INFORME FINAL DEL PROYECTO

Semestre: Enero a Junio 2023	Fecha: 27 de julio
Título del proyecto	**Evaluación del potencial energético de la corriente marina del canal de la isla Beata.**

I. GENERALIDADES

Nombre	Otoniel Vélez Reyes	Firma	
CNI / Categoría	2019-0817, Adscrito		
Código	P991791		
Categoría académica	Adscrito		
Facultad	Ingeniería		
Instituto	Instituto de Energía		
Escuela (si es docente)	Escuela ingeniería electromecánica		
Línea de investigación	Energía alternativa		
Programa (si aplica)	NA		
Horas semanales contratadas	20		
Resoluciones		No.	Fecha
Nº 2018-2019-3A9-271		2018-2019-3A9-271	2018
Fecha inicio del proyecto	Agosto 2020		
Duración en semestres	6		
Fecha término del proyecto	Junio 2023		
Instituciones Participantes	MESCYT, Ministerio de Defensa		
Entidad financiadora	Nacional: FONDO NACIONAL DE INNOVACION Y DESARROLLO CIENTIFICO Y TECNOLOGICO (FONDOCYT), AES Dominicana y la UASD		

EQUIPO DE INVESTIGACION			
FUNCIONES	NOMBRES	CNI	CATEGORÍA
CO-INVESTIGADOR	José Luis Moreno San Juan	2019-0673	Titular
CO-INVESTIGADOR	Joel Macea Selmo	2019-0628	Adscrito
CO-INVESTIGADOR	Angel Manuel Bouret Lebron	2020-1176	Adscrito
ASISTENTE DE INVESTIGACION	Javier Gonzálvez	2020-1184	Adscrito
ASISTENTE DE INVESTIGACION	Brian E. García		
ASISTENTE DE INVESTIGACION	Omar E. Fortunato		

ÍNDICE

1. El Resumen y las palabras clave 1
2. Introducción 1
3. Metodología 3
4. Resultados 6
4.1 Medidor #1, instalado al ESTE 6
4.2 Medidor #2, instalado al OESTE 8
4.3 Perfil de velocidad 8
5. Formación y publicaciones del proyecto 11
6. Discusiones 12
7. Conclusión 14
8. Recomendaciones resultantes 15
9. Lista de referencias 17
10. Anexos o apéndices 18
10.1 Cálculos detallados 18
10.2 Imágenes y fotografías del montaje experimental, muestras, equipo trabajando o equipos usados. 22
10.3 Diagramas de flujos sobre la metodología o el modo de uso de un equipo particular 22
10.4 Descripciones destalladas sobre un equipo particular o un método experimental complejo. 24
10.5 Ampliación de una teoría o ley que se haya mencionado en el informe. 25

1. El Resumen y las palabras clave

La investigación tiene como objetivo caracterizar los perfiles de velocidad en el canal Beata en el primer semestre del 2023 para evaluar su potencial energético. Se empleo un equipo de medición ADCP (correntómetros) para medir temperatura, presión y las velocidades y direcciones de las corrientes en distintas áreas del canal. Los resultados se utilizarán para construir un modelo computacional que permita obtener los perfiles de velocidad en la zona de estudio y se elaborará un mapa de potencial energético.

La investigación es relevante, ya que el aprovechamiento de corrientes marinas en aguas poco profundas aún es poco explorado en la República Dominicana. El conocimiento del potencial energético permitirá diseñar dispositivos para aprovechar esta fuente de energía renovable en la generación de electricidad.

Palabras clave: *Potencial energético, Canal de la isla Beata, Corrientes marinas, Energía eléctrica, Simulaciones numéricas y CFD (Dinámica de Fluidos Computacional).*

2. Introducción

En la zona del caribe se han realizado numerosos estudios sobre corrientes marinas, destacando entre ellos los realizados en torno a la isla de Cuba, en el Canal de Yucatán, [Pillsbury (1890)]. Además de estudios empíricos, se han realizado estudios aplicando herramientas de simulación, como es el caso del estudio en la zona del Golfo de Batabanó, donde aplicaron la herramienta operacional Simulación de corrientes (SIMCO), la cual se basa en un modelo físico-matemático, modelado en el software MATLAB.

En la República Dominicana se han realizado estudios para el diseño de espigones, conocido como Duque de Alba, para servir de atracaderos de barcos trasportadores de combustible. Las expectativas en la zona del canal de Beata son de una corriente con una velocidad superior cualquier otro punto del litoral dominicano, por las singularidades que se presentan en la zona la plataforma insular, algo que es notable por simple observación de la corriente a nivel de la superficie, que produce una deriva al oeste de

unos 150 cm/s. Por lo que se estima que podría presentar un gran potencial para su aprovechamiento como fuente primaria de energía.

El problema de investigación se enfoca en caracterizar los perfiles de velocidad de la corriente marina en el canal de la isla Beata para evaluar su potencial energético en la generación de electricidad. Se realizaron mediciones con ADCP y se utilizará un modelo computacional para obtener los perfiles de velocidad y el mapa de potencial energético. Se plantean preguntas sobre tecnologías previas, medición confiable del caudal y la variabilidad de la velocidad de la corriente. Se requiere cooperación institucional y el uso de simulaciones numéricas.

En el proyecto, es necesario realizar mediciones con ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) y utilizar simuladores como metodologías debido a que el ADCP permite obtener mediciones precisas y detalladas de la velocidad de las corrientes marinas en diferentes puntos y profundidades del canal, lo cual es fundamental para caracterizar adecuadamente el perfil de velocidad y evaluar el potencial energético. Por otro lado, la utilización de simuladores numéricos es importante para modelar y comprender el comportamiento de las corrientes en un plano tridimensional, permitiendo simular diferentes escenarios y condiciones, lo que proporciona valiosa información para el diseño y optimización de dispositivos de generación de electricidad a partir de la energía cinética de las corrientes marinas.

A continuación, se muestra un listado de los principales resultados esperados de la investigación:

- Obtener el conjunto de datos por las mediciones de velocidad en diferentes puntos y profundidades del canal al implementar el ADCP seleccionado.
- Desarrollar un modelo computacional del perfil de velocidad en la zona de estudio.
- Realizar un informe de valoración del potencial energético puntual basado en las velocidades medidas.

3. **Metodología**

Las preguntas de la investigación formuladas fueron las siguientes:

- ¿Existen precedentes tecnológicos aplicados a la generación de electricidad a partir de las corrientes marinas?
- ¿Sería posible medir el caudal de la corriente marina en el canal de la isla Beata con la instrumentación planteada de manera confiable?
- ¿Qué tanto varía la velocidad de la corriente marina durante las estaciones del año?
- ¿Puede simularse numéricamente las componentes de las velocidades en un plano tridimensional del canal?
- ¿Es posible utilizar el perfil de velocidad medido y calculado para determinar la disponibilidad energética de la zona de investigación?

La metodología utilizada para dar respuesta a estas es:

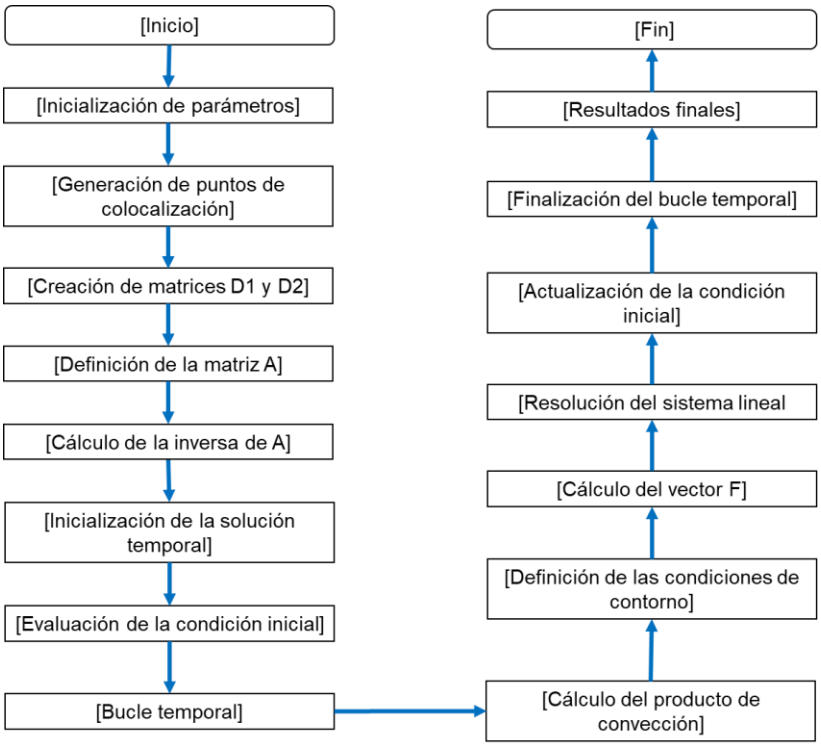
- Revisión bibliográfica y análisis documental: Para determinar si existen precedentes tecnológicos aplicados a la generación de electricidad a partir de corrientes marinas, se debe realizo una exhaustiva revisión bibliográfica y análisis de documentos científicos, informes técnicos y proyectos previos que abordaron este tema.
- Mediciones in situ con ADCP: Para evaluar la posibilidad de medir el caudal de la corriente marina en el canal de la isla Beata de manera confiable, se utilizará un Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). Esta tecnología permite obtener mediciones precisas y detalladas de la velocidad y dirección de las corrientes, lo que proporcionará información valiosa sobre el caudal en el área de estudio.

El equipo de medición ADCP utilizado fue el modelo FlowQuest1000 de la empresa LinkQuest Inc. Con una precisión hasta de 0.25% en presión, +/-2.5mm/s velocidad y ±0.4 ºC en temperatura. En la adquisición de data se realizaron mediciones con una frecuencia de 30 minutos, en el periodo de medición. Además, fue necesario de una pieza que realizara la labor de fijar el equipo en una posición vertical para las mediciones. Los equipos fueron instalados a una distancia de 5.83 km entre ellos en las coordenadas

siguientes: 17.655000, -71.501111 y 17.615750, -71.464667.

— Simulación numérica por software de computadora: Para responder a la pregunta sobre la posibilidad de simular numéricamente las componentes de las velocidades en un plano tridimensional del canal, se diseñó un modelo computacionales basados en elementos finitos en MATLAB. Este modelo tomó en cuenta los datos obtenidos en las mediciones y las propiedades del agua y el ambiente, lo que permitió simular y visualizar de manera virtual las corrientes marinas en el canal, proporcionando información adicional para el análisis y la toma de decisiones en el proyecto.

Figura 1: diagrama de flujo del modelo de simulación en MATLAB.



Fuente: elaboración propia.

El código implementa una función en MATLAB para resolver un problema de dinámica de fluidos mediante el método de colocalización de Gauss-Lobatto. Inicialmente, se asignan valores a los parámetros del problema, como el tamaño de la malla,

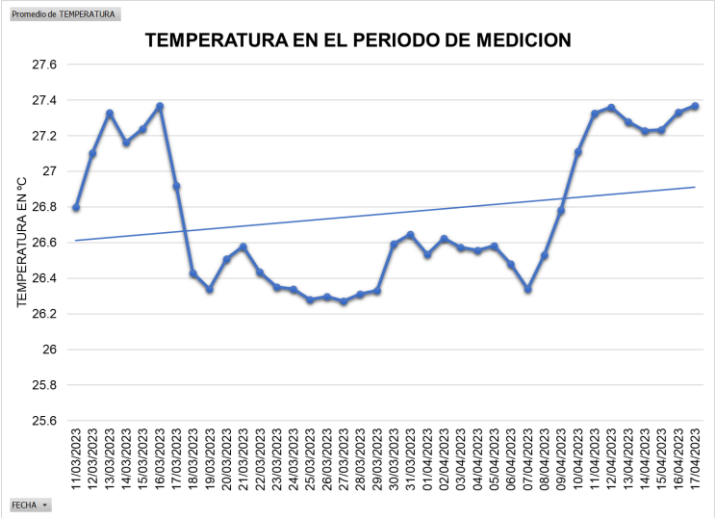
coeficientes de viscosidad y convección, y condiciones iniciales y de contorno. Luego, se calculan los puntos de colocalización de Gauss-Lobatto y se construyen las matrices D1 y D2 basadas en estos puntos. A continuación, se forma una matriz A utilizando los parámetros de viscosidad y convección, junto con las matrices D33 e identidad. Se calcula la inversa de A y se prepara una matriz temporal U.

La función itera en un bucle temporal, donde se actualiza y resuelve el sistema de ecuaciones para obtener la solución en cada paso de tiempo. Finalmente, se almacena la solución completa en la variable "sol." El código finaliza con éxito tras completar el proceso. Este modelo numérico es de gran interés para investigadores en ingeniería aplicada, especialmente en el campo de la dinámica de fluidos, ya que ofrece una solución eficiente y precisa para problemas relacionados con el flujo de fluidos y puede ser adaptado para resolver diversos escenarios.

— Análisis y cálculos: Para determinar la disponibilidad energética de la zona de investigación utilizando el perfil de velocidad medido y calculado, es necesario realizar un análisis y cálculos de la energía cinética presente en las corrientes marinas.

4. **Resultados**

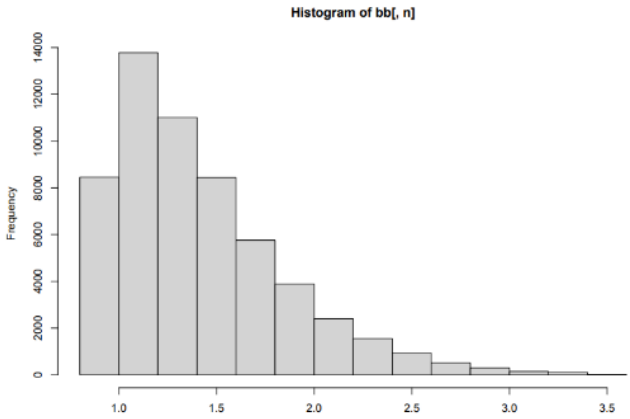
Figura 2: Comportamiento de la temperatura durante la medición.



Fuente: Datos obtenidos del medidor #1, instalado al Este del canal Beata. Elaboración propia.

4.1 Medidor #1, instalado al ESTE:

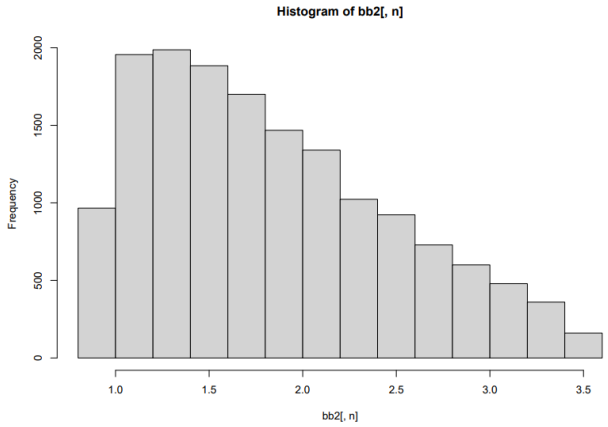
Figura 3: Histograma de velocidad medida a una altura de 2.56 metros respecto al fondo del canal.



VELOCIDAD MEDIDA	VALOR [m/s]
Mínima	0.900
Máxima	3.500
1er cuartil	1.090
3er cuartil	1.640
Media	1.320
Promedio	1.421

Fuente: Datos obtenidos del medidor #1, instalado al Este del canal Beata. Elaboración propia a través del modelo de simulación diseñado en MATLAB.

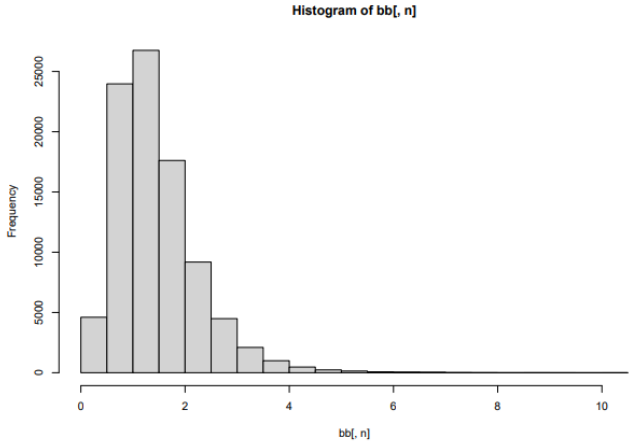
Figura 4: Histograma de velocidad medida a una altura de 3.80 metros respecto al fondo del canal.



VELOCIDAD MEDIDA	VALOR [m/s]
Mínima	0.900
Máxima	3.500
1er cuartil	1.300
3er cuartil	2.270
Media	1.720
Promedio	1.837

Fuente: Datos obtenidos del medidor #1, instalado al Este del canal Beata. Elaboración propia a través del modelo de simulación diseñado en MATLAB.

Figura 5: Histograma de velocidad medida a una altura de 5.04 metros respecto al fondo del canal.

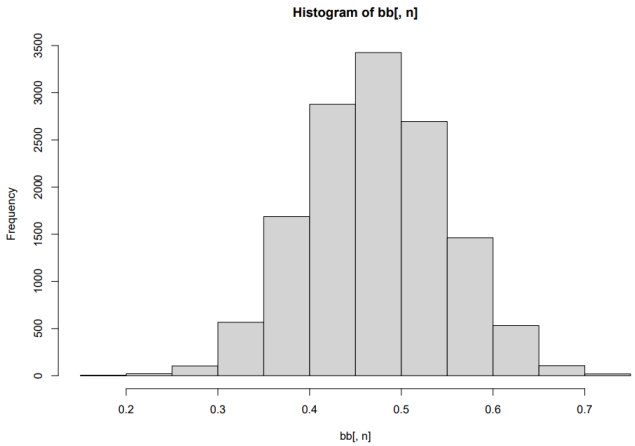


VELOCIDAD MEDIDA	VALOR [m/s]
Mínima	0.900
Máxima	3.500
1er cuartil	1.190
3er cuartil	1.970
Media	1.510
Promedio	1.650

Fuente: Datos obtenidos del medidor #1, instalado al Este del canal Beata. Elaboración propia a través del modelo de simulación diseñado en MATLAB.

4.2 Medidor #2, instalado al OESTE:

Figura 6: Histograma de velocidad medida a una altura de 3.80 metros respecto al fondo del canal.

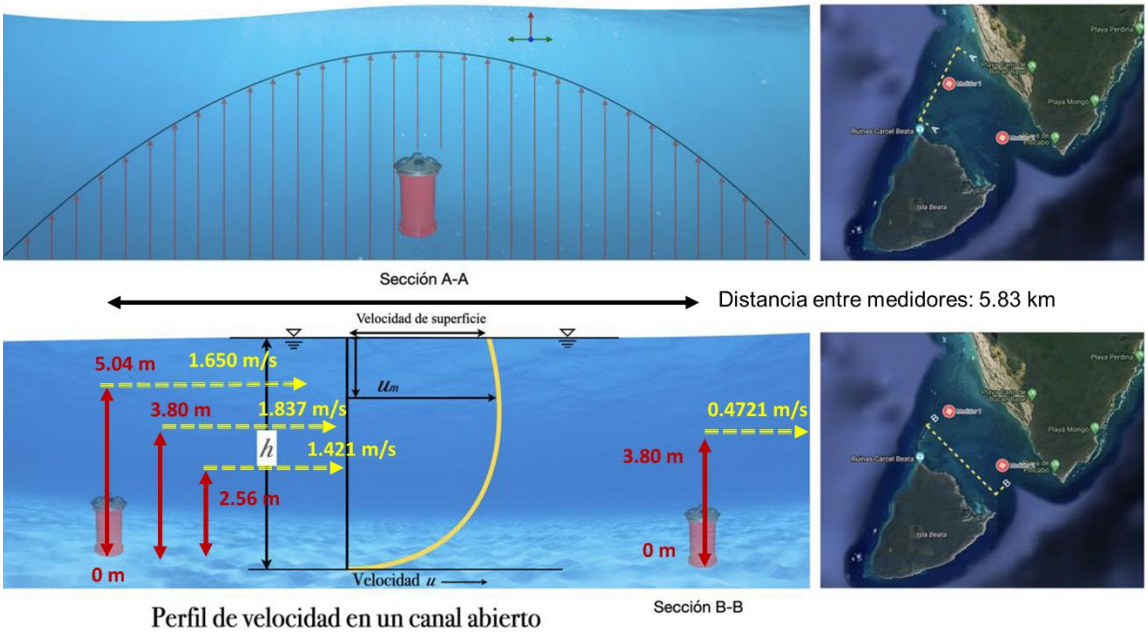


VELOCIDAD MEDIDA	VALOR [m/s]
Mínima	0.1594
Máxima	0.7424
1er cuartil	0.4201
3er cuartil	0.5234
Media	0.4718
Promedio	0.4721

Fuente: Datos obtenidos del medidor #2, instalado al Oeste del canal Beata. Elaboración propia a través del modelo de simulación diseñado en MATLAB.

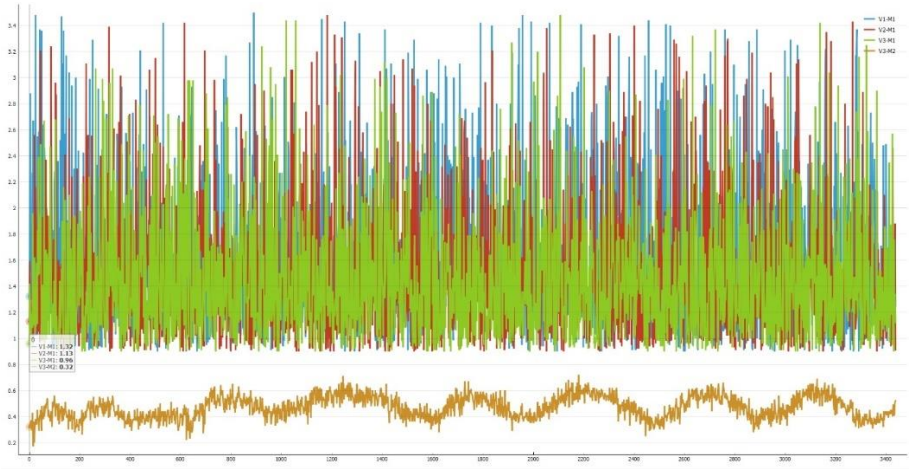
4.3 Perfil de velocidad:

Figura 7: Perfil de velocidad entre los equipos de medición.



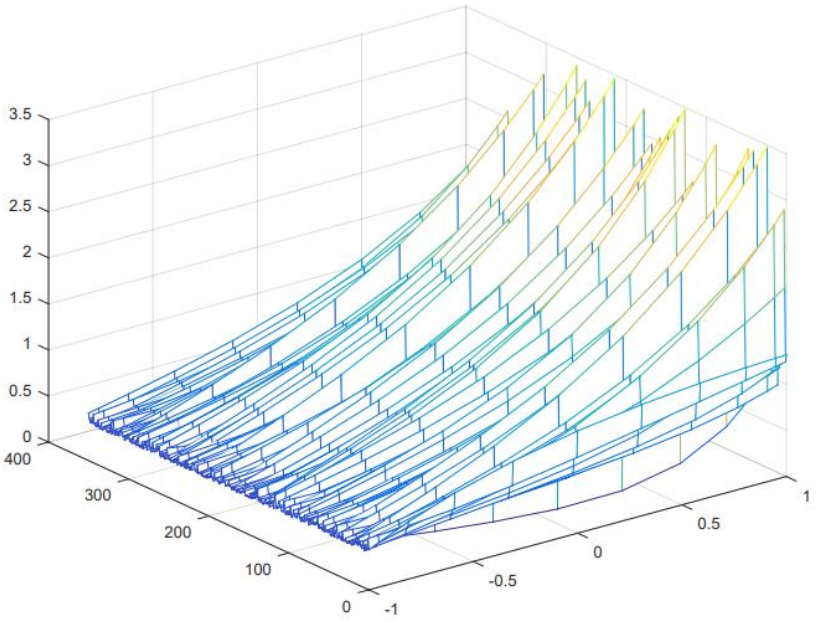
Fuente: Elaboración propia.

Figura 8: Velocidades de diferentes niveles y equipos de medición.



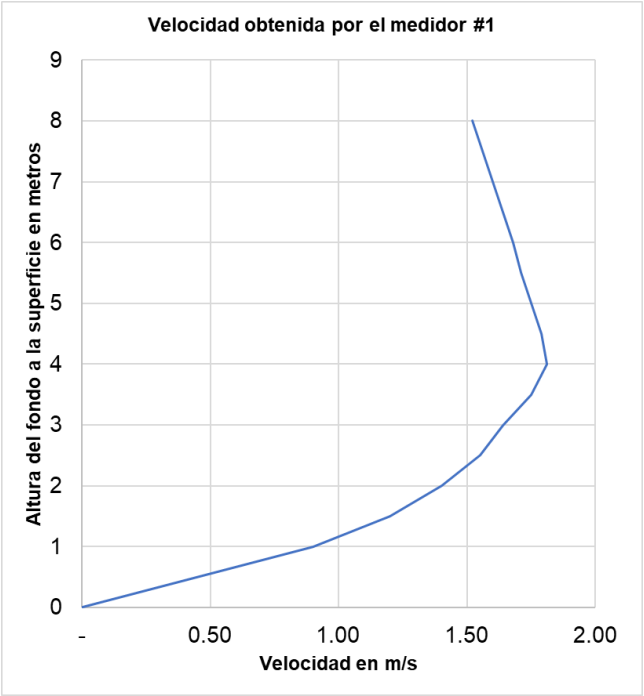
Fuente: Datos obtenidos de los medidores. Elaboración propia.

Figura 9: Variación de la velocidad entre equipos, para los niveles de estudio.



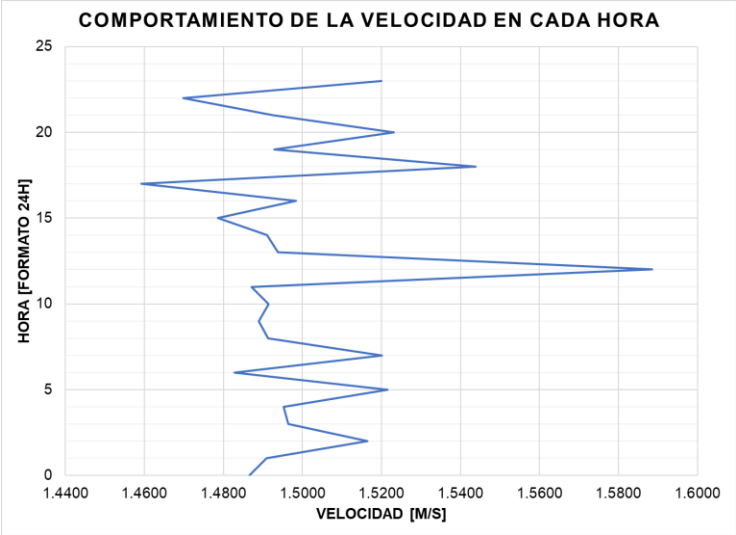
Fuente: Datos obtenidos de los medidores. Elaboración propia a través del modelo de simulación diseñado en MATLAB.

Figura 10: Perfil de velocidad por altura



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Variación horaria de la velocidad de la corriente.



Fuente: Propia.

Las variación estacional de la corriente en porciento de la medida tiene el siguiente comportamiento:

ESTACION	INDICE RESPECTO A LA PRIMAVERA
Primavera	Mediciones realizadas
Verano	1.4
Otoño	1.0
Invierno	0.6

Fuente: Estudio corriente sur Caribe. Variabilidad y características de la contracorriente Cubana en la cuenca de Yucatán, mar Caribe Iván Pérez-Santos1,2,3*, Wolfgang Schneider1,4, Lázaro Fernández-Vila5.

El aporte principal de agua a la corriente del Caribe proviene de la de Guyana, más del 70%, esa corriente es muy estable y aporta 20Sv de manera regular.

5. Formación y publicaciones del proyecto

En el proyecto de investigación se integraron dos estudiantes, Brian E. García y Omar E. Fortunato, quienes en la actualidad realizan la tesis de grado titulada SIMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LAS CORRIENTES MARINAS DEL CANAL DE LA ISLA BEATA.

La tesis se centra en el análisis de la energía cinética generada por la velocidad de las corrientes marinas en el mencionado canal. El objetivo principal es determinar y evaluar el potencial energético de estas corrientes como una fuente de energía renovable. Para ello, se emplearán técnicas de simulación numérica y se realizarán mediciones utilizando correntómetros, que permitirán obtener los perfiles de velocidad en diferentes áreas y profundidades del canal. Los resultados obtenidos serán utilizados para desarrollar un mapa que represente el potencial energético del canal y servirá como base para futuros estudios sobre el aprovechamiento de esta valiosa fuente de energía mecánica en la región.

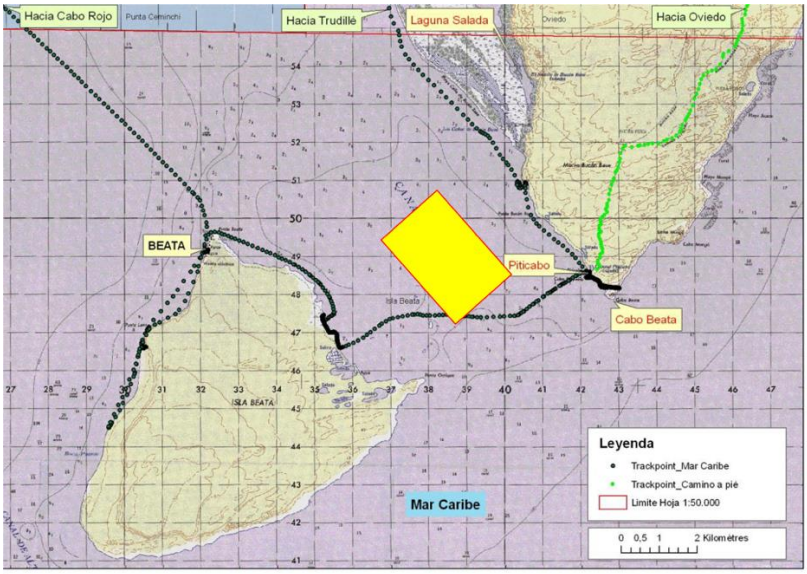
Por otro lado, se realizó la publicación de un artículo en la segunda edición de la revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD) titulado EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CANAL DE LA ISLA BEATA, este fue un artículo del tipo descriptivo. El articulo lo podríamos resumir como:

El artículo describió el estudio de investigación abordando la importancia del aprovechamiento de la energía cinética generada por la velocidad de la corriente marina en el canal de la isla Beata para su conversión en energía eléctrica. Se propone la determinación del perfil de velocidad de la zona mediante simulaciones numéricas y mediciones con correntómetros, con el objetivo de evaluar el potencial energético de las corrientes y generar un mapa que muestre su capacidad como fuente de energía renovable.

6. **Discusión**

Luego de ponderar los hallazgos de sobre la velocidad de la corriente y sus variación a lo largo del canal se determinó que existe una zona donde es mayor el potencial para su aprovechamiento energético. La zona identificada abarca un área de 2x3 km, en el entorno de la colocación del medidor 1 situado al este del canal en la zona de entrada de la corriente. Es también la zona más profunda del canal y no usada para labores de pesca como sucede en la zona oeste del canal. La zona específica se muestra en la figura 12.

Figura 12. Zona de mejor potencial.



Fuente: *Consorcio IGME-BRGM-INYPSA Cartografía geotemática Proyecto SYSMIN II - 01B Enero 2007/Diciembre 2010 y propia.*

Para evaluar del potencias se consideró una franja de 2 km de ancho y 3 km de largo en el eje central del canal, entre los 2.56 m y 5,54 m del fondo del canal (total 2.98 m). La velocidad promedio de esa franja es de 1.637 m/s.

Se estima la potencia por cada sección perpendicular al flujo sobre la línea central de la corriente en base a su energía cinética mediante la ecuación:

$$P_l = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

Donde:

P_l – es la Potencia en W por linea de equipos potenciales

C_p- es una constante de valor 0.593, y representa el límite de Betz que establece el máximo aprovechamiento de la potencia bruta hidráulica por turbina ideal.

ρ – representa la densidad del agua de mar, 1,027kg/m3

A- indica el Área transversal en m^2

V- velocidad de la corriente promedio en m/s

Considerando la posibilidad de colocar líneas de equipo a 100 m uno de otro se podrían considerar 30 líneas en 3000 m.

Así el potencial de la zona de mayor potencial asiendo las conversiones de lugar, resulta lo siguiente:

$$P_T = 30 \cdot P_l = 30 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V^3\right) = 30 \cdot \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 0.593 \cdot 1027 \cdot (2.98 * 2000) \cdot 1.637^3\right)}{1{,}000{,}000} MW$$

$$= 238.84\ MW$$

La potencia por línea es 7.96 MW. La energía que produciría equivale a 1 771 GWh al año para un factor de explotación de 0.85.

En el resto del canal hasta el punto del medidor 2 la velocidad decrece significativamente, pues el canal se ensancha para pasar de 5.10 km a 8.56 km, pasando de 1,637 m/s a 0.472 m/s, para una velocidad media de 1.05 m/s, por lo que el potencial es menos significativo,

y haciendo un cálculo similar al anterior arroja un potencial de unos 58.60 MW en total ocupando un área superficial similar a la anterior, con una potencia por línea de 2.09 MW. La energía que produciría esa zona es de unos 438 GWh al año.

Esa zona también es menos atractiva por su poca profundidad y ser una zona tradicionalmente pesquera.

7. Conclusión.

Los resultados de las mediciones de velocidad de la corriente marina en la zona del canal de la isla Beata comprueban que tenía fundamento el realizar esta investigación. La iniciativa fue del Sr. Luis Ventura, miembro de la Comisión de Desarrollo Fronterizo, el cual solicitó al IEUASD en el año 2014 realizar un estudio sobre el potencial energético de dicha corriente. El IEUASD accedió a iniciar el proceso de investigación luego de que el Ing., José Luis Moreno realizará una prueba rudimentaria de la velocidad superficial de la corriente en la entrada del canal, lado este, mediante una boya a la deriva, la cual arrojo velocidades superiores al 1 m/s.

Durante la prueba se detectaron velocidades por encima de 1.5 m/s en el medidor colocado a la entrada del canal, zona este, con una velocidad promedio de 1,637 m/s, determinándose una zona óptima para el desarrollo de un proyecto de aprovechamiento energético de dicha corriente con un potencial estimado en unos 238 MW, para una producción anual de unos 1,772 MWh al año. Otros 59 MW se podrán desarrollar en la zona oeste del canal, pero no se recomienda ese desarrollo pues es una zona pesquera.

Se observaron fluctuaciones importantes en la corriente diarias fruto de las mareas que en ese canal oscila entre 0,3 y 0,4 metros, no se pudieron determinar las estacionales por dificultades en la adquisición de los equipos debido a la pandemia del Covid 19 y sus efectos posteriores que impidieron el poder colocar los medidores en el verano del 2022 para reinstalarlos en el invierno a principios de 2023, se usaron como referencia fluctuaciones de mediciones realizadas en la zona del Caribe.

En el segundo medidor colocado en la zona de la salida al mar abierto de la corriente al oeste del canal se detectaron valores cercanos a los reportados en costa sur dominicana,

con valores muy bajos en ocasiones, tanto como 0.159 m/s pero con un valor medio 0.472 m/s. De ahí que esa zona no es tan atractiva como la zona este de dicho canal.

Aunque el alcance del proyecto no incluye la selección de turbinas para aprovechar el potencial, en las recomendaciones sugerimos ponderar dos tipos, una de amplio uso y otra que está en la fase de desarrollo, este último con características que se ajustan más a las condiciones observadas de esta corriente y su poca profundidad.

El aprovechamiento final de la corriente dependerá, sin lugar a duda, del tipo de turbina que se use. El potencial energético determinado aquí es para una turbina ideal.

8. **Recomendaciones resultantes.**

Algunas recomendaciones para considerar:

i. El canal Beata en su comportamiento mostró un caudal en forma de embudo ampliándose de Este a Oeste, lo que represento una reducción de la velocidad en la zona Oeste. Por lo que se recomiendo solo ponderar la zona Este del canal para la colocación de los generadores a elegir.

ii. Se recomienda realizar nuevas mediciones en esta zona ampliando el periodo de medición de al menos un año, a fines de identificar las variaciones de caudal por estaciones de manera específica e identificar en la época de huracán las variaciones de velocidad para evaluar posibles estrategias de protección.

iii. Se debe ponderar el ampliar el número de medidores, en posiciones longitudinales, para ajustar las estimaciones del potencial en base al volumen de corriente marina que atraviesa el canal más próxima a las costas.

iv. A partir de estas nuevas informaciones se puede identificar con mayor precisión las tecnologías de implementación y con los datos medidos por estaciones y horario se puede considerar el aporte energético al sistema nacional interconectado para la planificación de suministro anualizado. Por lo que recomendamos ampliar el presente estudio con nuevas mediciones para la recomendación de los equipos con los que se puedan aprovechar las característica de esta corriente de manera útil.

v. Entre las tecnologías a evaluar recomendamos dos, cuyas características generales

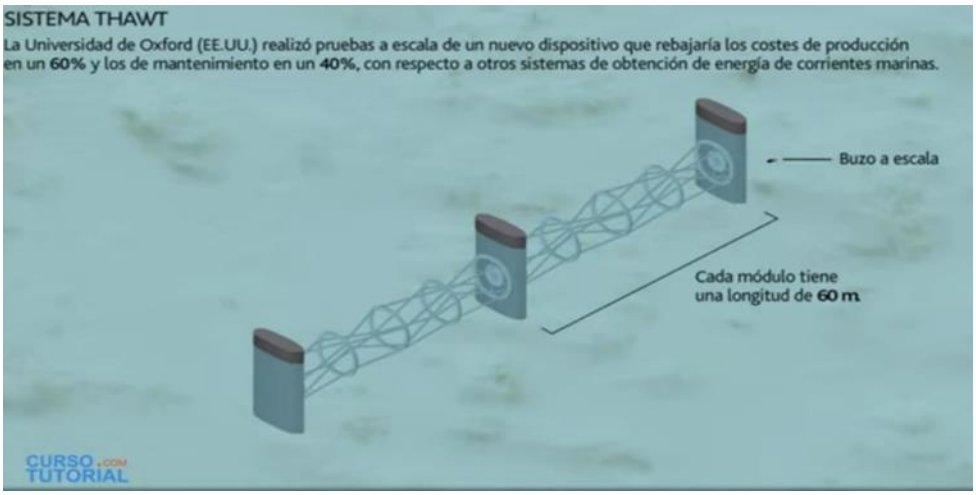
mostramos a continuación:

Modelo 1:

Figura 13: Modelo del Mar del Norte

Modelo 2

Figura 14: Modelo experimental de la universidad de Oxford



9. **Lista de referencias.**

[1] A.S. Bahaj, L.E. Myers, Fundamentals applicable to the utilisation of marine current turbines for energy production, Renewable Energy 28 (2003) 2205–2211

[2] Centro Europeo de Energía Marina http://www.emec.org.uk

[3] Renewable UK The voice of wind & marine energy "Marine Energy in the UK, State of the industry report 2012" March 2012. http://www.bwea.com/pdf/publications/SOI_2012.pdf

[4] Centro Nacional de Energías Renovables de Reino Unido (Narec –National Renewable Center) http://www.narec.co.uk/

[5] Pedro Fernández Díez, Apuntes de Energía Mareomotriz. http://es.libros.redsauce.net

[6] Atlas of UK Marine Renwable Energy Resources: Atlas Pages. A Strategic Enviromental Assessment Report. March 2008 www.renewables-atlas.info/downloads/documents/Renewable_Atlas_Pages_A4_April08.pdf

[7] Pedro Fernández Díez, Apuntes de Energía de las Corrientes Marinas http://libros.redsauce.net

[8] Artículo de Renewable UK http://www.bwea.com/pdf/28proceedings/Tues_Lomond_Verdi.pdf

[9] Artículo de Renewable UK http://www.bwea.com/pdf/tidalconf/Frankel.pdf

[10] Ayuntamiento de Cardiff http://www.cardiff.gov.uk

[11] Juan Manuel Juanes González, tesis doctoral

[12] Bienvenido Alonso Pardo, profesor ETSINO de la UPCT. "Apuntes Hidrodinámica, Resistencia y Propulsión, 5º Curso Ingeniería Naval y Oceánica de UPCT, Tema 17: Diseño de hélices por cálculo directo"

10. Anexos o apéndices.

10.1 Imágenes y fotografías del montaje experimental, muestras, equipotrabajando o equipos usados.

Foto 1: Verificación condiciones físicas y comunicación con los equipos.

Foto 2: Piezas de diseñadas para fijar medidores.

Foto 3: Acabado de piezas.

Foto 4: Pre-Instalación de equipos en tierra.

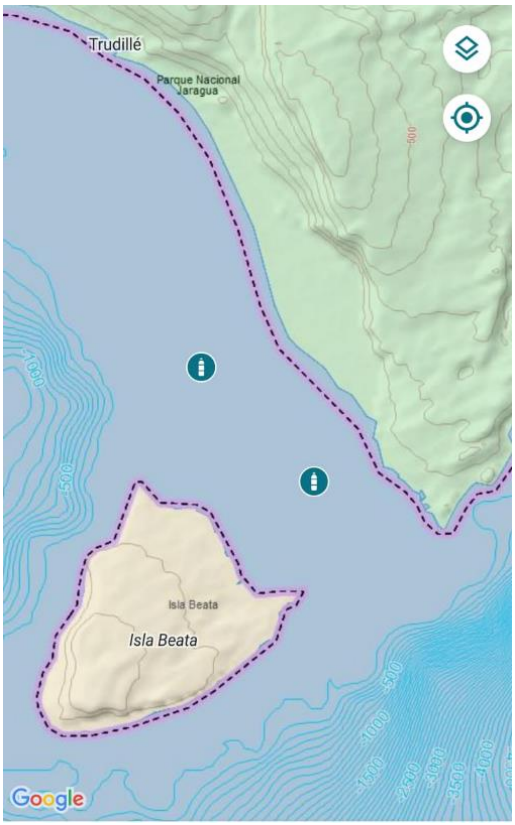


Foto 5: Ubicación geográfica de instalación de medidores.

Foto 6: Imágenes de instalación de medidores.

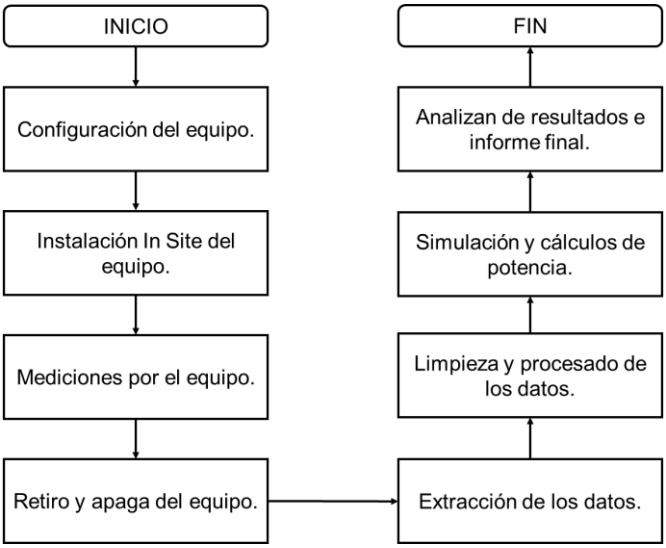
Foto 7: Imágenes de proceso de recuperación de medidores.

Foto 9: Equipo de trabajo para la instalación y recuperación de los medidores.

10.2 Diagramas de flujos sobre la metodología o el modo de uso de un equipo particular

El siguiente diagrama indica los pasos de uso del equipo ADCP para la adquisición de los datos en el proyecto de investigación:

Figura



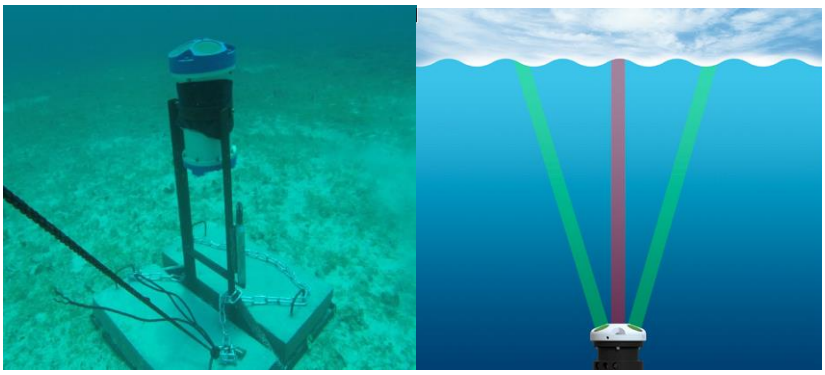
Fuente: Elaboración propia.

10.3 Descripciones destalladas sobre un equipo particular o un método experimental complejo.

El ADCP es un instrumento hidro acústico ampliamente utilizado en oceanografía y estudios hidrológicos para medir las corrientes y velocidades del agua en cuerpos hídricos como ríos, lagos y océanos. El método de uso del ADCP implica su montaje en una embarcación o estructura fija que se sumerge en el agua, y emite haces de sonido en diferentes direcciones a través del medio acuático. Al interactuar con las partículas en movimiento del agua, el sonido experimenta un cambio de frecuencia debido al efecto Doppler, permitiendo así calcular la velocidad y dirección de las corrientes en diversas profundidades.

En la investigación realizada, se configuro en tierra, se armó las pesas y se colocó en el fondo del canal en los puntos establecidos.

Figura 15: Imagen ilustrativa de como se instala y funciona el equipo de medición ADCP.



Las especificaciones técnicas más relevantes del equipo de medición ADCP FlowQuest son las siguientes:

Figura 16: tablas de especificaciones de los equipos de medición utilizados.

Water Profiling Range and Depth

Frequency	75 kHz	150 kHz	300 kHz	600 kHz	1000kHz	2000kHz
Maximum Range	900m	500m	230 m	100 m	40m	20m
Maximum Cell size	32m	16m	8m	4m	2m	1m
Standard Depth	800m	800m	800m	800m	800m	100m
Optional Depth	1500, 3000 or 6000m					
Maximum Transmit	800 watts	400 watts	200 watts	100 watts	50 watts	20 watts

Velocity Specifications

Frequency	75 kHz	150 kHz	300 kHz	600 kHz	1000kHz	2000kHz
Accuracy (mm/s)	1%±5	1%±5	0.5%±5	.25%±2.5	.25%±2.5	.25%±2.5
Cell size	4 – 32 m	2 – 16 m	1 – 8 m	0.5 – 4 m	0.25 - 2m	0.13 – 1m
Maximum Water Velocity	20 knots	20 knots	20 knots	20 knots	20 knots	20 knots
Number of Cells	170					
Maximum Ping Rate	1/second	2/second	2/second	2/second	5/second	5/second

10.4 Ampliación de una teoría o ley que se haya mencionado en el informe.

El método espectral de “colocamiento” en utilizado en este proyecto, es una clase de técnica utilizada en matemática aplicada para resolver numéricamente ciertas ecuaciones diferenciales (en este caso las ecuaciones de Navier-Stokes mostradas a continuación) utilizando el más general método de los residuos ponderados (MRP).

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right)=\rho g_x-\frac{\partial P}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^s}\right)$$

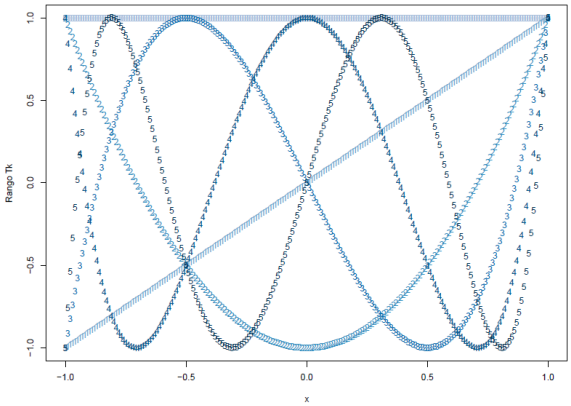
$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}\right)=\rho g_y-\frac{\partial P}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^s}\right)$$

$$\rho\left(\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right)=\rho g_z-\frac{\partial P}{\partial z}+\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^s}\right)$$

El principio esencial del MRP consiste en "anular" la diferencia(residuo) de la aproximación y la solución respecto a una función de peso dada w en el sentido del producto interno inducido por la norma en ${L^2}_W(\alpha,\beta)$.

El cálculo del perfil de velocidades en el canal fue realizado resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes en términos de los polinomios de Chebyshev, mostrados a continuación:

Figura 17: Superposición de polinomios de Chebyshev.



Fuente: elaboración propia.