

## **Sistemas Conversores Fluido - Dinámicos de energía renovable para la Patagonia Argentina**

*Vitorino, Mauro Ezequiel, ezequiel\_vito@hotmail.com*

*Labriola, Carlos Víctor Manuel, carloslabriola54@yahoo.com.ar*

*Moyano, Hugo Alberto, hmoyano@uaco.unpa.edu.ar*

*Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Unidad Académica Caleta Olivia*

**Resumen:** Este trabajo detalla en general, el estado del arte en turbinas hidrocínicas y en particular el estudio y diseño de una turbina hidrocínica para la Patagonia Austral. Para ello, inicialmente, se abarcó el estudio de la situación de dichos sistemas conversores tanto en el ámbito internacional como local, permitiendo observar así que poseen tecnología en desarrollo, dado que no hay un tipo definido en la Patagonia Austral, se siguió la metodología del Ciclo de Vida, o sea ir cumpliendo las etapas desde el estudio del recurso, concepción del prototipo y diseño según las necesidades 2014-2015 del PI 29B163 al cual está asociado este trabajo. En la aplicación se tuvo en cuenta la situación sea fluvial o marítima. En el caso del estudio del recurso se realizó la estimación energética de las corrientes sub acuáticas y los aspectos físicos o ambientales de los ríos a tener en cuenta a la hora de iniciar un proyecto en el cual se empleará este tipo de tecnología. Para el caso de concepción del prototipo o diseño conceptual se parte del estudio del proceso de transformación de energía en los mismos y cuáles son las principales características de los distintos elementos que conforman una turbina hidrocínica. Finalmente en el diseño, con los valores de la velocidad de corriente de agua promedio se define el diámetro de la turbina según una demanda estimada y se establecen las pautas de qué materiales se pueden utilizar.

En esencia, este proyecto permite tener un conocimiento teórico acerca de los sistemas conversores hidrocínicos y las necesidades prácticas para llevar a cabo un prototipo de dimensiones acotadas en un lugar determinado como podría ser Puerto san Julián.

**Palabras Claves:** Energía; Hidrocínica; Turbina; Potencia; San Julián.

## **Fluid-Dynamic system converter of renewable energy for Patagonia Argentina**

*Vitorino, Mauro Ezequiel <ezequiel\_vito@hotmail.com>*

*Labriola, Carlos Víctor Manuel <carloslabriola54@yahoo.com.ar>*

*Moyano, Hugo Alberto <hmoyano@uaco.unpa.edu.ar>*

*Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Unidad Académica Caleta Olivia*

**Abstract:** This paper describes in general, the state of the art of hydrokinetic turbines and in particular the study and design of a hydrokinetic one for Patagonia. To do this, initially, it is made the study of the situation of these converters, both at international and local levels, allowing observing technology development. Since there is no type defined in Southern Patagonia, the methodology followed begun with Life Cycle, from resource study, then conception and design of the prototype ,according to the needs of PI 29B163 which is associated with this work. In this application is took into account the situation either river or sea. Energy resource is estimated on sub aquatic physical streams and rivers environmental aspects to consider from the beginning of project in which this technology is used and performed. In the case of the prototype design by conceptual design, it begun by the study of the process of energy transformation and which are the main characteristics of the different elements of a hydrokinetic turbine. Finally in the design, with the values of the flow velocity of water the average diameter of the turbine is defined by means of an estimated increasing demand. Also patterns of what materials can be used are set.

In essence, this project allows a theoretical knowledge about the hydrokinetic converter systems and practical needs to carry out a prototype with estimated dimensions, for a place as it could be Puerto San Julian.

**Key words:** Hydrokinetic; Turbine; Power; San Julian.



## INTRODUCCIÓN

La forma usual de aprovechar el potencial hidráulico es construyendo centrales hidroeléctricas del tipo embalse. Para su funcionamiento, estas requieren gran acumulación de agua, la cual se logra por medio de la construcción de grandes represas que forman un lago artificial para obtener así energía mediante turbinas de gran porte con el agua retenida. Este tipo de centrales, a pesar de ser eficientes, sus altos costos de inversión o a veces su impacto ambiental / social que provocan cuestión su uso como por ejemplo: Yacyretá: problema de altísima napa freática del lado paraguayo - Aswam; Egipto: contaminación de los bordes del río Nilo por estancamiento del agua; Tres Gargantas, China: traslado de varias poblaciones por un total de 2 millones de habitantes.

Por lo tanto, en la actualidad existe la necesidad de encontrar nuevas formas de generación de electricidad que no provoquen un gran impacto ambiental ni social, esto es permitido por algunas fuentes de Energía Renovable como lo son la Eólica, Solar, Undimotriz y el de las Corrientes Marinas/Fluviales. Es aquí, donde el desarrollo de nuevas tecnologías es relevante, para el caso de corrientes marinas-fluviales/mareomotriz, el uso de las turbinas hidrocinéticas es el tema tecnológico del momento, ya que aprovechan la energía de la corriente del fluido sin la necesidad de grandes obras civiles, y se pueden fabricar de módulos crecientes de potencias donde la más pequeña puede ser modelo de una más grande. Por eso varios países del mundo están realizando un desarrollo de las mismas adaptadas a sus recursos ya sean fluviales (Brasil, Argentina, etc.) o Marítimos (EEUU, Reino Unido, Corea del Sur, etc.).

El objetivo de este trabajo es entonces comenzar a plantear el uso de las turbinas hidrocinéticas en aplicaciones no solo fluviales, sino marítimas también para aprovechar el litoral marítimo Patagónico que va desde Viedma hasta Tierra del Fuego y en particular los mejores puertos y Caletas de Santa Cruz. Para este proyecto el lugar solicitado para una aplicación de turbinas hidrocinéticas es Puerto San Julián habiendo un interés municipal para ello.

En el diseño se parte de su principio de captación de la energía de las corrientes, es el mismo que rige a los aerogeneradores, es por esto que el uso de turbinas axiales para río aparece como la opción más simple de captar dicha energía. Por lo tanto, la turbina es básicamente un aerogenerador sumergido completamente bajo la superficie del curso de agua, pero con una tecnología y materiales de aspas que le permitan soportar los esfuerzos del agua que es 800 veces más densa que el aire.

El aporte de este trabajo es dar las bases para la construcción de un prototipo de doble finalidad, aplicación fluvial y marítima, disponiendo ya de un lugar de interés para ello como es Puerto San Julián.

La Metodología utilizada es a partir de una Revisión Literaria, establecer el Estado del Arte y conocer diseños, materiales y tamaños ya sea para aplicaciones fluviales o marítimas. Luego cumpliendo las primeras etapas del Método del Ciclo de Vida, a partir de una estimación de la demanda inicial y de pautas de diseño eólicas y con los nuevos parámetros del agua mediante algoritmo para un pre-dimensionamiento de la turbina se obtiene el tamaño propuesto para el primer modelo-prototipo.

Según el párrafo anterior se llevó a cabo la realización de este proyecto que es parte del Proyecto de Investigación PI 29B163es partiendo de los desarrollos existentes de las turbinas hidrocínéticas, interesando a uno de los autores para su tesis de grado. Para ello, se establecieron las pautas de trabajo según las etapas iniciales del Ciclo de Vida para desarrollar el presente informe, es decir, inicialmente se indagaron los fundamentos asociados a la energía contenida en el agua, luego se identificaron las particularidades básicas para realizar la estimación del recurso sub acuático, y por último, se abarcó los aspectos técnicos relacionados a las turbinas hidrocínéticas llegando a un pre-dimensionamiento de un modelo prototipo, con la idea de comenzar a gestionar las actividades relacionadas para aplicar este tipo de tecnología en la provincia de Santa Cruz, precisamente en la ría de Puerto San Julián.

## 1. MARCO DE REFERENCIA

A continuación detallamos los marcos Histórico, Conceptual y Teórico:

### **1.1. Marco Histórico**

Según la literatura especializada, la primera turbina de río fue diseñada e implementada por Peter Garman como medio para bombear y al mismo tiempo irrigar campos de cultivos en las tierras áridas de Sudán y Egipto sobre las riberas del río Nilo. Luego, en estos mismos sitios y en Juba, fueron puestas a pruebas en un periodo de 4 años, otros 9 prototipos de la 'Turbina Garman'. Con estas pruebas, y otros muchos reportes de dicha tecnología, se corroboró una conveniencia técnica y económica desplegando una eficiencia 7% mayor sobre los sistemas anteriores implementados para este mismo fin. Así, se constituyó una solución tanto tecnológica como social por facilitar el trabajo a los pobladores de la zona al reproducir de una forma relativamente fácil y económica el equipo de riego.

Esta tecnología, que se considera como parte de la familia de los Sistemas de Conversión de Energía de Corriente de Río o por sus siglas en inglés RCECS o simplemente Turbinas Hidrocínéticas, es diseñada, producida y comercializada por la empresa Thropton Energy Services, fundada por Peter Garman y Bárbara Sexon, quienes tienen la licencia de producción y patente del equipo.

En sus comienzos, el catálogo de Thropton Energy Services (Sexon, B., 2006), ofrecía máquinas que varían en potencia entregada según el diámetro de su rotor; cuyas opciones eran 4.0, 3.4, 2.8, 2.2 y 1.8 metros para la turbina original tipo Garman, cuya versión era específicamente para el bombeo de agua. La máquina puede entregar una potencia de aproximadamente 2 kW, aunque su eficiencia oscilaba entre 12% y 14% a 1 kW de potencia generada. Su requerimiento básico, es que requiere una velocidad mínima del agua del río de 0.5 m/s y una profundidad del lecho de poco más del diámetro del rotor.

Luego, al unir esfuerzos con una empresa del Reino Unido, MARLEC, desarrollan una turbina con el mismo principio de la del tipo Garman denominada 'AQUACHARGER', pero en una versión especializada para la recarga de hasta 6 baterías de 12 V conectadas simultáneamente u operación directa con inversores de 240 V. Esta versión más pequeña solo requería una profundidad de lecho del río de 1.75 m y velocidades del agua de río de entre 0.45 m/s y 1.5 m/s. Se destaca que su eficiencia había mejorado respecto a las anteriores porque acopla equipos de alta eficiencia, alternador de baja fricción y palas de diseño aerodinámico que producían 500 W de potencia con una velocidad del agua del río de 1.5 m/s. Técnicamente, las turbinas de río están reinventándose debido a que ahora que gozan de beneficios como los generadores de bajas revoluciones, materiales compuestos de alta durabilidad, avances en construcciones submarinas, el diseño y la manufactura asistida por

computador, programas de modelado, materiales anticorrosivos y dispositivos electrónicos de potencia de alta eficiencia.

A continuación un acotado resumen de todos ellos, destacando que se incluyeron tecnologías principalmente con aplicaciones en corrientes submarinas, las cuales son más atractivas por su gran capacidad de generación.

- Marlec / Thropton Energy Services, UK (Quispe, F.M., 2005)

Básicamente esta es la turbina mencionada anteriormente, llamada "Amazon Aquacharger" y como se menciona está construida específicamente para cargar bancos de hasta 6 baterías de 12V que por medio de inversores pueden operar aplicaciones a 240V. Se destaca en Figura 1 para su instalación solo necesita una plataforma flotante anclada a cierta distancia de la orilla donde se puede alcanzar una velocidad de corriente importante.



Ilustración 1. Marlec / Thropton Energy Services, UK

- Verdant Power, Llc Y Verdant Power Canada ULC, Canadá y USA (Castro Castrillón, J.M., 2011)

El sistema consiste un generador de flujo axial con rotor tripala de 5 metros de diámetro rateado para 35 kW. En Figura 2 se muestra que el generador y el multiplicador están contenidos en un compartimento anexo al rotor y al igual que este, están sumergidos bajo la superficie del río, por lo que, su tipo de montaje es sumergido y anclado sobre el lecho fluvial y cuenta con un mecanismo de viraje que permite mantener el rotor completamente perpendicular al flujo en todo momento. Trabaja a velocidades menores a 1.0 m/s pero para mayor eficiencia se recomienda trabajarlo a velocidades mayores a 2.0 m/s y profundidades de al menos 6.5 m.



Figura 2. Verdant Power, Llc Y Verdant Power Canada ULC, Canadá y USA

- Clean Current Power Systems, Canada (Hagerman, G y Polagy, B., 2009)

La turbina, que se observa en Figura 3, es un sistema de flujo axial bidireccional encauzado con un generador de imanes permanentes directamente instalado a velocidades variables. En este sistema, las aspas llevan los imanes permanentes y el ducto es el que porta el devanado. La compañía asegura que la eficiencia de la producción de agua a red es mayor al 50% y que su tiempo de vida útil es de 10 años antes de una re manufacturación y en total puede trabajar por aproximadamente 27 años. Requiere de una profundidad de 15 metros para trabajar, debido a esta profundidad, no causa impacto visual en ambientes marinos.



Figura 3. Clean Current Power Systems, Canada

- Casos de Sudamérica

○ Brasil (Chávez, H.A., 2013): El laboratorio de Energía y Ambiente (L.E.A) de dicho país ha construido turbinas hidrocínéticas del tipo axial, como el de la Figura 4, para apoyar le generación de electricidad en zonas rurales aisladas en el Amazonas, en donde la transmisión de energía del sistema se hace poco rentable y de difícil acceso. La turbina es introducida al río mediante el uso de un brazo con un pivote en la ribera del río como se muestra en la figura.



Figura 4. T. Hidrocínética Caso Brasil

○ Argentina: El INVAP, empresa dedicada al diseño y construcción de sistemas tecnológicos complejos, está iniciando construcción de prototipos de turbinas hidrocínéticas, presentando un rotor metálico (Figura 5), sin embargo estas no han sido llevadas a un nivel comercial (<http://www.invap.com.ar> (2015)).

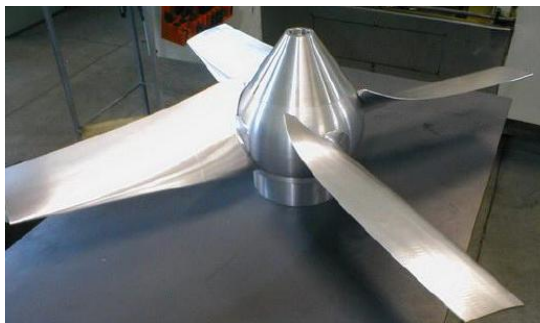


Figura 5. Turbina Hidrocinética INVAP

En la figura que se muestra a continuación, el prototipo desarrollado a subescala es capaz de producir aproximadamente 1 kW. Según las indicaciones de dicho instituto, una vez que el rotor este bien caracterizado mediante ensayos en flujo de agua, se le adicionara un tubo Venturi de manera que funcione aprovechando, de mejor manera, la energía de la corriente.



Figura 6. Captura de Video de T.H de INVAP

Como Investigación de las Universidades podemos decir que la Universidad de Cuyo ha probado un prototipo para uso en río o canales de Riego de Mendoza. A su vez, cabe destacarse que en la Universidad Nacional del Comahue (Labriola, Kirs y Lagos, 2009), existe un proyecto de turbina hidrocinética (Figura 7) en el cual uno de los autores de este proyecto es parte. A continuación se muestra parte de la turbina en un periodo de elaboración y según informes la turbina esta dimensionada para una potencia máxima entregada de 136 W.



Figura 7. Avances de la T. Hidrocinética de la Univ. Comahue

## **1.2. Marco Conceptual**

Para el estudio de los conversores hidrocinéticos es importante aclarar ciertos conocimientos de mecánica de fluidos previamente. Por lo tanto, al saber que la máquina en cuestión en este

trabajo interactúa directamente como componente mecánico con un fluido como lo es el agua se debe mencionar:

#### A. *Energía en el agua*

El concepto de la máquina es situar un elemento mecánico, como por ejemplo, un rotor tripala de eje horizontal, frente a la corriente de agua de un río. Debido a la geometría específica de las aspas y su interacción con el movimiento de la corriente, se generan fuerzas sobre la superficie de cada aspa. La aplicación constante de estas fuerzas generará un movimiento rotacional, o sea trabajo, que se ve traducido en una producción eléctrica al aprovecharlo mediante un sistema de generación.

Esta energía proporcionada por la naturaleza del agua se puede descomponer como la sumatoria de tipos de energía diferentes:

- Energía Potencial:

La cantidad de energía aportada por esta componente depende de una diferencia de nivel del fluido. Para el caso de generación con turbinas hidrocínicas no es una cantidad energética apreciable.

- Energía Cinética:

Es la energía mecánica que aporta la velocidad con la que se transporta el agua. De aquí surge el nombre de la energía que se aprovecha con este tipo de dispositivos.

Los sistemas hidrocínicos trabajan con la energía del flujo libre por lo que requieren mucho más volumen de agua para alcanzar la producción eléctrica razonables, por lo que en ambientes complejos, como los de los ríos, se pueden lograr generaciones interesantes.

El recurso se puede estimar entonces conociendo la densidad de potencia por área transversal de la siguiente manera:

$$\left(\frac{P}{A}\right)_{\text{Agua}} = \frac{1}{2} \rho U^3$$

Ecuación 1. Densidad de potencia hidrocínica

O de manera más específica:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} A_d \rho U^3$$

Ecuación 2. Potencia hidrocínica neta

La Ecuación 1, revela un valor de densidad de potencia hidrocínica por unidad de área, siendo  $\rho$  es el valor de densidad del fluido, donde es 1000 kg/m<sup>3</sup> para agua dulce y 1025 kg/m<sup>3</sup> para agua salada.  $U$  es la velocidad incidente del fluido en el área aferente y para el caso una turbina de eje horizontal, describe un área circular  $A_d$  como el área transversal.

La Ecuación 2 determina la potencia hidrocínica para el fluido que atraviesa el área  $A_d$ , que variará notablemente con cambios de la velocidad. Ésta ecuación, se aplica para generadores eólicos de la misma manera que para generadores hidrocínicos, pero aún con velocidades similares la diferencia de densidades hace que trabajar con fluidos como el agua sea más atractivo del punto de vista de la generación eléctrica.



La potencia eléctrica considerando eficiencias del sistema es:

$$P_{electrica} = \bar{P} * C_p * \eta_{conv}$$

Ecuación 3. Potencia eléctrica con coeficientes de extracción de potencia

Donde P del lado derecho es la potencia hidrocínética neta anterior que pasa por el área  $A_d$  barrida por la turbina y  $C_p$  es el coeficiente de extracción de potencia.

Como existe una pérdida de potencia por eficiencia en cada elemento componente del sistema, se considera la  $\eta_{conv}$  que constituye los coeficientes totales de potencia.

$$\eta_{conv} = \eta_{trans} * \eta_{gen} * \eta_{mult}$$

Ecuación 4. Coeficientes de conversión de sus componentes

Para cada tipo de elemento se tienen los siguientes valores estadísticos de sus coeficientes:

$\eta_{trans}$	$\eta_{gen}$	$\eta_{mult}$
96%	95%	98%
Debido a la fricción y restricción al movimiento en los rodamientos sobre los que se apoya el eje de transmisión	Pérdidas en la conversión de energía mecánica a energía eléctrica, mayormente Por fricción, imperfecciones en imanes o bobinados, o por recalentamiento.	Pérdidas en disipación como calor

Tabla 1. Coeficientes de conversión de cada componente

### B. Estimación del Recurso y Consideraciones para la ubicación

El desempeño entregado por una máquina de este tipo no solo depende de que tan bien trabajen sus componentes sino también de la ubicación del conjunto inmerso en el recurso, desempeñando un papel fundamental en el aprovechamiento de la energía disponible.

#### B. 1 Estimación del recurso de corrientes subacuáticas

Las ubicaciones típicas de las plantas hidrocínéticas son en canales estrechos o pasajes entre dos masas de tierra, y / o entradas a bahías a través de las cuales fluyen cantidades substanciales de corriente de agua. Una característica principal y necesaria para la selección del sitio del proyecto es la disponibilidad del recurso, el cual es función de las velocidades de las corrientes como el área de la sección transversal.

Luego para estimar la densidad anual promedio de potencia, es necesario conocer la velocidad de las corrientes superficiales en función de la hora del día y la temporada. La densidad de potencia para un flujo con una velocidad conocida puede ser fácilmente calculable como se indica en la sección anterior. Los cálculos deben tomar en cuenta la variación de la velocidad con la profundidad y con la variación horizontal del área de sección transversal del canal. Esto conlleva a un estimado de densidad de potencia promedio de la corriente, promediando la profundidad y el área de la sección transversal.

#### B. 2 Aspectos Físicos del Rio

Todos los ríos son diferentes debido a la geografía pero, aun así, un río es un acanalamiento de agua que nace en las cumbres de las montañas y desciende gracias a la fuerza de gravedad

y a las formaciones de tierra que ordenan el fluido rumbo a un punto más bajo respecto al nivel de origen.

A lo largo del camino de los ríos hacia el mar, su corriente obedece a la pendiente de la tierra, la cual se mantiene en constante variación. En algunas secciones del río su pendiente será “alta” resultando en corrientes rápidas, en otros casos habrá una pendiente moderada, reflejándose como ríos profundos y de cauce lento. En general, cuanto mayor sea el gradiente o pendiente mayor será la velocidad del río, siendo así este el factor de más influencia en la velocidad de la corriente. La ubicación óptima para una turbina Hidrocinética es en los gradientes de mayor pendiente posibles (ver figura 8), esto sin incurrir en turbulencias excesivas que son características de estas velocidades de agua.

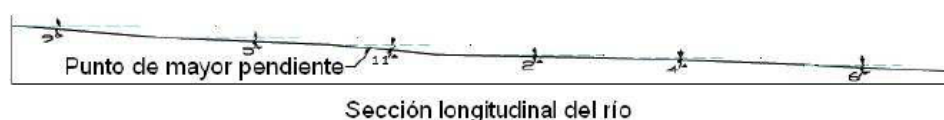


Figura 8. Vista de corte longitudinal del lecho fluvial

La figura 8 muestra una vista de corte longitudinal que caracteriza a un río y las condiciones del flujo que impactarán de manera destacada sobre la producción eléctrica si las condiciones son adecuadas.

Desde un punto de vista transversal también se puede obtener el perfil de la sección de un río, siendo la fricción es el mayor enemigo de la velocidad de la corriente en canales. Las secciones amplias del río, son generalmente las menos profundas y por esto tienen un alto porcentaje de contacto con el lecho comparado con canales angostos y profundos. Este contacto con el lecho es el que reduce la velocidad de la corriente.

Si el contorno del lecho del río y por lo tanto su profundidad, es uniforme a lo largo del río, la mayor velocidad de corriente estará dada en el punto en el que el lecho este más distante. Si el contorno es irregular la mayor velocidad se encontrará en el centro de la porción con la mayor profundidad.

La totalidad del recorrido del río puede considerarse turbulento, sin embargo, lechos de río rugosos (rocosos o irregulares) incrementan la fricción y crean excesiva turbulencia. Estos dos factores desaceleran la corriente del agua por lo que es vital evitar ubicar la turbina en secciones poco profundas donde el rotor estará expuesto a turbulencia excesiva.

Estos últimos dos análisis de cortes de sección, longitudinal y transversal generan secciones en el canal de agua. Tal como en secciones de tubería, las de menor fricción, desorden del flujo, y mayor velocidad son las secciones rectas. El flujo más lineal y estable posible se puede encontrar en los ríos en las secciones rectas, más que en los recodos. Si la única opción es la de la ubicación en un recodo entonces el punto de mayor velocidad será en la porción más externa a la curva. Estas áreas pueden presentar problemas ya que la corriente tiende a erosionar la orilla externa de la curva. Adicionalmente, el efecto del flujo de agua en la curva puede resultar en remolinos debido al sobre viraje de la corriente del agua y cruce de las corrientes, teniendo impacto en la velocidad.

### *B. 3 Criterios de ubicación del rotor*

Una vez decidida la locación en el río, la idea es obtener la mejor producción posible y para ello se debe considerar un par de cualidades que brinda una sección transversal del canal.

Las velocidades más altas se encontrarán bajo la superficie aproximadamente entre 10% y 30% de la profundidad. Las áreas de menor velocidad serán las próximas a las orillas y al lecho del canal sucediendo esto en general para una sección transversal. Entonces, se pueden obtener mejores resultados escogiendo una buena sección, y para ello las que tienen un área de sección transversal menor tendrán mayor velocidad por la ley de continuidad, es decir, el mismo volumen de agua pasa a través de un área más pequeña a la misma tasa de descarga que la de un área de sección transversal más grande, provocando entonces que el agua deba de moverse más rápido.

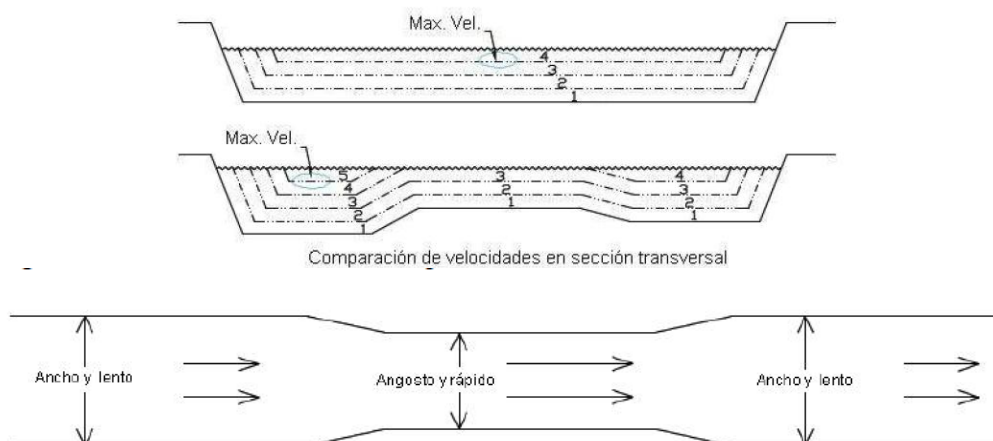


Figura 9. Niveles de velocidad de la corriente en sección transversal del río y Cambio de velocidad según sección transversal del canal

#### B. 4 Aspectos del impacto debido a la instalación

- Impacto Visual:

Esta es una tecnología completamente innovadora. Por este motivo, no existe un lugar cuyo paisaje haya sido impactado seriamente por estos dispositivos. Considerando que estos dispositivos son principalmente generadores de pequeña escala, podremos concluir que son máquinas poco voluminosas impidiendo que esta misma sea un foco de contaminación visual.

- Impacto Ambiental:

Las turbinas hidrocinéticas, y en general las turbinas de energía hidrocinética son tecnologías limpias porque generan energía eléctrica a partir de recursos renovables. Sin embargo, la obtención de sus materiales, su construcción e instalación genera CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> equivalente por el uso de Energía a partir de Hidrocarburos que impacta en el ambiente.

Por otro lado, el proceso requiere de un elemento mecánico que es la turbina, que tiene un movimiento de rotación constante y proporcional a la velocidad del río. Se podría pensar que este movimiento podría perjudicar el libre tránsito de fauna ictícola pero afortunadamente, contrario a los generadores eólicos, estos elementos tienen un movimiento lento que posibilita el libre paso de los peces.

Pensando en obtener una mayor producción eléctrica y al igual que como ocurre con las turbinas eólicas se puede ir a una escala mayor mediante la implementación de más máquinas puestas en disposición tal que puedan implementarse “granjas hidráulicas”.

#### B. 5 Recurso Extraíble

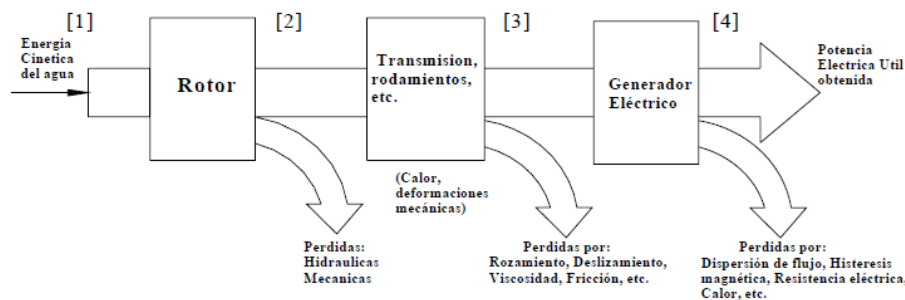
Se pensaría que, análogo a los parques eólicos, se podrían instalar filas de turbinas espaciadas debidamente para evitar efectos de estela pero la naturaleza de los recursos de viento y de corriente de agua son diferentes. Las turbinas de viento extraen energía de la capa turbulenta más baja de la atmósfera y al pasar el rotor la velocidad del viento se reduce inmediatamente y reduce la tasa de transferencia de momento de turbulencia corriente abajo hasta que se restablece relativamente en una distancia corta.

En contraste con el flujo atmosférico de aire, una corriente de agua está contenida entre la superficie y el fondo que no suele estar muy distante. Esto hace más probable que haya una reducción de la circulación teniendo efectos sobre el ambiente. Entonces por motivos concernientes al ambiente hay un límite de extracción de un 15% de la potencia cinética anual, siendo este límite basado en el modelado limitado hasta la fecha, es decir; el número de este tipo de plantas generadoras es tan insignificante en el momento que la proyección a futuro lleva a permitir a explotación de este porcentaje.

### 1.3. Marco Teórico

En la Figura 10 que a continuación se presenta, se puede comprender claramente los distintos procesos de transformación que sufre la energía manipulada por una turbina hidrocínética y los componentes vitales que la conforman.

Básicamente, la energía es capturada en su forma primitiva como energía cinética del agua, hasta llegar a representarse por un determinado valor de tensión y corriente eléctrica, pasando previamente por diversas transformaciones mecánicas.



**Figura 10.** Proceso de transformación de energía

Para que una Turbina Hidrocínética pueda realizar dicha conversión de la energía cinética del río en energía eléctrica para consumo humano, requiere de un conjunto de componentes tales como:

#### A. Rotor

Es el componente más importante de la Turbina, ya que su función es extraer del río una fracción de su energía cinética convirtiéndola en energía mecánica que será entregada luego a un generador eléctrico. Uno de los problemas más significativo en términos de la confiabilidad y larga duración de los rotores es el problema general de la fatiga. Las uniones son particularmente el foco de los problemas de fatiga local acelerados por la vibración que aparece cuando hay embalamiento.

Hay dos tipos básicos de rotor que operan bajo diferentes principios: Las maquinas que tienen sus superficies efectivas moviéndose en la dirección de la corriente y que son empujados por el arrastre del agua (resistencia al avance), por ejemplo una rueda hidráulica y las maquinas que tienen sus superficies efectivas moviéndose a un ángulo de la dirección del agua y que opera bajo fuerzas de sustentación, por lo tanto los tipos de turbinas que podemos encontrar en base a sus rotores son (Figuras 11 a 15):

- Rotor Darrieus de Eje Vertical:

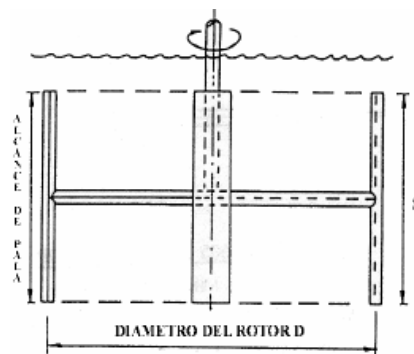


Figura 11. Rotor Darrieus de Eje Vertical

- Rotor Darrieus de Eje Horizontal:

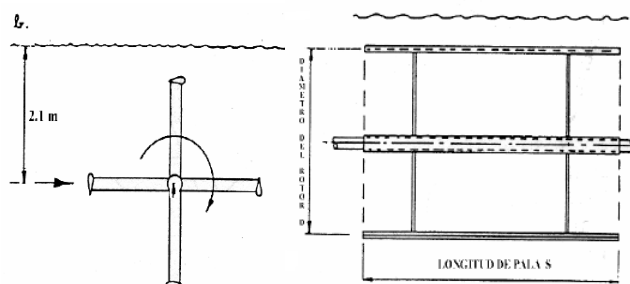


Figura 12. Rotor Darrieus de Eje Horizontal

Rotor Propulsor de Eje Horizontal:

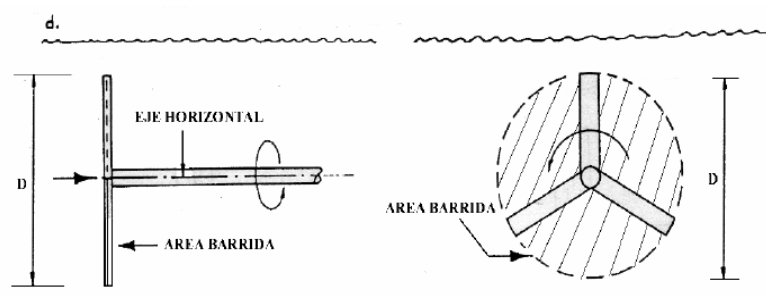


Figura 13 Rotor de Eje horizontal

- Rotor Propulsor de Eje Inclinado:

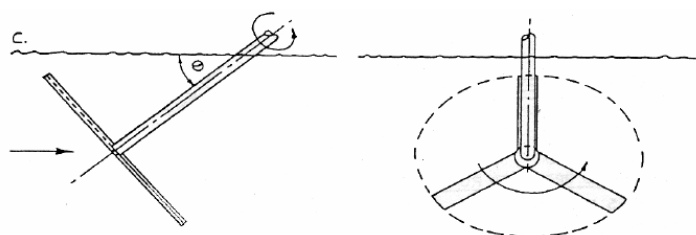


Figura 14. Rotor de Eje Inclinado

- Rotor Propulsor Semi - Sumergido:

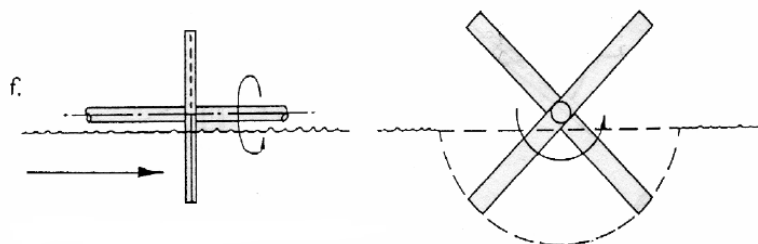


Figura 15. Rotor Propulsor Semi-Sumergido

### B. Alabes del Rotor

Son los elementos encargados de extraer parte de la energía cinética del río y transformarla en energía mecánica en el eje de transmisión a través del giro de las mismas palas. A la hora de trabajar con ellas se debe tener en cuenta:

#### B.1 Dimensionamiento del alabe de la turbina

Para los alabes de Turbina Hidrocinética, generalmente se usan perfiles estándares como lo son los perfiles NACA gruesos y combados. Asimismo, debido a la alta velocidad que requieren para ser acoplados a los generadores eléctricos, es necesario hacer un cálculo hidrodinámico cuidadoso de forma iterativa y sección por sección para diferentes posiciones del alabe, a lo largo del radio. Sin embargo, con buena precisión y para fines prácticos se pueden usar las ecuaciones de la teoría del diferencial de pala (Esteban Calvo Bernad, Juan Antonio García Rodríguez, 2013), ya que para el caso de pequeñas maquinas son lo suficientemente precisas. Esta teoría simplificada se utiliza cuando el requerimiento de potencia no es muy grande y la velocidad de diseño del río no es mayor de 1.5 m/s. Para este caso, se usa una celeridad de diseño o relación de velocidad en la punta de la pala  $\lambda_0^1$  de 5, que se convierte en un dato de entrada. Una vez conocido el diámetro de la turbina, que resulta de la ecuación de potencia, sigue el dimensionamiento de las palas y para esto se hace necesario tomar algunas decisiones adicionales sobre: el número de palas a utilizar, el tipo de sección estándar que se usará para la fabricación de la pala entre otros.

#### B.2 Consideraciones sobre la Velocidad Angular de la Turbina

Los parámetros que influyen en la velocidad angular de las turbinas son:

- El tamaño del rotor, en términos del diámetro del rotor.
- La celeridad  $\lambda_0$  o velocidad específica<sup>1</sup>, que se escoge a conveniencia del diseño a desarrollar. Para generar electricidad se trabaja con valores de  $\lambda$  de al menos 5, mientras que para bombeo de agua, se usan valores de alrededor de 10.

<sup>1</sup> Es la relación entre la velocidad en la punta de la pala  $\Omega R$  (velocidad tangencial) y la velocidad del agua delante del rotor  $v_0$ .

Celeridad ( $\lambda_0$ )	N° de alabes recomendados (Z)
1	6-20
2	4-12
3	3-6
4	2-4
5-8	2-3
8-15	4-2

Tabla 2. Celeridad Vs. N° de Alabes

Si nos enfocamos principalmente sobre el desarrollo/desempeño del elemento rotor con respecto a las interacciones con el recurso, que para este caso se trata de una corriente subacuática de un río se debe prestar mayor atención a lo relacionado con su geometría.

El alabe es el elemento más importante de todo el sistema, junto con el generador, las eficiencias más altas logradas en estos pueden impulsar la producción eléctrica que se logra con esta máquina. En principio este elemento es una pieza de una turbina que trabaja usualmente en un fluido como lo es el aire. En este medio, la interacción con el aire no genera mayores esfuerzos comparado al caso de un ambiente subacuático, donde el agua ejerce una mayor presión a lo largo de la pala causándole mayores flexiones.

Es decir, si consideramos el aspa original del cual proviene de un equipo de generación eólica, ésta tiene una geometría especial ya que su base de aspa presenta un espacio cilíndrico en la base del rotor, llamada cubo, de gran diámetro ya que originalmente este guarda el generador de imanes permanentes radial en el interior de su rotor. En el caso del hidrogenerador este espacio no está ocupado por lo cual se hace una adición de material a la base del aspa (Figura 16) para dar mayor resistencia al torque ejercido por el agua en la dirección axial.

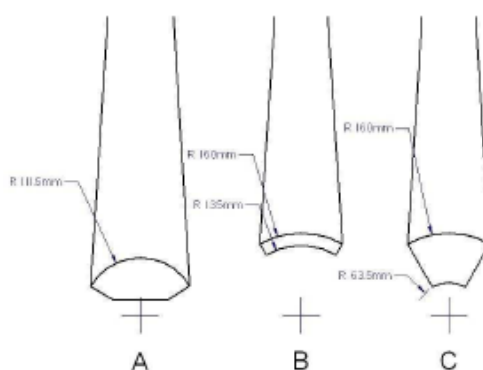


Figura 26. A) y C) Base de Aspa de Hidrogenerador - B) Base de Aspa de Aerogenerador

Del mismo modo, según la investigación realizada, en varios proyectos de turbinas hidrocínicas los alabes que constituyen el rotor pueden ser elaborados:

- Acero Inoxidable
- Aleación de Aluminio Sólido.
- Madera Noble (Dura) laminada revestida con plástico reforzado de fibra de vidrio.
- Madera Noble sin tratamiento.
- Fibra de vidrio y resina.
- Fibra de Carbono y resina.

En todos los proyectos analizados, mencionan que de todas estas alternativas han sido probadas satisfactoriamente en la parte estructural, excepto el de la madera sin tratamiento, la cual se deforma y se raja en el agua.

A partir del punto de vista del funcionamiento el acabado superficial es crítico, y cualquier deterioración causa una reducción drástica de la potencia en el eje. Los únicos materiales que mantienen su acabado superficial y gran nivel de funcionamiento son las de acero inoxidable y las aleaciones de aluminio.

A su vez, cabe destacarse que el caso de la utilización de la fibra de vidrio y resina se puede partir del modelo de un aspa de un aerogenerador, la cual está expuesta a un fluido de baja densidad como lo es el viento, siendo así un elemento liviano cuyo interior es hueco. Entonces, para esta nueva implementación se debe saber que el elemento debe oponer una gran resistencia a la flexión, debido a la mayor fuerza que puede imprimir la corriente del agua respecto a la del aire. Es por esto que su volumen debe ser elaborado completamente en resina y fibra de vidrio. (Se adjunta en anexos ficha técnica de epoxi sugeridos con sus respectivos precios a la fecha de agosto del 2015).

### *C. Eje de transmisión*

Para el eje de transmisión se puede utilizar un árbol hueco de transmisión de acero galvanizado de 1.5 pulgadas de diámetro nominal el cual esta acoplado directamente al rotor, este tubo va encapsulado en otro de las mismas características con 2.5 pulgadas de diámetro nominal que sirve de soporte y protección.

### *D. Rodamientos del Rotor*

El eje del rotor debe ser sostenido por rodamientos o cojinetes que lo sostiene en la posición correcta relativa a la corriente del río y permiten que éste gire tan libremente como sea posible. Si se tiene que sostener el eje en cada extremo por un rodamiento montado sobre una estructura, al menos uno de los rodamientos debe permitir algún movimiento axial para soportar la flexión de la estructura y ambos deben permitir algún desajuste para compensar los errores del montaje.

### *E. Transmisión*

Es el elemento encargado de transmitir la potencia mecánica del rotor al generador eléctrico. Su función consiste en elevar la velocidad del rotor desde unos cuantos rpm hasta velocidades de cientos rpm que son las requeridas usualmente por los generadores comunes.

### *F. Generador Eléctrico*

Es el componente productor de la energía eléctrica que se acopla directa o indirectamente al eje de la turbina. Es la parte encargada de transformar la energía mecánica recibida por el rotor en energía eléctrica útil.

Existen dos tipos de generadores, en general, los de corriente alterna CA y los de corriente continua CC, siendo más usados los de CA debido a que trabajan bien a distintas rpm, mientras que los de CC necesitan de rpm casi constantes y altas velocidades de rotación lo cual no es muy fácil de conseguir con una Turbina de Río debido a la naturaleza variable de la velocidad del río que provoca también la variación de la velocidad de giro del rotor.

#### *F.1 Características de los Generadores:*

- Tensión de Salida



En nuestro medio se venden generadores monofásicos con voltajes de salida de 12, 24, 120 y 240 V, y generadores trifásicos que utilizan 240/415 V. Cuando no se considera el uso de transformadores de voltaje, entonces los equipos y los aparatos que se conectaran al sistema deberán ser compatibles en voltaje.

- Perdidas por conversión de energía

Esto se debe a que cada componente del sistema pierde energía en forma de fricción, calor, ruido, etc. La eficiencia de los generadores para producir energía útil varía entre 60% para pequeños generadores de corriente alterna, 80% para rangos entre 5 – 10 kW. Y 90% para equipos mayores a 50 kW.

- Potencia de salida

Es la potencia que queda luego de haber considerado todas las pérdidas en el sistema, está en función de la eficiencia del equipo completo. Conociendo la eficiencia de los generadores, se puede predecir con aproximación la potencia de salida del generador que se desea utilizar. Sin embargo, estos datos deben ser suministrados por el proveedor de estos equipos al momento de su venta.

- Factor de potencia

Si el circuito externo es solamente resistivo, entonces la corriente y el voltaje se hallan en fase, el valor de uno es directamente proporcional al del otro y el factor de potencia es  $\cos \phi = 1$ . Ya que el voltaje y la corriente varían con el tiempo, en la siguiente expresión se trata del valor promedio de la potencia de salida del generador:

$$P_0 = E_0 \times I_0$$

Dónde:  $P_0$  = Potencia efectiva, (W)

$E_0$  = Voltaje efectivo (V)

$I_0$  = corriente efectiva (A)

Para cargas resistivas, el valor de la potencia en volt – amperios o vatios es el mismo. Por ejemplo, si un generador de 220 V genera una corriente de 25 A, tendría una potencia de salida de  $220 \text{ V} \times 25 \text{ A} = 5.5 \text{ kW}$ .

## *F.2 Generadores de Corriente Alterna*

Los generadores de corriente alterna o simplemente alternadores pueden ser de tipos: monofásicos y trifásicos. Comercialmente se pueden adquirir generadores monofásicos para cubrir todos los rangos de potencia, mientras que los trifásicos cubren los rangos de 2 – 3 kW. Sin embargo, la generación monofásica se utiliza en esquemas menores a 10 – 15 kW, ya que por debajo de esta potencia nominal, las cargas individuales representarían un gran porcentaje del total de la capacidad del generador y balancear las cargas se tornaría muy difícil.

Entre los generadores de velocidad constante se tiene el síncrono aplicable para potencias medias y altas, el de inducción para potencias pequeñas y el de magnetización permanente (imanes permanentes), para potencias muy pequeñas.

### *G. Tablero de Control*

Cuenta con los instrumentos de medición básicos (voltímetro y amperímetro), y los respectivos diodos rectificadores de corriente alterna en continua para 12 V. En él a su vez se encuentran:

- Convertidor

Es el componente encargado de convertir la corriente continua proveniente de las baterías en corriente alterna. Los dispositivos convertidores se caracterizan por su elevado costo y por su reducida eficiencia por lo que deberían ser los más pequeños posibles. Los convertidores pueden ser rotativos y estáticos; el rotativo o dinámico es un motor de CC que gira a una velocidad constante y está conectado a un generador de CA, su eficiencia es del orden de 50 a 75% y presenta una corriente de vacío de 15 a 20%. El convertidor estático de estado sólido convierte la CC en CA de 60 Hz. a través de medios electrónicos, su eficiencia es del 85% y solo lleva una corriente de vacío de 2 a 4%. Los convertidores rotativos cuestan menos que los estáticos y cuando compiten en función de la carga no hay mucha diferencia entre ambos en lo que respecta a pérdidas. Sin embargo, el uso de este dispositivo no es recomendable en la presente aplicación por ser de naturaleza doméstica.

- Regulador de carga

Es importante conocer el funcionamiento de un regulador o controlador de carga, porque éste es necesario cuando se utilizan baterías. El controlador de carga es un dispositivo electrónico que regula el estado de carga entre límites preestablecidos. El voltaje de las baterías se mide y se toma como factor principal para estimar el estado de carga, además del voltaje, algunos controladores miden la temperatura de la batería. Es muy importante el uso de un controlador de carga para incrementar la vida útil de las baterías.

- Batería

Es la parte encargada de almacenar la energía eléctrica producida por el generador en forma de corriente continua. Existen dos grandes tipos de baterías para el almacenamiento de electricidad, la de plomo – ácido y la batería alcalina (tanto la de níquel – hierro como la de níquel –cadmio)

## **2. ANÁLISIS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **2.1. Análisis**

Podemos considerar como arte de los resultados el de disponer de un lugar de interés para esta aplicación. Por lo tanto, una vez aclarado cuales serían los distintos atributos que hay que tener en cuenta a la hora de considerar una turbina hidrocínética, se plantea como Análisis del Recurso Hidrocínético, planear las bases de un proyecto cerca de una de la Unidades Académicas de la UNPA. En consecuencia, es allí donde entra en consideración la ría de Puerto San Julián, que basándonos en informes realizados en años anteriores por nuestra universidad (Proyecto de Investigación 29/D006, 2005), permiten detallar en las siguientes figuras los puntos en los cuales se los realizaron las mediciones de corriente marina:



Figura 17. Imágenes Satelitales: Imagen la bahía de Puerto San Julián – Imagen Inferior del Punto de Interese en Puerto San Julián y puntos de mediciones realizadas (Servicio de Hidrografía Naval, (2010)

Los resultados obtenidos sobre estos puntos se definen en el siguiente cuadro, aclarando que Las mediciones se tomaron exclusivamente como referencia y a horarios en que se produciría la mayor correntada.

## MEDICIONES DE CORRIENTE DE MAREA SAN JULIÁN - PROYECTO 29D/006

Hoja Nro.: 

FECHA:	01/03/2002	<b>DATOS DE MAREA: (SHN-TABLA DE MAREAS 2002)</b>	
HORA ZARPADA:	15:50	PLEAMAR	
HORA LLEGADA:	17:00	HORA	1:04
VIENTO EN PUERTO:		HORA	13:19
EMBARCACIÓN UTILIZADA:	Hielos Continentales	BAJAMAR	
INSTRUMENTOS:		HORA	7:31
		HORA	19:58
MEDICION DE CORRIENTE	SWOFFER 3000	NIVEL	8.98
POSICION	GPS Magellan Pioneer	NIVEL	9.23
		NIVEL	0.48
		NIVEL	0.18

ALTURA FRANCOBORDO (D1):

 [m]

RESPONSABLES:

### TABLA DE DATOS:

HORA / Nro.	POSICION	GRAD.[PIES]	GRAD.[m]	PROFUNDIDAD[m]	V1[m/s]	V2[m/s]	V3[m/s]	Vprom[m/s]
18:12	S: _49 14 53 W: _67 40 00	4	1.2	0.5	2.378			2.378
18:15	S: _____ W: _____	5	1.5	0.8	1.387	2.338	2.214	1.979
18:30	S: _49 14 57 W: 67 39 51	4	1.2	0.5	1.215			1.215
18:35	S: _____ W: _____	5	1.5	0.8	1.198	1.158	1.283	1.205
18:40	S: _49 15 00 W: 67 40 05	4	1.2	0.5	3.073	2.229	2.084	2.482
18:50	S: _____ W: _____	4	1.2	0.5	2.308			2.308

Tabla 3 . Mediciones de la corriente de la marea, 1 de Marzo del 2002

Desde la misma manera, dichos informes brindan información de las distintas mediciones realizadas en dicho punto de interés, proporcionando así un perfil estimativo simbolizado de la siguiente en Figura 18 (aclaración: las profundidades son respecto al nivel cero de mareas) ubicando el punto de interés con una disponibilidad de profundidad estimada de 5 metros y con las siguientes coordenadas geográficas:

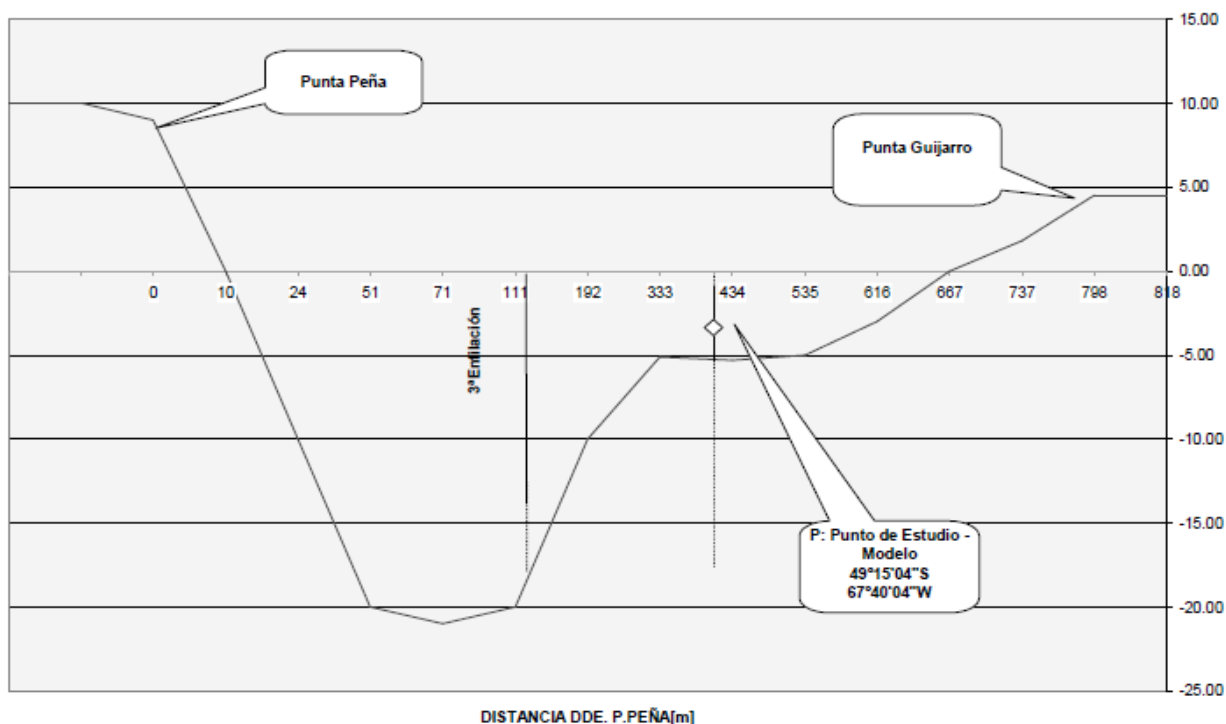


Figura 18. Perfil del Punto de Interés en la ría de Puerto San Julián

A partir de aquí y con esos datos se plantea un algoritmo en Excel para el dimensionamiento del rotor para una demanda dada.

## 2.2. Resultados

Entonces, al considerar las ecuaciones mencionadas en la parte inicial de este trabajo relacionadas a la Potencia Máxima Extraíble (*pero sin considerar los coeficientes de extracción*), se obtuvieron resultados teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Distintos valores de potencia (5 kW, 15 kW, 20 kW, 30 kW y 35 kW)
- Velocidad del agua de 2 m/s (Promedio de velocidades obtenidas en la tabla3)
- Coeficiente de extracción de potencia máximo de 0,35 (similar al de las turbinas eólicas rápidas)
- Densidad del agua de 1025 Kg/m<sup>3</sup>

A continuación, en las siguientes tablas se muestran los distintos diámetros que se obtuvieron al evaluar las distintas potencias:

Variable		Valor	Unidades	$P_t = \frac{1}{2} \rho C_p A_d v^3$		
Pt	=	5000	w			
Cp	=	0,35	-			
$\rho$	=	1025	Kg / m <sup>3</sup>			
v	=	2	m/s			
				$A_d$ (m <sup>2</sup> )	$A_d = (\pi * D^2) / 4$	$D$ (m)
				3.5		2.11

Variable		Valor	Unidades	$Pt = \frac{1}{2} \rho C_p A_d v^3$		
Pt	=	15000	w			
Cp	=	0,35	-			
$\rho$	=	1025	Kg / m <sup>2</sup>	Ad (m <sup>2</sup> )	Ad = ( $\pi * D^2$ ) / 4	D (m)
v	=	2	m/s	10.5		3.65

Variable		Valor	Unidades	$Pt = \frac{1}{2} \rho C_p A_d v^3$		
Pt	=	20000	w			
Cp	=	0,35	-			
$\rho$	=	1025	Kg / m <sup>2</sup>	Ad (m <sup>2</sup> )	Ad = ( $\pi * D^2$ ) / 4	D (m)
v	=	2	m/s	13.93		4.21

Variable		Valor	Unidades	$Pt = \frac{1}{2} \rho C_p A_d v^3$		
Pt	=	30000	w			
Cp	=	0,35	-			
$\rho$	=	1025	Kg / m <sup>2</sup>	Ad (m <sup>2</sup> )	Ad = ( $\pi * D^2$ ) / 4	D (m)
v	=	2	m/s	20.9		5.16

Variable		Valor	Unidades	$Pt = \frac{1}{2} \rho C_p A_d v^3$		
Pt	=	35000	w			
Cp	=	0,35	-			
$\rho$	=	1025	Kg / m <sup>2</sup>	Ad(m <sup>2</sup> )	Ad = ( $\pi * D^2$ ) / 4	D (m)
v	=	2	m/s	24.4		5.57

Tabla 4. Cálculo del Diámetro según cada potencia mediante Planilla de Cálculo

### 2.3. Discusión

Se han obtenido diferentes diámetros para distintas demandas asociadas, en base a la velocidad nominal a que se calculan en general las turbinas hidrocinéticas y obtenible en la Ría de San Julián (boca de la Bahía homónima).

Para una localización definitiva hay que realizar la comparación de los diámetros de cada una de las turbinas con respecto a la profundidad disponible en la ría. Es decir, como la profundidad reflejada en el perfil de la de la Figura 18 en el punto de interés, es mayor que los diámetros obtenidos en los cuadros anteriores, es factible a priori instalar las turbinas precalculadas en la Tabla 3. Hay que considerar otras situaciones como lo son por ejemplo: a futuro para tener una idea del costo por kW instalado, la estructura de flotación para su montaje, material y Operación del cableado por el lecho del río, ya que la carga demandante se encuentra en la orilla opuesta a donde se encontraría la turbina.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### **3.1. Conclusiones**

Este proyecto constituyó la base fundamental para que uno de los autores, becario del PI 29B 163 tenga la motivación necesaria para iniciar este tema como Tesis de Grado aplicada a un proyecto puntual de convertidores hidrocineéticos en la ría del Puerto San Julián.

Podemos decir que es factible poner turbinas hidrocineéticas en Puerto San Julián para un emprendimiento turístico en los edificios del ex frigorífico SWIFT, inicialmente con módulos de 5kW.

Para una demanda inicial de 5 kW (obrador e inicio de funciones del complejo turístico), se pueden instalar dos turbinas de 5kW con una de reserva. Para una proyección de instalar un total de 45 kW habría que escalar la turbina planteada a un módulo mayor de 15 a 20kW, recordando que el factor de escala en potencia de 5 permite tener el mismo comportamiento en ambas turbinas. Con tres turbinas de 20kW se tienen 15kW de reserva.

#### **3.2. Recomendaciones**

La propuesta de instalación inicial de una turbina de 5 kW permitirá, durante su operación, ver el comportamiento de sus partes y globalmente y así plantear mejoras para un prototipo de futuras turbinas con una potencia de 20 kW, ya que no es factible colocar turbinas de mayor potencia por las consideraciones que hay que tener en cuanto a la distancia existente entre extremo del álabe de la turbina en posición inferior y el lecho del río para evitar el efecto de bordes con reducción de velocidad de la corriente.

Además el cableado de la turbina de 5kw permitirá ver cómo se comporta el tendido submarino del mismo y si es necesario unipolar o bipolar. El cableado necesario para transferir la energía generada, es decir profundizar en el cable bipolar de CC, ya que los inconvenientes a tener en cuenta son: su longitud y las fuerzas que debe soportar debido a la acción de las mareas. Por lo tanto, se debe considerar la reducción de costos de instalación (cable bipolar o unipolar con retorno por tierra en vez de tetra polar para trifásica) y para dar posibilidad de acumulación de energía, definir la generación en Corriente Continua mediante generadores de Imanes permanentes y rectificación posterior.

El almacenamiento en baterías de la energía generada por dicha turbina hidrocineética se puede dar en la propia turbina para potencias de 5kW o en la costa para decenas de kW. Posteriormente cerca de la demanda se puede obtener CA.

Hay que considerar la idea de complementar la generación de la turbina hidrocineética con paneles fotovoltaicos y aerogeneradores conformando una red de CC y acumulando dicha energía generada en baterías. De esta manera se obtendría una disponibilidad del 100% de energía teniendo la Red, si estuviera disponible como reserva fría.

La generación será mediante generador de Imanes Permanentes como los utilizados en el LER con rectificación a la salida para obtener CC y poder disponer de acumulación en baterías cerca de la carga. Esta acumulación será controlada por un regulador de voltaje que pueda a futuro incorporar otras Fuentes de Energía Renovable como eólica y fotovoltaica.

Es de considerar que los metales si bien poseen una resistencia mecánica considerable, son muy pesados y deben soldarse en extremada calidad de soldadura ya que cualquier micro fisura será usada por el agua para fatigar a rotor o pieza construida con ese metal (Acero,

acero inoxidable, duraluminio, etc.). En el caso de las Fibras y resinas se ha comprobado que la fibra de vidrio se abre dilatándose la micro fisura de fatiga cuando el agua llega a ella por lo tanto se pueden hacer modelos y prototipos con estos materiales por cuestión de costos para tener una idea del funcionamiento global pero es conveniente usar fibra de carbono y resinas epoxi (Ver ANEXOS) como material para el rotor y carcazas.

Luego de la visita a San Julián en septiembre del 2015, se trabajó con el departamento de audiovisuales de la UACO, desarrollando un modelo dinámico en 3D ([www.blender.org](http://www.blender.org)) de turbina hidrocínética flotante incluido en video documental sobre Recursos Humanos en Energía Oceánica de 23 minutos próximo a editarse.

Como la tecnología de turbinas hidrocínéticas se encuentra en pleno desarrollo, existe todavía mucho conocimiento por crear (materiales, ensambles, sistemas de flotación y anclaje, etc.), lo cual abre un campo muy atractivo de investigación a todo investigador novel. Por lo que resulta aconsejable y conveniente el desarrollo de este tipo de tecnología, en el ámbito académico universitario con la intención de que sea considerada de igual manera que las energías renovables predominantes.

#### **4. AGRADECIMIENTOS**

El alumno becario agradece su iniciación en la investigación académica, reflejada en el presente proyecto, a las siguientes personas:

- Al Laboratorio de Energías Renovables de la UNPA - UACO, principalmente a los ingenieros Horacio León; Abdelbaki, Abdel y al director de la Beca Labriola, Carlos por proponerme y facilitar el proyecto de investigación realizado.
- González, José Fidel perteneciente a la Unidad Académica de Puerto San Julián.
- Al personal de la Unidad Académica de Caleta Olivia.
- A familia y amigos por el apoyo.



## 5. ANEXOS

### Resinas a usar en el rotor:

**distrattec**  
sp - systems

**DICAST 750 / DICURE 371**    **0,580 Kg - \$159,22**    **HOJA TECNICA**

<b>Descripción</b>	Sistema epoxi bicomponente, sin solventes, no modificado, líquido de mediana viscosidad. Reactividad media y curado normal a temperatura = 19°C y alta humedad relativa ambiente. Buena capacidad de mojado e indicado para impregnar materiales de refuerzo basados en fibras de vidrio, kevlar y otras. Especialmente recomendado para moldes manuales y asistido por vacío, aplicación universal, laminados estructurales, laminados industriales multiaxiales. Apto para uso náutico, como revestimientos laminados. Aplicaciones en maquinaria, moldeado, carrocerías, fuselajes, artículos deportivos, placas de paddle, Misocars y windsurf. Tuning (especialmente en accesorios de competición), aviones, spoilers y otros. Un postcurado adicional mejora notablemente su comportamiento térmico.																																	
<b>Instrucciones de uso</b>	<p><b>Mezcla de la resina con el endurecedor</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Resina / endurecedor</th> <th>Partes en peso</th> <th>Partes en volumen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dicast 750</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Dicure 371</td> <td>45</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table> <p>Antes de mezclar, verificar que la temperatura de ambos componentes no sea inferior a 20°C. Mezclar ambos componentes hasta lograr un líquido homogéneo de color uniforme, sin espumas, utilizando una espátula plana y un recipiente limpio y descartable.</p> <p><b>Propiedades de la mezcla</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Vida útil—100g a 20°C</th> <th>minutos</th> <th>25—35</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tiempo de demora 20—25°C</td> <td>horas</td> <td>18—20</td> </tr> </tbody> </table> <p>Color: Incoloro</p> <p><b>Condiciones de endurecimiento mínimo</b></p> <p>Puede optarse por los siguientes ciclos de curado:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Temperatura (°C)</th> <th>Tiempo mínimo (horas)</th> <th>Temperatura (°C)</th> <th>Tiempo (horas)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>48</td> <td>60</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>20</td> <td>100</td> <td>10 min.</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Temperaturas inferiores a los 18 °C y una humedad relativa ambiente = al 50%, pueden afectar sensiblemente las propiedades finales del compuesto. Debe evitarse la condensación de humedad sobre la superficie recién aplicada durante el periodo de curado, manteniendo la temperatura del ambiente como mínimo unos 5 °C por encima del punto de rocío.</p>			Resina / endurecedor	Partes en peso	Partes en volumen	Dicast 750	100	100	Dicure 371	45	50	Vida útil—100g a 20°C	minutos	25—35	Tiempo de demora 20—25°C	horas	18—20	Temperatura (°C)	Tiempo mínimo (horas)	Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	10	48	60	3	25	20	100	10 min.	40	8		
Resina / endurecedor	Partes en peso	Partes en volumen																																
Dicast 750	100	100																																
Dicure 371	45	50																																
Vida útil—100g a 20°C	minutos	25—35																																
Tiempo de demora 20—25°C	horas	18—20																																
Temperatura (°C)	Tiempo mínimo (horas)	Temperatura (°C)	Tiempo (horas)																															
10	48	60	3																															
25	20	100	10 min.																															
40	8																																	
<b>Características y propiedades</b>	<p><b>Propiedades después del endurecimiento (sin carga)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Propiedad</th> <th>Unidad</th> <th>Rango</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Viscosidad de la mezcla</td> <td>cps</td> <td>1200—1400</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a tracción</td> <td>N/mm2</td> <td>60—70</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a flexión</td> <td>N/mm2</td> <td>95—105</td> </tr> <tr> <td>Elongación a la rotura</td> <td>%</td> <td>5—8</td> </tr> <tr> <td>Temperatura deflexión*</td> <td>°C</td> <td>65—75</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Almacenamiento</b> La resina y el endurecedor tienen una estabilidad al almacenamiento de un año como mínimo, si se guardan en sus envases originales bien cerrados, en lugar seco y fresco (18-25 °C).</p>			Propiedad	Unidad	Rango	Viscosidad de la mezcla	cps	1200—1400	Resistencia a tracción	N/mm2	60—70	Resistencia a flexión	N/mm2	95—105	Elongación a la rotura	%	5—8	Temperatura deflexión*	°C	65—75													
Propiedad	Unidad	Rango																																
Viscosidad de la mezcla	cps	1200—1400																																
Resistencia a tracción	N/mm2	60—70																																
Resistencia a flexión	N/mm2	95—105																																
Elongación a la rotura	%	5—8																																
Temperatura deflexión*	°C	65—75																																
<b>Seguridad e higiene</b>	<p>Las resinas epoxi y sus endurecedores en general son irritantes, sensibilizantes de piel y mucosa, por lo cual deberá trabajarse en un ambiente ventilado y usar guantes descartables. No debe utilizarse solventes de ningún tipo para higiene personal. Únicamente lavarse con agua fría y secarse con toallas de papel descartable para evitar contaminación. Usar protección ocular. No son considerados productos inflamables de 1ª clase. En caso de requerirlo consulte con la correspondiente <b>HOJA DE SEGURIDAD (MSDS)</b>.</p>																																	
<b>Medio ambiente</b>	<p><b>Disposición final de residuos y limpieza.</b> Los residuos del compuesto epoxi endurecido junto con los guantes descartables, implementos y envases vacíos, deben ser considerados de acuerdo con la legislación local vigente, como residuos especiales / peligrosos para el medio ambiente.</p> <p>La información brindada en esta hoja técnica, está dada de buena fe y está basada en el presente estado de nuestros conocimientos. Dado que las condiciones de aplicación están fuera de nuestro control, toda consulta y recomendación está hecha sin compromiso por nuestra parte, no pudiendo asumir responsabilidad alguna sobre vicios y defectos en los trabajos efectuados con DICAST 750.</p>																																	

NOVARCHEM S.A.—Ond. Lavalle 5168, Vila Marlet (Buenos Aires), Tel/FAX: 4709-7595. Email: info@distrattec.com.ar, web: www.distrattec.com.ar

**distrattec**  
sp - systems

**DICAST 855 / DICURE 364**    **2 x 0,576 Kg - \$213,79**    **HOJA TECNICA**

<b>Descripción</b>	Sistema epoxi bicomponente, no modificado, líquido de baja viscosidad que no contiene solventes. Reactividad media y curado normal a temperatura = 19°C y alta humedad relativa ambiente. Buena capacidad de mojado e indicado para impregnar materiales de refuerzo basados en fibras de vidrio, kevlar y otras.																																	
<b>Aplicaciones</b>	Especialmente recomendado para moldes manuales y asistido por vacío, aplicación universal, laminados estructurales, laminados industriales multiaxiales. Apto para uso náutico, como revestimientos de madera laminada con fibra de vidrio, barrieras de bloqueo para tratamiento de serositas en cascos de políster. Aplicaciones en moldeado, carrocerías, fuselajes, artículos deportivos, placas de paddle, Misocars y windsurf. Tuning (especialmente en accesorios de competición), aviones, spoilers y otros. Un postcurado adicional mejora notablemente su comportamiento térmico y una vez curado presenta un aspecto cristalino.																																	
<b>Instrucciones de uso</b>	<p><b>Relación de mezcla</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Resina / endurecedor</th> <th>Partes en peso</th> <th>Partes en volumen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dicast 855</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Dicure 364</td> <td>50</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table> <p>Antes de mezclar, verificar que la temperatura de ambos componentes no sea inferior a 20°C. Mezclar ambos componentes hasta lograr un líquido homogéneo de color uniforme, sin espumas, utilizando una espátula plana y un recipiente limpio y descartable.</p> <p><b>Mezcla de la resina con el endurecedor</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Vida útil</th> <th>100 g a 20°C</th> <th>25 a 35 minutos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tiempo de demora</td> <td>20—25°C</td> <td>15—20 horas</td> </tr> </tbody> </table> <p>Color: Incoloro</p> <p><b>Condiciones de endurecimiento</b></p> <p>Puede optarse por los siguientes ciclos de curado:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Temperatura (°C)</th> <th>Tiempo mínimo (horas)</th> <th>Temperatura (°C)</th> <th>Tiempo (horas)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>48</td> <td>60</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>18</td> <td>100</td> <td>10 min.</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Temperaturas inferiores a los 18 °C y una humedad relativa ambiente = al 50%, pueden afectar sensiblemente las propiedades finales del compuesto. Debe evitarse la condensación de humedad sobre la superficie recién aplicada durante el periodo de curado, manteniendo la temperatura del ambiente como mínimo unos 5 °C por encima del punto de rocío.</p>			Resina / endurecedor	Partes en peso	Partes en volumen	Dicast 855	100	100	Dicure 364	50	50	Vida útil	100 g a 20°C	25 a 35 minutos	Tiempo de demora	20—25°C	15—20 horas	Temperatura (°C)	Tiempo mínimo (horas)	Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	10	48	60	3	25	18	100	10 min.	40	8		
Resina / endurecedor	Partes en peso	Partes en volumen																																
Dicast 855	100	100																																
Dicure 364	50	50																																
Vida útil	100 g a 20°C	25 a 35 minutos																																
Tiempo de demora	20—25°C	15—20 horas																																
Temperatura (°C)	Tiempo mínimo (horas)	Temperatura (°C)	Tiempo (horas)																															
10	48	60	3																															
25	18	100	10 min.																															
40	8																																	
<b>Características y propiedades después del endurecimiento</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Propiedad</th> <th>Unidad</th> <th>Rango</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Viscosidad de la mezcla</td> <td>cps</td> <td>1000—1200</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a la tracción</td> <td>N/mm2</td> <td>60—70</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a la flexión</td> <td>N/mm2</td> <td>95—105</td> </tr> <tr> <td>Elongación a la rotura</td> <td>%</td> <td>5—8</td> </tr> <tr> <td>Temperatura deflexión*</td> <td>°C</td> <td>65—75</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Almacenamiento</b> La resina y el endurecedor tienen una estabilidad al almacenamiento de un año como mínimo, si se guardan en sus envases originales bien cerrados, en lugar seco y fresco (18-25 °C).</p>			Propiedad	Unidad	Rango	Viscosidad de la mezcla	cps	1000—1200	Resistencia a la tracción	N/mm2	60—70	Resistencia a la flexión	N/mm2	95—105	Elongación a la rotura	%	5—8	Temperatura deflexión*	°C	65—75													
Propiedad	Unidad	Rango																																
Viscosidad de la mezcla	cps	1000—1200																																
Resistencia a la tracción	N/mm2	60—70																																
Resistencia a la flexión	N/mm2	95—105																																
Elongación a la rotura	%	5—8																																
Temperatura deflexión*	°C	65—75																																
<b>Seguridad e higiene</b>	<p>Las resinas epoxi y sus endurecedores en general son irritantes, sensibilizantes de piel y mucosa, por lo cual deberá trabajarse en un ambiente ventilado y usar guantes descartables. No debe utilizarse solventes de ningún tipo para higiene personal. Únicamente lavarse con agua fría y secarse con toallas de papel descartable para evitar contaminación. Usar protección ocular. No son considerados productos inflamables de 1ª clase. En caso de requerirlo consulte con la correspondiente <b>HOJA DE SEGURIDAD (MSDS)</b>.</p>																																	
<b>Medio ambiente</b>	<p><b>Disposición final de residuos y limpieza.</b> Los residuos del compuesto epoxi endurecido junto con los guantes descartables, implementos y envases vacíos, deben ser considerados de acuerdo con la legislación local vigente, como residuos especiales / peligrosos para el medio ambiente.</p> <p>La información brindada en esta hoja técnica, está dada de buena fe y está basada en el presente estado de nuestros conocimientos. Dado que las condiciones de aplicación están fuera de nuestro control, toda consulta y recomendación está hecha sin compromiso por nuestra parte, no pudiendo asumir responsabilidad alguna sobre vicios y defectos en los trabajos efectuados con DICAST 855.</p>																																	

NOVARCHEM S.A.—Ond. Lavalle 5168, Vila Marlet (Buenos Aires), Tel/FAX: 4709-7595. Email: info@distrattec.com.ar, web: www.distrattec.com.ar



## 6. REFERENCIAS

- CALVO BERNAD Esteban, GARCÍA RODRÍGUEZ Juan Antonio (2013). Teoría de máquinas e instalaciones de fluidos. Universidad de Zaragoza- España. Editorial UNE.
- CASTRO CASTRILLÓN, J.M. (2011). Caracterización mecánica de un hidrogenerador de eje Horizontal. Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Dpto. Energética y Mecánica. Colombia.
- CHÁVEZ, H.A. (2013). Pre-diseño del Rodete de Turbinas para ríos de Chile. Universidad del BÍO-BÍO, Facultad de Ingeniería, Dpto. Ing. Mecánica. Chile.
- HAGERMAN, G y POLAGY, B. (2009). EPRI North American Tidal In Stream Power Feasibility Demonstration Project. Universidad Virginia Tech. Estados Unidos
- <http://www.invap.com.ar> (2015). Turbina Hidrocinética. Recuperado de: <http://www.invap.com.ar/es/2014-05-12-14-44-54/proyectos/turbina-hidrocinetica.html>
- LABRIOLA, KIRS y LAGOS. (2009). Turbina para ríos, canales y pequeños cursos de agua con pendiente. Trabajo presentado en Tercer Congreso Nacional - Segundo Congreso Iberoamericano de Hidrogeno y Fuentes Sustentables de Energía - HYFUSEN 2009. Universidad Nacional de Comahue, Facultad De Ingeniería, Dpto. de Electrotecnia. Argentina.
- Programa de simulación 3D de acceso libre para desarrollo de imágenes en movimiento. [www.blender.org](http://www.blender.org)
- Proyecto de Investigación 29/D006. (2005). “Investigación para el aprovechamiento de la energía de las mareas en San Julián y evaluación de posibles aplicaciones (Primera Etapa)”. Área Energías Alternativas / UNPA
- QUISPE, F.M. (2005). Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán-Región Loreto. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Dpto. Ingeniería Mecánica de Fluido. Perú.
- Servicio de Hidrografía Naval, (2010). Cartas de Puerto Deseado, San Julián y Río gallegos.
- SEXON, B. (2006). Thropton Servicios Energéticos: 20 años de experiencia con turbinas de corrientes de agua. Physic Lane, Thropton, Reino Unido. Recuperado de <http://www.throptonenergy.co.uk>