



“II Congreso Argentino de Energías Sustentables”

**Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional.
Universidad Nacional del Sur.
Universidad Nacional del Comahue.**

ESTUDIO DEL RECURSO ENERGÉTICO MARINO DE LA PATAGONIA AUSTRAL

Zabaleta Federico¹, Buono Nicolás¹, Cáceres Raúl¹, Tomazín Nicolás², Cecotti Roberto¹,

¹ *Laboratorio de Hidromecánica, Dpto. Hidráulica, Facultad de Ingeniería –UNLP
Calle 1 y 47 - La Plata
fede.zabaleta@gmail.com
nicolasbuono8@hotmail.com*
² *Instituto Nacional del Agua*

RESUMEN

La Costa Patagónica se presenta como un sitio con gran potencial para el aprovechamiento de la energía oceánica, recurso renovable que se produce por el movimiento de mareas, olas y corrientes en los océanos. La presencia de estrechos, bahías y estuarios naturales, combinada con la gran amplitud de marea característica de la región, genera altas velocidades de corrientes, aptas para la instalación de turbinas capaces de aprovechar el enorme flujo de energía cinética que este movimiento trae aparejado. De esta manera, el estuario del Río Gallegos se manifiesta como uno de los sectores con mayor potencial de desarrollo, dadas las características de su geomorfología local y la hidrodinámica que gobierna la región.

En el presente trabajo de investigación se realizó una evaluación detallada del potencial de generación de energía a partir de las corrientes generadas por las mareas sobre el estuario mencionado, de tal manera que permita la elección de los mejores sitios para la instalación de equipos con las tecnologías que mejor se adapten a las condiciones locales.

Para ello, se realizó un análisis hidrodinámico y morfológico completo del sector de estudio, teniendo en cuenta sus características físicas y ambientales. El estudio estuvo basado en una modelación matemática avanzada, de manera tal de predecir a mediano plazo y gran escala, los campos de corrientes y la dinámica costera que afecta la zona de interés. Tales modelos numéricos fueron validados a través de mediciones de campo sobre las diversas variables involucradas.

Por su parte, se realizó un análisis detallado de los campos de vientos y su influencia en la zona de estudio. Asimismo, se evaluaron las condiciones de oleaje de origen oceánico y de generación local dentro del estuario. Para ello se aplicó un modelo espectral para la generación y transformación de olas.

Palabras clave: Energías Renovables, Aprovechamientos Hidrocinéticos, Corrientes Marinas, Costa Patagónica, Energía Oceánica.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen principalmente dos formas de producir energía a partir de las mareas. La primera de ellas se materializa a través del embalse de un recinto natural, tal como un estuario o bahía. Dicha modalidad, conocida como aprovechamientos mareomotrices, funciona análogamente a una central hidroeléctrica convencional, explotando la energía potencial a partir de la amplitud de marea disponible. La tecnología asociada a este tipo de producción recurre a turbogrupos lentos y de bajo salto, tales como las turbinas Bulbo y los equipos tubulares. Si bien esta clase de proyectos muestran un potencial energético de gran magnitud, existen implicaciones ambientales significativas que dificultan su implementación.

Otra alternativa de producción consiste en aprovechar la energía cinética de las corrientes. Las variaciones de nivel producidas a partir del movimiento de las mareas generan ingresos y egresos de grandes masas de agua dentro del recinto natural, promoviendo corrientes de flujo y reflujos de gran magnitud. Esta modalidad, conocida como aprovechamientos hidrocineéticos, presenta una tecnología de reciente desarrollo, basada principalmente en los diseños existentes de turbinas eólicas.

Con un litoral marítimo de 3.500 km de extensión, la Costa Patagónica representa un excelente campo para el aprovechamiento de la energía oceánica. La presencia de estrechos, bahías y estuarios naturales, combinada con la gran amplitud de marea característica de la zona, generan altas velocidades de corrientes de flujo y reflujos de mareas, aptas para la instalación de turbinas hidrocineéticas capaces de aprovechar la enorme cantidad de energía que este movimiento trae aparejado. A su vez, dado que el agua es unas 830 veces más densa que el aire, el recurso presenta un potencial muy atractivo en comparación con otras fuentes renovables de energía, tal como la eólica.

El objetivo del presente trabajo de investigación es alcanzar una descripción del potencial de generación de energía hidrocineética a partir de las corrientes generadas por las mareas en el estuario del Río Gallegos, de manera tal que permita la elección de los mejores sitios para la instalación de equipos con las tecnologías que mejor se adapten a las condiciones locales y que están siendo objeto de investigación.

2. ESTUDIO DE LA DINÁMICA COSTERA

El análisis de la energía disponible de un flujo de agua se muestra a continuación, partiendo con la forma básica de la energía cinética, según la Ecuación (1).

$$E_{cinética} = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (1)$$

Donde m es la masa y v es la velocidad de la corriente. De esta manera, la densidad de potencia para un flujo puede expresarse a través de la Ecuación (2):

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} * \rho * v^3 \quad (2)$$

Donde A es el área de flujo interceptada por la turbina, ρ es la densidad del agua y P es la potencia del flujo. La selección del sitio a explotar resulta de carácter fundamental para este tipo de aprovechamientos, dado que la densidad de potencia de una corriente está relacionada con su velocidad elevada al cubo. Debido a que las zonas a evaluar para la instalación de equipos generadores representan extensiones muy importantes, estudios basados en modelación matemática se presentan como la única alternativa posible de aplicación en plazos razonables de ejecución. En efecto, un modelo hidrodinámico general permite evaluar diversos escenarios y condiciones de clima marítimo, para diferentes puntos de la zona costera. Asimismo, la representatividad de estos resultados puede ser mejorada considerablemente a partir de mediciones de campo en puntos determinados.

Por su parte, el Estuario del Río Gallegos manifiesta un importante proceso de transporte, remoción y re-depósito de sedimentos arenosos. Los sedimentos costeros provenientes de los ríos originados en el macizo cordillerano se depositan a lo largo de la costa por efecto de las corrientes de deriva costera. Asimismo, el proceso constante de erosión al que se ven sometidos los acantilados, principalmente por acción del oleaje incidente, aporta más sedimentos al medio. Vientos y tormentas activan el sistema integrándolo con los médanos, generando alternativamente procesos de remoción y depósito, tanto en sentido longitudinal como transversal a la línea de costa.

Todo lo anterior indica la necesidad de realizar un análisis hidrodinámico y morfológico de las zonas de estudio, que incluya además estrategias para determinar las zonas más aptas para la instalación de los turbogrupos.

2.1. Modelos numéricos implementados

El presente trabajo recurre a la simulación numérica como herramienta fundamental para la caracterización hidrodinámica y sedimentológica de la zona de interés. De esta manera, resulta posible analizar los diversos patrones de corrientes, distribuciones del oleaje y dinámica del transporte de sedimentos para diferentes condiciones climáticas y de marea.

Los modelos numéricos utilizados son Delft3D y SWAN, ambos desarrollados por Delft University of Technology de Holanda. Delft3D consiste en un sistema de modelación acoplado compuesto por varios módulos que incluyen la modelación hidrodinámica, transporte de sólidos, calidad de agua y transporte de sustancias en general. Para este estudio se implementó el módulo Delft3D-Flow (hidrodinámico) que incluye el módulo D-Morphology para transporte de sedimentos y análisis morfológico. Por su parte, SWAN es un modelo numérico de tercera generación que permite estimar los parámetros de olas en regiones costeras a partir de la definición del viento, la batimetría y campos hidrodinámicos, basándose en una representación espectral de la ecuación de balance de la densidad de acción de olas.

La implementación de ambos modelos requiere previamente de la construcción de una o más grillas de cálculo diseñadas eficientemente a través de un balance entre el costo computacional y la precisión de los resultados. De esta manera, a través de un largo proceso de ajuste y evaluación se definió el dominio y densidad del mallado, el cual se extiende prácticamente en todo el interior del estuario y hasta unos 30 km hacia aguas abiertas, contabilizando alrededor de 96000 elementos de aproximadamente 500 m en la zona exterior y 25 m como mínimo en la zona interior. Por su parte, para la elaboración del modelo digital de elevación se utilizó información de las cartas náuticas H-451b, H-451a, H-416 y H-413 del Servicio de Hidrografía Naval (SHN). Asimismo dicho set de datos fue complementado con datos provenientes de la base global GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans). De forma adicional, se utilizó información correspondiente a Topografía de Radar del modelo digital de elevaciones denominado SRTM.

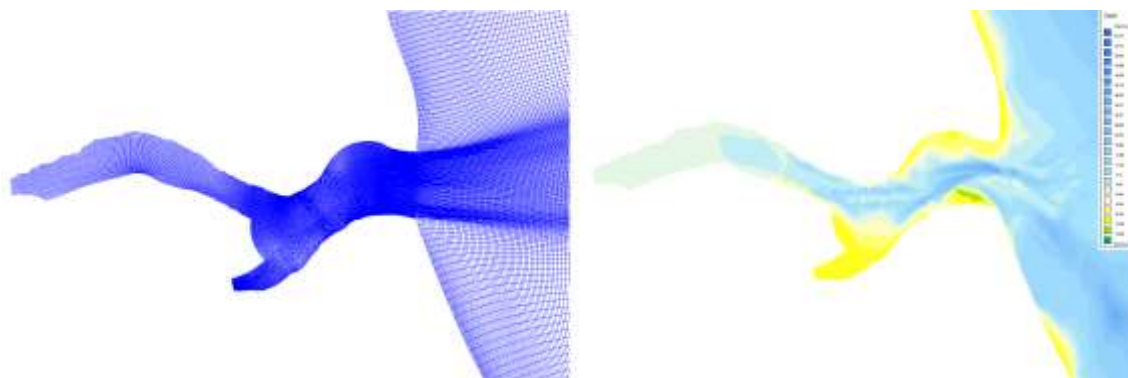


Figura 1: Malla curvilínea de cálculo y modelo digital de elevación implementado para la modelación del estuario de Río Gallegos.

2.2. Análisis de vientos, olas y mareas

El proceso de modelación numérica requiere la definición de forzantes astronómicos y meteorológicos como dato de entrada. De esta manera, se realizó un análisis estadístico de los campos de vientos, patrones de oleaje y niveles de marea que afectan a la zona de estudio. Las fuentes de información implementadas incluyen la base de datos públicos NCEP/NCAR y el Servicio Meteorológico Nacional (Vientos), el proyecto IOWAGA (Olas), el modelo global DTU10 y el Servicio de Hidrografía Naval (Mareas). Todos estos factores fueron incluidos en la modelación numérica con el fin de analizar su influencia sobre los patrones e intensidades de corrientes dentro del estuario.

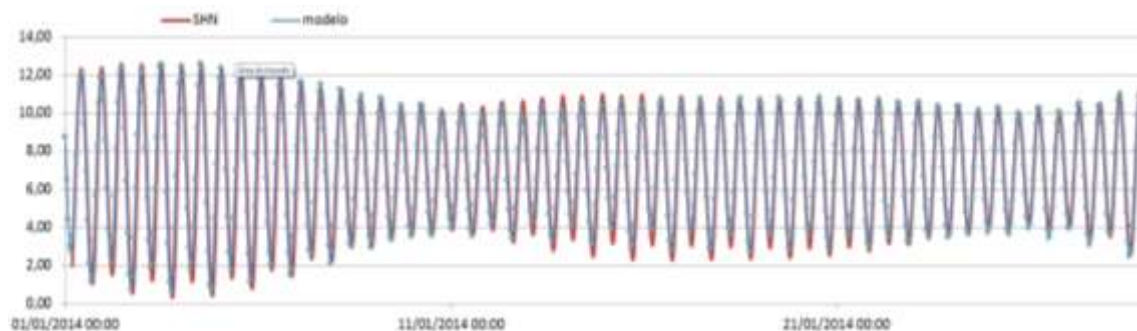


Figura 2: Extracto de la serie de niveles de marea modelada con DTU10 y datos de la tabla de marea del SHN para punta Loyola.

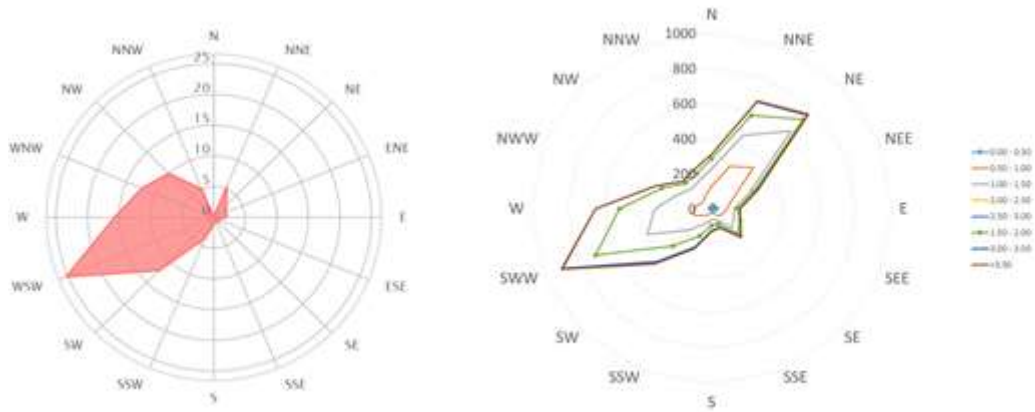


Figura 3: Rosa de vientos anual (izquierda) y rosa de olas en 68°W 51,5°S (derecha).
Fuente: Elaboración propia a partir de datos NCEP/NCAR y IOWAGA.

2.3. Análisis de sensibilidad

La influencia del viento y el oleaje fue analizada a través de distintos escenarios de modelación. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas respecto a la magnitud y dirección de los flujos y reflujos. En consecuencia, se concluye que la incidencia de tales parámetros sobre las corrientes de marea presentes dentro del estuario no es significativa.



Figura 4: Comparación de velocidades de corriente para distintos escenarios de viento.

2.4. Calibración del modelo

En el marco del presente estudio resulta de carácter fundamental efectuar mediciones de campo que involucren todas las variables de interés. La información obtenida, una vez tratada estadísticamente, permite generar una base de datos esencial para la calibración del modelo matemático y de esta manera, validar las predicciones y resultados que brinda la simulación numérica. El equipo implementado, conocido genéricamente como ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers) permite obtener registros de niveles, velocidad y dirección de la corriente en tiempo real para distintas capas a lo largo del tirante de agua.

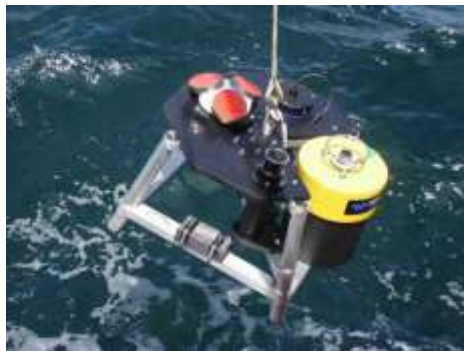


Figura 5: Fondeo de ADCP Nortek Continental. Fuente: Relevamiento fotográfico.

El instrumento instalado registró valores de presión y velocidad en intervalos temporales de 10 minutos durante el período que se extiende entre los días 24/09/2015 y 15/10/2015. A continuación se presenta la comparación de los datos medidos con los resultados obtenidos a partir de la modelación matemática para el periodo señalado. Estos últimos fueron calibrados previamente a partir de las tablas de marea del Servicio de Hidrografía Naval.

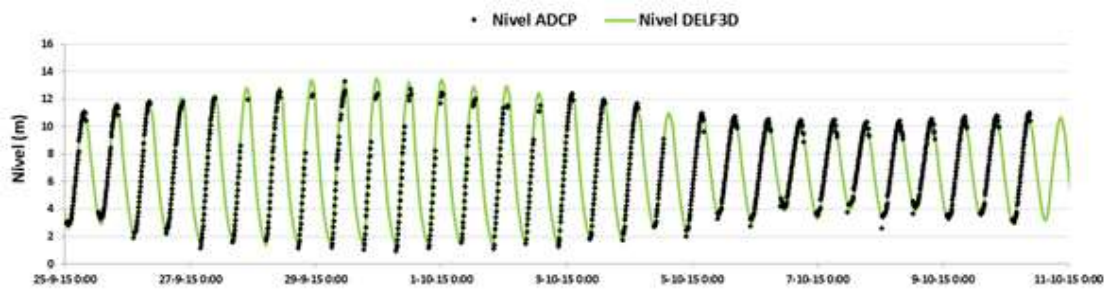


Figura 6: Comparación de niveles medidos y resultados del modelo. Fuente: Procesamiento de datos ADCP y resultados modelo Delft3D.

Se observa en la Figura 6 la correlación existente entre los datos medidos respecto a los resultados del modelo. Cabe destacar que los registros del ADCP fueron filtrados de manera tal de eliminar aquellas mediciones consideradas no satisfactorias, las cuales se manifestaron sistemáticamente durante el periodo de bajantes. Si bien es recomendable contar con un periodo de medición más extenso y la calidad de datos mejorada, se concluye que los resultados del modelo permiten predecir razonablemente la variación de amplitud de marea y los niveles resultantes dentro del estuario.

Se presenta a continuación la comparación de los datos medidos con los resultados obtenidos a partir de la modelación matemática, tanto en términos de velocidades como direcciones.

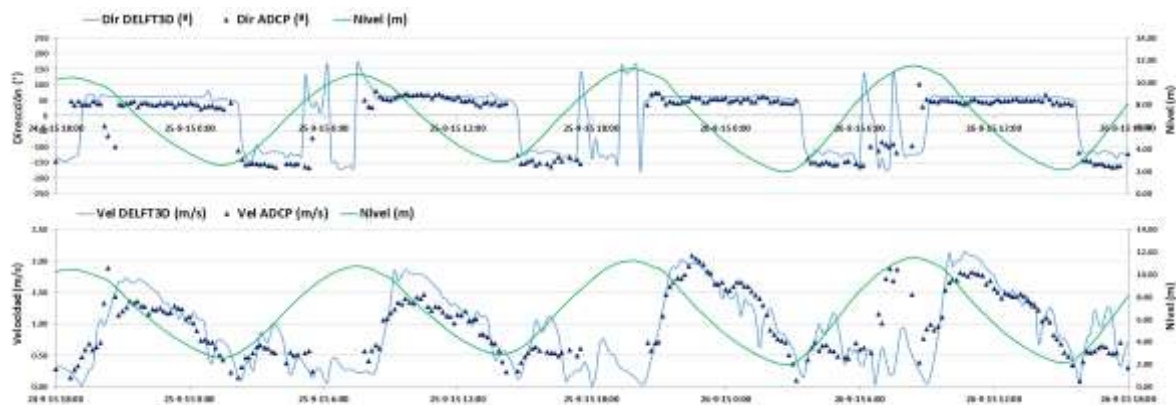


Figura 7: Correlación de velocidades entre datos medidos y modelados. Fuente: Elaboración propia a partir de datos ADCP y modelación en Delft3D.

Se observa en la Figura 7 la correlación existente entre las mediciones procesadas y los resultados de la modelación matemática durante un periodo de 48 horas respectivamente. Se señala la concordancia en términos de evolución temporal y magnitud de la velocidad y dirección de la corriente. A su vez, se observa una disminución en la densidad de datos durante los periodos de bajamares y transiciones entre flujo y refluo debido al filtrado de datos. Se puede concluir que los valores de dirección y velocidad de corriente presentan una concordancia razonable tanto en forma como magnitud, exceptuando aquellos periodos donde la dispersión direccional entre capas es notoria y los datos medidos fueron filtrados.

Si bien los datos disponibles representan un periodo escaso de medición y la calidad de los registros debe ser mejorada, se considera que la correlación existente entre las mediciones y los resultados de la simulación numérica son suficientes para validar el modelo matemático propuesto en esta etapa de estudio. No obstante, resulta de carácter fundamental destacar la necesidad de extender las campañas de medición en fases posteriores, de modo tal de brindar una mejora sobre el proceso de calibración del modelo matemático.

2.5. Potencial extraíble del estuario

Dadas las limitaciones de carácter ambiental, el flujo de energía asociado a las corrientes de marea no puede ser aprovechado en su totalidad. Por su parte, existen diversos factores geomorfológicos, sedimentológicos e hidrodinámicos, los cuales imponen fuertes restricciones sobre el aprovechamiento del recurso disponible.

En primer lugar, resulta importante destacar que existe conceptualmente un tirante máximo aprovechable para cada punto del estuario, el cual se encuentra definido por Ecuación (3) [7]:

$$h_{disponible} = NBM - Nivel_{lecho} - h_{inf} - h_{sup} \quad (3)$$

Donde,

NBM: Nivel de bajamar mínima, respecto al cero local.

Nivel lecho: Cota de fondo del lecho, respecto al cero local.

h_{inf}: Altura de la capa de fondo. Estimada como 1/10 del tirante disponible durante la bajamar media inferior.

h_{sup}: Revancha superior, que evita zonas de amplia fluctuación de velocidad debido a vientos y olas.

Por su parte, los aprovechamientos hidrocinéticos se enfrentan a una fuerte limitante de carácter ambiental. Si bien la materia presenta un desarrollo reciente, los antecedentes disponibles indican límites de extracción en el rango de 10% - 20% sobre el flujo anual de energía [8]. Esta restricción se fundamenta en evitar variaciones significativas sobre la hidrodinámica del estuario, lo cual afecta el transporte de sedimentos, nutrientes, oxígeno y consecuentemente la flora y fauna marina local. Vale señalar que dicha limitación depende de diversos factores tales como la geomorfología del estuario, las características de su ecosistema marino y la hidrodinámica específica del sector. De esta manera, resulta necesario destacar la necesidad de promover estudios específicos que involucren la interacción de estas variables a través de modelación numérica, ensayos sobre modelos físicos y mediciones de campo.

En el marco del presente estudio, se adopta un valor de referencia del 15% como límite de extracción, resaltando la necesidad de realizar estudios específicos en etapas posteriores de desarrollo.

3. RESULTADOS

3.1. Flujo anual de energía

La primera metodología implementada se encuentra basada en los lineamientos sugeridos por el EPRI (Electric Power Research Institute). El procedimiento consiste en estimar la densidad media anual de potencia sobre la embocadura del estuario a través de registros disponibles de velocidad. Una vez conocida la sección transversal de referencia, es posible aproximar la potencia media anual incidente sobre el estuario, tanto para los procesos de flujo como reflujos [7]. Si bien esta metodología permite brindar un orden de magnitud estimativo, vale destacar que requiere poca información para su implementación, permitiendo comparar distintos sitios potenciales sin necesidad de desarrollar estudios específicos que demanden mayor tiempo y recursos.

Dada la disponibilidad de un modelo numérico validado a través de mediciones, es posible contar con un panorama completo acerca de la hidrodinámica del estuario y brindar mayores precisiones sobre el cálculo del flujo anual de energía. De esta manera, el procedimiento efectuado tiene en cuenta la direccionalidad del flujo, la distribución no uniforme de densidades de potencia a lo largo de la embocadura y la definición de parámetros medios obtenidos a partir de un año completo de datos.

Para ello se trazó una transecta de referencia con una orientación Norte-Sur en la boca del estuario, sobre la cual se adoptaron 20 puntos de salida para el análisis hidrodinámico. Se muestra a continuación la distribución de densidad de potencia media anual a lo largo de la embocadura, tanto para procesos de flujo como reflujos. Vale señalar que las densidades representadas no tienen en cuenta la dirección de incidencia respecto a la embocadura.

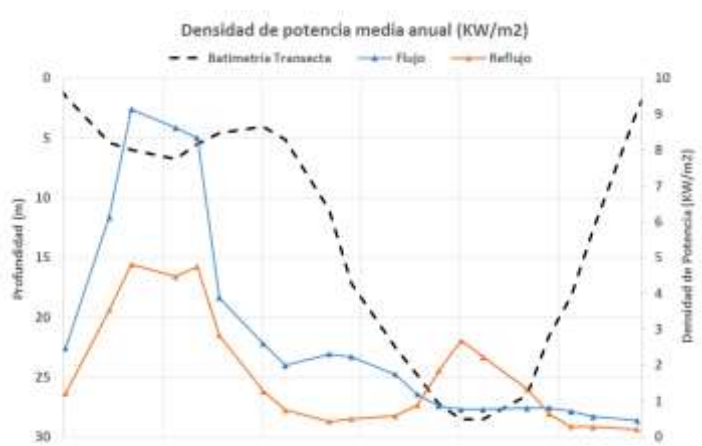


Figura 8: Distribución de densidad de potencia media anual a lo largo de la embocadura, para flujo y reflujos

Puede observarse claramente la presencia de dos corredores de potencia bien diferenciados, coincidentes con los canales navegables sur y norte. El contraste entre las densidades de potencia observadas se encuentra relacionado con el ancho del corredor y su orientación respecto al avance de la onda de marea. Por este motivo, el canal sur presenta densidades de potencia mayores a lo largo de su traza. Por su parte, vale señalar la diferencia de distribución existente

entre las corrientes de flujo y reflujos, lo cual demuestra que existen canales preferenciales distintos para cada proceso.

En conclusión, la potencia media anual generada por los flujos se estima en 67 MW, mientras que los reflujos presentan un valor de 61 MW. En función de los resultados obtenidos, se obtiene un flujo anual de energía de 466 GWh, teniendo en cuenta conjuntamente los procesos de flujo y reflujos. Finalmente, aplicando un factor de 15% por limitaciones ambientales se estima un potencial hidrocinético anual extraíble de 70 GWh, como valor nominal de referencia.

3.2. Potencial Hidrocinético del estuario

A partir del procesamiento de los resultados del modelo, se obtuvieron imágenes ráster que indican la velocidad para cada instante de tiempo modelado. Para una onda de marea con una amplitud de 8,50 m, se elaboraron mapas de velocidad en el interior del estuario, para condiciones de flujo, reflujos, pleamar y bajamar (Ver Anexo). Estos mapas fueron superpuestos con vectores que indican la direccionalidad de las corrientes y con una imagen de Google Earth. En la Figura 9 se puede ver el mapa de velocidades instantáneas para una condición de flujo. A partir de éstos, aplicando la Ecuación 2, se pueden obtener mapas de densidad de potencia.

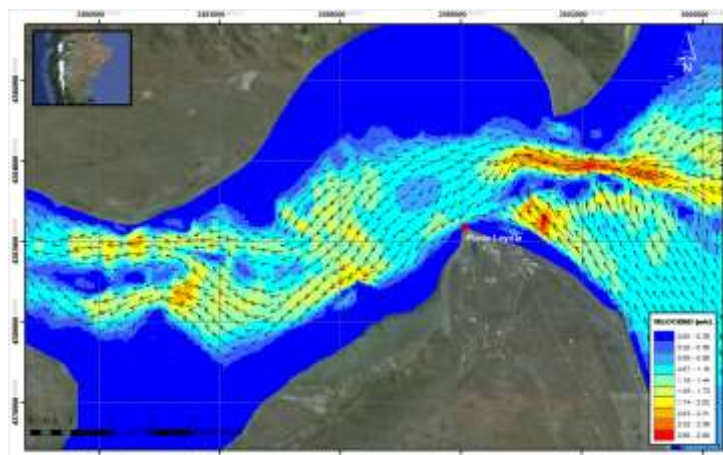


Figura 9: Mapa de velocidades instantáneas. Fuente imagen de fondo: Google Earth

Si bien los mapas de densidad de potencia instantánea dan una idea del potencial de las distintas zonas del estuario, no permiten hacer un análisis en términos temporales a largo plazo. Esto se debe a que los mapas son representaciones de la densidad de potencia en instantes definidos arbitrariamente, por lo cual no se puede saber qué porcentaje del tiempo se mantiene determinada potencia, o cuáles son los picos de densidad de potencia máximos y mínimos. Por este motivo es necesario realizar un análisis estadístico de las velocidades, y por ende de las densidades de potencia, para determinar la verdadera potencialidad del estuario.

Para hacer este análisis se estudió una onda de marea media (28/07/2014 20:10 – 29/07/2014 08:50), extrayendo valores de velocidad en cada celda a intervalos de 10 minutos (76 datos por celda). A los 76 datos de cada celda se le realizó un análisis estadístico, extrayendo los valores máximos con 75%, 50% y 25% de garantía, respectivamente. Estos valores permiten elaborar mapas de densidad de potencia para determinadas garantías (Ver Anexo).

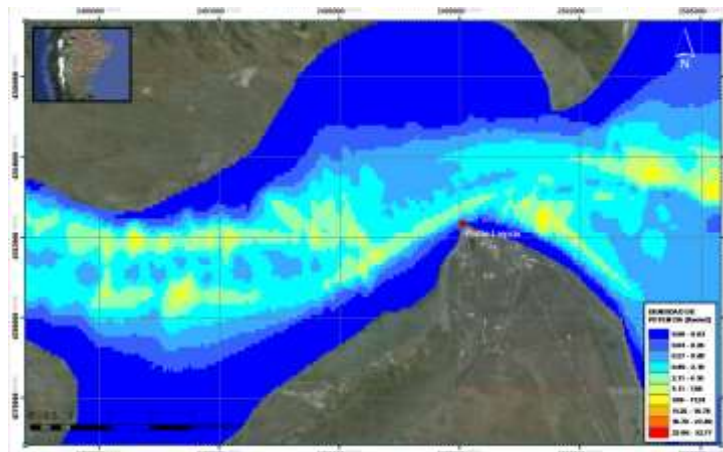


Figura 10: Mapa de densidad de potencia con 25% de garantía. Fuente imagen de fondo: Google Earth

Un análisis estadístico más confiable requeriría que la longitud de tiempo analizada sea mucho mayor (aproximadamente 1 año), pero esto exigiría trabajar con más de 50 mil mapas, y más de 5 mil millones de datos (Casi 100,000 valores por mapa). Esta tarea no es realizable utilizando este

modelo. Para validar la metodología utilizada, se compararon los resultados de un análisis estadístico de velocidades para 53 puntos del estuario, para dos periodos de tiempo distintos: una onda de marea (12,42hs) y un año. Luego se analizó la correlación entre los resultados. Para estos 53 puntos, se calculó la velocidad media, y las velocidades con 25%, 50% y 75% de garantía. La comparación de los resultados se puede ver en la Figura 11. Se aprecia que la correlación es muy buena. En general, el análisis para la onda de marea sobreestima los valores de velocidad. A pesar de esto, la dispersión respecto a la recta a 45° es suficientemente baja como para concluir que los mapas de densidad de potencia para las distintas garantías, representan de manera satisfactoria la distribución de ésta en el estuario. Según este análisis los valores estarían levemente sobreestimados (aunque todos en la misma proporción), por lo que los mapas serían, de todos modos, útiles para determinar lugares con mayor densidad de potencia.

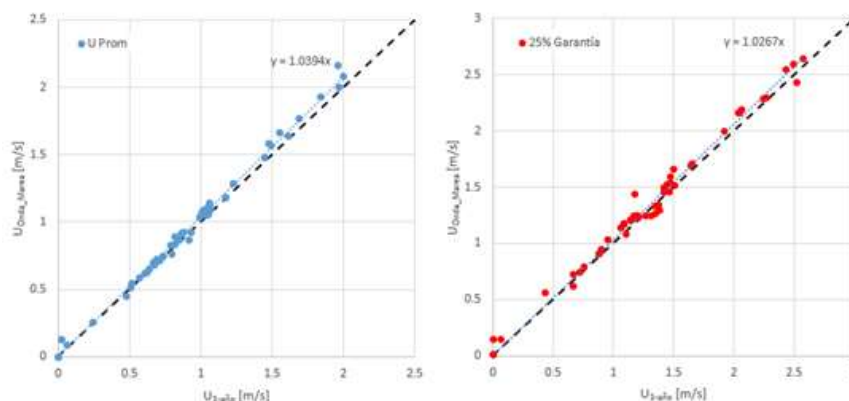


Figura 11: Comparación de resultados para una onda de marea y un año.

A partir del análisis de estos mapas se puede ver que la zona que presenta las mejores condiciones en cuanto a velocidades es el canal sur, con densidades de potencia del orden de los 7,5 kW/m² con un 50% de garantía y 3,50 kW/m² con 75% de garantía. Esto implicaría que una turbina con 10 m de diámetro podría generar aproximadamente 130kW de potencia con una garantía del 75% (Asumiendo un rendimiento global del 50%). En segundo lugar de importancia, se encuentra una zona exterior al canal norte y numerosos puntos aislados en la zona media-interior del estuario.

La profundidad útil es otro factor de suma importancia que debe ser considerado al elegir una zona a explotar. La reducción superior dependerá de los requerimientos para la navegación. En zonas no navegables, se reducirá entre 5,00 m (para el paso de pequeñas barcas) y 1,00 m (para considerar alteraciones en las velocidades por viento u oleaje). En la zona inferior, la turbina debe estar por encima de la capa límite, por lo que la reducción será un 10% de la profundidad para un nivel igual al promedio de las bajamares (Ver Anexo).

Si multiplicamos los valores de densidad de potencia en cada punto del estuario por los de profundidad útil, obtenemos valores de potencia por metro de ancho (Ver Anexo). Los mapas de potencia por metro de ancho indican la potencia extraíble para cada punto del estuario, ofreciendo un panorama más completo de la potencialidad del mismo. En este estudio se realizaron mapas de potencia por metro de ancho para garantías del 1% (Potencia máxima), 25%, 50% y 75%. Este análisis se hizo para reducciones superiores de 1 m y 5 m respectivamente.

En los mapas se puede ver que la mayoría del estuario posee profundidades aprovechables menores a 2 m. Esto significa que a pesar de que las densidades de potencia sean altas, la capacidad de explotación será prácticamente nula. Por otro lado, profundidades aprovechables superiores a 5m solo se encuentran en el canal norte y en una zona aguas arriba de Punta Loyola. En los mapas de potencia por metro de ancho, se puede ver claramente la influencia de este último factor en la energía aprovechable (Ver Anexo).

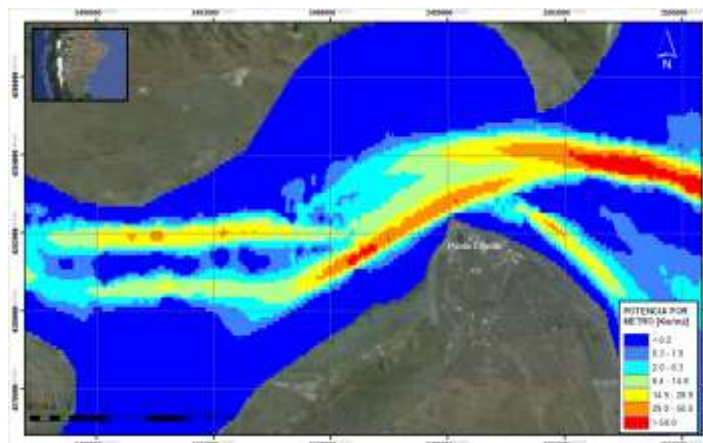


Figura 12: Mapa de potencia por metro de ancho para un 25% de garantía.
Fuente imagen de fondo: Google Earth

4. CONCLUSIONES

Se establece como conclusión que el potencial hidroenergético originado por las corrientes de marea presentes en el Estuario del Río Gallegos es de magnitud relevante. Por su parte, vale destacar que los aprovechamientos hidrocinéticos se presentan como una fuente renovable y limpia de energía, con un alto grado de previsibilidad y sin necesidad de obras de cierre, disminuyendo considerablemente el impacto ambiental en comparación con los proyectos de embalse.

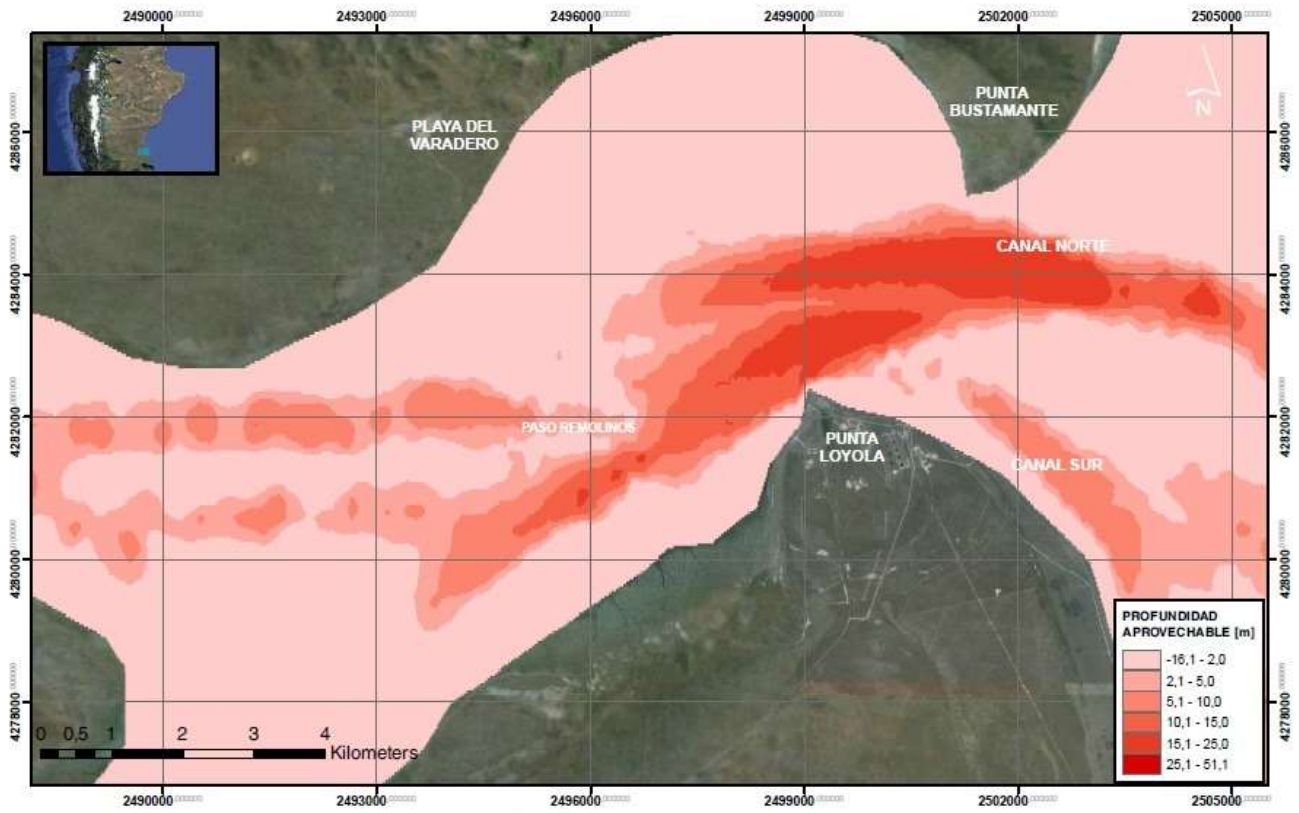
Las características en términos de generación eléctrica serán función de la ubicación del sector de explotación, la cantidad de equipos instalados, su velocidad de diseño, y la estrategia energética que se desee implementar con un aprovechamiento de este tipo. A su vez, cabe recordar que las garantías de velocidad varían considerablemente entre distintas zonas del estuario, por lo cual la hidrodinámica es un factor fundamental al seleccionar el sitio de implantación de los turbogrupos. Asimismo, deberán tenerse en cuenta otras variables tales como la profundidad disponible, factores sedimentológicos, interferencias con vías navegables, incidencia del oleaje y proximidad a tierra.

Si bien la extracción del recurso se encuentra limitada por factores ambientales, los recientes avances en la tecnología aplicada a la obtención de energía de las corrientes y la disponibilidad de zonas adecuadas para su implantación justifican ampliamente la investigación y posterior desarrollo de esta clase de proyectos.

5. REFERENCIAS

- [1] Delft University of Technology, 2004. SWAN User manual (ver. 40.31), Faculty of Coastal Engineering and Geosciences, Netherland.
- [2] Booij, N., Ris, R. C. and Holthuijsen, L. H., 1999. A third generation wave model for coastal regions. Part 1: Model description and validation. Journal of Geophysics Res, 104(C4), pp 7649-7666.
- [3] E. Kalnay, M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, and R. Reynolds (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bulletin of the American Meteorological Society.
- [4] PICCOLO. 1997. Geomorfología costera del estuario de Río Gallegos. X Coloquio Argentino de Oceanografía. Comunicación Científica, 8: 17.
- [5] Santaolalia, M. L., 2010. "Estudio de la variabilidad espacio-temporal del banco Oliver, Río Gallegos, Pcia. de Santa Cruz, mediante la comparación de Modelos digitales del Terreno". Tesis de Licenciatura. Instituto Universitario naval.
- [6] Castellano, R.D.; Tomazin, N.J., y Granada, J., 2009. Caracterización del clima de olas en el litoral marítimo de la provincia del Chubut. Congreso Nacional del Agua (Trelew, provincia del Chubut, Argentina), pp. 35-52.
- [7] Hagerman G. & Polagye B., 2006. Methodology for Estimating Tidal Current Energy Resources and Power Production by Tidal In-Stream Energy Conversion (TISEC) Devices, EPRI.
- [8] I.G. Bryden, S.J. Couch, A. Owen, and G. Melville, 2006. Tidal current resource assessment, IMechE Vol. 221 Part A: J. Power and Energy.

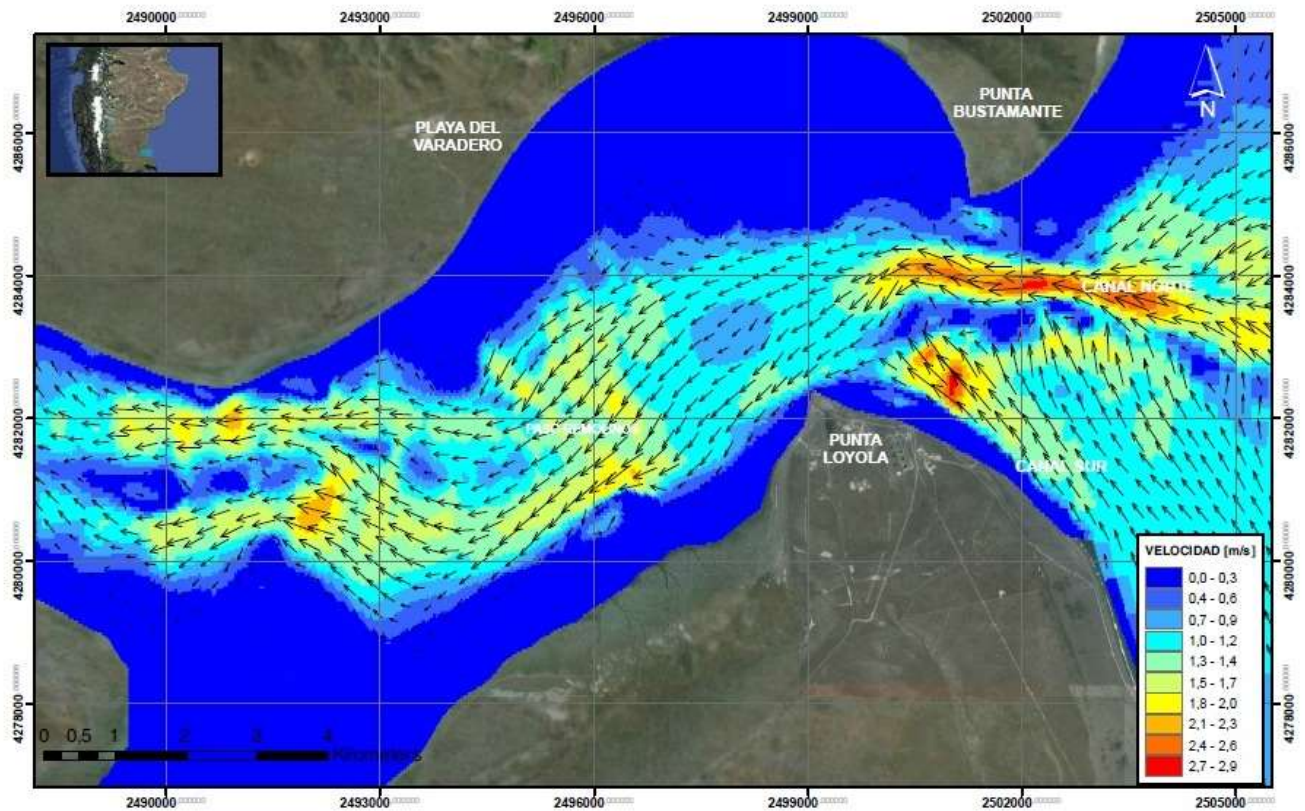
ANEXO



HIDROMECA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.L.P.

MAPA N° 1
Profundidad aprovechable
Nivel de referencia: Promedio de bajamareas
Reducción superior/inferior: 1,00 m / 10%

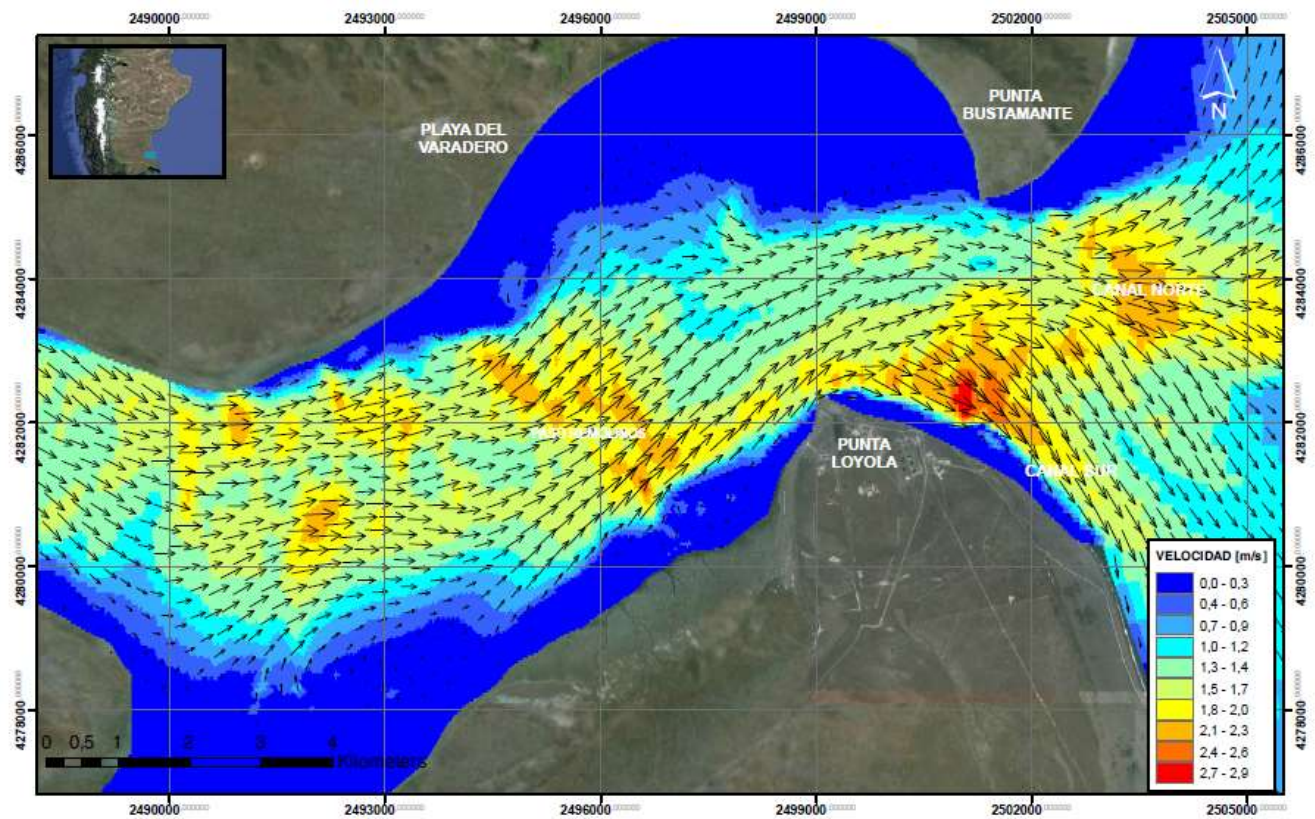
Autor: Laboratorio de Hidromecánica UNLP
Fuente imagen de fondo: Google Earth
Proyección: POSGAR 2007 Zona 2



HIDROMECA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.L.P.

MAPA N° 2
Mapa de velocidades instantáneas
Circulación: Flujo
Amplitud de marea: 8,50 m

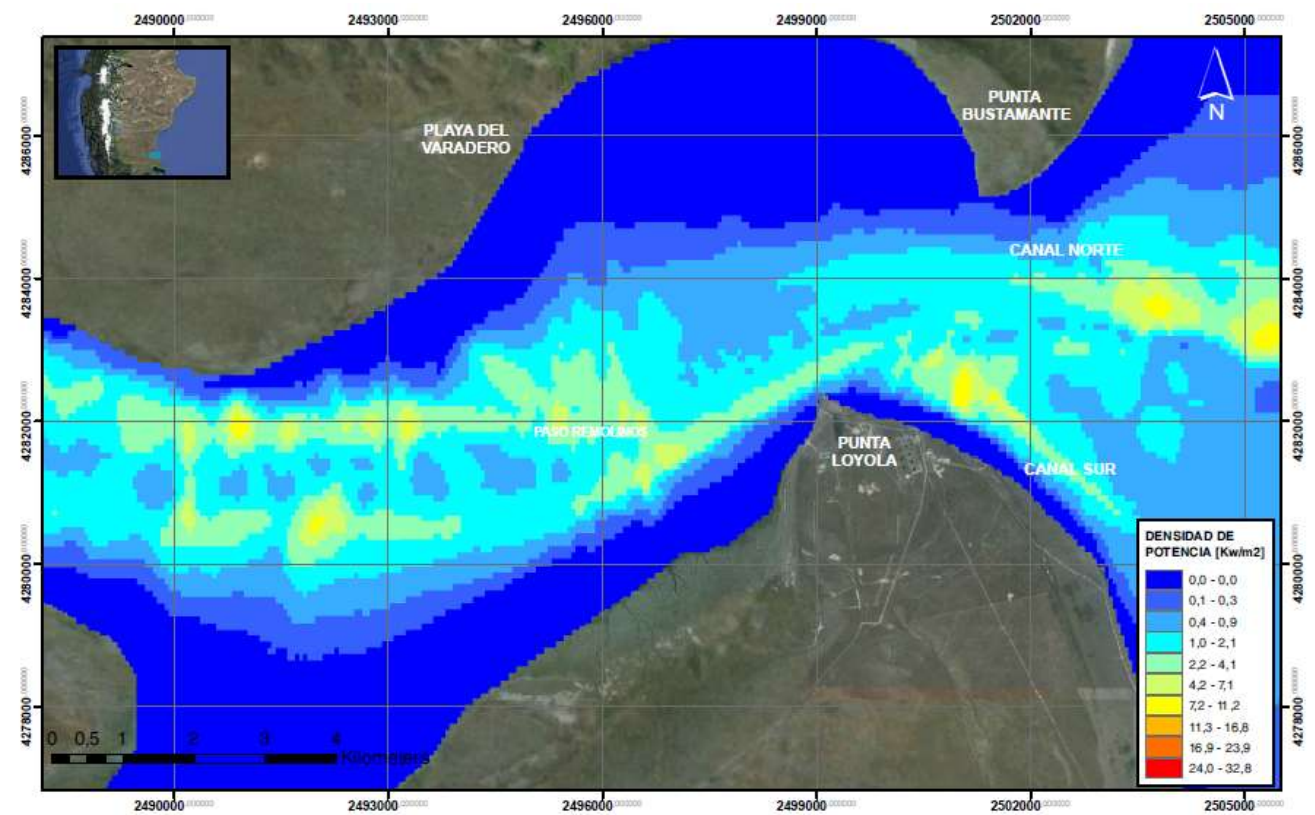
Autor: Laboratorio de Hidromecánica UNLP
Fuente imagen de fondo: Google Earth
Proyección: POSGAR 2007 Zona 2



HIDROMECHANICA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.L.P.

MAPA N° 3
Mapa de velocidades instantáneas
Circulación: Reflujo
Amplitud de marea: 8,50 m

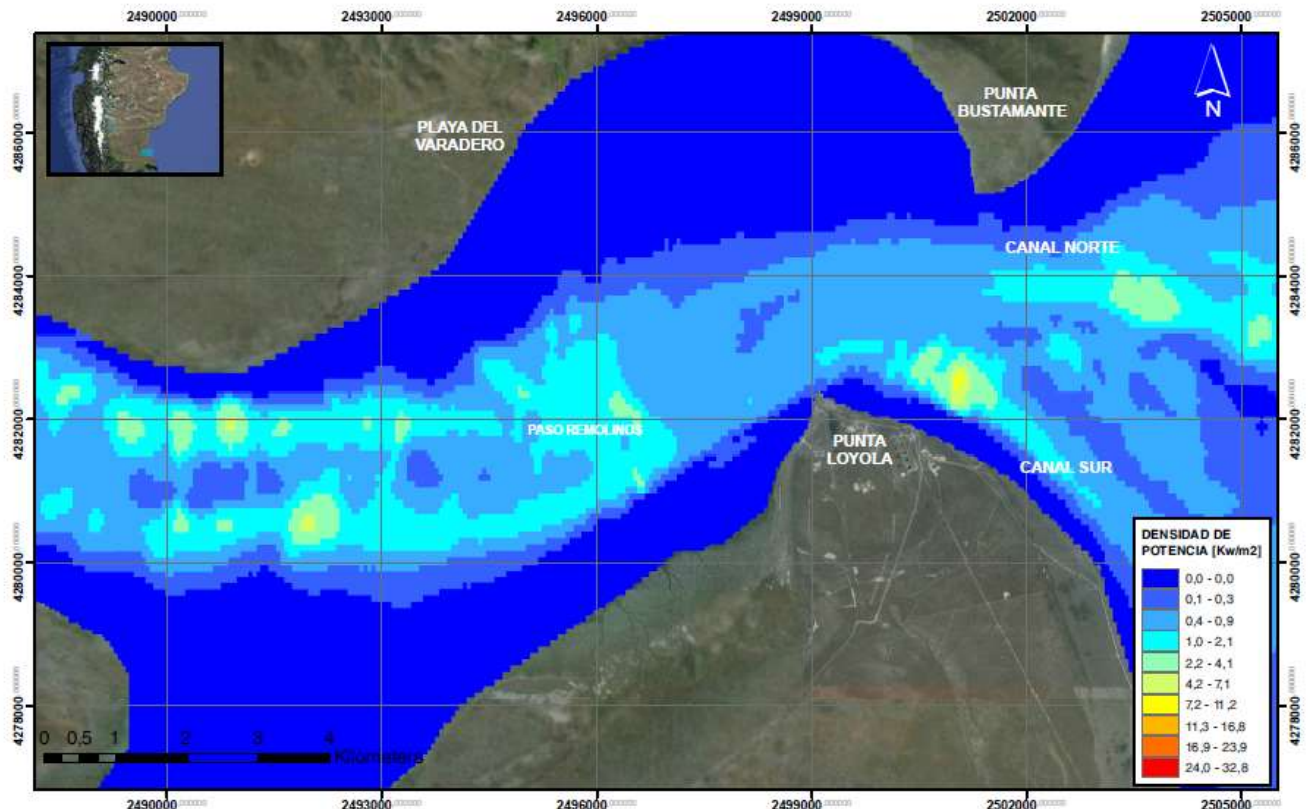
Autor: Laboratorio de Hidromecánica UNLP
Fuente imagen de fondo: Google Earth
Proyección: POSGAR 2007 Zona 2



HIDROMECHANICA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.L.P.

MAPA N° 4
Densidad de potencia
Garantía: 25%

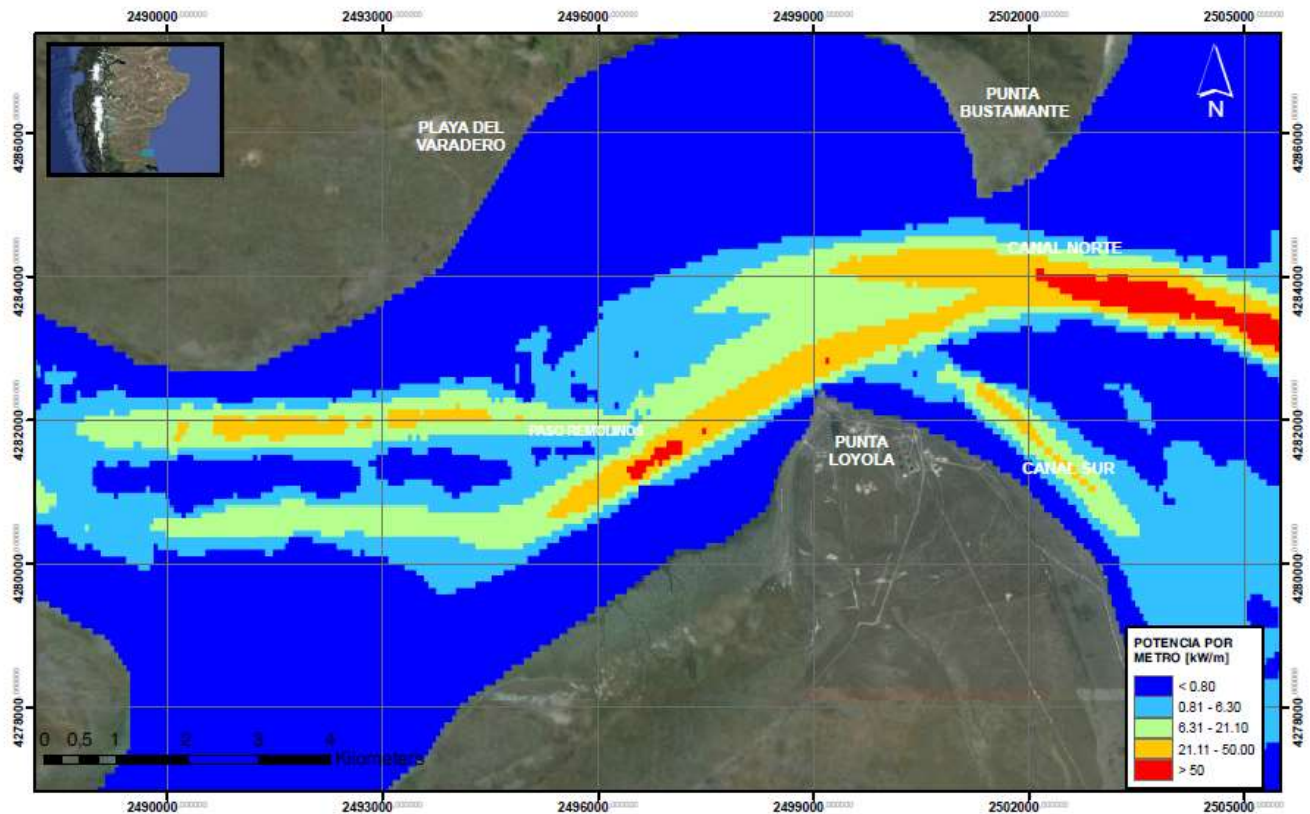
Autor: Laboratorio de Hidromecánica UNLP
Fuente imagen de fondo: Google Earth
Proyección: POSGAR 2007 Zona 2



HIDROMECHANICA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.L.P.

MAPA N° 5
Densidad de potencia
Garantía: 50%

Autor: Laboratorio de Hidromecánica UNLP
Fuente imagen de fondo: Google Earth
Proyección: POSGAR 2007 Zona 2



HIDROMECHANICA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.L.P.

MAPA N° 6
Potencia por metro
Garantía: 25%
Reducción superior/inferior: 1,00 m / 10%

Autor: Laboratorio de Hidromecánica UNLP
Fuente imagen de fondo: Google Earth
Proyección: POSGAR 2007 Zona 2