 4.4864e-08 1.8700e-03 1.3175e-03
1.3567e+06 5.1647e+01 0:00:44 56

145 7.1673e-04 1.4345e-05 1.4580e-05 4.2742e-05 4.4873e-08 1.8570e-03 1.2889e-03
1.3567e+06 5.1647e+01 0:00:46 55

146 7.2005e-04 1.4484e-05 1.4555e-05 4.3159e-05 4.4663e-08 1.8479e-03 1.3090e-03
1.3567e+06 5.1648e+01 0:00:47 54

147 7.1624e-04 1.4597e-05 1.4371e-05 4.3041e-05 4.4596e-08 1.8348e-03 1.2798e-03
1.3567e+06 5.1648e+01 0:00:47 53

148 7.2112e-04 1.4674e-05 1.4253e-05 4.2769e-05 4.5098e-08 1.8291e-03 1.3066e-03
1.3567e+06 5.1648e+01 0:00:48 52

149 7.2216e-04 1.4807e-05 1.4320e-05 4.2523e-05 4.5055e-08 1.8168e-03 1.2684e-03
1.3567e+06 5.1648e+01 0:00:37 51

150 7.1775e-04 1.4843e-05 1.4490e-05 4.1935e-05 4.4623e-08 1.8106e-03 1.2866e-03
1.3567e+06 5.1648e+01 0:00:39 50

151 7.1409e-04 1.4865e-05 1.4718e-05 4.2216e-05 4.4596e-08 1.7936e-03 1.2071e-03
1.3567e+06 5.1648e+01 0:00:41 49

152 7.0720e-04 1.4670e-05 1.4666e-05 4.1994e-05 4.4714e-08 1.7843e-03 1.2360e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:41 48

153 6.9477e-04 1.4446e-05 1.4460e-05 4.2314e-05 4.4836e-08 1.7648e-03 1.1597e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:42 47

154 6.8277e-04 1.4250e-05 1.4115e-05 4.2185e-05 4.5004e-08 1.7552e-03 1.1669e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:42 46

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

155 6.7933e-04 1.4226e-05 1.3953e-05 4.1382e-05 4.4448e-08 1.7372e-03 1.1076e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:33 45

156 6.8628e-04 1.4364e-05 1.4059e-05 4.0348e-05 4.4876e-08 1.7244e-03 1.0968e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:34 44

157 6.7582e-04 1.4268e-05 1.3892e-05 3.9639e-05 4.4951e-08 1.7082e-03 1.0759e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:36 43

158 6.6544e-04 1.4117e-05 1.3675e-05 3.9141e-05 4.4738e-08 1.6995e-03 1.0871e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:36 42

159 6.5510e-04 1.3896e-05 1.3395e-05 3.9009e-05 4.5306e-08 1.6868e-03 1.0943e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:36 41

160 6.6266e-04 1.3941e-05 1.3293e-05 3.9126e-05 4.4502e-08 1.6813e-03 1.1262e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:36 40

161 6.6566e-04 1.4156e-05 1.3257e-05 4.0132e-05 4.4522e-08 1.6693e-03 1.1432e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:28 39

162 6.7601e-04 1.4362e-05 1.3440e-05 4.0819e-05 4.5091e-08 1.6667e-03 1.1737e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:30 38

163 6.7477e-04 1.4210e-05 1.3251e-05 4.2077e-05 4.4270e-08 1.6585e-03 1.2027e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:31 37

164 6.7411e-04 1.4057e-05 1.2966e-05 4.2268e-05 4.5074e-08 1.6559e-03 1.2467e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:31 36

165 6.8073e-04 1.4028e-05 1.2971e-05 4.2477e-05 4.5075e-08 1.6466e-03 1.2605e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:31 35

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

166 6.7301e-04 1.4076e-05 1.2956e-05 4.1603e-05 4.5396e-08 1.6370e-03 1.2531e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:31 34

167 6.5096e-04 1.3822e-05 1.2854e-05 4.0006e-05 4.4881e-08 1.6232e-03 1.1747e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:31 33

168 6.4636e-04 1.3413e-05 1.2906e-05 3.8431e-05 4.4889e-08 1.6124e-03 1.1579e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:30 32

169 6.3028e-04 1.2908e-05 1.2826e-05 3.7546e-05 4.4942e-08 1.6008e-03 1.1151e-03
1.3567e+06 5.1649e+01 0:00:23 31

170 6.2514e-04 1.2548e-05 1.2775e-05 3.6952e-05 4.5149e-08 1.5910e-03 1.1272e-03
1.3567e+06 5.1650e+01 0:00:24 30

171 6.1765e-04 1.2341e-05 1.2901e-05 3.6932e-05 4.4688e-08 1.5805e-03 1.0895e-03
1.3567e+06 5.1650e+01 0:00:24 29

172 6.0203e-04 1.2130e-05 1.2744e-05 3.6840e-05 4.4949e-08 1.5718e-03 1.1315e-03
1.3567e+06 5.1650e+01 0:00:24 28

173 6.0315e-04 1.2166e-05 1.2548e-05 3.7431e-05 4.5207e-08 1.5616e-03 1.0852e-03
1.3567e+06 5.1650e+01 0:00:24 27

174 6.1649e-04 1.2473e-05 1.2636e-05 3.8163e-05 4.4966e-08 1.5585e-03 1.1498e-03
1.3567e+06 5.1650e+01 0:00:19 26

175 6.1212e-04 1.2494e-05 1.2188e-05 3.7882e-05 4.4921e-08 1.5487e-03 1.0979e-03
1.3567e+06 5.1650e+01 0:00:19 25

176 6.1540e-04 1.2752e-05 1.2069e-05 3.7400e-05 4.5120e-08 1.5460e-03 1.1513e-03
1.3567e+06 5.1650e+01 0:00:20 24

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

177 6.1736e-04 1.2906e-05 1.1943e-05 3.7056e-05 4.4978e-08 1.5309e-03 1.0970e-03
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:20 23

178 6.0431e-04 1.2822e-05 1.1959e-05 3.6468e-05 4.4946e-08 1.5258e-03 1.1316e-03
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:19 22

179 6.0076e-04 1.2765e-05 1.2122e-05 3.6320e-05 4.5135e-08 1.5075e-03 1.0587e-03
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:19 21

180 5.9760e-04 1.2567e-05 1.2215e-05 3.6335e-05 4.5013e-08 1.4991e-03 1.0817e-03
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:19 20

181 6.1449e-04 1.2729e-05 1.2488e-05 3.6426e-05 4.5170e-08 1.4808e-03 1.0076e-03
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:18 19

182 6.0894e-04 1.2482e-05 1.2433e-05 3.6744e-05 4.5061e-08 1.4709e-03 1.0209e-03
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:17 18

183 6.0526e-04 1.2365e-05 1.2355e-05 3.6518e-05 4.5328e-08 1.4543e-03 9.6417e-04
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:13 17

184 6.0387e-04 1.2316e-05 1.2328e-05 3.6140e-05 4.5007e-08 1.4468e-03 9.5460e-04
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:13 16

185 6.0329e-04 1.2174e-05 1.2326e-05 3.5903e-05 4.4522e-08 1.4338e-03 9.2216e-04
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:13 15

186 6.0018e-04 1.2097e-05 1.2363e-05 3.5911e-05 4.5355e-08 1.4262e-03 9.2352e-04
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:12 14

187 6.0226e-04 1.2033e-05 1.2316e-05 3.6196e-05 4.5305e-08 1.4156e-03 9.2707e-04
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:12 13

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

188 6.0699e-04 1.2033e-05 1.2359e-05 3.6948e-05 4.4935e-08 1.4128e-03 9.5068e-04
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:11 12

189 6.1682e-04 1.2109e-05 1.2362e-05 3.8188e-05 4.4927e-08 1.4055e-03 9.8169e-04
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:10 11

190 6.2826e-04 1.2439e-05 1.2509e-05 3.9446e-05 4.5523e-08 1.4042e-03 1.0093e-03
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:10 10

191 6.2834e-04 1.2575e-05 1.2553e-05 4.1173e-05 4.4832e-08 1.4001e-03 1.0509e-03
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:09 9

192 6.4066e-04 1.2844e-05 1.2614e-05 4.3063e-05 4.5413e-08 1.4018e-03 1.0792e-03
1.3567e+06 5.1651e+01 0:00:08 8

193 6.4917e-04 1.3063e-05 1.2677e-05 4.3313e-05 4.5293e-08 1.3981e-03 1.1118e-03
1.3567e+06 5.1652e+01 0:00:05 7

194 6.4861e-04 1.3310e-05 1.2900e-05 4.3070e-05 4.5430e-08 1.3933e-03 1.1186e-03
1.3567e+06 5.1652e+01 0:00:05 6

195 6.3173e-04 1.3432e-05 1.2924e-05 4.1615e-05 4.5420e-08 1.3788e-03 1.0620e-03
1.3567e+06 5.1652e+01 0:00:04 5

196 6.1674e-04 1.3313e-05 1.2967e-05 3.9644e-05 4.5292e-08 1.3677e-03 1.0324e-03
1.3567e+06 5.1652e+01 0:00:04 4

197 6.0855e-04 1.3029e-05 1.2995e-05 3.8188e-05 4.4953e-08 1.3585e-03 1.0094e-03
1.3567e+06 5.1652e+01 0:00:03 3

198 5.8735e-04 1.2488e-05 1.2716e-05 3.6700e-05 4.5255e-08 1.3502e-03 1.0058e-03
1.3567e+06 5.1652e+01 0:00:02 2

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity energy k epsilon entrada_moni
salida_monit time/iter

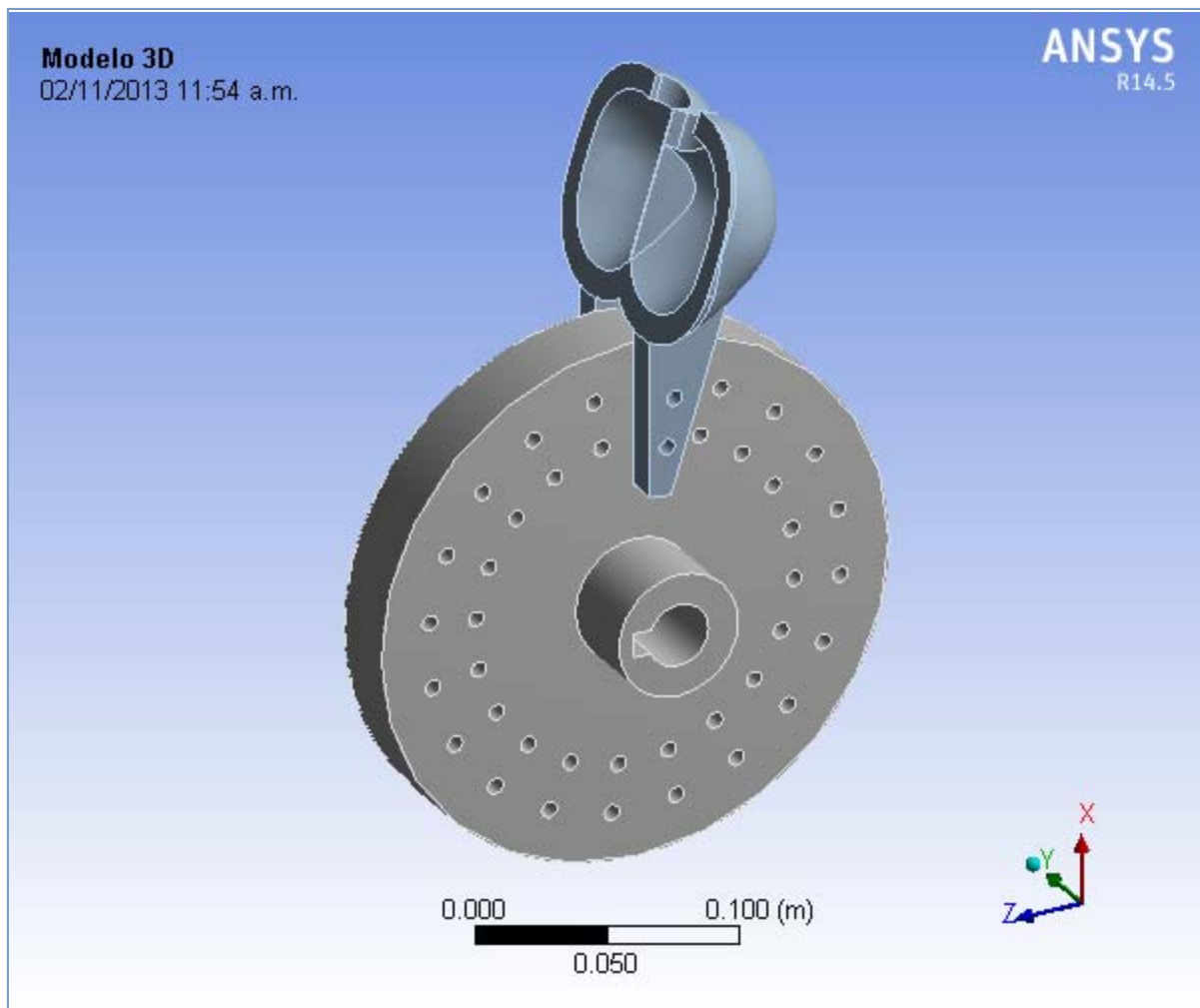
199 5.7700e-04 1.1985e-05 1.2570e-05 3.6064e-05 4.4879e-08 1.3386e-03 9.9227e-04
1.3567e+06 5.1652e+01 0:00:01 1

200 5.7118e-04 1.1633e-05 1.2626e-05 3.6055e-05 4.5183e-08 1.3324e-03 1.0062e-03
1.3567e+06 5.1652e+01 0:00:00 0



Analisis Turbina Pelton

First Saved	Thursday, October 31, 2013
Last Saved	Saturday, November 02, 2013
Product Version	14.5 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Modelo 3D \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Remote Points](#)
 - [Remote Point](#)
 - [Connections](#)
 - [Unión de Disco y Álabe](#)
 - [Contact Region](#)
 - [Bulon1](#)
 - [Mallado del Ensemble](#)
 - [Named Selections](#)
 - [Cargas y Soportes \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
 - [Momento](#)
- [Material Data](#)
 - [Stainless Steel](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Modelo 3D (A4)

Modelo 3D (A4) > Comment

Geometry

TABLE 2
Modelo 3D (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined

Definition	
Source	C:\Users\Principal\Desktop\Turbina_Pelton1_files\dp0\SYSDM\SYSDM.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	0.30778 m
Length Y	0.11519 m
Length Z	0.216 m
Properties	
Volume	1.3025e-003 m ³
Mass	10.095 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	2
Nodes	70849
Elements	41233
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\Principal\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Modelo 3D (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Disco</i>	<i>Álabe</i>
State	Meshed	
Graphics Properties		
Visible	Yes	
Transparency	1	
Definition		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Stainless Steel	

Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	0.216 m	0.15263 m
Length Y	0.1 m	0.11519 m
Length Z	0.216 m	5.4453e-002 m
Properties		
Volume	1.1476e-003 m ³	1.549e-004 m ³
Mass	8.8943 kg	1.2004 kg
Centroid X	0.216 m	0.35414 m
Centroid Y	-4.742e-002 m	-4.7419e-002 m
Centroid Z	-6.0175e-003 m	-3.292e-002 m
Moment of Inertia Ip1	4.8025e-002 kg·m ²	1.1366e-003 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	2.5532e-002 kg·m ²	1.5915e-003 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	2.5519e-002 kg·m ²	2.5258e-003 kg·m ²
Statistics		
Nodes	64254	6595
Elements	37833	3400
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4
Modelo 3D (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

Remote Points

TABLE 5
Modelo 3D (A4) > Remote Points

Object Name	<i>Remote Points</i>
State	Fully Defined
Display	
Show Connection Lines	No

TABLE 6
Modelo 3D (A4) > Remote Points > Remote Point

Object Name	<i>Remote Point</i>
State	Fully Defined
Scope	

Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	4 Faces
Coordinate System	Global Coordinate System
X Coordinate	0.216 m
Y Coordinate	-4.742e-002 m
Z Coordinate	-2.9012e-003 m
Location	Defined
Definition	
Suppressed	No
Behavior	Deformable
Pinball Region	All
DOF Selection	Program Controlled

Connections

TABLE 7
Modelo 3D (A4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 8
Modelo 3D (A4) > Connections > Unión de Disco y Álabes

Object Name	<i>Unión de Disco y Álabes</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	9.8315e-004 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

TABLE 9
Modelo 3D (A4) > Connections > Unión de Disco y Álabes > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	2 Faces

Target	2 Faces
Contact Bodies	Disco
Target Bodies	Álabe
Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	9.8315e-004 m
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 10
Modelo 3D (A4) > Connections > Bulon1

Object Name	<i>Bulon1</i>	<i>Bulon2</i>
State	Fully Defined	
Graphics Properties		
Visible	Yes	
Definition		
Material	Structural Steel	
Cross Section	Circular	
Radius	3.175e-003 m	
Suppressed	No	
Scope		
Scope	Body-Body	
Reference		
Scoping Method	Geometry Selection	
Scope	1 Face	
Body	Álabe	
Coordinate System	Global Coordinate System	
Reference X Coordinate	0.28359 m	0.30334 m
Reference Y Coordinate	-6.8795e-002 m	
Reference Z Coordinate	-1.3557e-002 m	-1.6686e-002 m
Reference Location	Defined	
Behavior	Rigid	
Pinball Region	All	
Mobile		
Scoping Method	Geometry Selection	
Scope	1 Face	
Body	Álabe	
Coordinate System	Global Coordinate System	
Mobile X Coordinate	0.28359 m	0.30334 m
Mobile Y Coordinate	-2.6045e-002 m	
Mobile Z Coordinate	-1.3557e-002 m	-1.6686e-002 m
Mobile Location	Defined	

Behavior	Rigid
Pinball Region	All

Mallado del Ensemble

TABLE 11
Modelo 3D (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mallado del Ensemble</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Medium
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Fast
Span Angle Center	Medium
Minimum Edge Length	6.3889e-006 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	70849
Elements	41233
Mesh Metric	None

Named Selections

TABLE 12

Modelo 3D (A4) > Named Selections > Named Selections

Object Name	<i>Agujero_derecho</i>	<i>Agujero_izquierdo</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	2 Faces	
Definition		
Send to Solver	Yes	
Visible	Yes	
Program Controlled Inflation	Exclude	
Statistics		
Type	Manual	
Total Selection	2 Faces	
Suppressed	0	
Used by Mesh Worksheet	No	

Cargas y Soportes (A5)

TABLE 13
Modelo 3D (A4) > Analysis

Object Name	<i>Cargas y Soportes (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 14
Modelo 3D (A4) > Cargas y Soportes (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled

Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Max Number of Result Sets	Program Controlled
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\Principal\Desktop\Turbina_Pelton1_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 15
Modelo 3D (A4) > Cargas y Soportes (A5) > Loads

Object Name	<i>Fuerza</i>	<i>Desplazamiento Remoto</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	Remote Point
Geometry	4 Faces	
Remote Points	Remote Point	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Coordinate	0.216 m	
Y Coordinate	-4.742e-002 m	
Z Coordinate	-2.9012e-003 m	
Location	Defined	
Definition		
Type	Force	Remote Displacement
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0. N (ramped)	0. m (ramped)
Y Component	0. N (ramped)	0. m (ramped)
Z Component	-1700. N (ramped)	0. m (ramped)
Suppressed	No	
Rotation X	0. ° (ramped)	
Rotation Y	0. ° (ramped)	
Rotation Z	0. ° (ramped)	
Behavior	Deformable	
Advanced		
Pinball Region	All	

FIGURE 1
Modelo 3D (A4) > Cargas y Soportes (A5) > Fuerza

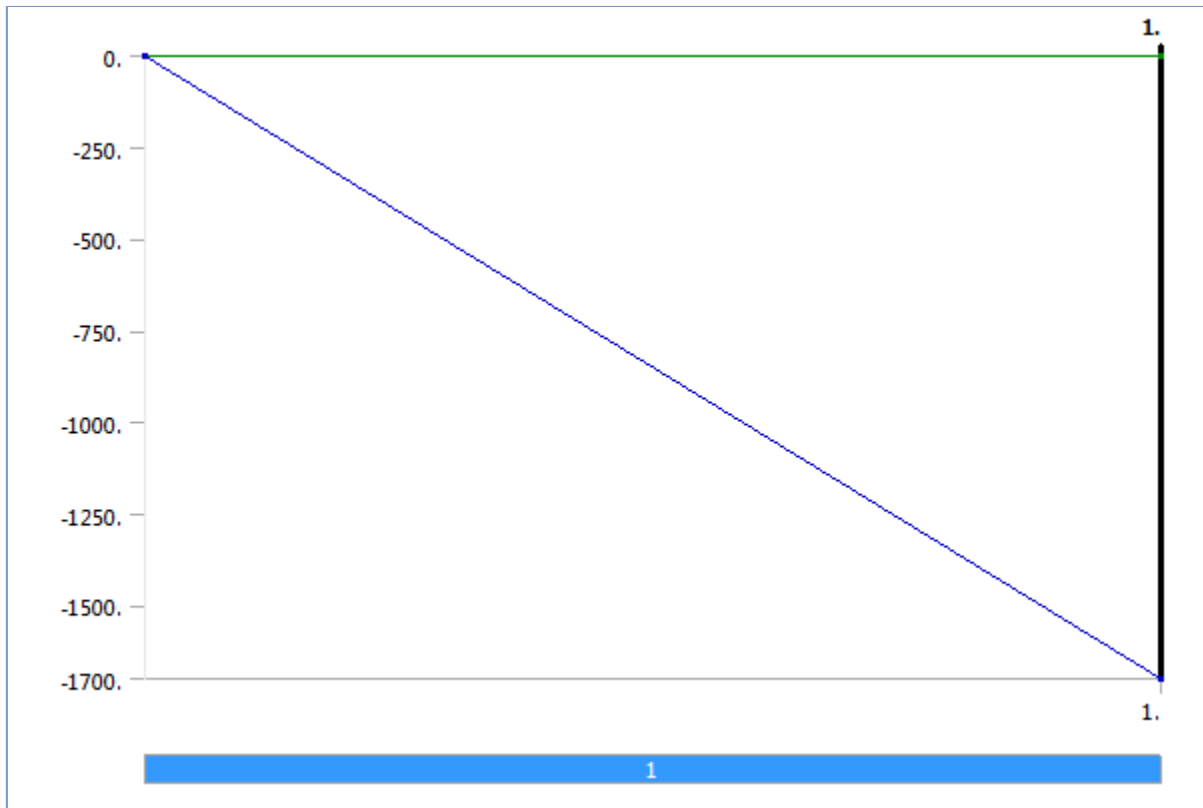
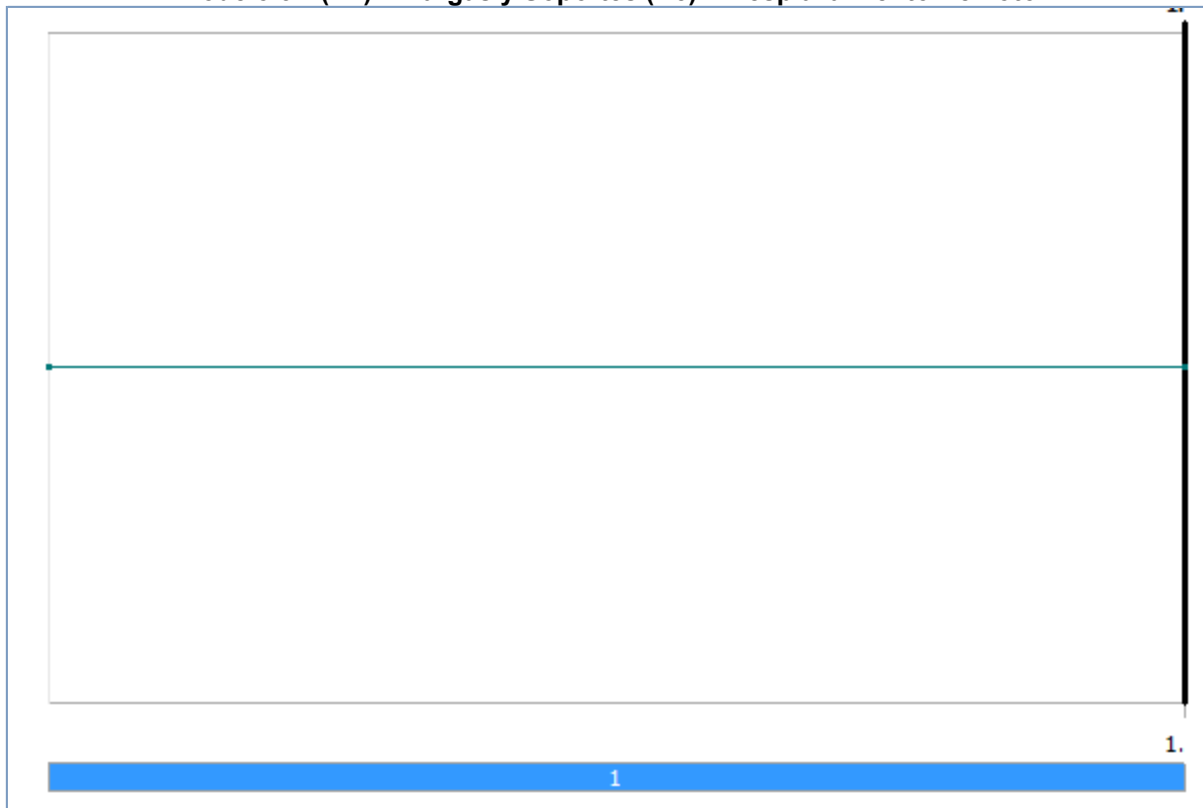


FIGURE 2
Modelo 3D (A4) > Cargas y Soportes (A5) > Desplazamiento Remoto



Solution (A6)

TABLE 16
Modelo 3D (A4) > Cargas y Soportes (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 17
Modelo 3D (A4) > Cargas y Soportes (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 18
Modelo 3D (A4) > Cargas y Soportes (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Deformación Total</i>	<i>Esfuerzos</i>
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	2.1862e-008 m	2186.3 Pa
Maximum	5.1138e-005 m	5.3424e+007 Pa
Minimum Occurs On	Disco	Álabe
Maximum Occurs On	Álabe	Disco
Information		
Time	1. s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		

Display Option	Averaged
----------------	----------

TABLE 19
Modelo 3D (A4) > Cargas y Soportes (A5) > Solution (A6) > Probes

Object Name	<i>Momento</i>
State	Solved
Definition	
Type	Moment Reaction
Location Method	Boundary Condition
Boundary Condition	Desplazamiento Remoto
Orientation	Global Coordinate System
Suppressed	No
Options	
Result Selection	All
Display Time	End Time
Results	
X Axis	5.0225e-003 N·m
Y Axis	-261.11 N·m
Z Axis	6.1196e-008 N·m
Total	261.11 N·m
Maximum Value Over Time	
X Axis	5.0225e-003 N·m
Y Axis	-261.11 N·m
Z Axis	6.1196e-008 N·m
Total	261.11 N·m
Minimum Value Over Time	
X Axis	5.0225e-003 N·m
Y Axis	-261.11 N·m
Z Axis	6.1196e-008 N·m
Total	261.11 N·m
Information	
Time	1. s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

FIGURE 3
Modelo 3D (A4) > Cargas y Soportes (A5) > Solution (A6) > Momento

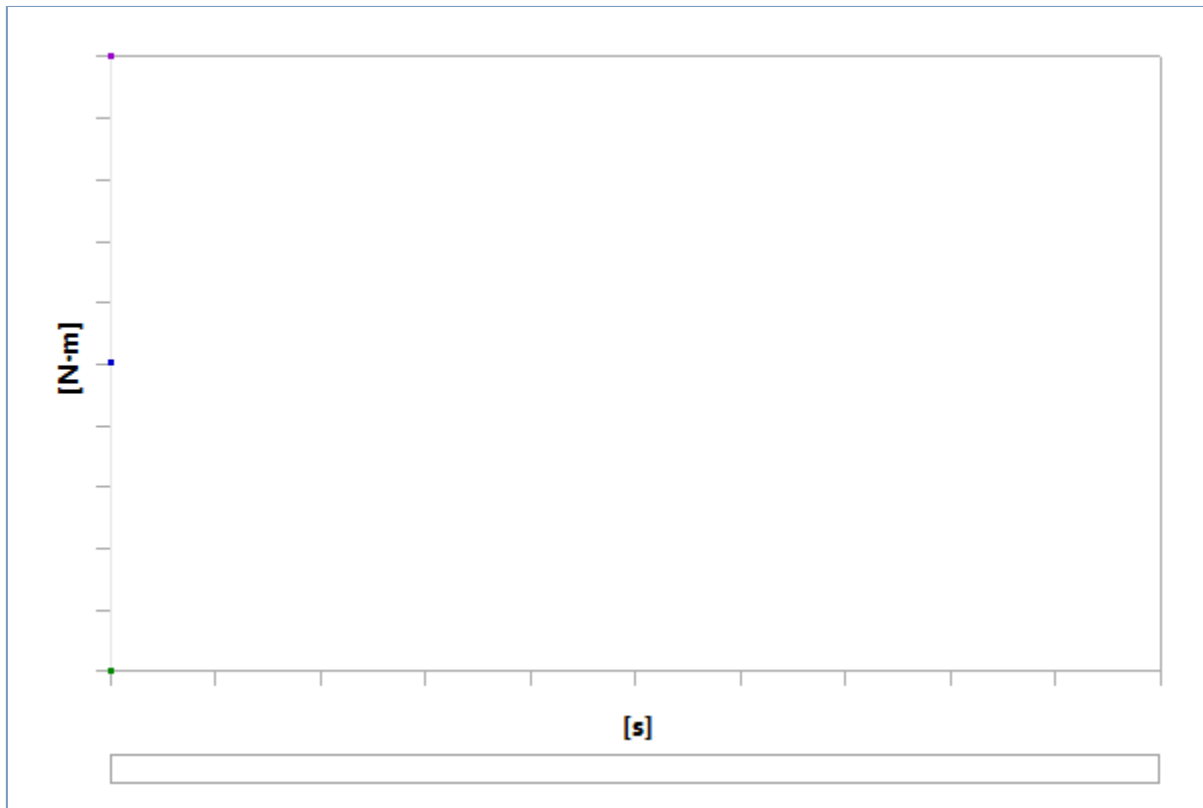


TABLE 20
Modelo 3D (A4) > Cargas y Soportes (A5) > Solution (A6) > Momento

Time [s]	Momento (X) [N·m]	Momento (Y) [N·m]	Momento (Z) [N·m]	Momento (Total) [N·m]
1.	5.0225e-003	-261.11	6.1196e-008	261.11

Material Data

Stainless Steel

TABLE 21
Stainless Steel > Constants

Density	7750 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.7e-005 C ⁻¹
Specific Heat	480 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	15.1 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	7.7e-007 ohm m

TABLE 22
Stainless Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa	0
----------------------------------	---

TABLE 23
Stainless Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa	2.07e+008
-------------------------------	-----------

TABLE 24

Stainless Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.07e+008

TABLE 25

Stainless Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5.86e+008

TABLE 26

Stainless Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 27

Stainless Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	1.93e+011	0.31	1.693e+011	7.3664e+010

TABLE 28

Stainless Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

Structural Steel

TABLE 29

Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 30

Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 31

Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 32

Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 33

Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

TABLE 34
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 35
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 36
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 37
Structural Steel > Isotropic Elasticity

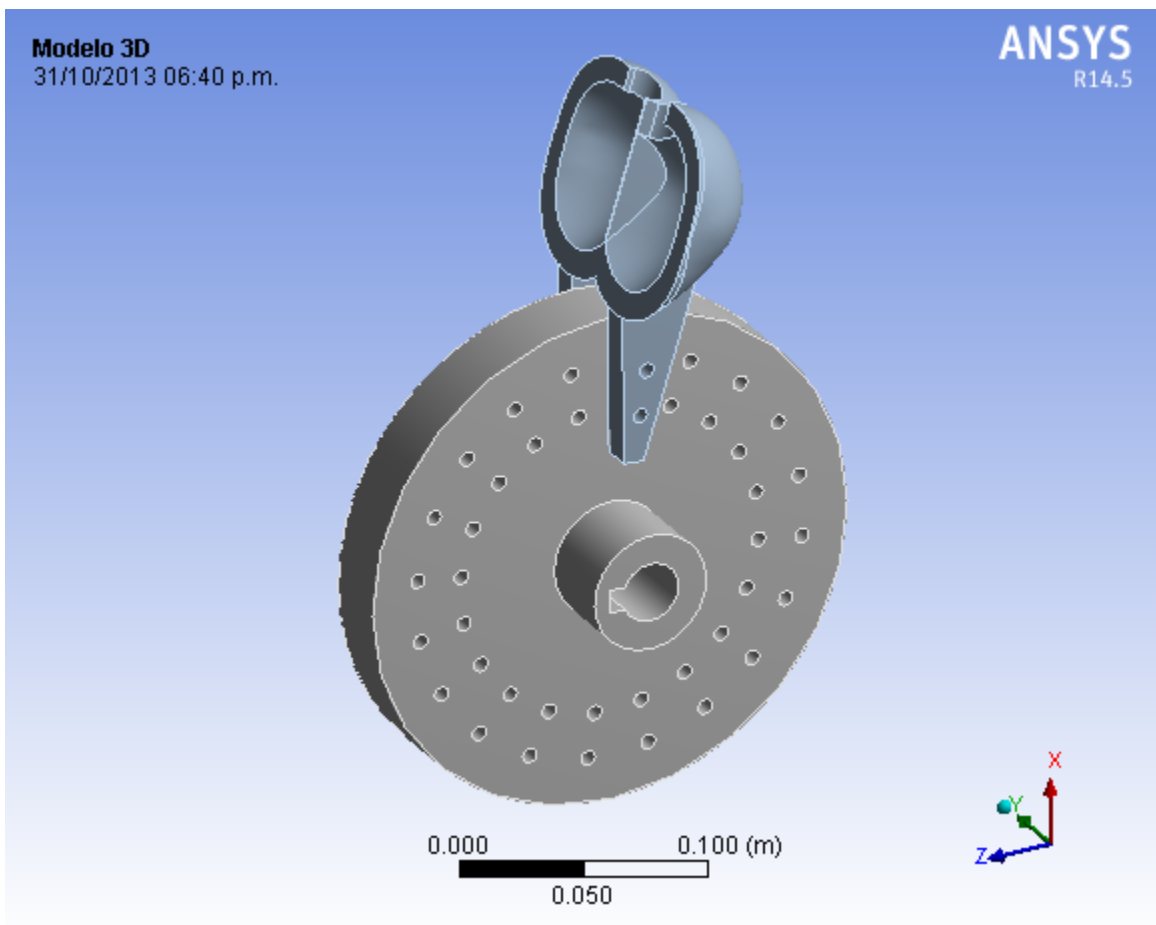
Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

TABLE 38
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

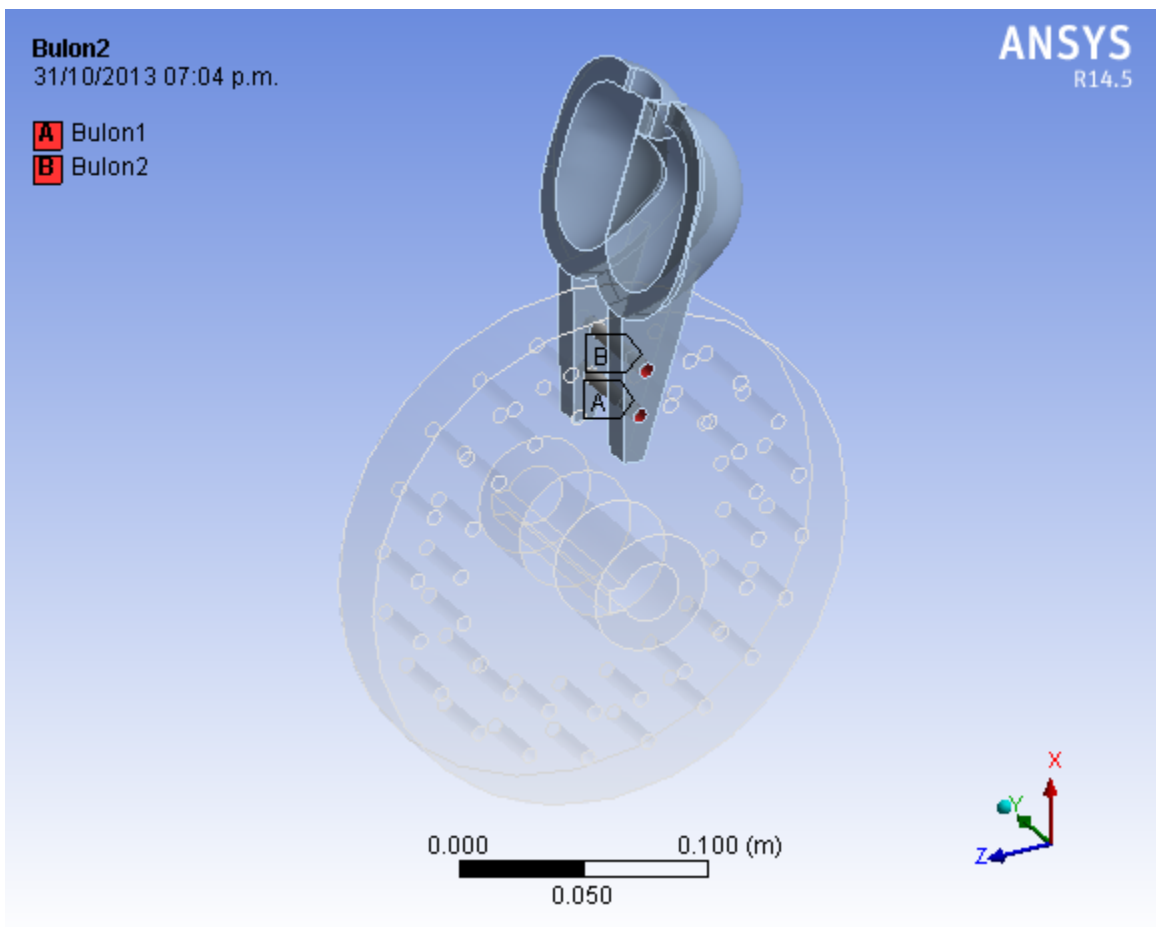
Modelo 3D

Project: Micro central hidroeléctrica usando energía osmótica
Subject: Análisis Turbina Pelton
Author: Wilder Cruzado Díaz
Prepared For: Informe de Tesis
Date: Thursday, October 31, 2013
Comments: Modelo generado en Solidworks 2013



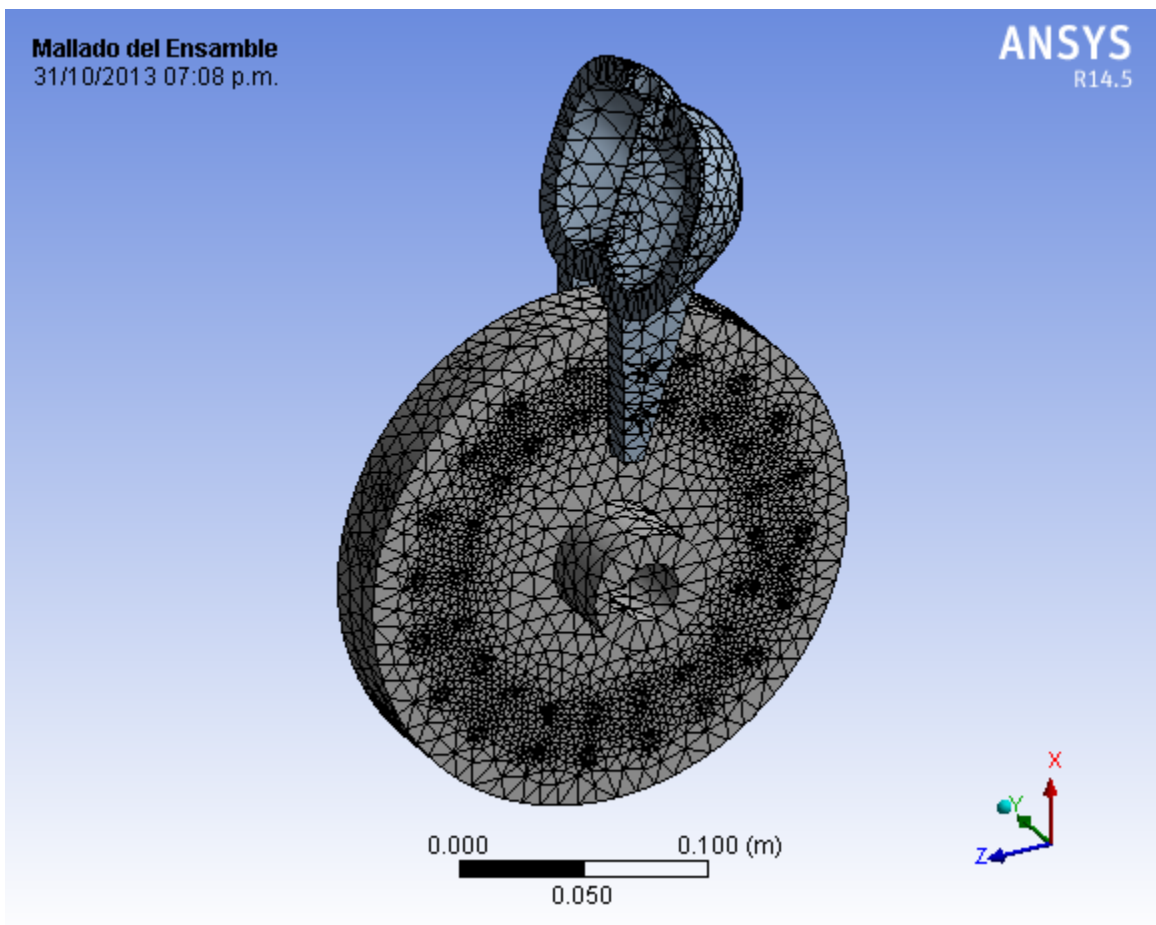
Unión de Disco y Álabe

Project: Micro central hidroeléctrica usando energía osmótica
Subject: Análisis Turbina Pelton
Author: Wilder Cruzado Díaz
Prepared For: Informe de Tesis
Date: Jueves, Octubre 31, 2013
Comments: Se ensambla los álabes con bulones al disco



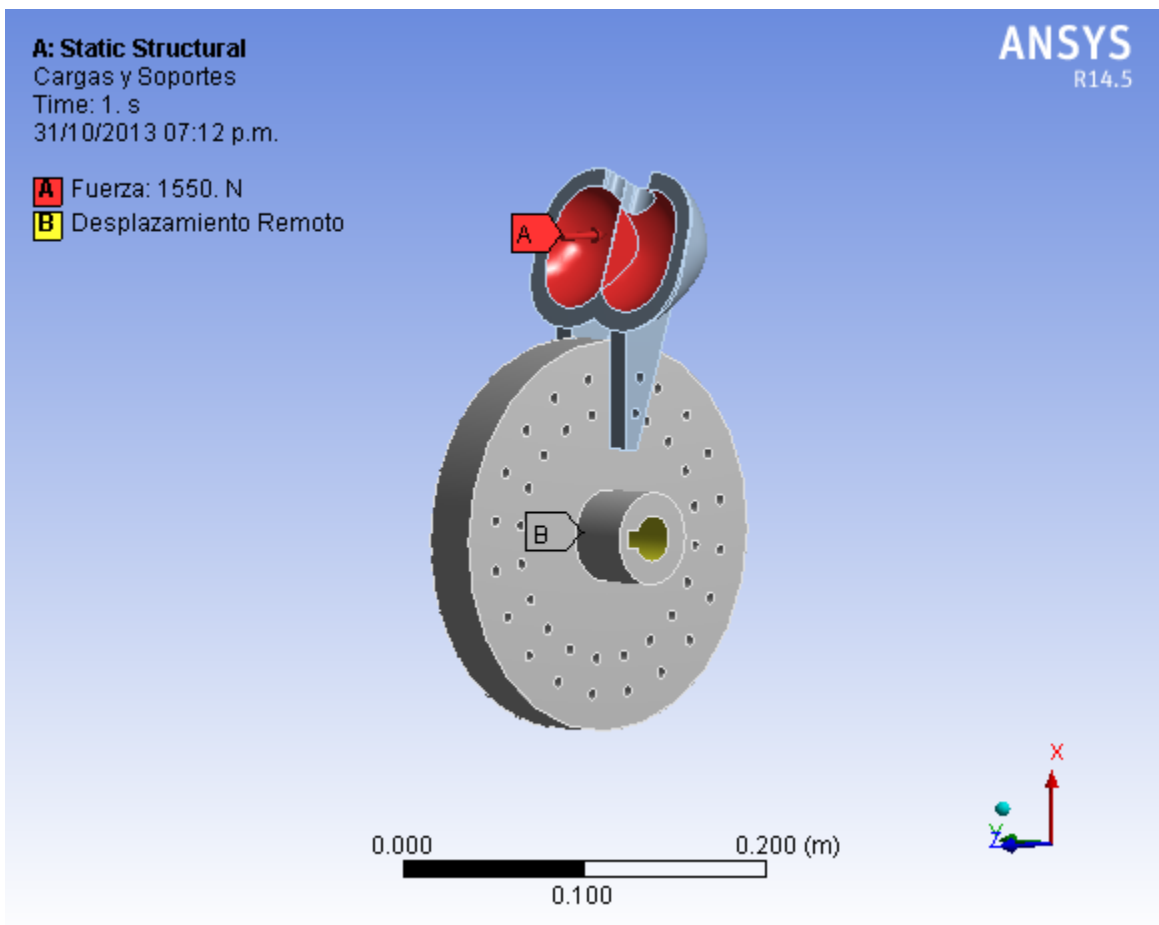
Mallado del Ensamble

Project: Micro central hidroeléctrica usando energía osmótica
Subject: Análisis Turbina Pelton
Author: Wilder Cruzado Díaz
Prepared For: Informe de Tesis
Date: Jueves, Octubre 31, 2013
Comments: Mallado fino para mayor precisión



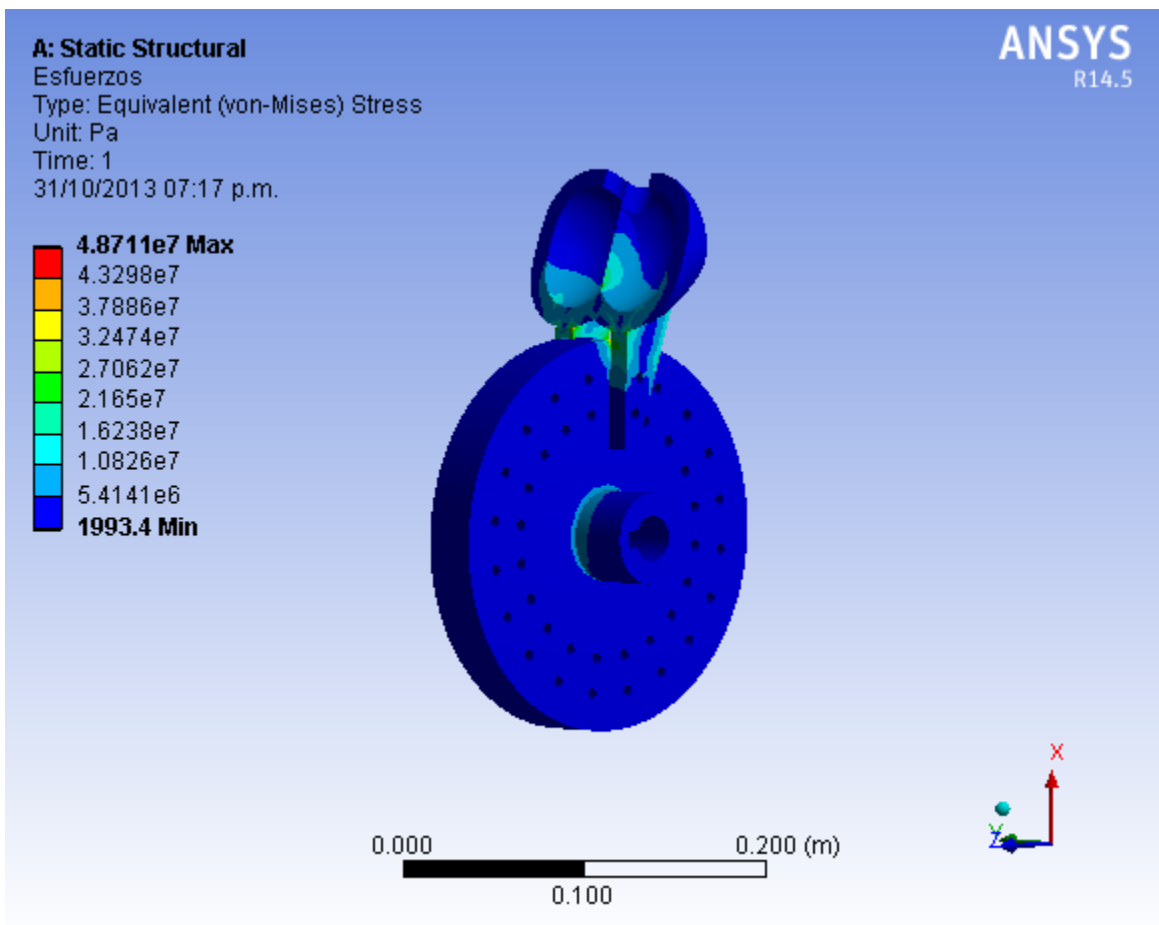
Cargas y Soportes

Project: Analisis Turbina Pelton
Subject: Análisis Turbina Pelton
Author: Wilder Cruzado Díaz
Prepared For: Informe de Tesis
Date: Jueves, Octubre 31, 2013
Comments: Se obtendrá un momento o torque en el eje



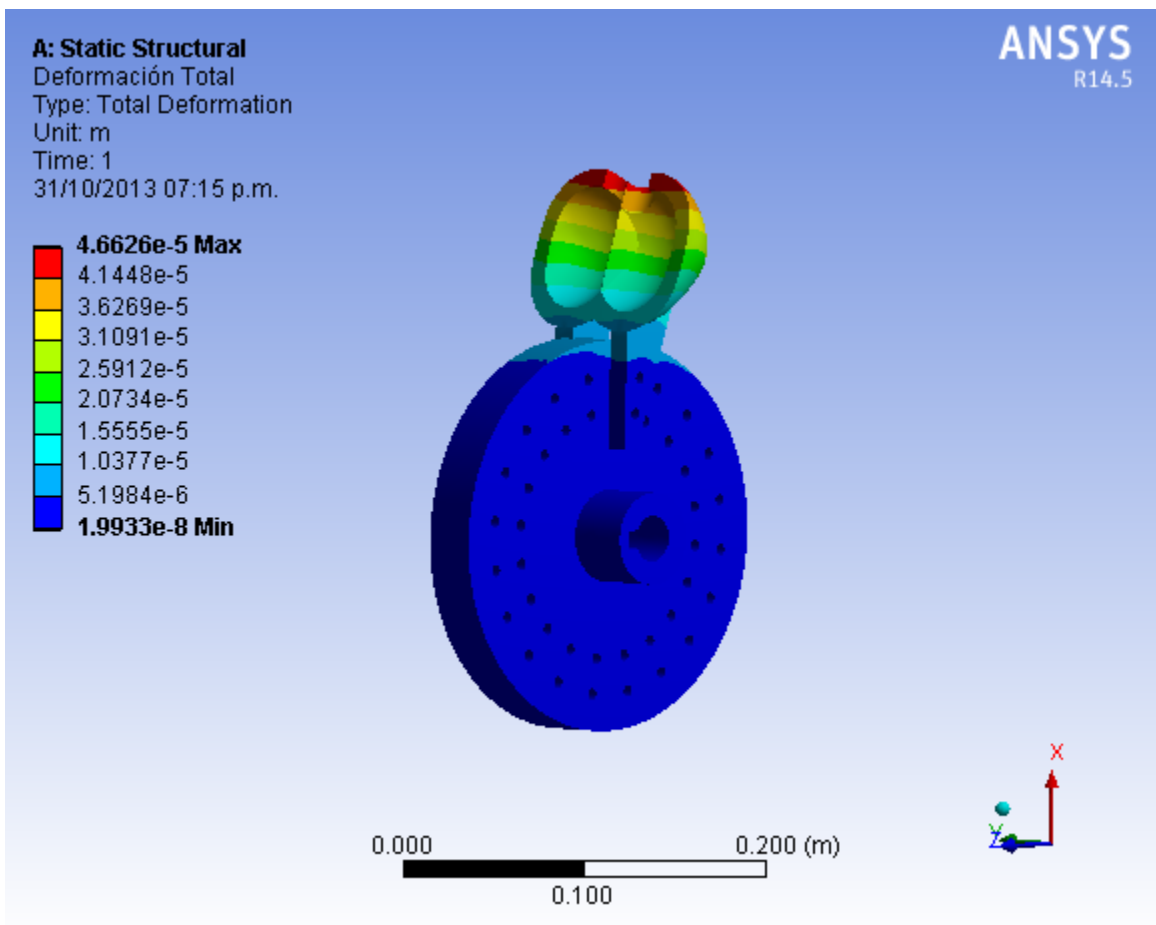
Esfuerzos

Project: Micro central hidroeléctrica usando energía osmótica
Subject: Análisis Turbina Pelton
Author: Wilder Cruzado Díaz
Prepared For: Informe de Tesis
Date: Jueves, Octubre 31, 2013
Comments:



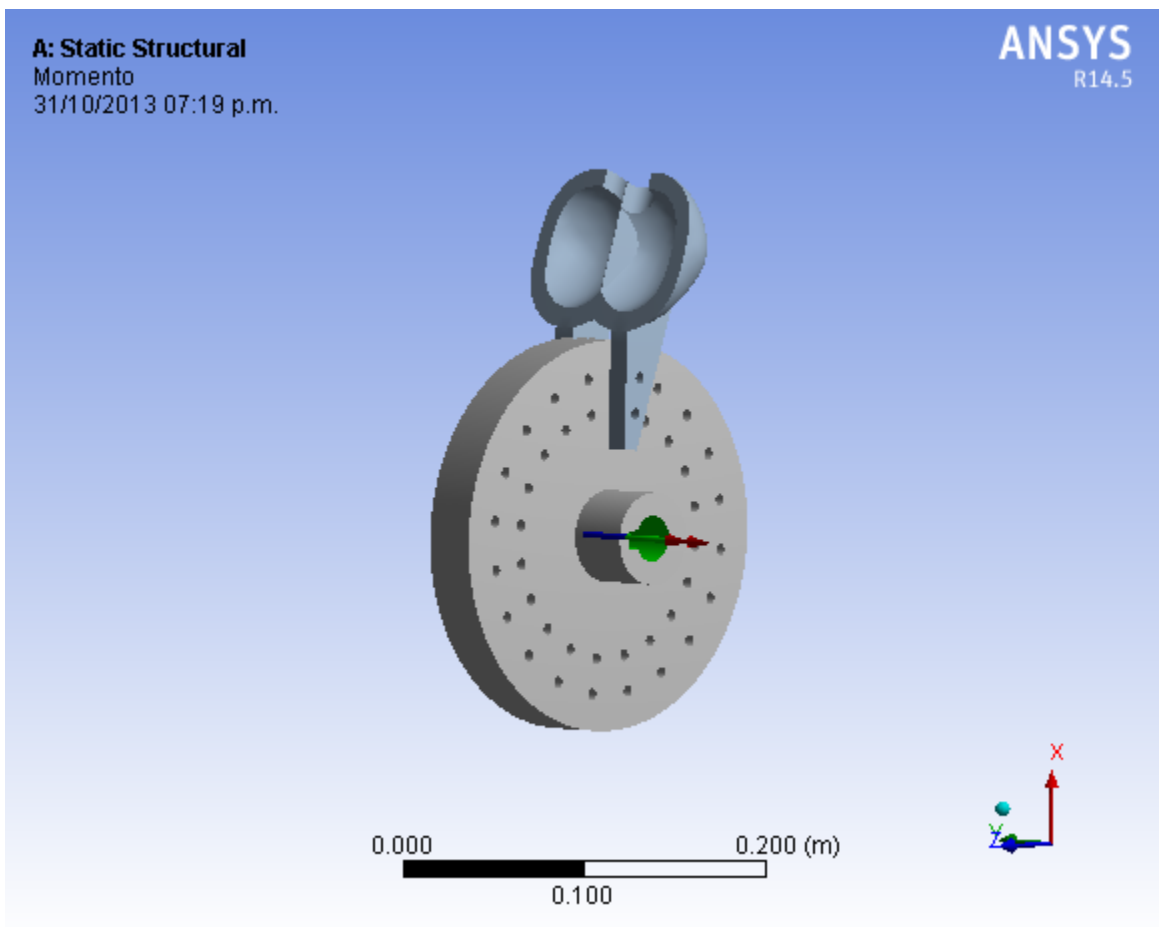
Deformación Total

Project: Micro central hidroeléctrica usando energía osmótica
Subject: Análisis Turbina Pelton
Author: Wilder Cruzado Díaz
Prepared For: Informe de Tesis
Date: Jueves, Octubre 31, 2013
Comments:



Momento

Project: Micro central hidroeléctrica usando energía osmótica
Subject: Análisis Turbina Pelton
Author: Wilder Cruzado Díaz
Prepared For: Informe de Tesis
Date: Jueves, Octubre 31, 2013
Comments: El momento que transmite al eje es de 238 N-m



Solver Output

ANSYS Multiphysics

```

-----
|
|  W E L C O M E  T O  T H E  A N S Y S  ( R )  P R O G R A M
|
|-----

```

```

*****
*
*          ANSYS 14.5 LEGAL NOTICES
*
*****
* Copyright 2012 SAS IP, Inc. All rights reserved.
* Unauthorized use, distribution or duplication is
* prohibited.
*
* Ansys is a registered trademark of ANSYS, Inc. or its
* subsidiaries in the United States or other countries.
* See the ANSYS, Inc. online documentation or the ANSYS, Inc.
* documentation CD or online help for the complete Legal
* Notice.
*
*****
* THIS ANSYS SOFTWARE PRODUCT AND PROGRAM DOCUMENTATION
* INCLUDE TRADE SECRETS AND CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY
* PRODUCTS OF ANSYS, INC., ITS SUBSIDIARIES, OR LICENSORS.
* The software products and documentation are furnished by
* ANSYS, Inc. or its subsidiaries under a software license
* agreement that contains provisions concerning
* non-disclosure, copying, length and nature of use,
* compliance with exporting laws, warranties, disclaimers,
* limitations of liability, and remedies, and other
* provisions. The software products and documentation may be
* used, disclosed, transferred, or copied only in accordance
* with the terms and conditions of that software license
* agreement.
*
* ANSYS, Inc. is a UL registered
* ISO 9001:2008 company.
*
*****
* This product is subject to U.S. laws governing export and
* re-export.
*
* For U.S. Government users, except as specifically granted
* by the ANSYS, Inc. software license agreement, the use,
* duplication, or disclosure by the United States Government
* is subject to restrictions stated in the ANSYS, Inc.
* software license agreement and FAR 12.212 (for non-DOD
* licenses).
*
*****

```

```

***** ANSYS COMMAND LINE ARGUMENTS *****
BATCH MODE REQUESTED (-b) = NOLIST
INPUT FILE COPY MODE (-c) = COPY
  2 PARALLEL CPUS REQUESTED
START-UP FILE MODE       = NOREAD
STOP FILE MODE           = NOREAD

00341216          VERSION=WINDOWS x64      RELEASE= 14.5    UP20120918
CURRENT JOBNAME=file 17:50:52  OCT 31, 2013 CP=      1.310

```

```

PARAMETER _DS_PROGRESS =      999.0000000
/INPUT FILE= ds.dat  LINE=      0

```

```

DO NOT WRITE ELEMENT RESULTS INTO DATABASE

```

```

*GET _WALLSTRT FROM ACTI ITEM=TIME WALL VALUE= 17.8480556

```

```

TITLE=
Turbina_Pelton--Static Structural (A5)

```

```

SET PARAMETER DIMENSIONS ON  _WB_PROJECTSCRATCH_DIR
TYPE=STRI  DIMENSIONS=      248      1      1

```

```

PARAMETER _WB_PROJECTSCRATCH_DIR(1) = C:\Users\Principal\Desktop\_ProjectScratch\ScrAB24\

```

```

SET PARAMETER DIMENSIONS ON  _WB_SOLVERFILES_DIR
TYPE=STRI  DIMENSIONS=      248      1      1

```

```

PARAMETER _WB_SOLVERFILES_DIR(1) = C:\Users\Principal\Desktop\Turbina_Pelton_files\dp0\SYS\MECH\

```

```

SET PARAMETER DIMENSIONS ON  _WB_USERFILES_DIR
TYPE=STRI  DIMENSIONS=      248      1      1

```

```

PARAMETER _WB_USERFILES_DIR(1) = C:\Users\Principal\Desktop\Turbina_Pelton_files\user_files\
--- Data in consistent MKS units.

```

```

MKS UNITS SPECIFIED FOR INTERNAL
LENGTH      (L) = METER (M)
MASS        (M) = KILOGRAM (KG)
TIME        (t) = SECOND (SEC)
TEMPERATURE (T) = CELSIUS (C)

```

```

TOFFSET          = 273.0
CHARGE           (Q) = COULOMB
FORCE            (F) = NEWTON (N) (KG-M/SEC2)
HEAT             = JOULE (N-M)

PRESSURE         = PASCAL (NEWTON/M**2)
ENERGY           (W) = JOULE (N-M)
POWER           (P) = WATT (N-M/SEC)
CURRENT         (i) = AMPERE (COULOMBS/SEC)
CAPACITANCE     (C) = FARAD
INDUCTANCE      (L) = HENRY
MAGNETIC FLUX   = WEBBER
RESISTANCE      (R) = OHM
ELECTRIC POTENTIAL = VOLT

INPUT UNITS ARE ALSO SET TO MKS
1

**** ANSYS - ENGINEERING ANALYSIS SYSTEM  RELEASE 14.5      ****
ANSYS Multiphysics
00341216          VERSION=WINDOWS x64   17:50:53  OCT 31, 2013 CP=    1.373

Turbina_Pelton--Static Structural (A5)

**** ANSYS ANALYSIS DEFINITION (PREP7) ****
***** Nodes for the whole assembly *****
***** Elements for Body 1 "Disco-1" *****
***** Elements for Body 2 "Solid" *****
***** Send User Defined Coordinate System(s) *****
***** Set Reference Temperature *****
***** Send Materials *****
***** Create Contact "Contact Region" *****
Real Contact Set For Above Contact Is 4 & 3
***** Send Named Selection as Node Component *****
***** Send Named Selection as Node Component *****
***** Define Force Using Surface Effect Elements *****
***** Create Remote Point "Internal Remote Point" *****
***** Create Remote Point "Internal Remote Point 2" *****
***** Create Remote Point "Internal Remote Point 3" *****
***** Create Remote Point "Internal Remote Point 4" *****
***** Create Remote Point "Remote Point" *****
***** Construct Remote Displacement Using RBE3/CERIG Contact *****
*** Created for Use in Spectrum Analysis ***
*** Created for Use in Spectrum Analysis ***
***** Create Beam Connection "Circular - Solid To Solid" *****
Real Contact Set For Above Beam Connection Is 16
***** Create Beam Connection "Circular - Solid To Solid" *****
Real Contact Set For Above Beam Connection Is 17

**** ROUTINE COMPLETED **** CP =          2.309

--- Number of total nodes = 70854
--- Number of contact elements = 1963
--- Number of spring elements = 0
--- Number of bearing elements = 0
--- Number of solid elements = 41233
--- Number of total elements = 43203

*GET _WALLBSOL FROM ACT1 ITEM=TIME WALL VALUE= 17.8480556
*****
***** SOLUTION *****
*****

**** ANSYS SOLUTION ROUTINE ****

PERFORM A STATIC ANALYSIS
THIS WILL BE A NEW ANALYSIS

USE A MAXIMUM OF      1 EQUILIBRIUM ITERATIONS EACH SUBSTEP

*** WARNING *** CP =          2.324  TIME= 17:50:53
Using 1 iteration per substep may result in unconverged solutions for
nonlinear analysis and the program may not indicate divergence in this
case. Check your results.

DO NOT USE PREDICTOR METHOD FOR ALL DEGREES OF FREEDOM

USE SPARSE MATRIX DIRECT SOLVER

CONTACT INFORMATION PRINTOUT LEVEL      1

NLDIAG: Nonlinear diagnostics CONT option is set to ON.
Writing frequency : each ITERATION.

DO NOT SAVE ANY RESTART FILES AT ALL
*****
***** SOLVE FOR LS 1 *****

SELECT          FOR ITEM=TYPE COMPONENT=
IN RANGE       5 TO          5 STEP      1

          375 ELEMENTS (OF 43203 DEFINED) SELECTED BY ESEL COMMAND.

SELECT          ALL NODES HAVING ANY ELEMENT IN ELEMENT SET.

          863 NODES (OF 70854 DEFINED) SELECTED FROM
          375 SELECTED ELEMENTS BY NSLE COMMAND.

SPECIFIED SURFACE LOAD PRES FOR ALL SELECTED ELEMENTS LKEY = 1  KVAL = 1
SET ACCORDING TO TABLE PARAMETER = _LOADVARIS2X

SPECIFIED SURFACE LOAD PRES FOR ALL SELECTED ELEMENTS LKEY = 2  KVAL = 1
SET ACCORDING TO TABLE PARAMETER = _LOADVARIS2Y

SPECIFIED SURFACE LOAD PRES FOR ALL SELECTED ELEMENTS LKEY = 3  KVAL = 1
SET ACCORDING TO TABLE PARAMETER = _LOADVARIS2Z

```



```

ALL SELECT FOR ITEM=NODE COMPONENT=
IN RANGE 1 TO 70855 STEP 1

70854 NODES (OF 70854 DEFINED) SELECTED BY NSEL COMMAND.

ALL SELECT FOR ITEM=ELEM COMPONENT=
IN RANGE 1 TO 43209 STEP 1

43203 ELEMENTS (OF 43203 DEFINED) SELECTED BY ESEL COMMAND.

SPECIFIED CONSTRAINT UX FOR SELECTED NODES 70855 TO 70855 BY 1
SET ACCORDING TO TABLE PARAMETER = _LOADVARI59UX

SPECIFIED CONSTRAINT UY FOR SELECTED NODES 70855 TO 70855 BY 1
SET ACCORDING TO TABLE PARAMETER = _LOADVARI59UY

SPECIFIED CONSTRAINT UZ FOR SELECTED NODES 70855 TO 70855 BY 1
SET ACCORDING TO TABLE PARAMETER = _LOADVARI59UZ

SPECIFIED CONSTRAINT ROTX FOR SELECTED NODES 70855 TO 70855 BY 1
SET ACCORDING TO TABLE PARAMETER = _LOADVARI59ROTX

SPECIFIED CONSTRAINT ROTY FOR SELECTED NODES 70855 TO 70855 BY 1
SET ACCORDING TO TABLE PARAMETER = _LOADVARI59ROTY

SPECIFIED CONSTRAINT ROTZ FOR SELECTED NODES 70855 TO 70855 BY 1
SET ACCORDING TO TABLE PARAMETER = _LOADVARI59ROTZ

PRINTOUT RESUMED BY /GOP

USE 1 SUBSTEPS INITIALLY THIS LOAD STEP FOR ALL DEGREES OF FREEDOM
FOR AUTOMATIC TIME STEPPING:
USE 1 SUBSTEPS AS A MAXIMUM
USE 1 SUBSTEPS AS A MINIMUM

TIME= 1.0000

ERASE THE CURRENT DATABASE OUTPUT CONTROL TABLE.

WRITE ALL ITEMS TO THE DATABASE WITH A FREQUENCY OF NONE
FOR ALL APPLICABLE ENTITIES

WRITE NSOL ITEMS TO THE DATABASE WITH A FREQUENCY OF ALL
FOR ALL APPLICABLE ENTITIES

WRITE RSOL ITEMS TO THE DATABASE WITH A FREQUENCY OF ALL
FOR ALL APPLICABLE ENTITIES

WRITE STRS ITEMS TO THE DATABASE WITH A FREQUENCY OF ALL
FOR ALL APPLICABLE ENTITIES

WRITE EPEL ITEMS TO THE DATABASE WITH A FREQUENCY OF ALL
FOR ALL APPLICABLE ENTITIES

WRITE EPPL ITEMS TO THE DATABASE WITH A FREQUENCY OF ALL
FOR ALL APPLICABLE ENTITIES

PRINTOUT RESUMED BY /GOP

WRITE MISC ITEMS TO THE DATABASE WITH A FREQUENCY OF ALL
FOR THE ENTITIES DEFINED BY COMPONENT _ELMISC

NONLINEAR STABILIZATION CONTROL:
KEY=OFF

*GET ANSINTER_ FROM ACTI ITEM=INT VALUE= 0.00000000

*IF ANSINTER_ ( = 0.00000 ) NE
0 ( = 0.00000 ) THEN

*ENDIF

***** ANSYS SOLVE COMMAND *****

*** WARNING *** CP = 2.356 TIME= 17:50:53
Element shape checking is currently inactive. Issue SHPP,ON or
SHPP,WARN to reactivate, if desired.

*** NOTE *** CP = 2.480 TIME= 17:50:53
The model data was checked and warning messages were found.
Please review output or errors file (
C:\Users\Principal\Desktop\_ProjectScratch\ScrAB24\file.err ) for
these warning messages.

*** SELECTION OF ELEMENT TECHNOLOGIES FOR APPLICABLE ELEMENTS ***
--- GIVE SUGGESTIONS AND RESET THE KEY OPTIONS ---

ELEMENT TYPE 1 IS SOLID187. IT IS NOT ASSOCIATED WITH FULLY INCOMPRESSIBLE
HYPERELASTIC MATERIALS. NO SUGGESTION IS AVAILABLE AND NO RESETTING IS NEEDED.

ELEMENT TYPE 2 IS SOLID187. IT IS NOT ASSOCIATED WITH FULLY INCOMPRESSIBLE
HYPERELASTIC MATERIALS. NO SUGGESTION IS AVAILABLE AND NO RESETTING IS NEEDED.

ELEMENT TYPE 16 IS BEAM188 . KEYOPT(3)=2 IS ALWAYS SUGGESTED. KEYOPT(3) HAS BEEN RESET
KEYOPT(1-12)= 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0

ELEMENT TYPE 16 IS BEAM188 . KEYOPT(15) IS ALREADY SET AS SUGGESTED AND NO
RESETTING IS NEEDED.

ELEMENT TYPE 17 IS BEAM188 . KEYOPT(3)=2 IS ALWAYS SUGGESTED. KEYOPT(3) HAS BEEN RESET
KEYOPT(1-12)= 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0

ELEMENT TYPE 17 IS BEAM188 . KEYOPT(15) IS ALREADY SET AS SUGGESTED AND NO
RESETTING IS NEEDED.

1

***** ANSYS - ENGINEERING ANALYSIS SYSTEM RELEASE 14.5 *****

```

ANSYS Multiphysics
00341216 VERSION=WINDOWS x64 17:50:53 OCT 31, 2013 CP= 2.512

Turbina_Pelton--Static Structural (A5)

S O L U T I O N O P T I O N S

PROBLEM DIMENSIONALITY.3-D
DEGREES OF FREEDOM.UX UY UZ ROTX ROTY ROTZ
ANALYSIS TYPESTATIC (STEADY-STATE)
OFFSET TEMPERATURE FROM ABSOLUTE ZERO273.15
EQUATION SOLVER OPTION.SPARSE
NEWTON-RAPHSON OPTIONPROGRAM CHOSEN
GLOBALLY ASSEMBLED MATRIXSYMMETRIC

*** NOTE *** CP = 2.636 TIME= 17:50:53
This nonlinear analysis defaults to using the full Newton-Raphson solution procedure. This can be modified using the NROPT command.

*** NOTE *** CP = 2.636 TIME= 17:50:53
The conditions for direct assembly have been met. No .emat or .erot files will be produced.

*** NOTE *** CP = 2.714 TIME= 17:50:53
Internal nodes from 70856 to 70862 are created.
5 internal nodes are used for handling degrees of freedom on pilot nodes of rigid target surfaces.
2 internal nodes are used for quadratic and/or cubic options of BEAM188, PIPE288, and/or SHELL208.

L O A D S T E P O P T I O N S

LOAD STEP NUMBER.1
TIME AT END OF THE LOAD STEP.1.0000
AUTOMATIC TIME STEPPINGON
 INITIAL NUMBER OF SUBSTEPS1
 MAXIMUM NUMBER OF SUBSTEPS1
 MINIMUM NUMBER OF SUBSTEPS1
 MAXIMUM NUMBER OF EQUILIBRIUM ITERATIONS.1
STEP CHANGE BOUNDARY CONDITIONSNO
TERMINATE ANALYSIS IF NOT CONVERGEDYES (EXIT)
CONVERGENCE CONTROLS.USE DEFAULTS
PRINT OUTPUT CONTROLSNO PRINTOUT
DATABASE OUTPUT CONTROLS

ITEM	FREQUENCY	COMPONENT
ALL	NONE	
NSOL	ALL	
RSOL	ALL	
STRS	ALL	
EPPL	ALL	
EPPL	ALL	
MISC	ALL	_ELMISC

SOLUTION MONITORING INFO IS WRITTEN TO FILE= file.mntr

*** NOTE *** CP = 3.713 TIME= 17:50:54
Smoothing on certain contact nodes (e.g.114) for pair ID 14 may have accuracy issue. Please verify element normal of connected contact elements (e.g.42971 & 43202).

*** NOTE *** CP = 3.744 TIME= 17:50:54
It is highly recommended to use the auto contact setting option by issuing CNCHECK,AUTO command for this problem in order to achieve better convergence.

*** NOTE *** CP = 3.744 TIME= 17:50:54
Symmetric Deformable- deformable contact pair identified by real constant set 3 and contact element type 3 has been set up. The companion pair has real constant set ID 4. Both pairs should have the same behavior.
ANSYS will deactivate the current pair and keep its companion pair, resulting in asymmetric contact.
Contact algorithm: Augmented Lagrange method
Contact detection at: Gauss integration point
Contact stiffness factor FKN 10.000
The resulting contact stiffness 0.44895E+16
Default penetration tolerance factor FTOLN 0.10000
The resulting penetration tolerance 0.35240E-03
Default opening contact stiffness OPSF will be used.
Default tangent stiffness factor FKT 1.0000
Default elastic slip factor SLTOL 0.50000E-02
The resulting elastic slip 0.21174E-04
Update contact stiffness at each iteration
Default Max. friction stress TAUMAX 0.10000E+21
Average contact surface length 0.42348E-02
Average contact pair depth 0.35240E-02
Default pinball region factor PINB 0.25000
The resulting pinball region 0.88101E-03
Initial penetration/gap is excluded.
Bonded contact (always) is defined.

*** NOTE *** CP = 3.744 TIME= 17:50:54
Max. Initial penetration 8.76534928E-10 was detected between contact element 41644 and target element 42188.

*** NOTE *** CP = 3.744 TIME= 17:50:54
Symmetric Deformable- deformable contact pair identified by real constant set 4 and contact element type 3 has been set up. The companion pair has real constant set ID 3. Both pairs should have the same behavior.
ANSYS will keep the current pair and deactivate its companion pair, resulting in asymmetric contact.
Contact algorithm: Augmented Lagrange method
Contact detection at: Gauss integration point
Contact stiffness factor FKN 10.000

The resulting contact stiffness 0.44895E+16
 Default penetration tolerance factor FTOLN 0.10000
 The resulting penetration tolerance 0.48786E-03
 Default opening contact stiffness OPSF will be used.
 Default tangent stiffness factor FKT 1.0000
 Default elastic slip factor SLTOL 0.50000E-02
 The resulting elastic slip 0.32770E-04
 Update contact stiffness at each iteration
 Default Max. friction stress TAUMAX 0.10000E+21
 Average contact surface length 0.65540E-02
 Average contact pair depth 0.48786E-02
 Default pinball region factor PINB 0.25000
 The resulting pinball region 0.12197E-02
 Initial penetration/gap is excluded.
 Bonded contact (always) is defined.

*** NOTE *** CP = 3.744 TIME= 17:50:54
 Max. Initial penetration 5.48111114E-09 was detected between contact element 42116 and target element 41426.
 You may move entire target surface by : x= -2.238328217E-14, y= -5.48111114E-09, z= 5.706026458E-16, to reduce initial penetration.

*** NOTE *** CP = 3.744 TIME= 17:50:54
 Rigid-constraint surface identified by real constant set 6 and contact element type 6 has been set up. The degrees of freedom of the rigid surface are driven by the pilot node 70850 which connects to other element 41236. Internal MPC will be built.
 The used degrees of freedom set is UX UY UZ ROTX ROTY ROTZ

*** NOTE *** CP = 3.744 TIME= 17:50:54
 Rigid-constraint surface identified by real constant set 8 and contact element type 8 has been set up. The degrees of freedom of the rigid surface are driven by the pilot node 70851 which connects to other element 41236. Internal MPC will be built.
 The used degrees of freedom set is UX UY UZ ROTX ROTY ROTZ

*** NOTE *** CP = 3.744 TIME= 17:50:54
 Rigid-constraint surface identified by real constant set 10 and contact element type 10 has been set up. The degrees of freedom of the rigid surface are driven by the pilot node 70852 which connects to other element 41239. Internal MPC will be built.
 The used degrees of freedom set is UX UY UZ ROTX ROTY ROTZ

*** NOTE *** CP = 3.744 TIME= 17:50:54
 Rigid-constraint surface identified by real constant set 12 and contact element type 12 has been set up. The degrees of freedom of the rigid surface are driven by the pilot node 70853 which connects to other element 41239. Internal MPC will be built.
 The used degrees of freedom set is UX UY UZ ROTX ROTY ROTZ

*** NOTE *** CP = 3.744 TIME= 17:50:54
 Force-distributed-surface identified by real constant set 14 and contact element type 14 has been set up. The pilot node 70855 is used to apply the force. Internal MPC will be built.
 The used degrees of freedom set is UX UY UZ ROTX ROTY ROTZ
 Please verify constraints (including rotational degrees of freedom) on the pilot node by yourself.

The FEA model contains 0 external CE equations and 1518 internal CE equations.

 SUMMARY FOR CONTACT PAIR IDENTIFIED BY REAL CONSTANT SET 3

*** NOTE *** CP = 8.814 TIME= 17:50:57
 Contact pair is inactive.

 SUMMARY FOR CONTACT PAIR IDENTIFIED BY REAL CONSTANT SET 4
 Max. Penetration of -1.387778781E-17 has been detected between contact element 42309 and target element 41791.

Max. Geometrical gap of 1.713333336E-09 has been detected between contact element 42116 and target element 41426.

Max. Geometrical penetration of -5.48111114E-09 has been detected between contact element 42116 and target element 41426.
 For total 144 contact elements, there are 136 elements are in contact. There are 136 elements are in sticking.
 Contacting area 2.104975697E-03.
 Max. Pinball distance 1.219655124E-03.
 One of the contact searching regions contains at least 32 target elements.
 Max. Pressure/force 6.230498327E-02.
 Max. Normal stiffness 4.489547191E+15.
 Min. Normal stiffness 4.489547191E+15.
 Max. Tangential stiffness 2.506407215E+15.
 Min. Tangential stiffness 2.506407215E+15.

**** CENTER OF MASS, MASS, AND MASS MOMENTS OF INERTIA ****

CALCULATIONS ASSUME ELEMENT MASS AT ELEMENT CENTROID

TOTAL MASS = 10.117

CENTER OF MASS	MOM. OF INERTIA ABOUT ORIGIN	MOM. OF INERTIA ABOUT CENTER OF MASS
XC = 0.23257	IXX = 0.5126E-01	IXX = 0.2765E-01
YC = -0.47420E-01	IYY = 0.6189	IYY = 0.7086E-01
ZC = -0.92369E-02	IZZ = 0.6183	IZZ = 0.4829E-01
	IXY = 0.1116	IXY = -0.1878E-06
	IYZ = -0.4431E-02	IYZ = 0.2794E-06
	IZX = 0.2611E-01	IZX = 0.4371E-02

*** MASS SUMMARY BY ELEMENT TYPE ***

TYPE	MASS
1	8.89442
2	1.20142
16	0.106195E-01
17	0.106195E-01

Range of element maximum matrix coefficients in global coordinates
 Maximum = 7.794297556E+10 at element 42274.
 Minimum = 101458582 at element 38098.

*** ELEMENT MATRIX FORMULATION TIMES

TYPE	NUMBER	ENAME	TOTAL CP	AVE CP
1	37833	SOLID187	7.894	0.000209
2	3400	SOLID187	0.842	0.000248
3	573	CONTA174	0.094	0.000163
4	573	TARGE170	0.000	0.000000
5	375	SURF154	0.094	0.000250
6	52	CONTA174	0.000	0.000000
7	1	TARGE170	0.000	0.000000
8	50	CONTA174	0.000	0.000000
9	1	TARGE170	0.000	0.000000
10	52	CONTA174	0.000	0.000000
11	1	TARGE170	0.000	0.000000
12	50	CONTA174	0.000	0.000000
13	1	TARGE170	0.000	0.000000
14	238	CONTA174	0.031	0.000131
15	1	TARGE170	0.000	0.000000
16	1	BEAM188	0.031	0.031200
17	1	BEAM188	0.000	0.000000

Time at end of element matrix formulation CP = 8.8140564.
 FORCE CONVERGENCE VALUE = 78.82 CRITERION= 0.4021
 MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.1581E-09 CRITERION= 0.1581E-02

SPARSE MATRIX DIRECT SOLVER.

Number of equations = 211065, Maximum wavefront = 3078

*** NOTE *** CP = 14.165 TIME= 17:51:02

The initial memory allocation (-m) has been exceeded.
 Supplemental memory allocations are being used.
 Memory allocated for solver = 1164.075 MB
 Memory required for in-core = 1007.857 MB
 Optimal memory required for out-of-core = 71.599 MB
 Minimum memory required for out-of-core = 44.577 MB

*** NOTE *** CP = 14.368 TIME= 17:51:02

The Sparse Matrix solver is currently running in the in-core memory mode. This memory mode uses the most amount of memory in order to avoid using the hard drive as much as possible, which most often results in the fastest solution time. This mode is recommended if enough physical memory is present to accommodate all of the solver data.
 curEqn= 100671 totEqn= 211065 Job CP sec= 28.423
 Factor Done= 52% Factor Wall sec= 6.529 rate= 9223.8 Mflops
 curEqn= 211065 totEqn= 211065 Job CP sec= 40.701
 Factor Done= 100% Factor Wall sec= 12.676 rate= 9172.6 Mflops
 Sparse solver maximum pivot= 7.974868894E+10 at node 16017 UY.
 Sparse solver minimum pivot= 1528.67915 at node 70856 ROTY.
 Sparse solver minimum pivot in absolute value= 1528.67915 at node 70856 ROTY.

*** ELEMENT RESULT CALCULATION TIMES

TYPE	NUMBER	ENAME	TOTAL CP	AVE CP
1	37833	SOLID187	7.597	0.000201
2	3400	SOLID187	0.640	0.000188
3	573	CONTA174	0.000	0.000000
4	573	TARGE170	0.062	0.000109
5	375	SURF154	0.047	0.000125
6	52	CONTA174	0.000	0.000000
7	1	TARGE170	0.000	0.000000
8	50	CONTA174	0.000	0.000000
9	1	TARGE170	0.000	0.000000
10	52	CONTA174	0.000	0.000000
11	1	TARGE170	0.000	0.000000
12	50	CONTA174	0.000	0.000000
13	1	TARGE170	0.000	0.000000
14	238	CONTA174	0.000	0.000000
15	1	TARGE170	0.000	0.000000
16	1	BEAM188	0.000	0.000000
17	1	BEAM188	0.000	0.000000

*** NODAL LOAD CALCULATION TIMES

TYPE	NUMBER	ENAME	TOTAL CP	AVE CP
1	37833	SOLID187	0.343	0.000009
2	3400	SOLID187	0.000	0.000000
3	573	CONTA174	0.031	0.000054
4	573	TARGE170	0.000	0.000000
5	375	SURF154	0.000	0.000000
6	52	CONTA174	0.000	0.000000
7	1	TARGE170	0.000	0.000000
8	50	CONTA174	0.000	0.000000
9	1	TARGE170	0.000	0.000000
10	52	CONTA174	0.000	0.000000
11	1	TARGE170	0.000	0.000000
12	50	CONTA174	0.000	0.000000
13	1	TARGE170	0.000	0.000000
14	238	CONTA174	0.000	0.000000
15	1	TARGE170	0.000	0.000000
16	1	BEAM188	0.000	0.000000
17	1	BEAM188	0.000	0.000000

*** LOAD STEP 1 SUBSTEP 1 COMPLETED. CUM ITER = 1
 *** TIME = 1.00000 TIME INC = 1.00000 NEW TRIANG MATRIX

*** ANSYS BINARY FILE STATISTICS
 BUFFER SIZE USED= 16384

----- END ANSYS STATISTICS -----

```

*-----*
                ANSYS RUN COMPLETED
*-----*
      Release 14.5      UP20120918      WINDOWS x64
*-----*
Database Requested(-db) 512 MB  Scratch Memory Requested 512 MB
Maximum Database Used 49 MB  Maximum Scratch Memory Used 1611 MB
*-----*
CP Time (sec) = 46.722  Time = 17:51:19
Elapsed Time (sec) = 29.000  Date = 10/31/2013
*-----*

```