

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

Análisis numérico de una Turbina Wells para la generación de energía eléctrica en un sistema de columna de agua oscilante

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Daniel Enrique Inchicaqui Gonzales

 [0009-0002-2439-4625](https://orcid.org/0009-0002-2439-4625)

Asesor:

Dr. Ing. Nain M. Ramos Alvarez

 [0000-0002-7130-8438](https://orcid.org/0000-0002-7130-8438)

LIMA – PERÚ

2023

Dedico esta tesis a Dios por guiar mis pasos y brindarme la fortaleza necesaria para afrontar los retos que se presentan en la vida. A mis padres **Clarisa** y **Juan B.**, y a mi hermano **Juan F.** quienes velan por mi bienestar y educación a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis, el Dr. Ing. Nain M. Ramos Alvarez, por el apoyo brindado en la parte metodológica del presente trabajo de tesis. También, al sr. Diego Daniel Bonifacio Vargas por el apoyo en lograr la satisfactoria la culminación de esta tesis. Además, a la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Ingeniería por facilitar el uso del programa ANSYS.

A mis colegas de BISA Ingeniería de Proyectos por colaborar en mi desarrollo profesional, en especial al área de Mecánica – Piping. A Clarisa Gonzales por el constante interés al motivarme de forma profesional y académica, proponiéndome metas claras y concisas. A Juan B. Inchicaqui por el apoyo durante mi etapa universitaria y desarrollo profesional. A Juan F. Inchicaqui por las lecciones de vida aprendidas a lo largo de estos años y a Diego Inchicaqui por el apoyo moral y consejos a nivel profesional.

A mis amigos del alma Stalin Gutiérrez, Yaiza Camones y Alejandro Caparachin, por los consejos de vida en todo este tiempo que nos conocemos.

A mis amigos de la universidad. Leonith Atanacio, Jesús Fajardo, Cesar Sánchez, Gianmarco Muñoz, Alexander Aguirre, Mauricio Lara y a todos. Gracias por los momentos gratos que pasamos en la universidad.

A toda mi familia por brindarme la paciencia y el apoyo a lo largo de mi formación profesional y así tener la oportunidad de retribuirles con una pequeña parte.

RESUMEN

En la actualidad existe un gran interés en el aprovechamiento de las energías renovables obtenidos de diferentes fuentes naturales como el mar, el viento, el sol, entre otros. En el caso del mar, la energía mareomotriz utiliza diferentes tecnologías para el aprovechamiento de la energía brindada por las olas a través de un sistema de columna de agua oscilante. La importancia de este sistema radica en el aprovechamiento mecánico obtenido por una boya u otro dispositivo oceánico para convertirlo en otra forma de energía. En la presente tesis se considera los diferentes factores para el diseño de una turbina Wells, WT, el cual forma parte de un sistema de columna de agua oscilante, OWC. Para este diseño, se analiza la ubicación geográfica del sistema de OWC, por medio del oleaje y periodo de las olas en la playa de Matarani, en el año 2022. También, se realizaron simulaciones numéricas del OWC para obtener el flujo de aire a la entrada de la WT con las condiciones iniciales. Se determina la potencia entregada por las olas $P = 8.52 \text{ kW}$ y se calcula los parámetros adimensionales de diseño U^* , T^* y P^* , así como la eficiencia de la turbina. A partir de la simulación CFD en 2D del sistema OWC se obtiene la velocidad del viento $U = 5 \text{ m/s}$, que sirve como punto de partida para los cálculos de diseño de la WT. Se realiza el análisis numérico del del alabe de la WT con un perfil *NACA 0015*, de manera que la viabilidad de la WT se presenta en la eficiencia $\eta = 54.53\%$ validando los cálculos de la presente tesis.

Palabras claves: Sistema de columna de agua oscilante, turbina Wells, condiciones iniciales, parámetros de diseño, dinámica de fluidos computacional (CFD).

ABSTRACT

Currently there is great interest in the use of renewable energies obtained from different natural sources such as the sea, the wind, the sun, among others. In the case of the sea, tidal energy uses different technologies to take advantage of the energy provided by waves through an oscillating water column system. The importance of this system lies in the mechanical use obtained by a buoy or other ocean device to convert it into another form of energy. In this thesis the different factors are considered for the design of a Wells turbine, WT, which is part of an oscillating water column system, OWC. For this design, the geographical location of the OWC system is analyzed, through the waves and wave period on Matarani beach, in the year 2022. Also, numerical simulations of the OWC were carried out to obtain the air flow to the input of the WT with the initial conditions. The power delivered by the waves $P = 8.52 \text{ kW}$ is determined and the dimensionless design parameters U^* , T^* and P^* are calculated, as well as the efficiency of the turbine. From the 2D CFD simulation of the OWC system, the wind speed $U = 5 \text{ m/s}$ is obtained, which serves as a starting point for the WT design calculations. The numerical analysis of the WT blade is carried out with a *NACA 0015* profile, so that the viability of the WT is presented in the efficiency $\eta = 54.53\%$, validating the calculations of this thesis.

Keywords: Oscillating water column system, Wells turbine, initial conditions, design parameters, computational Fluid Dynamics (CFD).

INDICE

PROLOGO.....	xvii
1. CAPITULO I: ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA TESIS	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. ANTECEDENTES REFERENCIALES.....	2
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	2
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	7
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.4. OBJETIVO DE LA TESIS	14
1.4.1. OBJETIVO GENERAL DE LA TESIS	14
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS DE LA TESIS.....	14
1.5. HIPOTESIS DE LA TESIS	14
1.5.1. HIPOTESIS GENERAL DE LA TESIS.....	14
1.5.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS	15
1.6. METODOLOGÍA DE LA TESIS.....	15
1.6.1. TIPO DE TESIS.....	15
1.6.2. DISEÑO DE LA TESIS	16
1.6.3. UNIDAD DE ANÁLISIS.....	17
1.6.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	18
1.7. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	19
2. CAPITULO II: FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA.....	20
2.1. GEOMETRÍA DE LA TURBINA.....	20

2.2.	TRIANGULO DE VELOCIDADES	21
2.3.	CURVAS CARACTERISTICAS DE LA TURBINA WELLS.....	23
2.3.1.	COEFICIENTE DE PRESIÓN ESTÁTICA.....	23
2.3.2.	COEFICIENTE DE TORQUE	23
2.3.3.	COEFICIENTE DE FLUJO.....	23
2.4.	EFICIENCIA DE LA TURBINA.....	25
2.5.	POTENCIA DE TURBINA.....	25
2.6.	VELOCIDAD DEL VIENTO	25
2.6.1.	CONDICIONES AMBIENTALES	25
2.6.2.	OLEAJE	26
2.7.	COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD).....	27
2.8.	CONDICIONES DE CONTORNO.....	28
2.8.1.	PRESIÓN DE ENTRADA.....	28
2.8.2.	PARED	28
2.8.3.	INTERIOR.....	29
2.9.	INLET	30
2.10.	SOLVER	30
2.10.1.	PRESSURE-BASED	31
2.10.2.	DENSITY-BASED	31
2.11.	OUTLET	32
2.12.	NÚMERO DE COURANT – FRIEDRICHS – LEWY (CFL).....	32
2.13.	TIPO DE MALLA DE DISCRETIZACIÓN.....	33

2.13.1.	MALLAS ESTRUCTURADAS	33
2.13.2.	MALLAS NO ESTRUCTURADAS.....	34
2.14.	VOLUMEN DE CONTROL	35
2.15.	MODELOS DE TURBULENCIA	36
2.15.1.	MODELO DE TURBULENCIA $k - \epsilon$	37
2.16.	COLUMNA DE AGUA OSCILANTE (OWC).....	38
2.17.	MARCO CONCEPTUAL.....	39
3.	CAPITULO III: ANÁLISIS NUMÉRICO DE LA TURBINA WELLS.....	43
3.1.	CONDICIONES DE ENTRADA DE DISEÑO	43
3.1.1.	DATOS GEOGRÁFICOS.....	43
3.1.2.	APLICACIÓN DE LA TEORIA LINEAL DE OLAS.....	46
3.1.3.	CALCULO DEL AREA DE OSCILACIÓN	48
3.1.4.	CONDICIONES DE DISEÑO	56
3.2.	DISEÑO DEL SISTEMA	57
3.2.1.	DATOS DE ENTRADA Y DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL.....	57
3.2.2.	SELECCIÓN DE PERFIL AERODINAMICO	59
3.2.3.	FUERZAS AERODINAMICAS SOBRE EL PERFIL	67
3.3.	ECUACIONES DE DISEÑO	70
3.4.	ANÁLISIS POR DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL	72
3.4.1.	PRE – PROCESSING	73
3.4.2.	SOLVER.....	82
3.4.3.	POST – PROCESSING.....	87

4. CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	90
4.1. ANÁLISIS	90
4.1.1. DISEÑO FINAL DE LA TURBINA.....	90
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES.....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	101
ANEXOS.....	107

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Energías renovables en el Perú.....	13
Figura 2: Turbina Wells	20
Figura 3: Clasificación de turbinas para sistema OWC.....	21
Figura 4: Triángulo de velocidades genérico	21
Figura 5: Triángulo de velocidades para un alabe de turbina Wells.....	22
Figura 6: Esquema de sección de alabe a alabe	22
Figura 7: Curvas características de parámetros adimensionales vs rpm.....	24
Figura 8: Generación de olas.....	26
Figura 9: Pasos de una simulación CFD.....	27
Figura 10: Presión de entrada en simulación con Fluent	28
Figura 11: Condición de pared en análisis CFD.....	29
Figura 12: Zona encerrada por paredes	29
Figura 13: Estabilidad e Inestabilidad según CFL.....	33
Figura 14: Tipos de mallas estructuradas	34
Figura 15: Mallas no estructuradas.....	35
Figura 16: Volumen de Control	36
Figura 17: Modelo de Turbulencia en CFD	37
Figura 18: Esquema del sistema OWC.....	39
Figura 19: Playa de Matarani.....	44
Figura 20: Ubicacion del sistema OWC	44
Figura 21: Vista de planta del sistema OWC	45
Figura 22: Representación esquemática del sistema OWC.....	49
Figura 23: Representación esquemática de una central OWC	50

Figura 24: Distribución del sistema OWC	51
Figura 25: Velocidad de aire en el sistema OWC.....	52
Figura 26: Velocidad de agua dentro del sistema OWC	53
Figura 27: Velocidad U en la entrada de la turbina Wells	54
Figura 28: Convergencia de la simulación en 13500 iteraciones	55
Figura 29: Velocidades en el perfil NACA0015	59
Figura 30: Cálculo de Número de Reynolds	60
Figura 31: Viscosidad Cinemática.....	60
Figura 32: Datos Iniciales para cálculo de perfil NACA.....	61
Figura 33: Diseño preliminar de perfil NACA 0015.....	62
Figura 34: Calculo de Cd y Cl en perfil NACA 0015.....	63
Figura 35: Datos generados por XFOIL para perfil NACA 0015.....	64
Figura 36: Calculo de Cd y Cl para 4° en perfil NACA 0015	65
Figura 37: Perfil NACA 0015 final	66
Figura 38: Distribución de Fuerzas en el alabe de turbina Wells	67
Figura 39: Fuerzas y ángulo asociados a alabe de turbina Wells	67
Figura 40: Etapas de simulación CFD	72
Figura 41: Fases para el análisis CFD en Ansys – Fluent	73
Figura 42: Importación de la geometría de la turbina Wells.....	74
Figura 43: Creación de la región rotativa	75
Figura 44: Creación de región estática	76
Figura 45: Espacio generado entre la WT y la pared rotativa	77
Figura 46: Generación del Meshing de la WT.....	78
Figura 47: Mallado regular en la pared estática.....	78

Figura 48: Mallado no estructurado en la región rotativa	79
Figura 49: Designación del Inlet.....	80
Figura 50: Designación del outlet.....	81
Figura 51: Designación de la turbina Wells.....	82
Figura 52: Configuración del Launcher en Ansys – Fluent.....	83
Figura 53: Configuración general del Fluent	84
Figura 54: Configuración del tipo de modelo de turbulencia	84
Figura 55: Modelo de turbulencia.....	85
Figura 56: Velocidad del viento en el Outlet.....	86
Figura 57: Parámetros iniciales de presión en Outlet	86
Figura 58: Convergencia de la simulación en Fluent	87
Figura 59: Velocidad del viento en la turbina Wells.....	88
Figura 60: Distribución de Presión en la turbina Wells.....	89
Figura 61: Comportamiento de la turbina Wells respecto a la velocidad	91
Figura 62: Comportamiento de la turbina Wells respecto a la presión.....	92
Figura 63: Distribución de velocidad en plano Y - Z.....	93
Figura 64: Distribución de presión en plano Y - Z.....	94
Figura 65: Grafica de Velocidad vs Posición.....	95
Figura 66: Grafica de Presión vs Posición	96

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz operacional de variables I	18
Tabla 2: Matriz operacional de variables II	18
Tabla 3: Matriz de consistencia	19
Tabla 4: Datos de entrada procedentes del mar de Matarani	45
Tabla 5: Datos para cálculo de potencia	47
Tabla 6: Eficiencias promedio	47
Tabla 7: Datos de velocidad angular y potencia.....	48
Tabla 8: Velocidad en ciclo de operación para OWC	55
Tabla 9: Diseño preliminar de turbina Wells	56
Tabla 10: Parámetros adimensionales de diseño.....	57
Tabla 11: Diseño final de Turbina Wells - NACA 0015	90

NOMENCLATURA

Q	.....	<i>Caudal</i>	m^3/s
ΔP	.....	<i>Diferencia de presión</i>	Pa
T	.....	<i>Torque de la turbina</i>	$N - s$
Ω	.....	<i>Velocidad rotacional angular</i>	RPM
H	.....	<i>Altura promedio de las olas</i>	m
h	.....	<i>Profundidad</i>	m
t	.....	<i>Periodo promedio</i>	s
ρ	.....	<i>densidad del agua de mar</i>	kg/m^3
g	.....	<i>gravedad</i>	m/s^2
De	.....	<i>Diamtro exterior</i>	m
r_t	.....	<i>Radio de turbina</i>	m
c	.....	<i>Longitude de cuerda</i>	m
r_c	.....	<i>Radio de dado</i>	m
D_c	.....	<i>Diametro de dado</i>	m
U	.....	<i>Velocidad de la corriente de aire</i>	m/s
U_t	.....	<i>Velocidad rotacional inducida</i>	m/s
α	.....	<i>Angulo de ataque</i>	$^\circ$
Re	.....	<i>Numero de Reynolds</i>	$[-]$

V_{GEOM}	.....	<i>Velocidad geometrica</i>	<i>m/s</i>
V_{EFEC}	.....	<i>Velocidad efectiva</i>	<i>m/s</i>
L	.....	<i>Fuerza de sustentación</i>	<i>N</i>
D	.....	<i>Fuerza de arrastre</i>	<i>N</i>
F_T	.....	<i>Fuerza en direccion del movimiento</i>	<i>N</i>
F_X	.....	<i>Componente vertical de fuerza</i>	<i>N</i>
U^*	<i>Coficiente de velocidad</i>	<i>[-]</i>
T^*	<i>Coficiente de Torque</i>	<i>[-]</i>
ΔP_O^*	<i>Coficiente de presion</i>	<i>[-]</i>
σ	.....	<i>Solidez de turbina</i>	<i>[-]</i>
C_L	.....	<i>Coficiente de sustentación</i>	<i>[-]</i>
C_D	.....	<i>Coficiente de arrastre</i>	<i>[-]</i>
η	.....	<i>Eficiencia aerodinamica de la turbina</i>	<i>[-]</i>
ρ	.....	<i>Densidad de aire a condiciones estandar</i>	<i>kg/m³</i>
L_O	.....	<i>Longitud de onda</i>	<i>m</i>
P	.....	<i>Potencia entregada por la ola</i>	<i>kW/m</i>
P_{NETA}	.....	<i>Potencia neta</i>	<i>kW</i>
y	.....	<i>Desplazamiento vertical</i>	<i>m</i>
γ	.....	<i>Exponente adiabatico del aire</i>	<i>[-]</i>

B	.....	<i>Cantidad de álabes</i>	$[-]$
h^*	<i>Relación de aspecto</i>	$[-]$
ν	.....	<i>Viscosidad cinemática</i>	m^2/s
W_{util}	.....	<i>Potencia util</i>	kW
W_{total}	.....	<i>Potencia total</i>	kW
P_1	.....	<i>Presion en el punto 1</i>	Pa
P_2	.....	<i>Presion en el punto 2</i>	Pa
A_0	.....	<i>Área de entrada de camara OWC</i>	m^2
A_D	.....	<i>Area en ducto de camara OWC</i>	m^2
V_0	.....	<i>Volumen de entrada de camara OWC</i>	m^3
V_D	.....	<i>Volumen del ducto de camara OWC</i>	m^3
ρ_1	.....	<i>Densidad de aire en el punto 1</i>	kg/m^3
ρ_2	.....	<i>Densidad de aire en el punto 2</i>	kg/m^3
φ	.....	<i>angulo asociado a U y $\Omega \cdot r_t$</i>	$^\circ$
φ_0	.....	<i>angulo asociado a U y V_{EFEC}</i>	$^\circ$
CFD	.....	<i>Computational Fluid Dynamics</i>	$[-]$
OWC	.....	<i>Oscillating Water Column</i>	$[-]$

PROLOGO

La presente tesis se conforma de 4 capítulos que se describen a continuación:

En el capítulo I se da a conocer los aspectos metodológicos de la tesis bajo los requerimientos necesarios para operar un sistema de columna de agua oscilante, con requerimientos de oleaje y periodo. Se detalla el problema a resolver, el cual se basa sobre el diseño de una turbina Wells para la generación de energía eléctrica en un sistema de columna de agua oscilante. Además, se presenta el objetivo principal de la tesis y los objetivos específicos. También, se desarrolla los antecedentes internacionales y nacionales que apoyan el presente trabajo de tesis para el desarrollo y planteamiento del problema de la presente tesis. Se plantea la hipótesis de la tesis, la parametrización de variables independiente como dependiente y los indicadores de las variables. Se delimita las características epistemológicas como el tipo y diseño de tesis. Se describe la unidad de análisis para el desarrollo de la tesis, el cual tiene el ámbito de estudio en las playas de Matarani, departamento de Arequipa. También, se muestra la matriz de consistencia como síntesis de este capítulo.

En el capítulo II se detalla los fundamentos de ingeniería que abarca la descripción y comportamiento de una turbina Wells y el análisis mediante la dinámica de fluidos computacional, los conceptos de eficiencia y parámetros adimensionales de diseño. Se lleva a cabo el marco conceptual que comprende definiciones de diferentes fuentes de consulta, que se utiliza en el trabajo de la tesis.

En el capítulo III se expone el análisis numérico de la turbina Wells, el cual inicia con la recolección de información del oleaje y mareas como datos de entrada para la propuesta de solución. Dicha información se toma como datos de entrada para calcular la energía generada por las olas del mar de Matarani, estos datos son captados para un año en promedio y a través del análisis de mecánica de fluidos computacional se hallan los datos de la velocidad del viento a la entrada del ducto de la tubería para el cálculo de los parámetros de diseño de la turbina Wells.

En el capítulo IV se examinan los resultados del diseño de la turbina Wells, realizando un cuadro que recaba los datos para el diseño de la turbina Wells, de igual forma se obtienen los parámetros de diseño que abarcan la eficiencia de la turbina Wells.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la presente tesis, los cuales denotan la realización del objetivo principal y objetivos secundarios. Complementariamente, se describen las recomendaciones para futuros trabajos de tesis.

CAPITULO I: ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA TESIS

1.1. GENERALIDADES

El funcionamiento de un sistema de columna de agua oscilante, OWC (Oscillating Water Column) comprende las etapas de generación de volumen de aire, generación de diferencia de presiones y movimiento rotativo de la turbina Wells. La generación del volumen de aire es la fuente principal para el funcionamiento del sistema, ya que el volumen de aire trae consigo cierta velocidad. La velocidad del viento dentro de la cámara del sistema produce diferencia de presiones, el cual ayuda a generar movimiento del eje donde se ubica la turbina Wells. Como parte del diseño de la turbina Wells, se considera la energía entregada por las olas, ya que al dimensionar la cámara del sistema de columna de agua oscilante se estima el máximo de energía disponible para dimensionar la turbina Wells. El resto de la energía entregada por las olas se disipa al chocar con la playa, tanto en época de mayor y menor afluencia de las olas. El presente trabajo de tesis comprende el diseño de una turbina Wells, los procesos de cálculo de los parámetros adimensionales de diseño y el análisis mediante la dinámica de fluidos computacional.

1.2. ANTECEDENTES REFERENCIALES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Villacrés Santamaría, Andrés; (2018), **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TURBINA WELLS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA”** cuyo trabajo se basa en desarrollar un tipo de turbina unidireccional tipo Wells para producir energía, se enfoca en los parámetros y adecuado funcionamiento del diseño, se escogió un modelo de alabe tipo NACA 0018. Al ser un trabajo del tipo experimental los resultados obtenidos, se implementó la turbina con un material ligero para un menor peso posible, así la turbina pueda girar con mayor facilidad y vencer el torque que ayuda a producir energía eléctrica. El tipo de turbina Wells requieren una investigación profunda en la implementación, cálculos y estudio económico ya que se necesita una fuerza elevada para poder girar la turbina y generar energía eléctrica de manera adecuada. Gracias a los cálculos teóricos obtenidos se permitió construir una turbina Wells con el material PLA en impresión 3D debido a la ligereza que ofrece este material, ello trae la ventaja de generar mayor energía posible venciendo el torque. Los ensayos de la turbina Wells se realizaron en la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica donde se halló que el rango de velocidad del aire es desde 2.4 m/s hasta 6.7 m/s y el rango de presiones va desde 75 psi hasta 120 psi.

Fernández Cardozo, Camila; (2020), **“ESTUDIO NUMÉRICO DE UM CONVERTOR COLUNA DE ÁGUA OSCILANTE ATRAVÉS DO MÉTODO DESIGN CONSTRUTAL”** cuyo trabajo se centra en estudiar un conversor de tipo columna de agua oscilante, OWC, que utiliza aire a gran velocidad, en ondas regulares propios de la costa sur de Brasil, dentro de una cámara semisumergida a través de una chimenea donde está el generador eléctrico. El modelo del dispositivo OWC es de una cámara rectangular y chimenea cilíndrica. La tesis tuvo como objetivo mejorar la eficiencia hidrodinámica a partir de cambios geométricos por medio del método de diseño constructivo. El problema se resolvió gracias al método de los volúmenes finitos y el modelo de fluido multifásico. Los factores estudiados fueron el nivel de inmersión de cámara, razón entre el ancho de la cámara y el tanque de olas, la razón entre la altura y el diámetro de la chimenea. Dentro de los casos estudiados el rango de eficiencias varía entre 0.14% y 49.85%. El estudio numérico se realizó por medio de una simulación computacional y verificado a través de resultados tanto analíticos como experimentales que satisfacen la representación del caudal de aire y agua en el conversor OWC. El método de diseño constructivo se aplicó para analizar la geometría del dispositivo adoptando como restricción el volumen total y el volumen de entrada. El mejor rendimiento se explica por la menor masa de agua dentro del sistema OWC evitando así reflexiones internas y ondas estacionarias.

Bloss, Vinicius; (2020), **“ESTUDO DO DESEMPENHO DE UM CONVERSOR DE ENERGIA TIPO COLUNA DE ÁGUA OSCILANTE UTILIZANDO UM MODELO COMPUTACIONAL TRIDIMENSIONAL E DESIGN CONSTRUTAL COM TRÉS GRAUS DE LIBERDADE”** cuyo estudio se enfoca en el análisis del desempeño de un sistema OWC por medio de un modelo computacional, el sistema de conversión de energía oceánica (OWC) se caracteriza por una cámara donde el agua oscila en su interior. Este movimiento empuja el aire por la chimenea hacia la turbina acoplada al sistema OWC, el flujo de aire a través de la turbina genera energía eléctrica por medio de energía mecánica. El enfoque del estudio se da por el método de diseño constructivo donde la energía y la cantidad que fluye a través del sistema maximiza la eficiencia de conversión de energía de las olas en energía mecánica. Se usaron 3 grados de libertad que están constituidos por la altura, la longitud y el diámetro de la chimenea. Se investigo la influencia de diferentes combinaciones de los grados de libertad para un clima típico del litoral sur de Brasil. La eficiencia se tomó como factor de desempeño. El modelo computacional utilizado se fundamentó en el método de volúmenes finitos, en el primero análisis se observó que la altura de la chimenea influye positivamente en la eficiencia del sistema. Se realizaron simulaciones con combinaciones de grados de libertad, lo que permitió la optimización del sistema OWC obteniendo como rango de eficiencias entre 1.48% a 19.32%.

Rodrigues, Almir; (2019), **“ESTUDO DO GANHO DE RENDIMIENTO DE UMA TURBINA HIDRÁULICA DE FLUXO REVERSÍVEL DO TIPO WELLS DOTADA DE SISTEMA DIRETOR DE PÁS FIXAS, APLICADA EM CENTRAIS MAREMOTRIZES”** cuyo trabajo consiste en diseñar un sistema OWC con turbina Wells pero que trabaja directamente con el flujo de agua en centrales mareomotrices. El desarrollo se basa en calcular y determinar la geometría característica del alabe impulsor y simular el comportamiento del flujo, así como el funcionamiento de la turbina en diferentes modos de operación, dicho estudio este concentrado en desarrollar simulaciones para reducir el número de modelos disponibles para las pruebas físicas. La turbina Wells diseñada respondió satisfactoriamente incluso en condiciones diferentes, debido a que se está cambiando de fluido de aire por agua, este cambio influyo en el desarrollo del proyecto, tanto en el diseño estructural como en el análisis y comportamiento de la turbina en operación. El rendimiento promedio de la turbina es de 63%, los resultados satisfactorios se obtuvieron gracias al desempeño del distribuidor que brinda mejoras sustanciales en el rendimiento de la turbina, los mejores resultados se obtuvieron para una rotación de 800 rpm con una eficiencia del 76.76%. En las simulaciones se observó que hubo un aumento de presiones en las palas de la turbina debido al aumento de la velocidad del fluido cuando interactúa con la turbina Wells.

García Caracas, Gerardo; (2020), **“MODELADO NUMÉRICO DEL FLUJO EN UNA TURBINA WELLS MEDIANTE CFD”** cuyo objetivo es buscar la caracterización de la velocidad de giro constante en un ciclo completo y frecuencia. Se desarrollo un modelo numérico computacional en CFD de una turbina Wells con un perfil NACA 0015, los sistemas de columna de agua oscilante (OWC) permite adquirir energía undimotriz. La turbina Wells permite la conversión de energía mareomotriz, tiene como característica principal un rendimiento óptimo para un rango de caudal específico. Los resultados del modelo numérico permiten identificar el rango de caudales donde la turbina no genera potencia, en condiciones de arranque, se genera un bloqueo o un cambio de sentido de giro. Se hace la propuesta para futuras investigaciones de un modelo numérico que incluya directrices que permiten la operación de bajos regímenes de caudal y evaluar cómo afecta a la eficiencia de la turbina. La turbina Wells implementa alabes simétricos debido al flujo axial que recibe, dichos alabes son estándar sin ángulo de ataque, lo que trae como característica principal no ser sensible a la dirección del fluido. El sistema OWC al utilizar un generador barato mejora la posibilidad de almacenar energía eléctrica por efecto volante con un buen pico de eficiencia (0.7 – 0.8) para una turbina de tamaño completo y bajo costo. El número de alabes es de 8 y colocados a lo largo de la turbina, perpendicular a la dirección axial. El rendimiento de la turbina tiene un rango de operación entre 10% y 35% de coeficiente de flujo y un valor de rendimiento máximo de 55%.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Chuquimamani Quinto, Benjamin; (2017), **“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL PERFIL ALAR EN UNA TURBINA EÓLICA DE BAJA POTENCIA”** cuyo trabajo se basa en analizar las diferentes formas de perfil aerodinámico en un perfil de alabe y establecer los distintos coeficientes de potencia en secciones del perfil de alabe mediante un modelo teórico en comparación con modelos experimentales. Se propone mejorar la eficiencia del diseño de una turbina eólica de potencia baja cuyo modelo se basa en variaciones de perfiles a lo largo de la pala. Si se combina diferentes propiedades de varios perfiles se logrará mejorar los regímenes de velocidad en el alabe. Con la finalidad de validar la hipótesis se recolecto información referente al tema de turbinas eólicas para definir los parámetros teóricos, posteriormente se desarrolla el estudio experimental. Se utilizó el perfil aerodinámico NACA 4412 en el modelo teórico que logro alcanzar la potencia requerida. Además, se simulo diferentes potencias en base a diferentes condiciones de velocidad. El coeficiente de potencia de 0.48 corresponde para un perfil NACA 4412 y el coeficiente de potencia 0.492 es propio del perfil NACA 4415, estos resultados permiten comparar diferentes modelos de turbinas eólicas. El modelo experimental establece un incremento del 10% de potencia con lo cual corrobora la hipótesis formulada.

Venturelli Abram, Aldo; (2016), “**DISEÑO ENERGÉTICO DE TURBINA DE IMPULSO AUTO-RECTIFICANTE DE 15 W PARA ENSAYOS DE LABORATORIO**” cuyo estudio se centra en diseñar una turbina auto -rectificante para generar como máximo 15 Watts, esto es logrado a través de una estructura para realizar pruebas experimentales para la turbina. Primero se seleccionó el tipo de turbina para luego definir su geometría. La teoría bidimensional de turbomáquinas sirve como base para el diseño de la turbina, en especial por el uso de la fórmula de Euler. También, se relaciona experimentalmente las pérdidas a través de la turbina. La metodología utilizada correlaciona las pérdidas y hace uso de la teoría de turbinas auto-rectificantes para lograr predecir el comportamiento de la turbina. Los resultados teóricos se contrastan con los resultados experimentales de otros autores. Se hace uso de operaciones iterativas para seleccionar el diámetro y la potencia requerida. Para las pruebas experimentales se plasma los cálculos en un diseño CAD en 3D, realizándose los ensayos en las instalaciones del LABEN (PUCP), se escogieron parámetros geométricos que se basan en resultados de otros autores. Se utilizó una turbina con 29 alabes en el rotor y 18 alabes para el estator, para predecir el comportamiento de la turbina. Por el lado de las pérdidas de energía se considera el número de Reynolds para diferentes regímenes, las pérdidas van en relación con el flujo. La selección efectiva de la turbina se caracterizó por un diámetro de 16.5 cm, caudal de 0.103 m³/s y 600 rpm que genera un torque de 0.245 N-m.

Rodríguez Bejarano, Luis; (2018), **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS DE RÍOS Y CANALES PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”** trabajo de tesis centrado en elaborar una metodología adecuada para el dimensionamiento de turbinas de eje horizontal a nivel hidrodinámico para alabes tipo Darrieus que será probado en un canal para generar energía eléctrica. Las principales fuentes de energías renovables son la solar, eólica e hidráulica debido al gran interés de disponer de fuentes de energía libre de combustibles fósiles. El avance de la tecnología permite implementar y desarrollar turbinas con nuevos materiales y fabricación como la impresión 3D. Además, los avances en la mecánica computacional permiten hallar turbinas de mejor rendimiento, eficiencia y reducir los gastos de fabricación. El estudio de la turbina Darrieus se sometió bajo diferentes condiciones de operación y diferentes parámetros geométricos. Se empleó alabes helicoidales que faciliten una curva de torque con pocas fluctuaciones, logrando eliminar la fatiga de los materiales. Para mejorar la optimización del modelo geométrico se recomienda utilizar herramientas de simulación avanzada como la dinámica de fluidos computacional (CFD), ya que brinda una mejor exactitud. Se recomendó estudiar diferentes tipos de perfiles aerodinámicos para los alabes para desarrollar un mejor diseño.

Arroyo Tovar, Iván; (2016), **“OPTIMIZACIÓN DE FACTORES PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE TURBINA DE EJE VERTICAL”**

cuyo trabajo se enfoca en optimizar los factores cambiando el número de alabes para aumentar la eficiencia de una turbina de eje vertical, así como analizar las principales condiciones de operación y rendimiento, cuyo factor se empleó para medir la eficiencia para un nivel óptimo, de la turbina de eje vertical. El trabajo de tesis se basa en tipo experimental y tecnológico. Este tipo de turbinas se categorizan dentro de las turbinas de flujo cruzado con eje de rotación perpendicular al fluido con el que interactúa. También se caracterizan por rotar en un solo sentido independientemente de la dirección del flujo. La turbina Darrieus es un tipo de turbina de eje vertical que cuenta con tres paletas rectas. La velocidad promedio de la turbina es de 70 rpm para 12 alabes y 45° de inclinación para los alabes. Además, con 90° de inclinación para los alabes para la regulación del flujo, se tiene la mayor fuerza relativa, de manera similar la correlación entre el número de alabes y el ángulo de los alabes es de tendencia descendente. Para optimizar los procesos se encontró la velocidad de operación óptima que es 70 rpm con una confiabilidad de 99.96%.

Paraguay Cconovilca, Jander; (2021), **“SELECCIÓN ÓPTIMA DE LA TURBINA HIDRÁULICA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HIDROENERGÉTICO DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA CC.NN. BETANIA”** Tesis que se basa en la selección óptima de una turbina hidráulica instalada en una minicentral hidroeléctrica. Así como determinar el tipo de turbina hidráulica y las dimensiones de los elementos de la turbina hidráulica para la minicentral hidroeléctrica. Con el fin de aprovechar el recurso hidro energético se captará y conducirá el recurso hídrico suficiente para la generación de energía eléctrica. Hay varias etapas para la producción de energía eléctrica, como el hecho de transformar energía de un fluido en energía mecánica. Para la transformación de energía se usan las turbinas hidráulicas que se seleccionan de acuerdo con las condiciones de operación requeridas. Una mala selección de la turbina acarrea costos de mantenimiento y una mala oferta de energía eléctrica. Se llega a la conclusión de seleccionar a la turbina Francis como mejor alternativa debido a la mejor eficiencia que ofrece para la generación de energía eléctrica, con lo cual el aprovechamiento hídrico de la minicentral hidroeléctrica queda garantizado. El número específico de potencia de la minicentral hidroeléctrica es $N_s=369.0569$, por lo cual se clasifica como turbina Francis tipo rápida. Los elementos que componen la turbina son: rodete, cámara espiral, tubo de succión y distribuidos.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

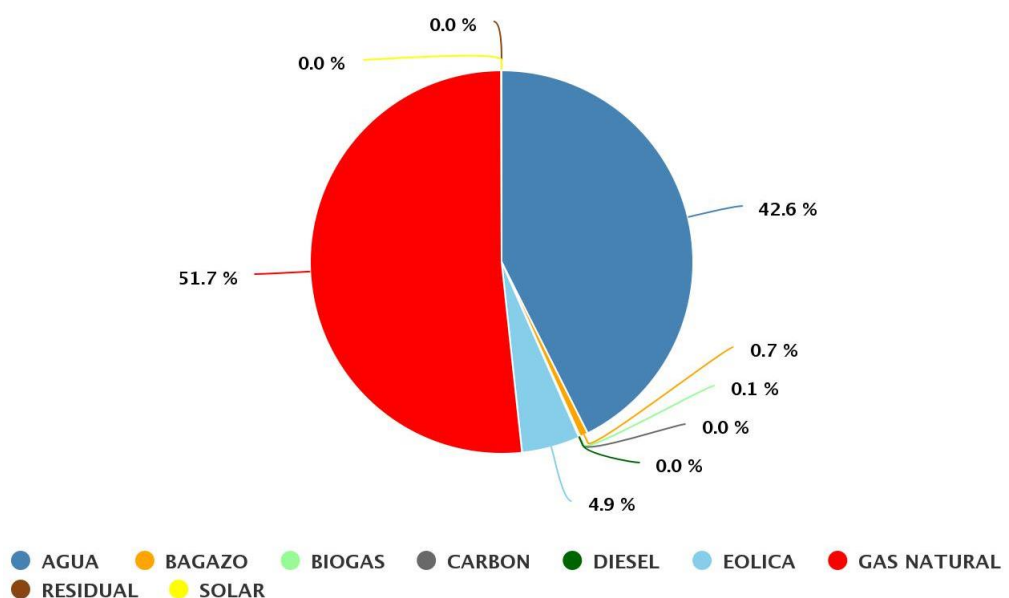
La difusión de tecnologías verdes y/o eco amigables es una realidad que está presente en las ciudades de todo el mundo debido al aumento de la contaminación ambiental por parte de fuentes de energía no renovables esto trae consigo la búsqueda de nuevas formas de obtención de energías limpias. Con el transcurrir de los años es común observar sistemas de energías renovables como las granjas de aerogeneradores y plantas de energía solar, pero no tan frecuente ha sido el desarrollo de sistemas que aprovechen la energía producto de las olas. Si bien se ha desarrollado tecnologías que aprovechan la energía mareomotriz, es escaso el estudio del aprovechamiento de las masas de aire que se generan por la diferencia de presiones en los océanos. La turbina Wells es un tipo de rotor que genera energía mecánica a partir de la masa de aire producto de la diferencia de presiones en un sistema de columna de agua oscilante OWC, “actualmente se utiliza la turbina Wells para sistemas de energía producto de las olas por medio de un sistema de columna de agua oscilante, el sentido de giro es único producto del diseño del sistema OWC debido a que el flujo de aire va de forma bidireccional a través la cámara donde se encuentra la turbina Wells. Esto conserva el sentido de giro independientemente de la incidencia del aire, la turbina se diseña con perfiles aerodinámicos simétricos radialmente. La turbina Wells se implementa junto con un generador eléctrico para

proporcionar electricidad para sistemas portátiles como operaciones militares o iluminación de boyas marinas” (Santa et al., 2019)

La energía producida por un sistema de columna oscilante de agua es limpia, pero no ha sido explotado en gran medida. “Como respuesta existen prototipos que aprovechan de manera diferente las olas en distintos modos de operación. En el litoral sur chileno hay la mayor concentración de energía undimotriz en el planeta, el aprovechamiento del movimiento de las mareas da cabida a tecnologías que sacan provecho al potencial de las olas” (Morales Calisto, 2016)

La Figura 1, representa que alrededor del 50% en promedio de la energía interconectada nacional en los últimos 10 años, es proveniente de la energía hidráulica de los ríos.

Figura 1: Energías renovables en el Perú



Fuente: (COES, 2023)

1.4. OBJETIVO DE LA TESIS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL DE LA TESIS

Mejorar la Generación de energía eléctrica de un sistema de columna de agua oscilante (OWC) mediante en análisis CFD de una Turbina Wells.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS DE LA TESIS

A continuación, se mencionará los objetivos propuestos de esta tesis:

- a) Evaluar la influencia del análisis CFD de una turbina Wells para la potencia mecánica de un sistema OWC.
- b) Valorar la velocidad del viento con el análisis CFD de una turbina Wells en un sistema OWC.
- c) Determinar la eficiencia de la turbina óptima que mejore la generación de energía eléctrica en un sistema OWC.
- d) Determinar la geometría de la turbina estándar que influya en la generación de energía eléctrica en un sistema OWC.

1.5. HIPOTESIS DE LA TESIS

1.5.1. HIPOTESIS GENERAL DE LA TESIS

Existen análisis CFD que mejoran la generación de energía eléctrica de un sistema de columna de agua oscilante (OWC) por medio de una turbina Wells.

1.5.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS

A continuación, se mencionarán las hipótesis específicas propuestas en esta tesis.

- a) Existe mejoras en el análisis CFD de una turbina Wells en la potencia mecánica producto del caudal de aire.
- b) Es posible mejorar la velocidad del viento con el análisis CFD de una turbina Wells en un sistema OWC.
- c) Se mejora la generación de energía eléctrica en un sistema OWC al controlar la eficiencia de la turbina.
- d) Existe un incremento de la generación de energía eléctrica en un sistema OWC debido a la geometría de la turbina.

1.6. METODOLOGÍA DE LA TESIS

1.6.1. TIPO DE TESIS

La presente tesis tiene un enfoque cuantitativo, ya que se han identificado 5 características epistemológicas de carácter cuantitativo.

Las características epistemológicas que definen el enfoque del estudio son:

- a) La percepción de la realidad es de carácter objetivo debido a que cuantifica datos del tipo numérico como los datos de oleaje y periodo, como puntos de partida del trabajo de tesis.
- b) El enfoque desde el punto de vista lógico es de carácter deductivo ya que contrasta la hipótesis que se presentan en las variables y

agentes, los cuales son en función a la teoría ligada al trabajo de tesis.

- c) El enfoque de la finalidad del trabajo de tesis, se comprueba la hipótesis frente a los resultados obtenidos, el carácter es del tipo particular al objetivo del trabajo de tesis.
- d) El enfoque desde la perspectiva de la tesis es de analizar datos de manera externa. Se distingue la tesis y la realidad presentada, que es conocimiento que adquiere el investigador como agente externo.
- e) El enfoque de causalidad es en el efecto de la variable dependiente que presenta antecedentes directos de las condiciones de la variable independiente como consecuencia de la realización del presente trabajo de tesis.

El alcance del presente trabajo de tesis de del tipo correlacional, debido a que se registra datos de un periodo de tiempo determinado, que identifican y cuantifican las variables, y determina la relación de los parámetros adimensionales de diseño de la turbina Wells respecto a los parámetros de diseño dimensionales.

1.6.2. DISEÑO DE LA TESIS

El diseño del presente trabajo de tesis es del tipo no experimental transeccional debido a que no se efectúa acción con respecto a la unidad de análisis de manera directa. Además, se centra en examinar la relación entre las variables en cierto periodo de tiempo y recolectan datos en un momento determinado único de tiempo.

1.6.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis del presente trabajo de tesis es la playa de Matarani, ubicado en el departamento de Arequipa. Esta playa presenta mayor propagación de oleaje en el Perú.

A continuación, se presentan los siguientes datos de la unidad de análisis, que establecen el desarrollo de la tesis y análisis de los resultados:

- a) La altura promedio de las olas de la playa de Matarani es alrededor de 1.691 m en el año 2022.
- b) El periodo promedio de las olas de la playa de Matarani es alrededor de 13.948 segundos en el año 2022.
- c) La profundidad de la playa de Matarani donde se ubicará el sistema de columna de agua oscilante es 5 metros.
- d) La ubicación de la playa es latitud $17^{\circ}0'15.12''S$ y longitud $72^{\circ}7'9.83''W$ con una aproximación de 0.72 km desde la playa o zona costera.

1.6.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1: Matriz operacional de variables I

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala
V. Independiente Turbina Wells	Tipo de turbina frecuentemente utilizado por centrales eléctricas debido a su sencillo diseño y construcción. Además, posee los alabes colocados perpendicularmente a la dirección del flujo. García Díaz, Manuel; (2016)	Eficiencia de la turbina	Velocidad de giro	Intervalo
		Geometría de la turbina	Torque	
V. Dependiente Generación de energía eléctrica	Los sistemas OWC son dispositivos sencillos para transformar energía mareomotriz en energía eléctrica. El funcionamiento del sistema consiste en la diferencia de presiones dentro de una cámara que impulsa la corriente de aire. García Díaz, Manuel; (2016)	Potencia Mecánica	Caudal	Razón
		Velocidad del viento	Diferencia de presiones	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Matriz operacional de variables II

Tipo	Metodología		
	Formato	General	Específico
Problema	Pregunta	Turbina Wells X Generación de energía eléctrica	Turbina Wells X Potencia Mecánica
Objetivo	Objetiva		Turbina Wells X Velocidad del viento
Hipótesis	Afirmativa		Generación de energía eléctrica X Eficiencia de la turbina
			Generación de energía eléctrica X Geometría de la turbina

Fuente: Elaboración propia

1.7. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 3: Matriz de consistencia

<i>Problema General</i>	<i>Objetivo General</i>	<i>Hipótesis General</i>	<i>Variable</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Metodología</i>
¿Cómo afecta el análisis CFD de una Turbina Wells para la Generación de energía eléctrica en un sistema de columna de agua oscilante?	Mejorar la Generación de energía eléctrica de un sistema de columna de agua oscilante (OWC) mediante en análisis CFD de una Turbina Wells.	Existen análisis CFD que mejoran la Generación de energía eléctrica de un sistema de columna de agua oscilante (OWC) por medio de una Turbina Wells.	Variable independiente Turbina Wells	Eficiencia de la turbina Geometría de la turbina	Velocidad de giro Torque	Enfoque: <i>mixto</i>
<i>Problemas Específicos</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>Hipótesis específicas</i>				
P1. ¿Cómo influye el análisis CFD de una Turbina Wells para la Potencia Mecánica de un sistema OWC?	O1. Evaluar la influencia del análisis CFD de una Turbina Wells para Potencia Mecánica de un sistema OWC.	H1. Existe mejoras en el análisis CFD de una Turbina Wells en la Potencia Mecánica producto del caudal de aire.		Potencia Mecánica	Caudal	Alcance: <i>explicativo</i>
P2. ¿Cómo afecta el análisis CFD de una Turbina Wells en la Velocidad del viento de un sistema OWC?	O2. Valorar la Velocidad del viento con el análisis CFD de una Turbina Wells en un sistema OWC.	H2. Es posible mejorar la Velocidad del viento con el análisis CFD de una Turbina Wells en un sistema OWC.	Variable dependiente			
P3. ¿Es posible mejorar la Generación de energía eléctrica controlando la Eficiencia de la turbina en un sistema OWC?	O3. Determinar la Eficiencia de la turbina optima que mejore la Generación de energía eléctrica en un sistema OWC.	H3. Se mejora la Generación de energía eléctrica en un sistema OWC al controlar la Eficiencia de la turbina.	Generación de energía eléctrica	Velocidad del viento	Diferencia de presiones	Diseño: <i>No experimental</i>
P4. ¿Es factible la Generación de energía eléctrica mediante la Geometría de la turbina en un sistema OWC?	O4. Determinar la Geometría de la turbina estándar que influya en la Generación de energía eléctrica en un sistema OWC.	H4. Existe un incremento de la Generación de energía eléctrica en un sistema OWC debido a la Geometría de la turbina.				Instrumento de análisis: <i>CFD</i>

Fuente: Elaboración propia

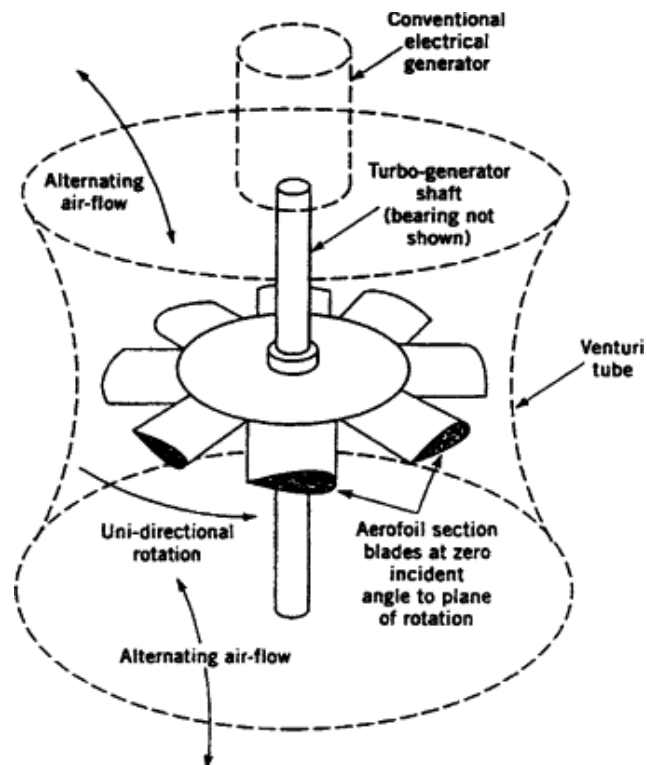
CAPITULO II: FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA

2.1. GEOMETRÍA DE LA TURBINA

La turbina Wells, es un tipo de turbina de reacción que también se clasifica como turbina de viento, es una turbomáquina que hace uso de la cantidad de movimiento para girar un rotor. La energía que se genera en el eje del rotor se aprovecha para producir energía eléctrica.

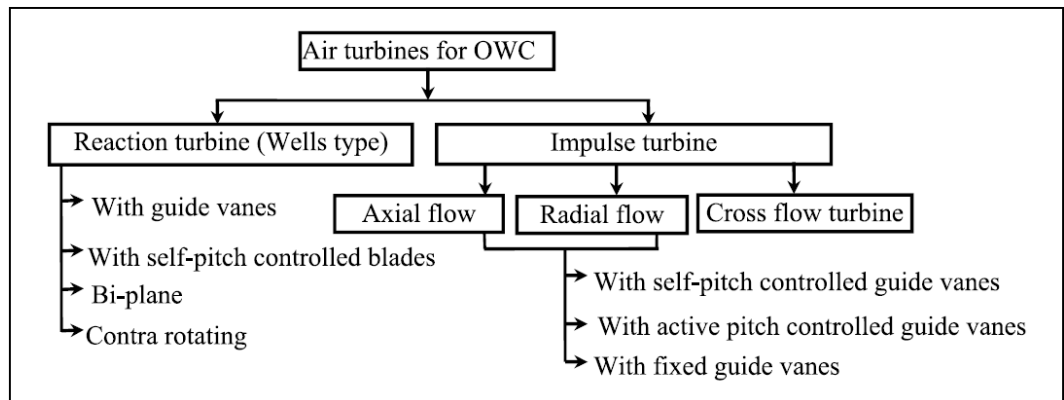
La Figura 2, representa la geometría de la turbina Wells y su operación debido a la dirección del viento. La Figura 3, muestra la clasificación esquemática de las turbinas para un sistema OWC.

Figura 2: Turbina Wells



Fuente: (Raghunathan, 1980)

Figura 3: Clasificación de turbinas para sistema OWC

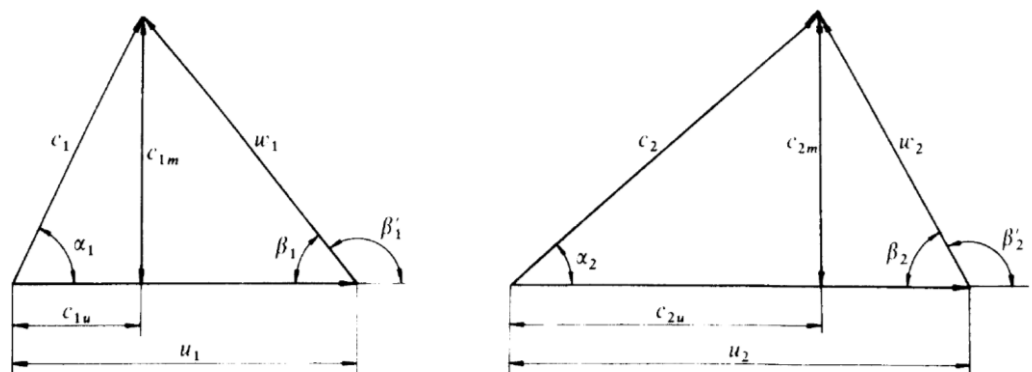


Fuente: (Kumar et al., 2017)

2.2. TRIANGULO DE VELOCIDADES

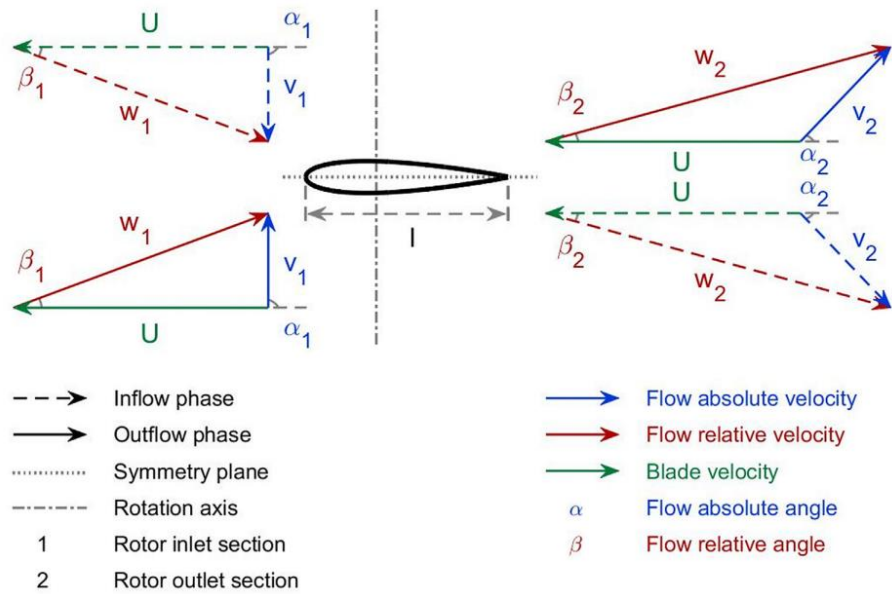
El perfil del alabe esta caracterizado por crear a su alrededor una distribución de presión que ayuda a generar movimiento en la turbina, al estudiar el alabe se asocia el triángulo de velocidades. La Figura 4, representa el triángulo de velocidades para diseñar un alabe de turbina Wells. La Figura 5 y la Figura 6 representan la interacción de los alabes de la turbina.

Figura 4: Triángulo de velocidades genérico



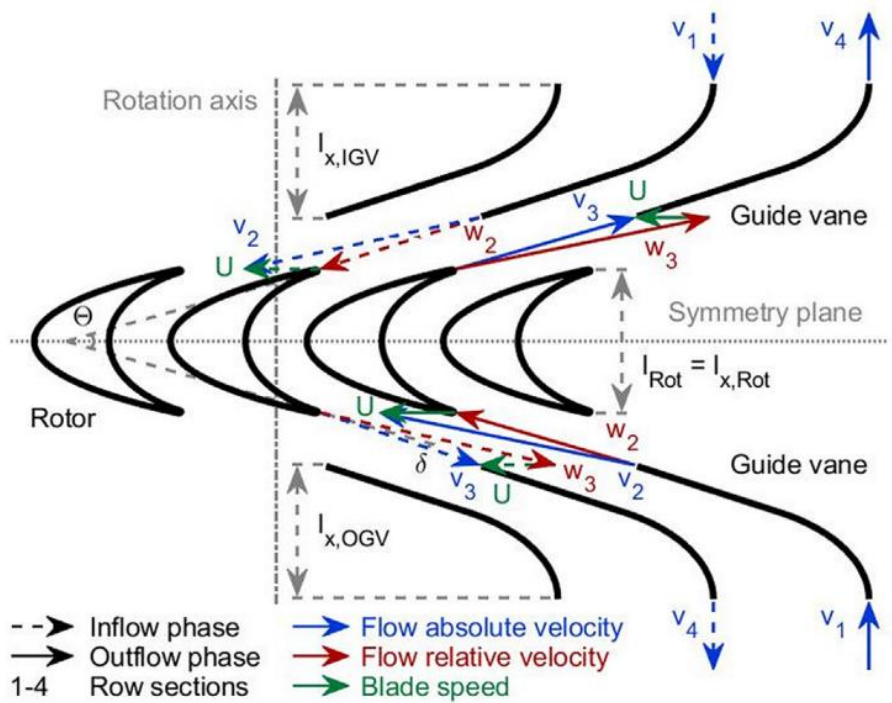
Fuente: (Mataix, 1986)

Figura 5: Triángulo de velocidades para un alabe de turbina Wells



Fuente: (Ciappi et al., 2022)

Figura 6: Esquema de sección de alabe a alabe



Fuente: (Ciappi et al., 2022)

2.3. CURVAS CARACTERISTICAS DE LA TURBINA WELLS

Las curvas se representan por medio del torque y la diferencia de presión estática en una tasa de flujo instantáneo. En caso de un flujo oscilante, se dificulta el cálculo del caudal, por lo que se calcula desde la velocidad de la chimenea donde se ubica la turbina Wells, si se asume que el caudal al inicio de la turbina es de tipo axial es posible despreciar los efectos de compresibilidad, (Puddu et al., 2013). La Figura 7, representa las curvas características de los parámetros adimensionales de diseño de la turbina Wells en función de un determinado valor de frecuencia. A continuación, son mostradas La Ecuación 2.1 representa el coeficiente de presión estática, así como la Ecuación 2.2 referencia al coeficiente de torque y por último La Ecuación 2.3 señala al coeficiente de flujo.

2.3.1. COEFICIENTE DE PRESIÓN ESTÁTICA

El coeficiente de presión estática se calcula con la Ecuación 2.1:

$$P^* = \frac{\Delta P}{\rho \cdot \omega^2 \cdot R_t^2} \quad (2.1)$$

2.3.2. COEFICIENTE DE TORQUE

El coeficiente de torque se calcula con la Ecuación 2.2:

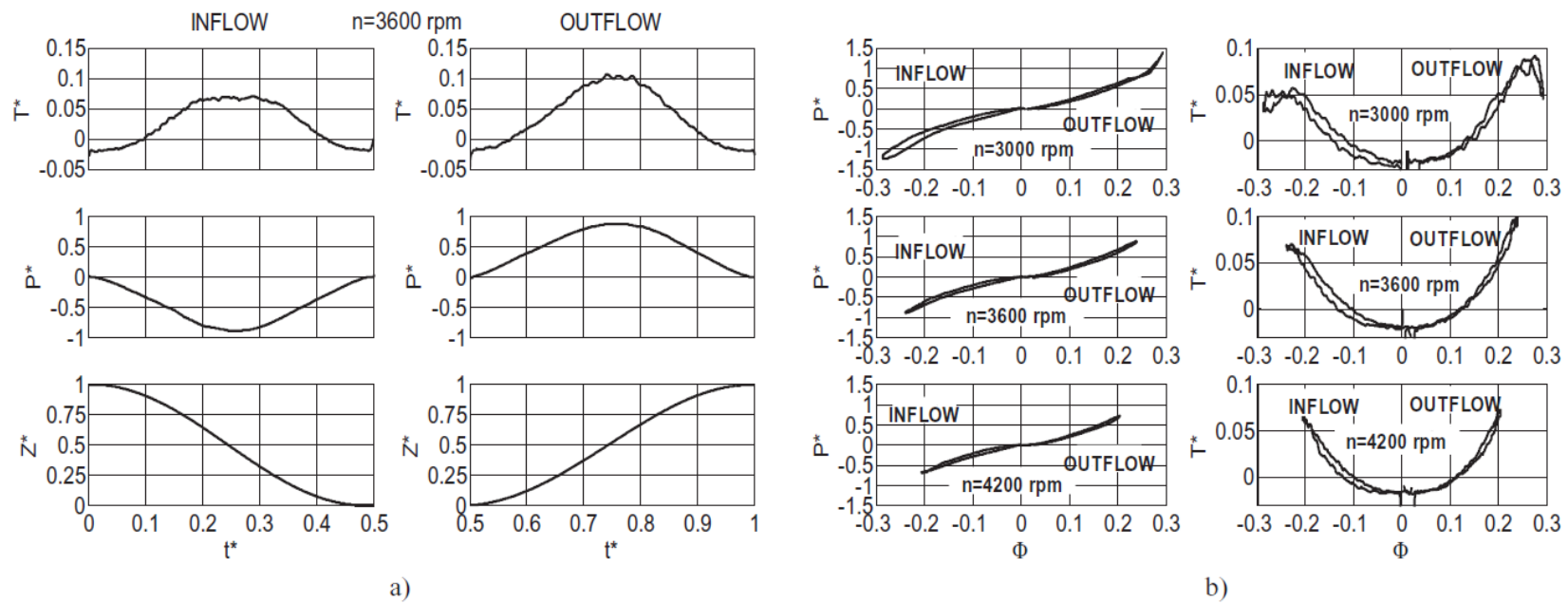
$$T^* = \frac{T}{\rho \cdot \omega^2 \cdot R_t^5} \quad (2.2)$$

2.3.3. COEFICIENTE DE FLUJO

El coeficiente de flujo se calcula con la Ecuación 2.3:

$$U^* = \frac{C_2}{\omega \cdot R_t} = \frac{C_2}{U_t} \quad (2.3)$$

Figura 7: Curvas características de parámetros adimensionales vs rpm



Fuente: (Puđu et al., 2013)

2.4. EFICIENCIA DE LA TURBINA

La eficiencia de una turbina representa si es viable o no el diseño de la turbina Wells, para ello se calcula la relación entre la energía mecánica suministrada por la turbina y la energía neumática producto del flujo de aire, ver Ecuación 2.4, (Saluña Berna et al., 2015).

$$\eta = \frac{W_{util}}{W_{total}} = \frac{T \cdot \Omega}{Q \cdot \Delta P} \quad (2.4)$$

2.5. POTENCIA DE TURBINA

La potencia de la turbina es la energía mecánica que se adquiere de la turbina Wells que transforma la energía de fluido en energía mecánica, ver Ecuación 2.5. (Saluña Berna et al., 2015)

$$W_{util} = \Omega \cdot T \quad (2.5)$$

En cambio, la potencia total de la turbina Wells se halla mediante la Ecuación 2.6:

$$W_{total} = Q \cdot \Delta P \quad (2.6)$$

2.6. VELOCIDAD DEL VIENTO

Las condiciones de operación se rigen por las condiciones ambientales y el oleaje del lugar en donde se incorporará la turbina Wells.

2.6.1. CONDICIONES AMBIENTALES

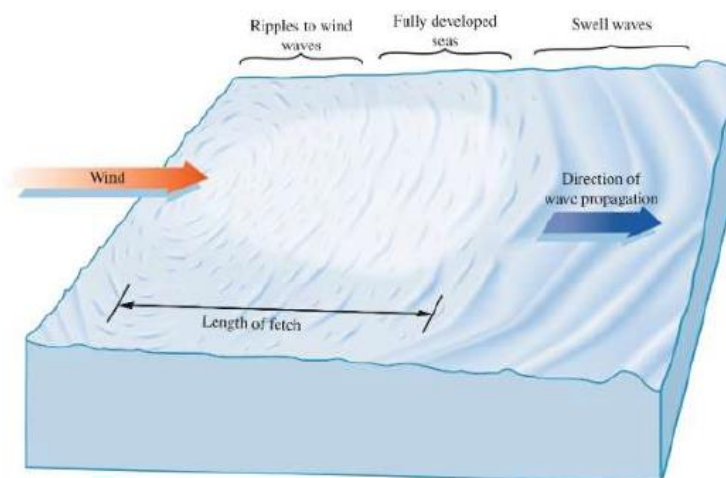
Las condiciones ambientales para este estudio son la velocidad del viento, producido por masas de aire en movimiento, el potencial energético de los vientos localizado en la tropósfera, ya que son los vientos que se producen a nivel superficial. Para ello se hace énfasis

en que los desplazamientos verticales no son considerables en relación con los desplazamientos horizontales de aire. Por último, la presión atmosférica influye en la frecuencia de la dirección del viento. (Arrunategui, 2019)

2.6.2. OLEAJE

Las olas oceánicas son creadas por el viento, que es producto de la redistribución de la energía solar. El viento interactúa con la superficie del océano generando ondas, que incrementan en tamaño debido a la sustancial energía entregada. De hecho, las olas profundas viajan a miles de kilómetros sin perder energía. Sin embargo, cuando las olas se aproximan a la costa se presenta pérdida de energía debido a la fricción entre las olas y la parte inferior del mar. La densidad de energía disponible en las olas es mucho mayor que la energía eólica y solar (Domínguez, 2019). La Figura 8, representa como se generan las olas en el mar.

Figura 8: Generación de olas

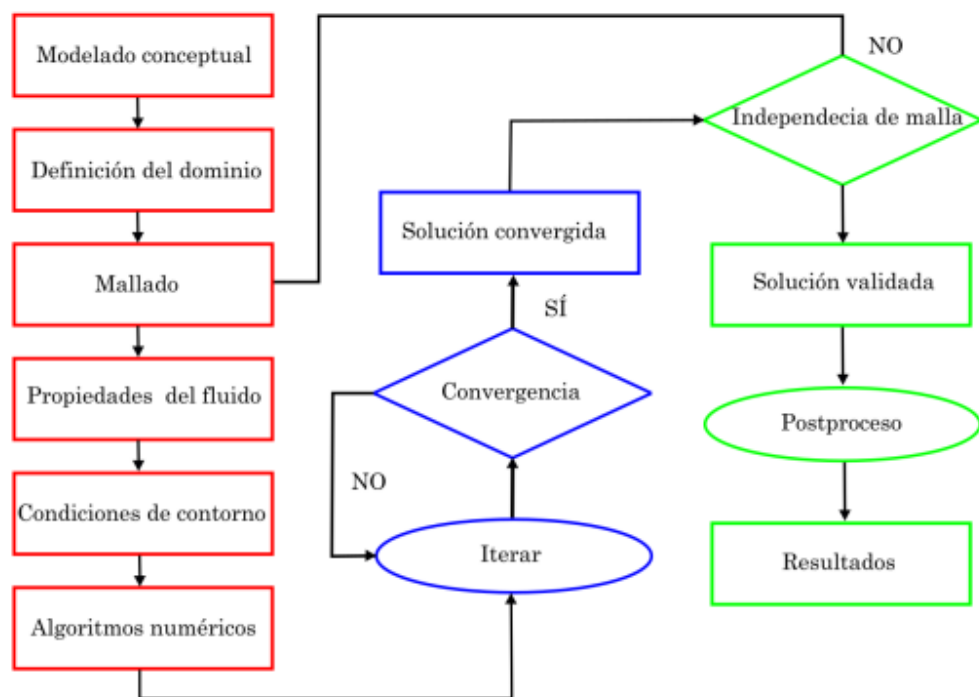


Fuente: (Domínguez, 2019)

2.7. COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

La dinámica de fluidos computacional se encarga del estudio mediante simulación numérica de flujo de fluidos, transferencia de calor, fenómenos relacionados con reacción químicas, combustión, aero- acústica, entre otras aplicaciones de ingeniería. Los orígenes del CFD se basan en dos ramas de la ingeniería como la mecánica de fluidos y cálculo numérico, esto debido a que las ecuaciones que gobiernan el paso de fluidos se encuentran dentro del campo de la mecánica de fluidos y son resueltas por ayuda de distintos métodos numéricos. (ESSS, 2016). La Figura 9, muestra los pasos que se sigue para resolver un problema mediante CFD.

Figura 9: Pasos de una simulación CFD



Fuente: (García Andrés, 2020)

2.8. CONDICIONES DE CONTORNO

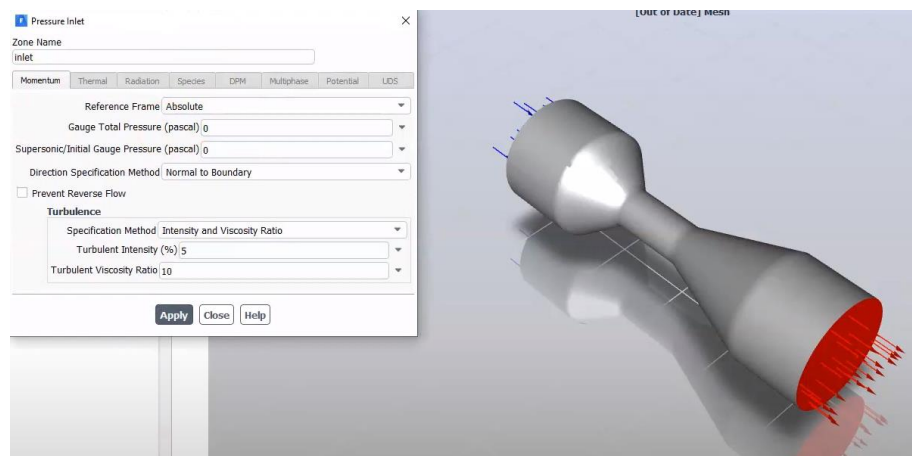
Las condiciones de contorno son definidos como limitantes que rigen el estudio mediante CFD. Las condiciones de contorno operan desde el nivel microscópico hasta grandes escalas por dicha razón a las condiciones de contorno se les conoce como “condiciones de frontera” (García Andrés, 2020).

A seguir mencionamos las condiciones de frontera más significantes en el estudio de los fluidos.

2.8.1. PRESIÓN DE ENTRADA

En el caso del análisis CFD de una turbina permite establecer la diferencia de presiones estáticas a la entrada, la dirección y sentido del flujo de aire, ver la Figura 10.

Figura 10: Presión de entrada en simulación con Fluent



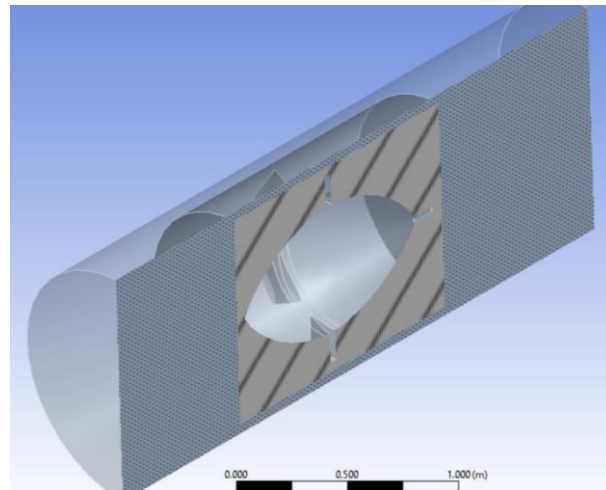
Fuente: (Cueva Isaías, 2021)

2.8.2. PARED

Sirve como frontera para el análisis CFD, ya que es la región por donde circula el fluido tanto al inicio como al final. En la condición de pared,

esta cumple la condición de velocidad nula y posee la característica de ser adiabática al no permitir intercambio fuera de la pared, ver Figura 11.

Figura 11: Condición de pared en análisis CFD

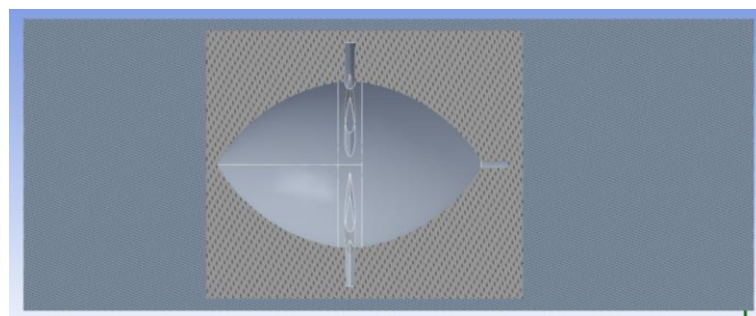


Fuente: Elaboración propia

2.8.3. INTERIOR

El interior de un fluido representa la zona que esta encerrada por las paredes, donde se considera como el dominio por el cual va a circular el fluido y donde se van a aplicar las ecuaciones para el análisis CFD, ver Figura 12.

Figura 12: Zona encerrada por paredes



Fuente: Elaboración propia

2.9. INLET

El Inlet, es la fase inicial para todo estudio CFD, ya que de esta fase dependen los resultados después de resolver la turbina Wells mediante CFD, (García Andrés, 2020). Los procesos que involucran el Inlet son las siguientes:

- a) Diseño CAD de la geometría a analizar y definir el dominio de cálculo.
- b) Mallado del dominio, se utiliza la técnica de cálculo de volúmenes finitos para este proceso.
- c) Especificación de las propiedades del fluido que se va a ensayar en el estudio CFD.
- d) Establecimiento de las condiciones de frontera en el dominio para iniciar el estudio con valores predefinidos.

2.10. SOLVER

El solver considera las ecuaciones que permitirán resolver mediante el estudio de simulación mediante CFD. Esta simulación se resuelve bajo el método de los volúmenes finitos, para ello se hace uso de las ecuaciones de conservación en volúmenes de control, de manera que se utiliza la Ecuación 2.7 y la Ecuación 2.8, para realizar la iteración numérica (García Andrés, 2020).

$$\frac{\partial(\rho_p \cdot \varphi)}{\partial t} V + \sum_f^{N_f} \rho_f \varphi_f \vec{u}_f \vec{A}_f = \sum_f^{N_f} \Gamma_{\varphi, f} (\nabla \varphi)_f \vec{A}_f + S_{\varphi, P} V \quad (2.7)$$

$$a_p \varphi_p = \sum_{nb}^{N_{nb}} a_{nb} \varphi_{nb} + b \quad (2.8)$$

La manera en que se soluciona el sistema de ecuaciones determina el tipo de “solver”, que son clasificados de 2 tipos:

2.10.1. PRESSURE-BASED

Método formulado para fluidos del tipo incompresible, aunque actualmente se ha extendido para problemas con fluidos compresibles. Bajo este método “p”, se halla por medio de las ecuaciones de continuidad y de momento. Por otro lado, la presión “p”, se genera a partir de las ecuaciones de estado. Las ecuaciones de transporte se solucionan de manera consecutiva, a excepción de “p” y “v” que se resuelven en simultáneo, esto genera más consumo de la memoria RAM y menos iteraciones para alcanzar la convergencia, lo que permite establecerse de forma estacionaria de la simulación. (García Andrés, 2020)

2.10.2. DENSITY-BASED

Método que utiliza el solver para problemas de flujo compresible, su uso se extiende también para problemas de flujo incompresible. En este método “p” se halla con la ecuación de continuidad y “ ρ ” con la ecuación de estado. Se resuelve de manera simultánea las ecuaciones de transporte, con excepción de las turbulentas. Este método es intrínsecamente transitorio, lo que permite generar un estado estacionario en el proceso. La formulación explícita es gracias al avance temporal, lo que trae como consecuencia directa un uso menor

de memoria RAM, descartando las sub-iteraciones temporales para el término temporal. (García Andrés, 2020)

2.11. OUTLET

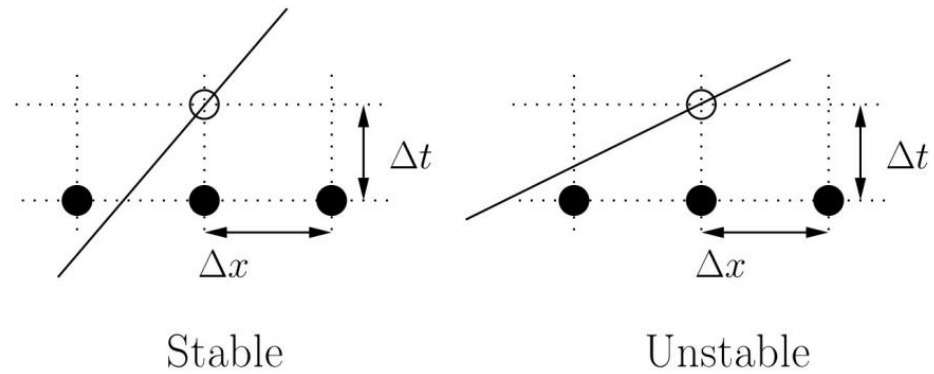
El outlet es la fase final de todo análisis CFD, donde se estudian los datos generados al resolver el problema. Para luego, post procesar los datos se emplean programas para CFD que por lo general se encuentran por defecto en el mismo solver. Por lo general, el resultado del solver se importa a hojas de cálculo.

Por último, la generación de contornos de magnitudes que son de interés se representa por una variedad de colores para facilitar el entendimiento de este, así como planos o, líneas auxiliares conocidas como líneas de corriente para visualizar la trayectoria del flujo. (García Andrés, 2020)

2.12. NÚMERO DE COURANT – FRIEDRICHS – LEWY (CFL)

Para el caso de un estudio de simulación numérica bajo el método de diferencias finitas, es notorio que, al aumentar el tiempo transcurrido con un tamaño de malla fijo, o al reducir el tamaño de malla, se produce inestabilidad en la simulación, la forma de controlar dicha inestabilidad entre el tamaño de malla y paso del tiempo es con el cumplimiento de la condición de Courant – Friedrichs – Lewy, denominada como CFL, que muestra rangos estables e inestables. (Negrete Correa, 2016). La Figura 13, representa la estabilidad e inestabilidad de la simulación numérica según CFL.

Figura 13: Estabilidad e Inestabilidad según CFL



Fuente: (Negrete Correa, 2016)

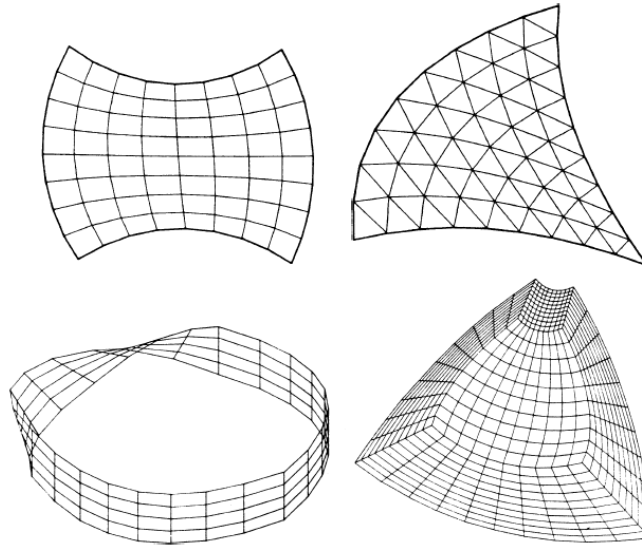
2.13. TIPO DE MALLA DE DISCRETIZACIÓN

Los tipos de malla para discretizar el dominio de un fluido a través de elementos o volúmenes finitos son los siguientes:

2.13.1. MALLAS ESTRUCTURADAS

El tipo de mallas estructuradas se caracterizan por tener una conectividad con patrón reticular, por este motivo las mallas son en forma de cuadriláteros (2D) o hexágonos (3D). El patrón reticular de este tipo de mallas considera fuertes condiciones de contorno en el dominio, los métodos para la generación de mallas estructurada radican en la conectividad y el cálculo de la posición de nodos de manera que los elementos resultantes presentan un tamaño y regularidad definida, que trae como consecuencia que este tipo de malla sea de baja calidad, consecuentemente se realiza un análisis bajo métodos computacionales, (Díaz, 2000). La Figura 14, representa el tipo de malla estructurada.

Figura 14: Tipos de mallas estructuradas

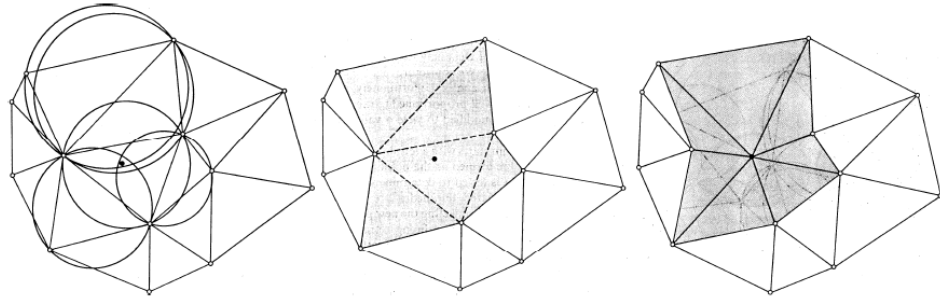


Fuente: Díaz, Alejandro; (2000)

2.13.2. MALLAS NO ESTRUCTURADAS

Las mallas no estructuradas en contraparte a las mallas estructuradas no poseen un patrón reticular, ya que se determina bajo el contorno del problema, los nodos inferiores y método de discretización usado. El tipo de formas de esta malla es triangular (2D) y tetraédrico (3D) permite discretizar cualquier tipo de forma, ello conlleva a que este tipo de mallas se utilicen de manera general más que las mallas estructuradas. Aunque tenga mayor requerimiento computacional, las mallas no estructuradas se dividen en una distribución de nodos y no presentan un patrón de conectividad predeterminado, debido a que el patrón se determina según el contorno del problema, con ello se puede discretizar cualquier dominio, pero con un mayor coste computacional. (Díaz, 2000). En la Figura 15, se representa el tipo de malla no estructurada.

Figura 15: Mallas no estructuradas

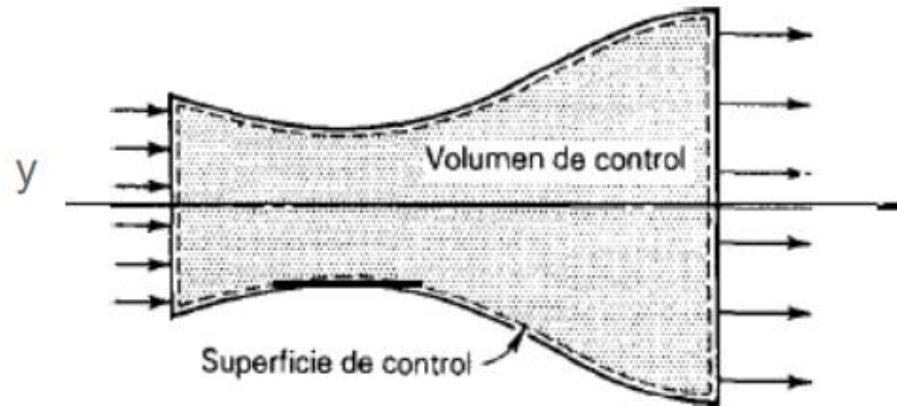


Fuente: Díaz, Alejandro; (2000)

2.14. VOLUMEN DE CONTROL

El volumen de control es una sección en el espacio, que se limita por el flujo de masa o fluido. Donde se estudia el comportamiento del fluido dentro del volumen de control del cual la masa como energía pueden pasar la frontera del volumen de control. De manera general cualquier región en el espacio se puede designar como volumen de control, no hay restricciones concretas para la elección de un volumen de control, pero se recomienda una elección adecuada para un análisis más certero. Un caso particular puede ser el análisis de flujo de aire por una tobera, en este caso se recomienda elegir al volumen de control, como toda la región dentro de la tobera. La Figura 16, muestra el volumen de control para una tobera, al limitar su tamaño y forma fijo, (Cengel & Cimbala, 2012).

Figura 16: Volumen de Control

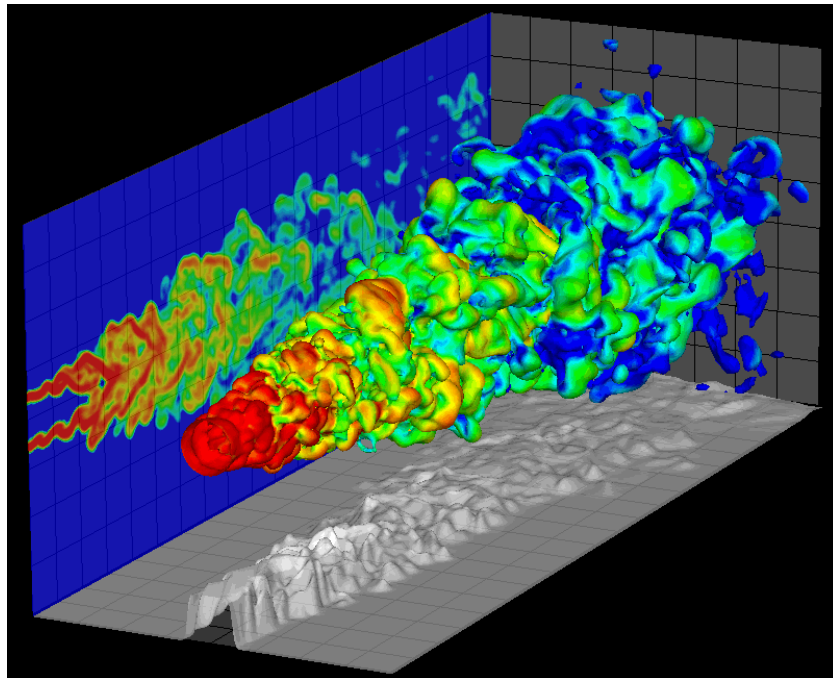


Fuente: Mecánica de Fluidos Avanzada

2.15. MODELOS DE TURBULENCIA

Dentro de la mecánica de fluidos, se estudia la turbulencia en razón con el número de Reynolds, que indica el tipo de comportamiento que tiene el fluido. Si se tiene un número de Reynolds menor que 2300, implica que el fluido es de régimen laminar, en cambio si el número de Reynolds se encuentra dentro del rango de 2300 y 4000 se dice que el flujo está en un estado de transición, pero si el número de Reynolds es mayor que 4000 se indica que el fluido tiene régimen turbulento, en la Figura 17, se observa un régimen de turbulencia a través de una simulación numérica en CFD.

Figura 17: Modelo de Turbulencia en CFD



Fuente: (Ruiz Solorio, 2014)

2.15.1. MODELO DE TURBULENCIA $k - \epsilon$

Este tipo de modelo de turbulencia se considera como un modelo estándar para las aplicaciones de simulación a nivel industrial debido a la precisión y robustez que ofrece. Para plantear el modelo $k - \epsilon$, dicho modelo ha sido utilizado ampliamente para diversas aplicaciones debido a la precisión y robustez que ofrece, en el modelo $k - \epsilon$, se utilizan ecuaciones de transporte por medio de ecuaciones diferenciales para la energía cinética turbulenta k , y para ϵ , que se denota como la tasa de cambio para la disipación de energía cinética turbulenta por unidad de masa, (Rodrigues Simões, 2009). La Ecuación 2.8, la Ecuación 2.9, la Ecuación 2.10, la Ecuación 2.11 y la Ecuación 2.12 representan el modelo estándar para la turbulencia $k - \epsilon$, donde k

es la energía cinética turbulenta y ε es la tasa de disipación de la energía cinética turbulenta según (Ruiz Solorio, 2014).

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = v_t S^2 - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} v_t S^2 - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (2.10)$$

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.11)$$

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}, S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.12)$$

Para la formulación estándar del modelo $k - \varepsilon$, se tienen los siguientes valores constantes según (Ruiz Solorio, 2014) :

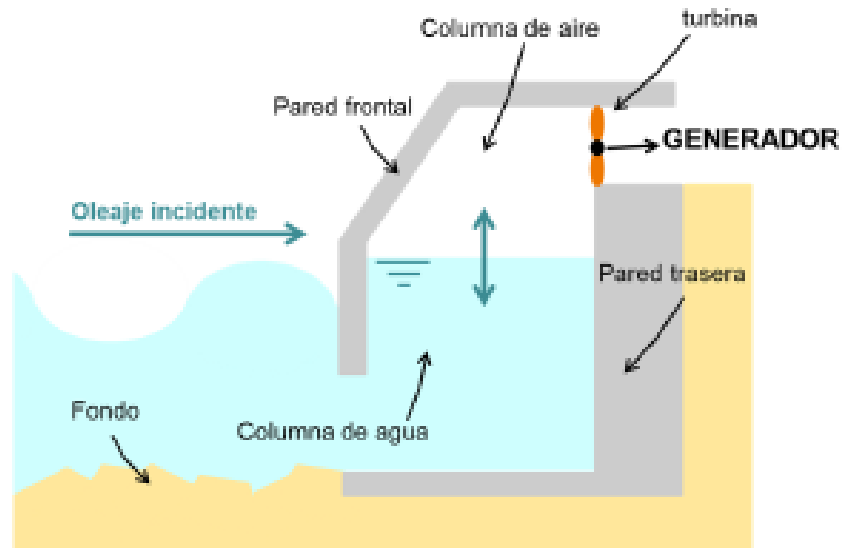
$$C_u = 0.09 ; \sigma_k = 1.00 ; \sigma_\varepsilon = 1.30 ; C_{\varepsilon 1} = 1.44 ; C_{\varepsilon 2} = 1.92$$

Que se hallaron relacionando datos experimentales de diferentes ensayos para flujos turbulentos.

2.16. COLUMNA DE AGUA OSCILANTE (OWC)

El sistema OWC opera con una o más cámaras sumergidas para atrapar cierto volumen de aire en el interior de la cámara y generando una diferencia de presiones que originan el movimiento en la turbina Wells. El choque de las olas con la pared exterior de la cámara genera movimiento ascendente y descendente en el interior de la cámara, gracias a esta acción se genera la diferencia de presiones de aire que circula hacia la turbina Wells, (Iturrioz Eceiza, 2014). La Figura 18, representa el esquema del sistema OWC típico.

Figura 18: Esquema del sistema OWC



Fuente: (Iturrioz Eceiza, 2014)

En el caso, donde la frecuencia de la turbina en estado natural y el generador coincide con la frecuencia de la ola se alcanza la máxima velocidad en la turbina Wells. El rango de rendimiento es entre 30% - 50%, y la estructura OWC puede ser fija o móvil, (Castiella, 2013).

2.17. MARCO CONCEPTUAL

a) TURBINA

Turbomáquina por el cual pasa el fluido de manera continua y entrega energía cinética por medio de un rodete con alabes. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento a un generador eléctrico.

b) CFD

Mecánica de Fluidos Computacional (Computational Fluid Dynamics) hace uso de diferentes métodos numéricos para analizar problemas relacionados a los fluidos. La manera de análisis consiste en discretizar una región generando un mallado, dividiendo la región a evaluar volúmenes de control pequeños.

c) EFICIENCIA

La evaluación energética como tal se mide por medio de la eficiencia de la turbina que relaciona la energía producida y la energía disponible, que sirve para dar un seguimiento del sistema en caso de deterioro lo que se interpreta en pérdida de eficiencia.

d) TURBULENCIA

Régimen del fluido caracterizado el comportamiento caótico en movimiento debida a la rápida velocidad de difusión, un flujo turbulento se identifica por el elevado número de Reynolds que posee. Además, este régimen se caracteriza por los cambios de presión y velocidad.

e) ALABE

Paleta curva de la turbina Wells con forma de perfil aerodinámico que desvía el flujo de aire para generar energía cinética a través del eje del rotor para producir trabajo mecánico.

f) OLEAJE

Las olas intermedias son aquellas que se desplazan a de manera cíclica debido a corrientes de viento, que al interactuar entre otras olas del mismo comportamiento generan fuerzas de presión y fricción que

altera el equilibrio superficial de los océanos. El viento traspasa parte de su energía a las olas lo que resulta en diferencias de presiones por la velocidad del viento entre el aire y mar.

g) POTENCIA

La potencia de turbina se genera a partir de la rotación de la turbina Wells, por medio de una corriente de fluido, que es energía de presión que se transforma en energía cinética al pasar por el sistema que conforma la turbina logra rotar el eje adquiriendo potencia mecánica. En síntesis, la potencia es el trabajo desarrollado por un sistema en funcionamiento.

h) OPERACIÓN

Los modos de operación de una turbina son características que sirven para controlar y conocer en el estado de funcionamiento de la turbina Wells, tales características son la velocidad angular, el caudal, momento par y comportamiento dinámico de la turbina cuando se reduce o aumenta la velocidad.

i) OWC

Columna de agua oscilante, es un sistema de generación eléctrica conocida por sus siglas en inglés OWC (Oscilating Water Column) que transforma el movimiento ondulatorio de las olas en diferencia de presiones, esta diferencia hace que el viento pase a través de una chimenea donde se ubica la turbina Wells, el cual rota debido al impulso y arrastre del aire.

j) GEOMETRÍA

Es la forma física de la turbina Wells que describe las características métricas el diámetro de eje, espesor de alabe, grosor, diámetro interno, diámetro externo, etc.

CAPITULO III: ANÁLISIS NUMÉRICO DE LA TURBINA WELLS

3.1. CONDICIONES DE ENTRADA DE DISEÑO

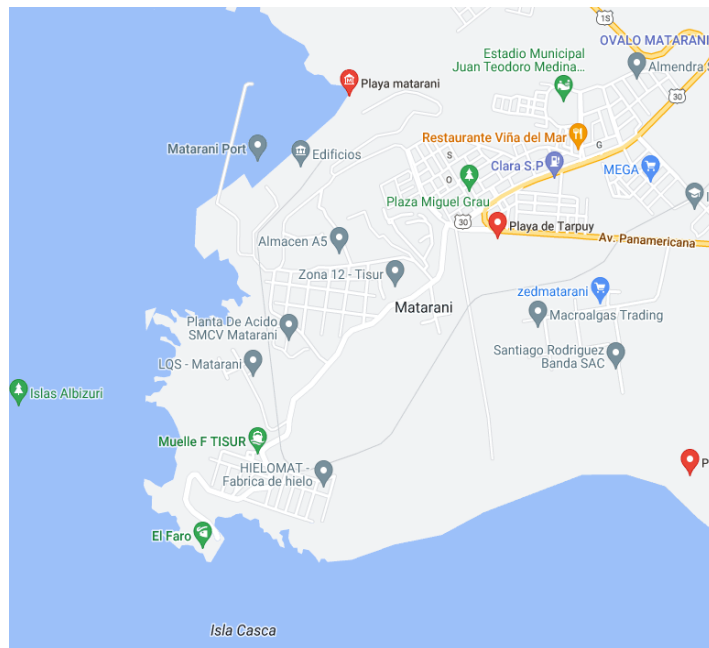
El sistema de columna de agua oscilante presenta condiciones que se examinan para obtener los datos de entrada de diseño de la turbina Wells. La ubicación de la unidad de análisis, se presentan en el subcapítulo 3.1.1. y en el subcapítulo 3.1.2. se observa la información de oleaje y periodo que sirven para definir los valores de condiciones iniciales.

3.1.1. DATOS GEOGRÁFICOS

El área de la unidad de análisis en que se desarrolla el presente trabajo de tesis tiene como ubicación geográfica las playas de Arequipa, debido a que se tiene datos durante el año 2022, se muestran las coordenadas de la playa donde se ubica el sistema de columna de agua oscilante. La playa de Matarani es uno de los lugares más australes del Perú, donde se obtienen datos de oleaje y periodo de las olas de manera anual, para el presente trabajo de tesis se toma como referencia los datos del año 2022. La ubicación planteada para el sistema de columna de agua oscilante está ubicada en un área que se delimita por el puerto de Matarani y por la unidad Minera Cerro Verde. La Figura 19, representa la ubicación exacta, dada por la latitud: $17^{\circ}0'15.12''S$ y longitud: $72^{\circ}7'9.83''W$ con una aproximación de 0.72 km. La Figura 20, muestra la playa o zona costera vista desde el

Windfinder (Widmann et al., 1999) y la Figura 21, se muestra una vista geográfica.

Figura 19: Playa de Matarani



Fuente: Google Maps

Figura 20: Ubicacion del sistema OWC



Fuente: Windfinder

Figura 21: Vista de planta del sistema OWC



Fuente: Google Maps

De acuerdo con el **ANEXO A** y **ANEXO B**, se realiza la Tabla 4 donde se muestra el promedio de los datos del periodo t y el oleaje H así como la profundidad h . En el caso de la profundidad h se obtuvo gracias a (Widmann et al., 1999). Estos 3 datos sirven como punto de partida para determinar el tipo de ola que se tiene en la playa de Matarani.

Tabla 4: Datos de entrada procedentes del mar de Matarani

H [m]	h [m]	t [s]
1.691	5	13.948

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. APLICACIÓN DE LA TEORÍA LINEAL DE OLAS

Las ecuaciones de la teoría lineal de ondas son criterios según (Ring, 2021)

a) LONGITUD DE ONDA (L)

Para determinar el perfil de ola se utilizará la Ecuación 3.1:

$$L_o = \frac{g}{2\pi} T^2 \tanh(kh) \quad (3.1)$$

$$L_o = \frac{9.81}{2\pi} \cdot (13.948)^2 \cdot \tanh\left(\frac{2\pi \cdot 5}{L_o}\right)$$

$$L_o = 95.999 \text{ m} \rightarrow \frac{h}{L_o} = \frac{5}{95.999} \rightarrow \frac{h}{L_o} = 0.052$$

El tipo de ola se determina con la relación de h/L_o , para dicha relación se tiene los siguientes criterios:

$$\frac{h}{L_o} < \frac{1}{20} \text{ (superficiales)}$$

$$\frac{1}{20} < \frac{h}{L_o} < \frac{1}{2} \text{ (intermedias)}$$

$$\frac{h}{L_o} > \frac{1}{2} \text{ (profundas)}$$

De acuerdo con la relación h/L_o , se llega a la conclusión de que la ubicación del sistema OWC posee olas con comportamiento del tipo intermedias.

b) POTENCIA ENTREGADA POR LA OLA

Para determinar la potencia entregada por la ola se utiliza la Ecuación 3.2:

$$P = \frac{\rho g^2 t H^2}{32\pi} \left[\frac{W}{m} \right] \quad (3.2)$$

La Tabla 5, presenta datos genéricos como la densidad del agua de mar, la gravedad, así como datos de la Tabla 4.

Tabla 5: Datos para cálculo de potencia

ρ [kg/m ³]	g [m/s ²]	t [s]	H [m]
1027	9.81	13.948	1.691

Fuente: Elaboración propia

$$P = \frac{1027 \cdot (9.81)^2 \cdot 13.948 \cdot (1.691)^2}{32\pi} \left[\frac{W}{m} \right]$$

$$P = 31.29 \frac{kW}{m}$$

En la Ecuación 3.2 se calculó la potencia que entrega las olas de la playa de Matarani, de modo que para calcular la potencia neta que se entrega dentro del sistema OWC. En la Tabla 6, se presentan las eficiencias mecánica, eléctrica y neumática, según (Santana Yáñez, 2008).

Tabla 6: Eficiencias promedio

$\eta_{mecanica}$	$\eta_{electrica}$	$\eta_{neumatica}$
50%	90%	50%

Fuente: Elaboración propia

Por motivos de diseño se decide sobredimensionar la cámara OWC con el fin de garantizar la potencia estimada. Por ese motivo se decide trabajar con un ancho mínimo de $L = 1.0 \text{ m}$. Para calcular la potencia neta para el sistema OWC se utiliza la Ecuación 3.3:

$$P_{NETA} = P \cdot L [kW] \quad (3.3)$$

$$P_{NETA} = 31.29 \cdot 90\% \cdot 50\% \cdot 50\% \left[\frac{kW}{m} \right]$$

$$P_{NETA} = 8.82 \left[\frac{kW}{m} \right]$$

$$P_{NETA} = 8.82 \text{ kW}$$

De acuerdo con el **ANEXO C** se recolecta los siguientes datos en la Tabla 7, que es la potencia neta producida por el generador a 1500 rpm a una potencia de 7.5 kW:

Tabla 7: Datos de velocidad angular y potencia

Ω [RPM]	P_{NETA} [kW]
1500	7.5

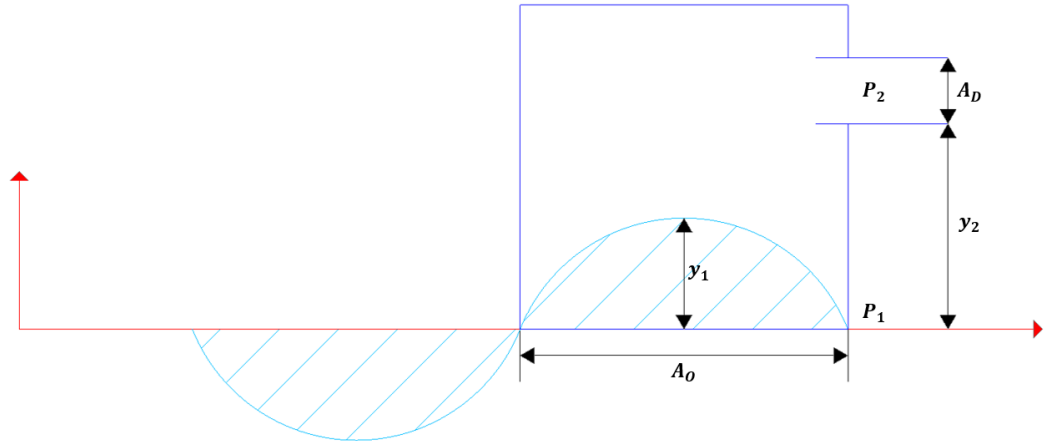
Fuente: Elaboración propia

De este modo, en el sistema OWC se está produciendo una potencia neta de 8.82 kW que cubre la demanda del generador eléctrico que es 7.5 kW

3.1.3. CALCULO DEL AREA DE OSCILACIÓN

La Figura 22, presenta el esquema preliminar de la posible distribución del sistema de columna de agua oscilante para emplear la turbina Wells, este esquema este sujeto a modificaciones conforme se diseñe y analice la cámara OWC.

Figura 22: Representación esquemática del sistema OWC



Fuente: Elaboración propia

Para calcular el desplazamiento vertical de la ola, se usa el criterio de (Santana Yáñez, 2008), dada la Ecuación 3.4 y los datos de la Tabla 4:

$$y = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (3.4)$$

$$\text{con } x = 0 \text{ y } t = \frac{T}{2} \rightarrow y = \frac{H}{2} \cos(\pi)$$

$$y_1 = \frac{1.691}{2} \cos(\pi) \rightarrow y_1 = 0.844 \text{ m}$$

Para calcular la velocidad vertical máxima en la ola se deriva la Ecuación 3.4 y se obtiene la Ecuación 3.5.

$$v_1 = \frac{\pi H}{T} \text{sen}\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \text{ para } t = \frac{T}{4} \quad (3.5)$$

$$v_1 = \frac{\pi \cdot 1.691}{4.97} \text{sen}\left(\frac{\pi}{2}\right) \rightarrow v_1 = 1.0689 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se aplica el principio de continuidad, según (Santana Yáñez, 2008), con densidad variable debido a la interacción de agua con aire en el sistema OWC con la Ecuación 3.6:

$$v_1 A_o = v_2 A_D \quad (3.6)$$

$$1.0689 \cdot A_o = 5 \cdot 1.1310 \rightarrow A_o = 5.29 \text{ m/s}$$

Usando la relación isentrópica, según (Santana Yáñez, 2008), con la Ecuación 3.7:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^\gamma = \left[\left(1 - \frac{A_o y_1}{V_o} - \frac{A_D y_1}{V_o}\right)^{-\gamma} - 1\right] \quad (3.7)$$

$$V_o = \frac{A_o y_1 + A_D y_1}{\left[1 - \left[\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^\gamma + 1\right]^{-\frac{1}{\gamma}}\right]} \rightarrow V_o = \frac{14.85 \cdot 0.844 + 1.131 \cdot 0.844}{1 - \left[\left(\frac{1.29}{1027}\right)^{1.4} + 1\right]^{-1/1.4}}$$

Donde:

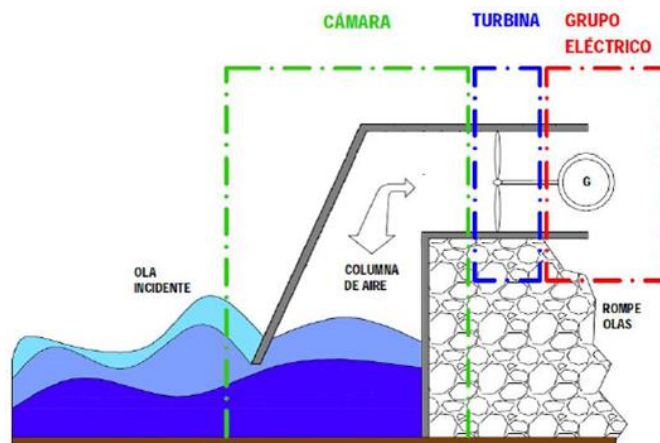
$$A_D = 1.1310 \text{ m}^2 ; y_1 = 0.844 \text{ m} ; \gamma = 1.4$$

$$\text{entonces } V_o = y_2 \cdot A_o$$

$$\text{Resultados: } A_o = 5.29 \text{ m}^2 ; V_o = 10.904 \text{ m}^3 ; y_2 = 2.061 \text{ m}$$

La Figura 23, es otro tipo de esquema para el diseño de la cámara OWC, este modelo es planteado por (García Caracas et al., 2016) donde la forma de la estructura del sistema OWC tiene una pendiente para la incidencia de las olas.

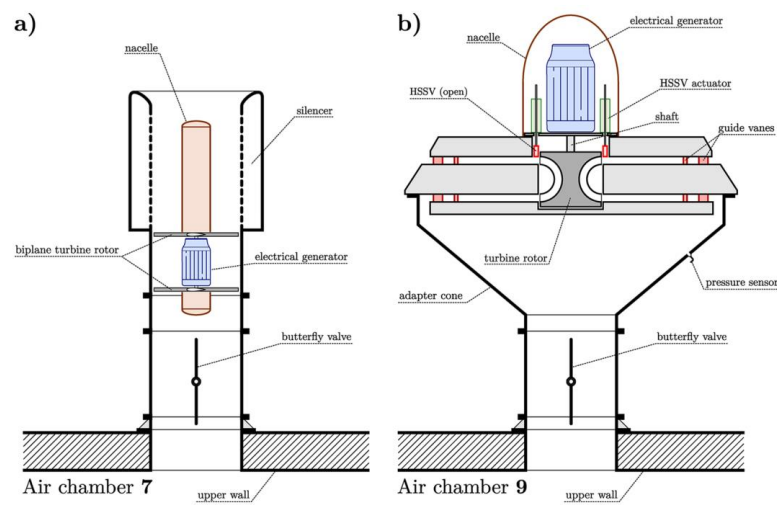
Figura 23: Representación esquemática de una central OWC



Fuente: (García Caracas et al., 2016)

La figura 24, muestra la distribución de la turbina Wells en la parte superior del sistema OWC. El modelo fue propuesto por (Gato et al., 2022) debido a la interacción fluido – estructura de modo que el flujo de aire al incidir de manera paralela permite una óptima velocidad del viento U .

Figura 24: Distribución del sistema OWC



Fuente: (Gato et al., 2022)

Para evaluar las dimensiones adecuadas para la estructura de la cámara en el sistema OWC, se procede a simular el comportamiento de las olas del mar de Matarani para entender la interacción ola – estructura en el presente trabajo de tesis, por ello se utiliza Ansys – Fluent, para simular en 2D como la propagación de las olas chocan el sistema OWC. La finalidad principal de la simulación en CFD de la estructura es calcular la velocidad del viento U dentro de la cámara circular en el sistema OWC. La simulación se realiza con la interacción de dos fluidos, que son el agua del mar y el aire a condiciones ambientales.

La Figura 25, muestra el rango de velocidades alrededor y dentro de la cámara de columna de agua oscilante, el rango va desde un mínimo de 0 m/s hasta 12 m/s , donde se aprecia que la velocidad del viento U en la entrada del ducto circular está dentro del rango 3.6 m/s hasta 6 m/s la velocidad dentro de la cámara OWC. De la misma manera se aprecia que la velocidad del viento U posee un rango constante a la salida del ducto circular, los valores de velocidad en el lugar de salida, oscila entre los valores de 3.6 m/s hasta 6 m/s .

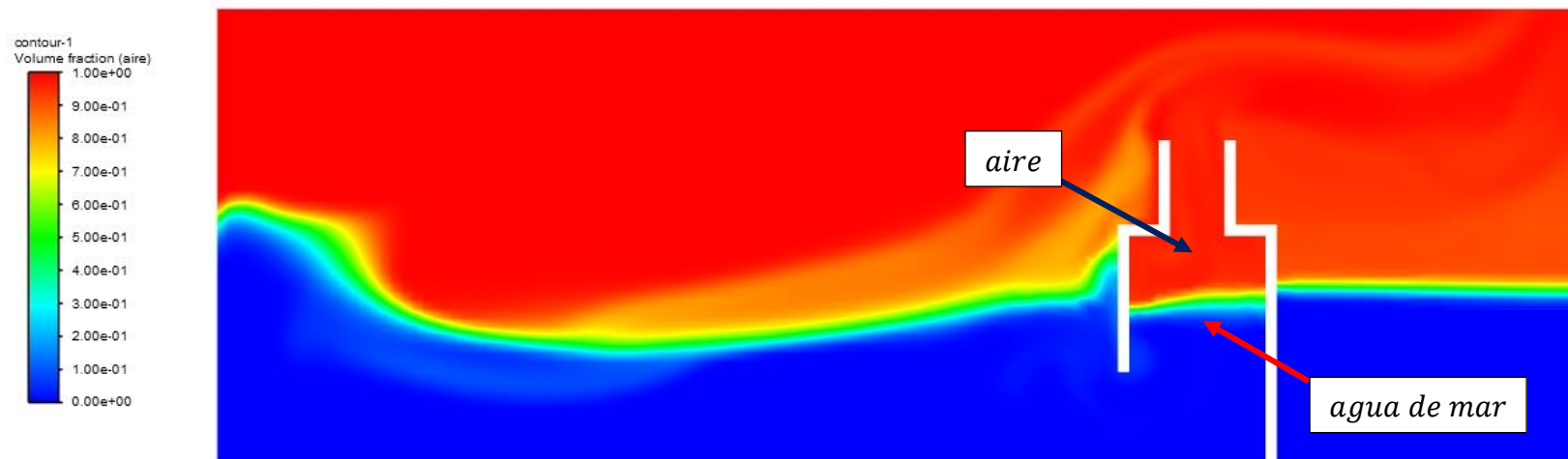
Figura 25: Velocidad de aire en el sistema OWC



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 26, señala el rango de velocidades del mar producto del oleaje de acuerdo con las condiciones iniciales del mar de Matarani durante el año 2022 analizados por medio de CFD, se aprecia que el rango de velocidades va desde 1 m/s hasta 10 m/s.

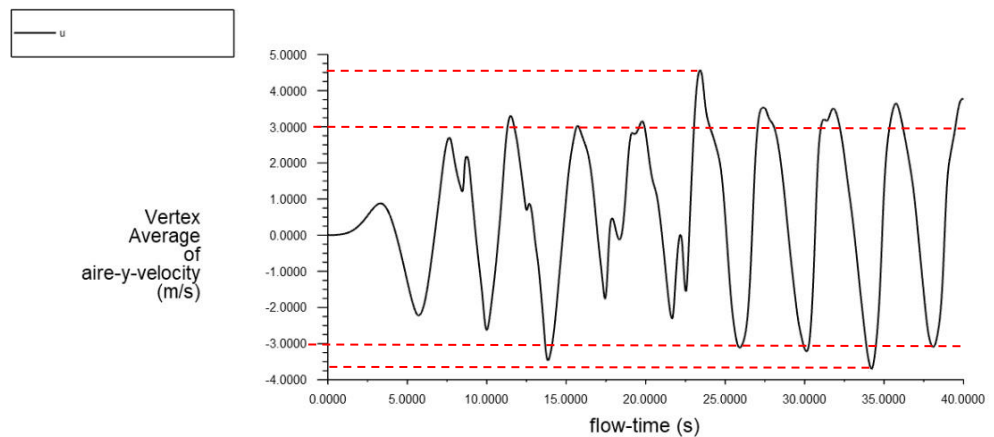
Figura 26: Velocidad de agua dentro del sistema OWC



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 27, indica el rango de velocidades U que alcanza la cámara donde se ubica la turbina Wells en un ciclo de operación, donde se aprecia valores positivos como negativos de velocidad del viento U , esto debido a que la cámara OWC utiliza los valores positivos del flujo de aire pertenecientes a la entrada del ducto circular en la cámara OWC y los valores negativos es el regreso del flujo de aire en la salida del ducto circular de la cámara OWC, de este modo se tiene un valor mínimo y máximo, de esta forma de toma el valor máximo como el valor de operación dentro del diseño de la WT.

Figura 27: Velocidad U en la entrada de la turbina Wells



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Tabla 8, presenta valores de acuerdo con el criterio de velocidad mínima igual a -4.75 m/s , la velocidad promedio de -3 m/s a 3 m/s , además del valor máximo de velocidad igual a 4.5 m/s . Para el presente trabajo de tesis se decide trabajar con una velocidad $U = 5 \text{ m/s}$ debido a que la velocidad del viento incrementa conforme este

pasa a través del ducto de la cámara OWC, donde se ubica la turbina Wells.

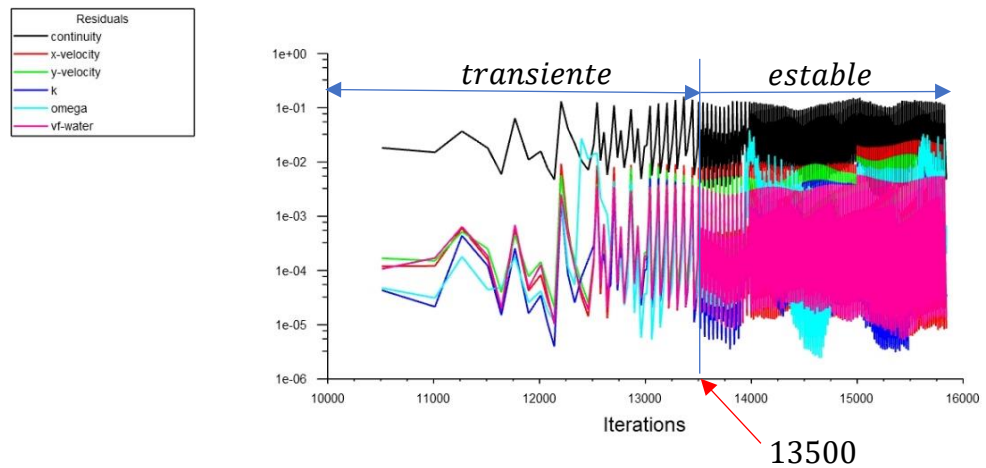
Tabla 8: Velocidad en ciclo de operación para OWC

<i>Fase</i>	$U_{mínimo}$ [m/s]	$U_{promedio}$ [m/s]	$U_{máximo}$ [m/s]
<i>ida</i>	0	3.0	4.5
<i>vuelta</i>	0	-3.0	-4.75

Fuente: Elaboración propia

La Figura 28, señala la convergencia de la simulación de la cámara de la columna de agua oscilante, se aprecia que a partir de las 13500 iteraciones el sistema empieza a converger validando el análisis numérico del sistema OWC.

Figura 28: Convergencia de la simulación en 13500 iteraciones



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

3.1.4. CONDICIONES DE DISEÑO

La Tabla 9, son valores del diseño preliminar de la WT en el que se emplea un perfil NACA 0015, el motivo de usar un diseño preliminar de WT es tener datos de referencia como la solidez y la similitud geométrica, el modelo obtenido es propuesto por (CURRAN & GATO, 1997).

Tabla 9: Diseño preliminar de turbina Wells

<i>Tipo de perfil NACA</i>	0015
<i>Diámetro exterior</i>	590 mm
<i>Diametro del cubo</i>	400 mm
<i>Cuerda</i>	125 mm
<i>Solidez (σ)</i>	0.64
<i>Velocidad de rotación</i>	2000 RPM
<i>Velocidad de corriente de aire</i>	9.30 m/s
<i>Caudal (Q)</i>	1.37 m ³ /s
<i>Caída de presión</i>	2.362 kPa
<i>Torque (T)</i>	7.35 N – m
<i>Potencia útil</i>	1.924 kW

Fuente: (CURRAN & GATO, 1997)

La Tabla 10, son valores adimensionales en el diseño de la WT propuesto por (CURRAN & GATO, 1997), son valores de referencia para una WT con perfil NACA 0015, de manera que la WT de la presente tesis debe tener valores adimensionales similares o cercanos.

Tabla 10: Parámetros adimensionales de diseño

ΔP_0^*	0.330
T^*	0.04
U^*	0.120
η	59.5%

Fuente: (CURRAN & GATO, 1997)

3.2. DISEÑO DEL SISTEMA

3.2.1. DATOS DE ENTRADA Y DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL

El primer paso para diseñar una turbina Wells es determinar el De , ya que nos brinda r_t , para ello por criterio de diseño, se toma como diámetro limite el valor usado en la Ecuación 2.6, por ello se designa como De el siguiente valor:

$$De = 1.0 \text{ m y } r_t = 0.5 \text{ m}$$

Para determinar la longitud de cuerda, se debe recurrir a la similitud geométrica, en el presente trabajo se emplea la similitud con la turbina Wells desarrollada por (CURRAN & GATO, 1997), en la Tabla 9, se obtienen la solidez y la relación de aspecto.

$$\sigma = 0.64 \text{ y } h^* = \frac{r_c}{r_t} = \frac{400}{590} = 0.67$$

Por criterio de diseño se emplea como número de alabes la siguiente cantidad:

$$B = 6$$

Por ende, para calcular la longitud de cuerda, según (Santa et al., 2019) se utiliza la Ecuación 3.8:

$$\sigma = \frac{B \cdot c}{\pi \cdot r_t \cdot (1 + h)} \quad (3.8)$$

$$0.64 = \frac{6 \cdot c}{\pi \cdot 0.5 \cdot (1 + 0.67)} \rightarrow c = 0.280 \text{ m}$$

Para hallar el radio del cubo, según (Santana Yáñez, 2008), se utiliza la Ecuación 3.9:

$$h^* = \frac{r_c}{r_t} \quad (3.9)$$

$$0.67 = \frac{r_c}{0.5} \rightarrow r_c = 0.335 \text{ m y } D_c = 0.67 \text{ m}$$

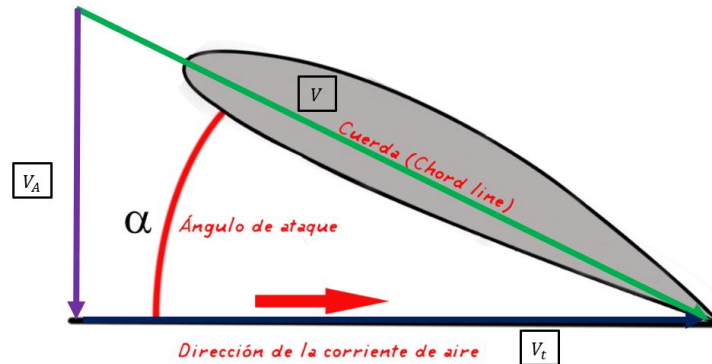
Por lo tanto, para calcular la velocidad rotacional inducida, según (Santana Yáñez, 2008), se utiliza la Ecuación 3.10:

$$U_t = \omega_t \cdot r_t \quad (3.10)$$

$$U_t = 1500 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow U_t = 78.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La Figura 29, esquematiza el triángulo de velocidades en torno a un perfil NACA, donde $V_A = U$ y $V_t = U_t$.

Figura 29: Velocidades en el perfil NACA0015



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Figura 25 y la Tabla 7 , se obtienen los siguientes datos:

$$U = 5 \frac{m}{s} ; \omega_t = 1500 \text{ RPM} ; r_t = 0.5 \text{ m}$$

Para hallar el ángulo de ataque se toma como referencia la Figura 29, y la Ecuación 3.10. De modo que se genera la siguiente relación trigonométrica dada en la Ecuación 3.11:

$$U = U_t \cdot \text{tg}(\alpha) \quad (3.11)$$

$$5 = 78.54 \cdot \text{tg}(\alpha) \rightarrow \alpha = 3.64^\circ \rightarrow \alpha \approx 4^\circ$$

3.2.2. SELECCIÓN DE PERFIL AERODINAMICO

En el diseño del perfil aerodinámico se procede a calcular de dos maneras, primero de manera manual y la segunda forma es por el uso de Airfoil tools como muestra la Figura 30, usando datos de la Figura 31. Para calcular el número de Reynolds, según el criterio de (Salueña Berna et al., 2015), se utiliza la Ecuación 3.12.

$$Re = \frac{\sqrt{(\omega_t \cdot r_t)^2 + (U)^2} \cdot c}{\nu} \tag{3.12}$$

$$Re = \frac{\sqrt{\left(1500 \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right) \cdot 0.5\right)^2 + (5)^2} \cdot 0.280}{1.5111 \cdot 10^{-5}} \rightarrow Re = 1458253.385$$

Figura 30: Cálculo de Número de Reynolds

Reynolds number calculator

Velocity	<input type="text" value="78.70"/>	m/s	176.05 mph	283.32 kph
Chord width	<input type="text" value="0.280"/>	m	0.91864 ft	11.024 in
Kinematic Viscosity	<input type="text" value="1.5111E-5"/>	m ² /s	1.627e-4 ft ² /s	
Reynolds Number	1,458,275			
<input type="button" value="Calculate"/>				

Reynolds number calculation

The Reynolds number is a dimensionless value that measures the ratio of inertial forces to viscous forces and describes the degree of laminar or turbulent flow. Systems that operate at the same Reynolds number will have the same flow characteristics even if the fluid, speed and characteristic lengths vary.

The Reynolds number is calculated from:

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} = \frac{v l}{\nu}$$

Where:

- v = Velocity of the fluid
- l = The characteristics length, the chord width of an airfoil
- ρ = The density of the fluid
- μ = The dynamic viscosity of the fluid
- ν = The kinematic viscosity of the fluid

Fuente: Airfoil Tools

Figura 31: Viscosidad Cinemática

Kinematic Viscosity				
Example kinematic viscosity values for air and water at 1 atm and various temperatures.				
Air				
Kinematic Viscosity m ² /s	°C	°F		
1.2462E-5	-10	14	<input type="button" value="Use"/>	
1.3324E-5	0	32	<input type="button" value="Use"/>	
1.4207E-5	10	50	<input type="button" value="Use"/>	
1.5111E-5	20	68	<input type="button" value="Use"/>	
Water				
Kinematic Viscosity m ² /s	°C	°F		
1.6438E-6	1	33.8	<input type="button" value="Use"/>	
1.267E-6	10	50	<input type="button" value="Use"/>	
9.7937E-7	20	68	<input type="button" value="Use"/>	

Fuente: Airfoil Tools

Se emplea el software XFOIL para seleccionar el tipo de perfil adecuado para la WT. En este caso se emplea el perfil NACA 0015 de acuerdo con la Tabla 9, debido a que se está utilizando el tipo de turbina empleado por (CURRAN & GATO, 1997). La Figura 32, muestra la configuración inicial que presenta XFOIL cuando se selecciona el perfil NACA 0015 simétrico.

Figura 32: Datos Iniciales para cálculo de perfil NACA

```
XFOIL  c>  naca 0015
Max thickness =    0.150043  at x =    0.300
Max camber    =   -0.000000  at x =    0.015

Buffer airfoil set using 331 points

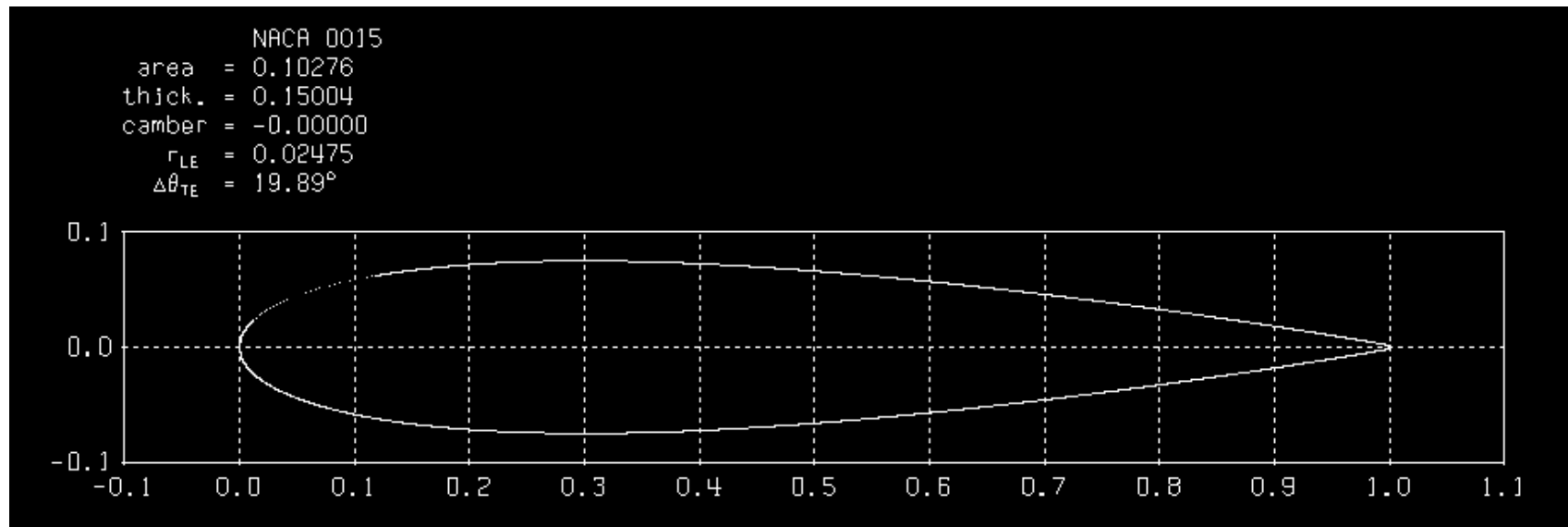
Blunt trailing edge.  Gap = 0.00315

Paneling parameters used...
Number of panel nodes      160
Panel bunching parameter   1.000
TE/LE panel density ratio  0.150
Refined-area/LE panel density ratio  0.200
Top   side refined area x/c limits  1.000 1.000
Bottom side refined area x/c limits  1.000 1.000
```

Fuente: XFOIL

A partir de la simulación numérica por medio del software XFOIL, la Figura 33 muestra el diseño preliminar para el perfil NACA 0015 debido a que solo se ingresó el número de Reynolds calculado en la Ecuación 3.12.

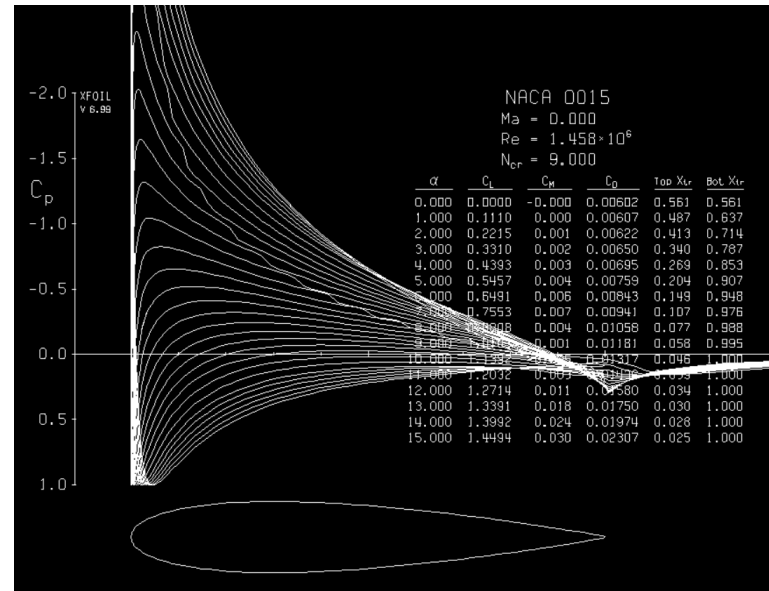
Figura 33: Diseño preliminar de perfil NACA 0015



Fuente: XFOIL

La Figura 34, presenta el cálculo numérico final para el tipo de perfil simétrico NACA 0015 y el número de Reynolds calculado en la Ecuación 3.12. Se observa los coeficientes de arrastre y sustentación de acuerdo con un ángulo de ataque cuyo rango es de 0° hasta 15° .

Figura 34: Calculo de Cd y Cl en perfil NACA 0015



Fuente: XFOIL

La figura 35, son datos generados por el programa XFOIL, que representa el reporte final de la simulación numérica donde se aprecia que, para un ángulo de ataque dado, existe un coeficiente de arrastre y un coeficiente de sustentación correspondiente. Para la presente tesis, se utiliza un ángulo de 4° , dicho valor fue calculado en la Ecuación 3.11, donde se tiene un coeficiente de arrastre $C_D = 0.00695$ y un coeficiente de sustentación $C_L = 0.4393$.

Figura 35: Datos generados por XFOIL para perfil NACA 0015

```

XFOIL          Version 6.99

Calculated polar for: NACA 0015

1 1 Reynolds number fixed      Mach number fixed

xtrf = 1.000 (top)      1.000 (bottom)
Mach = 0.000      Re = 1.458 e 6      Ncrit = 9.000

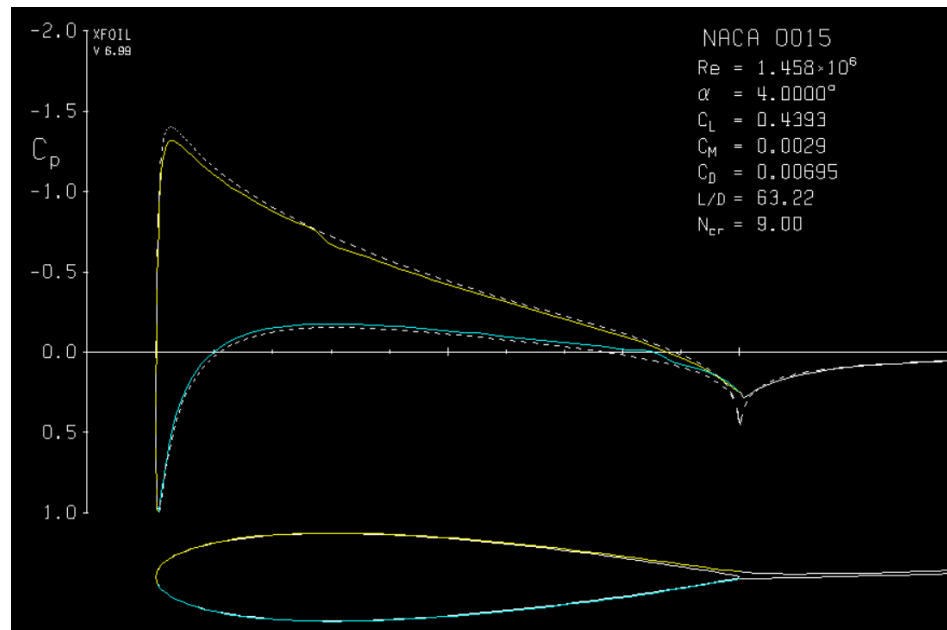
alpha  CL      CD      CDp      CM      Top_Xtr  Bot_Xtr
-----
0.000  0.0000  0.00602  0.00125  -0.0000  0.5614  0.5614
1.000  0.1110  0.00607  0.00129  0.0005  0.4866  0.6373
2.000  0.2215  0.00622  0.00144  0.0011  0.4127  0.7137
3.000  0.3310  0.00650  0.00170  0.0018  0.3399  0.7874
4.000  0.4393  0.00695  0.00209  0.0029  0.2694  0.8534
5.000  0.5457  0.00759  0.00262  0.0043  0.2042  0.9071
6.000  0.6491  0.00843  0.00329  0.0063  0.1488  0.9483
7.000  0.7553  0.00941  0.00408  0.0075  0.1073  0.9760
8.000  0.8808  0.01058  0.00507  0.0040  0.0772  0.9881
9.000  1.0103  0.01181  0.00619  -0.0005  0.0583  0.9949
10.000 1.1392  0.01317  0.00748  -0.0052  0.0460  0.9999
11.000 1.2032  0.01436  0.00867  0.0035  0.0394  1.0000
12.000 1.2714  0.01580  0.01014  0.0109  0.0341  1.0000
13.000 1.3391  0.01750  0.01192  0.0176  0.0305  1.0000
14.000 1.3992  0.01974  0.01429  0.0241  0.0275  1.0000
15.000 1.4494  0.02307  0.01778  0.0299  0.0251  1.0000

```

Fuente: XFOIL

La figura 36, representa la simulación final por medio de XFOIL para un perfil NACA 0015 y ángulo de ataque de 4° . A diferencia de la Figura 34 y la Figura 35, en este caso se evalúa la simulación para obtener valores de los coeficientes de arrastre y sustentación para un ángulo de ataque de 4° .

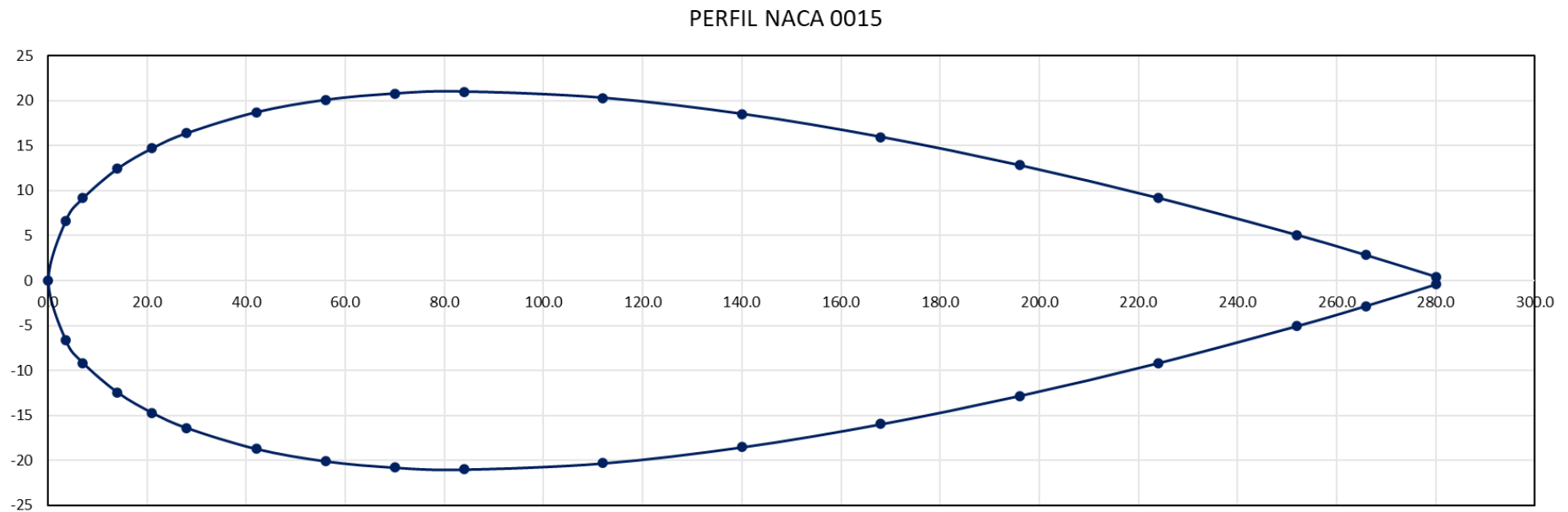
Figura 36: Calculo de C_d y C_l para 4° en perfil NACA 0015



Fuente: XFOIL

Para dimensionar el perfil aerodinámico NACA 0015, se tiene que utilizar la longitud de cuerda calculado en la Ecuación 3.7. Se adecua el perfil NACA 0015 con las dimensiones requeridas por la longitud de cuerda. La Figura 37, muestra el resultado del perfil NACA 0015 de la presente tesis.

Figura 37: Perfil NACA 0015 final

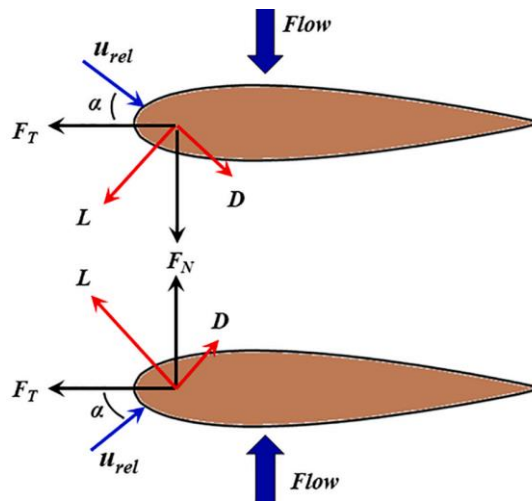


Fuente: Elaboración propia

3.2.3. FUERZAS AERODINAMICAS SOBRE EL PERFIL

La Figura 38, muestra las siguientes fuerzas: fuerza de sustentación L , la fuerza de de arrastre D , la fuerza en dirección del movimiento F_T y la componente vertical de la fuerza F_x , que actúan sobre la turbina Wells.

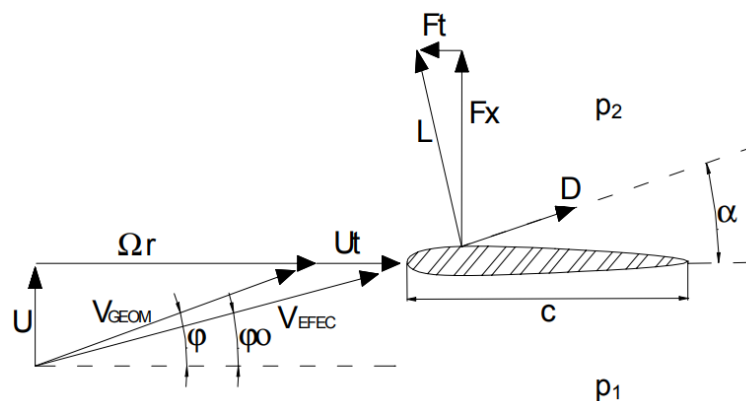
Figura 38: Distribución de Fuerzas en el alabe de turbina Wells



Fuente: (Das et al., 2022)

La Figura 39, esquematiza los ángulos asociados al alabe de la WT que son φ que es el ángulo asociado a U y $\Omega \cdot r_t$ y φ_0 que es el ángulo asociado a U y V_{EFEC} .

Figura 39: Fuerzas y ángulo asociados a alabe de turbina Wells



Fuente: (Santa et al., n.d.)

De manera preliminar, se procede a calcular el ángulo comprendido entre la velocidad del viento y la velocidad geométrica, de acuerdo con la Figura 39, mediante la Ecuación 3.13:

$$tg(\varphi) = \frac{U}{\Omega \cdot r_t} \quad (3.13)$$

$$tg(\varphi) = \frac{5}{1500 \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right) \cdot 0.5} \rightarrow \varphi = 3.64 \approx 4^\circ$$

De forma similar a la Ecuación 3.12, para calcular el ángulo asociado a la velocidad del viento y la velocidad efectiva, de acuerdo con la Figura 39, se calcula mediante la Ecuación 3.14:

$$tg(\varphi_o) = \frac{U}{\Omega \cdot r_t + U_t} \quad (3.14)$$

$$tg(\varphi_o) = \frac{5}{1500 \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right) \cdot 0.5 + 78.54} \rightarrow \varphi_o = 1.82 \approx 2^\circ$$

Para calcular el ángulo intermedio entre el ángulo utilizado en la Ecuación 3.13 y la Ecuación 3.14 se utiliza la Ecuación 3.15:

$$\alpha_1 = \frac{\varphi + \varphi_o}{2} \quad (3.15)$$

$$\alpha_1 = \frac{4^\circ + 2^\circ}{2} \rightarrow \alpha_1 = 3^\circ$$

En el caso de la velocidad geométrica, de acuerdo con la Figura 39, se utiliza la Ecuación 3.16:

$$V_{GEOM} = \sqrt{U^2 + (\Omega \cdot r_t)^2} \quad (3.16)$$

$$V_{GEOM} = \sqrt{5^2 + \left(1500 \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right) \cdot 0.5\right)^2} \rightarrow V_{GEOM} = 78.70 \text{ m/s}$$

La velocidad efectiva, de acuerdo con la Figura 39, se calcula mediante la Ecuación 3.17:

$$V_{EFEC} = \sqrt{U^2 + (\Omega \cdot r_t + U_t)^2} \quad (3.17)$$

$$V_{EFEC} = \sqrt{5^2 + \left(1500 \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right) \cdot 0.5 + 78.54\right)^2} \rightarrow V_{EFEC} = 157.16 \text{ m/s}$$

La fuerza de sustentación y arrastre necesitan de los coeficientes de arrastre C_D y sustentación C_L . Para un ángulo de ataque $\alpha = 4^\circ$ se tiene los siguientes valores:

$$Cl = 0.4393 \text{ y } Cd = 0.00695$$

Para calcular las fuerzas presentes en la turbina Wells se emplea las ecuaciones brindadas por (Santa et al., 2019):

La fuerza de sustentación utiliza los datos calculados en la Ecuación 3.8, la Ecuación 3.17 y la Figura 35 en la Ecuación 3.18:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{EFEC}^2 \cdot c \cdot C_L \quad (3.18)$$

$$L = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 157.16^2 \cdot 0.280 \cdot 0.4393 \rightarrow L = 1898.80 \text{ N}$$

La fuerza de arrastre utiliza los datos calculados en la Ecuación 3.8, la Ecuación 3.17 y la Figura 35 en la Ecuación 3.19:

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{EFEC}^2 \cdot c \cdot C_D \quad (3.19)$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 157.16^2 \cdot 0.280 \cdot 0.00695 \rightarrow D = 30.04 \text{ N}$$

La fuerza en dirección del movimiento se calcula utilizando la Ecuación 3.11, la Ecuación 3.18 y la Ecuación 3.19 en la Ecuación 3.20:

$$F_T = L \operatorname{sen}(\alpha) - D \operatorname{cos}(\alpha) \quad (3.20)$$

$$F_T = 1898.80 \cdot \operatorname{sen}(4^\circ) - 30.04 \cdot \operatorname{cos}(4^\circ) \rightarrow F_T = 102.49 \text{ N}$$

La componente vertical de fuerza se calcula utilizando la Ecuación 3.11, la Ecuación 3.18 y la Ecuación 3.19 en la Ecuación 3.21:

$$F_x = L \operatorname{cos}(\alpha) + D \operatorname{sen}(\alpha) \quad (3.21)$$

$$F_x = 1898.80 \cdot \operatorname{cos}(4^\circ) + 30.04 \cdot \operatorname{sen}(4^\circ) \rightarrow F_x = 1896.27 \text{ N}$$

El Torque total se calcula utilizando la Ecuación 3.15, la Ecuación 3.18 y la Ecuación 3.19 en la Ecuación 3.22:

$$T = r_t \cdot (L \cdot \operatorname{sen}(\alpha_1) - D \cdot \operatorname{cos}(\alpha_1)) \quad (3.22)$$

$$T = 0.5 \cdot (1898.80 \cdot \operatorname{sen}(3^\circ) - 30.04 \cdot \operatorname{cos}(3^\circ)) \rightarrow T = 34.69 \text{ N} - m$$

3.3. ECUACIONES DE DISEÑO

El diseño de la turbina Wells esta caracterizado por 4 parámetros adimensionales, según (Puddu et al., 2013), que son las siguientes:

a. COFICIENTE DE FLUJO

El coeficiente de flujo se calcula utilizando los datos de la Figura 25 y la Tabla 7 en la Ecuación 3.23:

$$U^* = \frac{U}{r_t \cdot \omega_t} \quad (3.23)$$

$$U^* = \frac{5}{0.5 \cdot 1500 \cdot \frac{2\pi}{60}} \rightarrow U^* = 0.06$$

b. COEFICIENTE DE TORQUE

El coeficiente de torque se calcula utilizando la Ecuación 3.22 y la Tabla 7 en la Ecuación 3.24:

$$T^* = \frac{T}{\rho \cdot \omega_r^2 \cdot r_t^5} \quad (3.24)$$

$$T^* = \frac{34.69}{1.25 \cdot \left(1500 \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right)\right)^2 \cdot (0.5)^5} \rightarrow T^* = 0.04$$

c. COEFICIENTE DE CAIDA DE PRESIÓN

Por similitud geométrica con el modelo de (CURRAN & GATO, 1997), se emplea la Tabla 10, de manera que el coeficiente de presión es:

$$\Delta P_o^* = 0.33$$

De manera que utilizando la Ecuación 2.1 se genera la Ecuación 3.25:

$$\Delta P_o = \Delta P_o^* \cdot \rho \cdot \omega_r^2 \cdot r_t^2 \quad (3.25)$$

$$\Delta P_o = 0.33 \cdot 1.25 \cdot \left(1500 \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right)\right)^2 \cdot (0.5)^2 \rightarrow \Delta P_o = 2544.51 \text{ Pa}$$

d. EFICIENCIA

El caudal que se calcula utilizando los datos de la Figura 35 y la Ecuación 3.6 en la Ecuación 3.26:

$$Q = U \cdot A_{ducto} \quad (3.26)$$

$$Q = 5 \cdot \pi \cdot (0.5)^2 \rightarrow Q = 3.93 \frac{m^3}{s}$$

La eficiencia se calcula utilizando la Ecuación 3.22, la Tabla 7, la Ecuación 3.25 y la Ecuación 3.26 en la Ecuación 3.27:

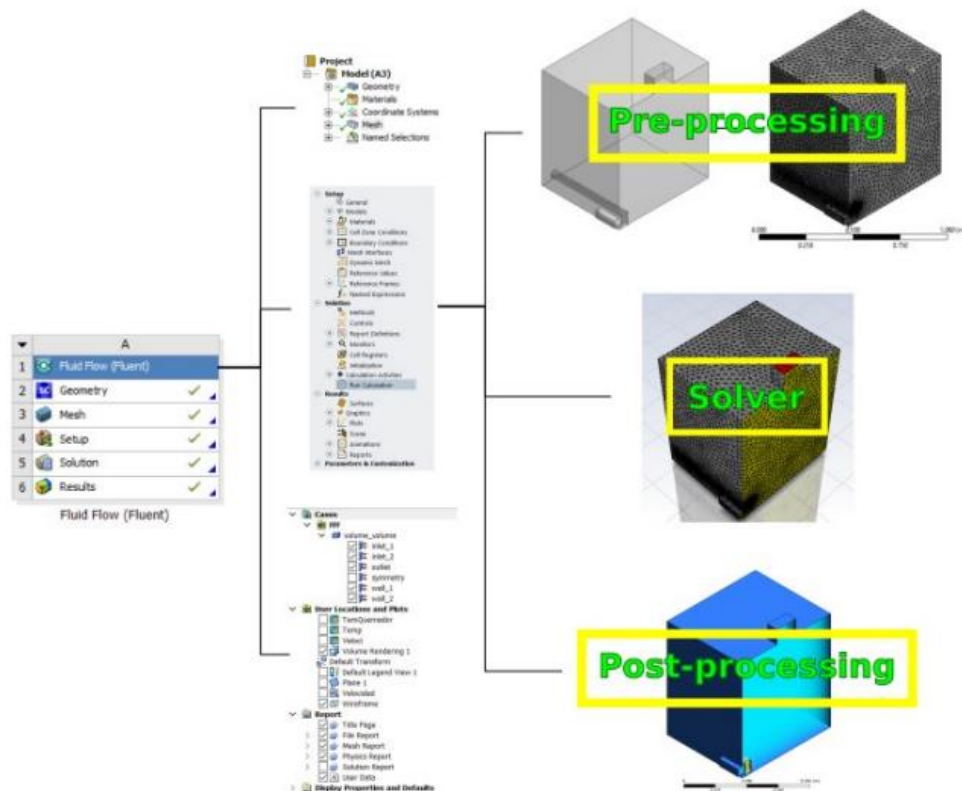
$$\eta = \frac{T \cdot \omega_r}{\Delta P_o \cdot Q} \quad (3.27)$$

$$\eta = \frac{34.69 \cdot 1500 \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right)}{2544.51 \cdot 3.93} \rightarrow \eta = 54.53\%$$

3.4. ANÁLISIS POR DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

La simulación mediante CFD se desarrolla con el software Ansys – Fluent. Todo proceso de simulación CFD consta de 3 etapas que son el pre – processing, solver y post – processing, estas etapas están compuestas por la geometría, emallado, condiciones de contorno, modelo de turbulencia y la visualización de resultados como se observa en La Figura 40. (Sarmiento Sarmiento & Sifuentes Sancho, 2020)

Figura 40: Etapas de simulación CFD

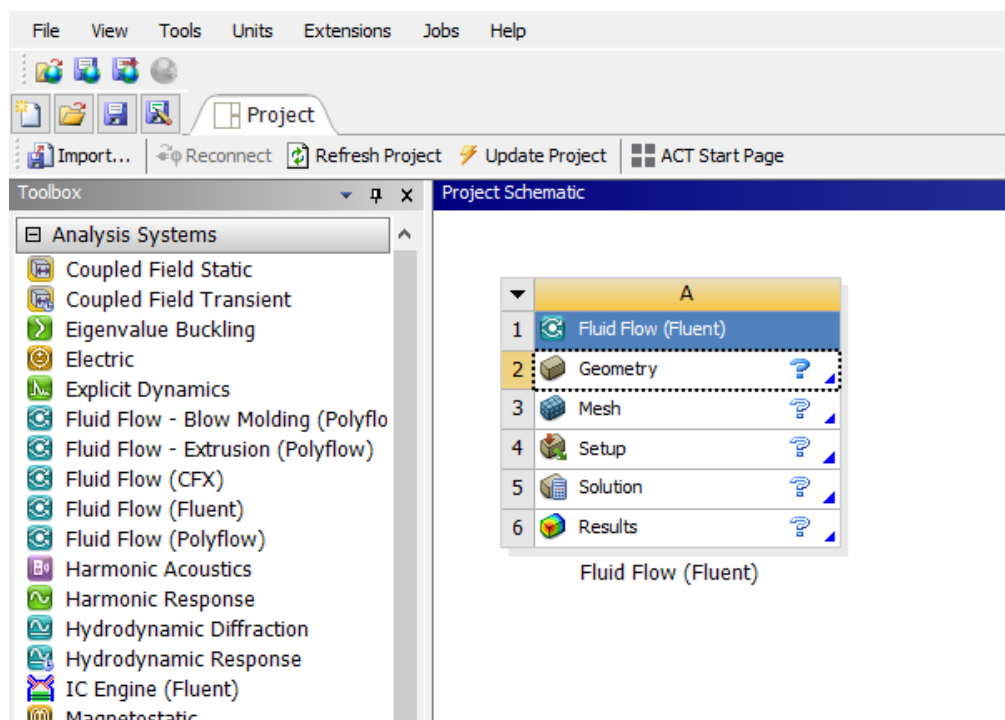


Fuente: (Sarmiento Sarmiento & Sifuentes Sancho, 2020)

3.4.1. PRE – PROCESSING

La etapa de pre – processing engloba la geometría y enmallado, una vez concluida la fase de diseño y análisis numérico tanto del sistema de columna de agua oscilante, así como el perfil NACA se pasa a la simulación CFD mediante el software Ansys – Fluent con la finalidad de analizar la interacción del flujo de aire con la WT dentro del ducto circular del OWC. La Figura 41, enfoca las fases que tiene que pasar todo modelo a analizar en Ansys – Fluent, la primera fase es geometry que inicia con la exportación de geometría y con ello definir las paredes geométricas como los limites rotativos y estáticos, así como el alcance que tienen a lo largo de la WT.

Figura 41: Fases para el análisis CFD en Ansys – Fluent

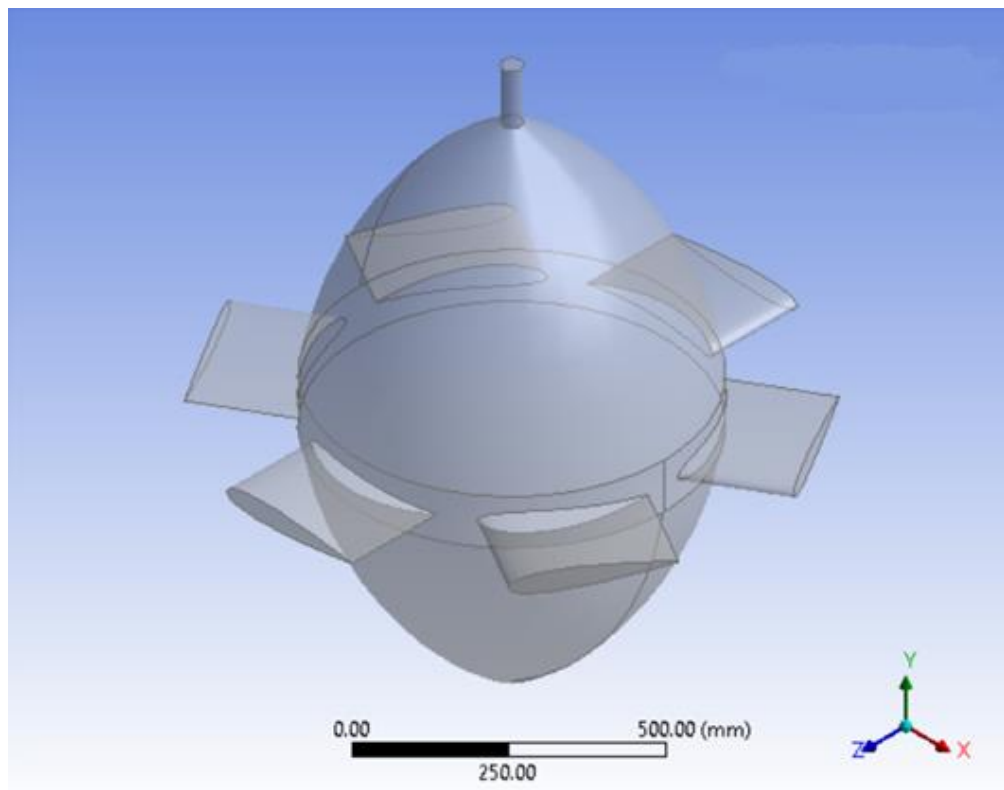


Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

a. GEOMETRY

En la sección Geometry en Ansys – Fluent se empieza importando la geometría con la opción “import external geometry” donde se importa la geometría en formato IGS, previamente se sugiere poner las unidades en milímetros en caso de que el diseño utilice medidas en milímetros, de acuerdo a la Figura 42, se exporta únicamente la geometría de la WT debido a que la cámara cilíndrica que corresponde a la pared estática, así como la pared rotativa donde se analizará en movimiento rotativo de la WT será diseñada dentro del Design Modeler del geometry.

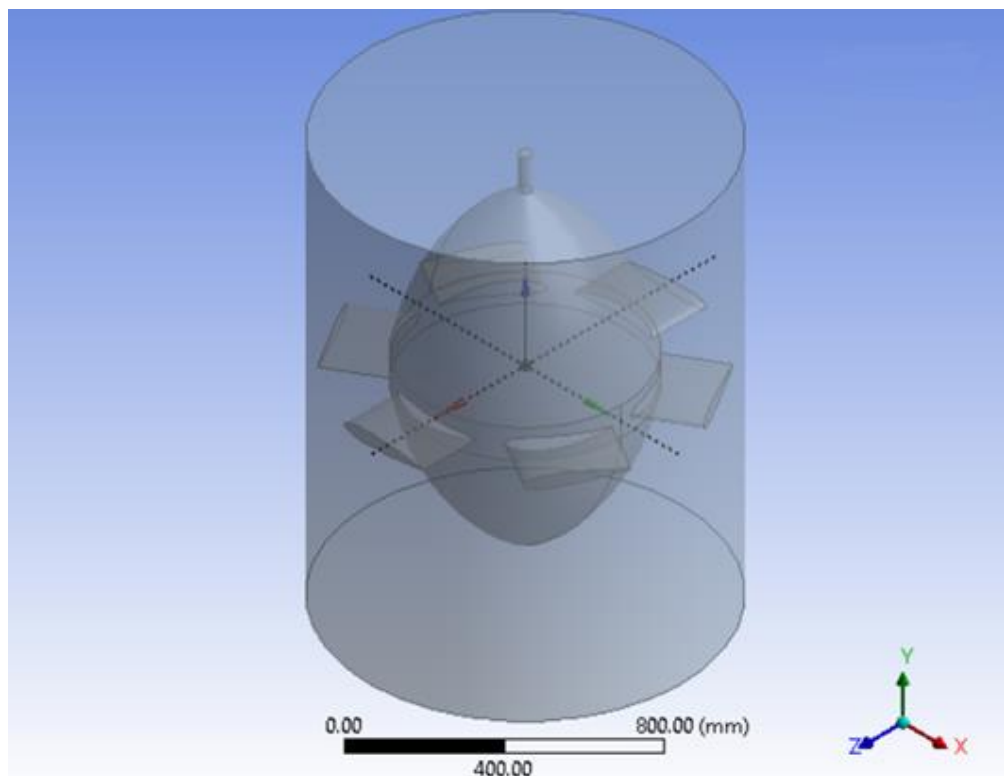
Figura 42: Importación de la geometría de la turbina Wells



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 43, representa la región rotativa generada, que representa el volumen de control rotativo, con un diámetro de 1100 mm y 800 mm de largo, debido a que en la región rotativa es lo más cerca que se puede generar en función del extremo de los alabes de la WT. Dicha región rotativa representa los límites en el cual el flujo de aire posee un comportamiento rotativo a cierta velocidad de giro de la WT, se genera lo más cerca posible a la WT para simular un comportamiento más cercano a la realidad.

Figura 43: Creación de la región rotativa

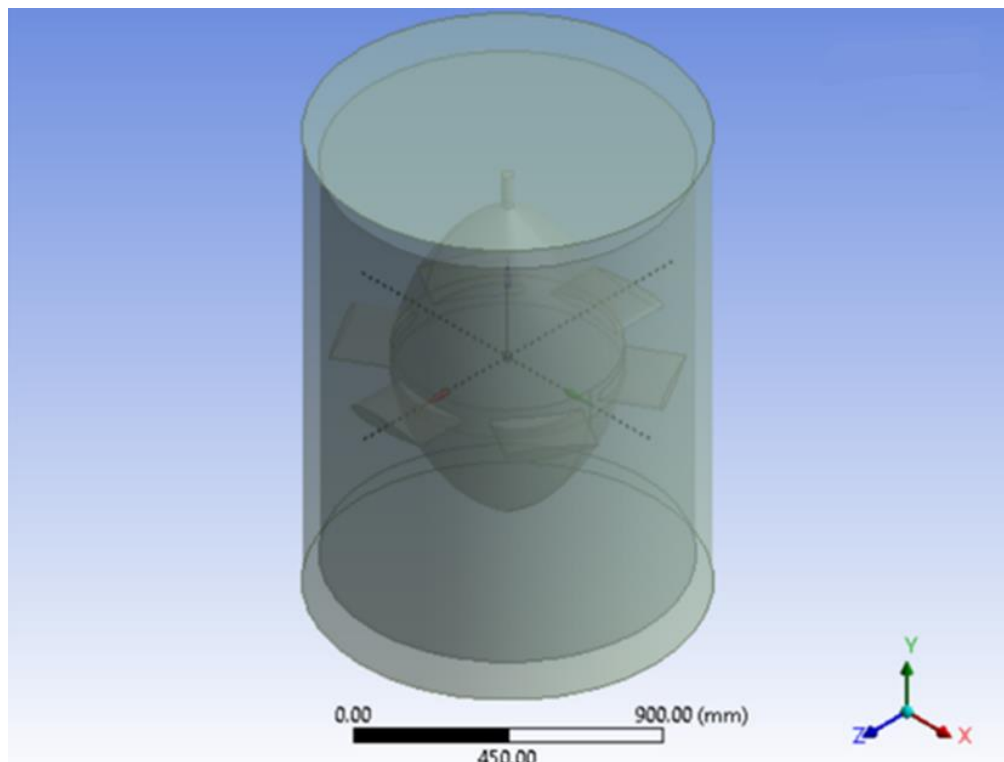


Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 44, expone la creación de la región estática que representa la región interior del ducto circular donde se ubica la WT, se ha

denotado como pared estática debido a que por esa región solo ingresa y sale el flujo de aire proveniente de la marea, en el Design Modeler se crea un cilindro con 1200 mm de diámetro y 1000 mm de largo con la finalidad de albergar tanto la WT, así como la región rotativa.

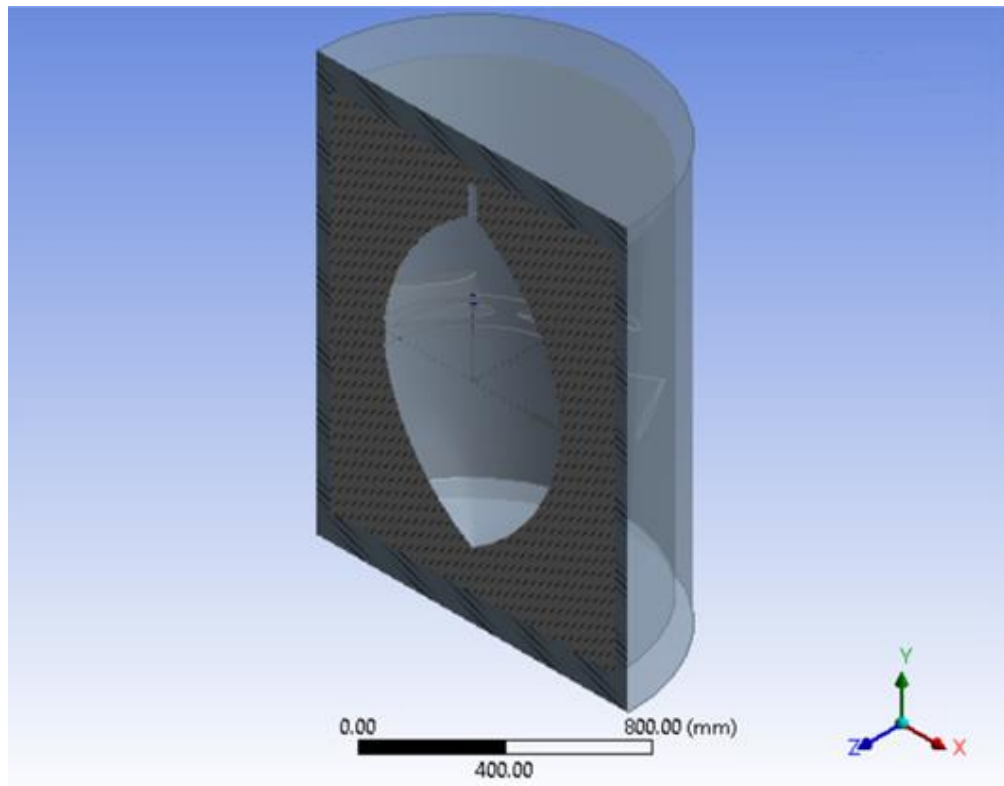
Figura 44: Creación de región estática



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 45, señala que para el análisis CFD con Ansys – Fluent se analiza las paredes, por ello se procede a suprimir el interior de la WT para generar un vacío que limita entre la WT y la pared rotativa con la función boolean, de la misma manera. Se procede a utilizar la función boolean entre la pared rotativa y la turbina Wells, pero en este caso se suprime el espacio que existe entre la pared rotativa y la pared estática.

Figura 45: Espacio generado entre la WT y la pared rotativa

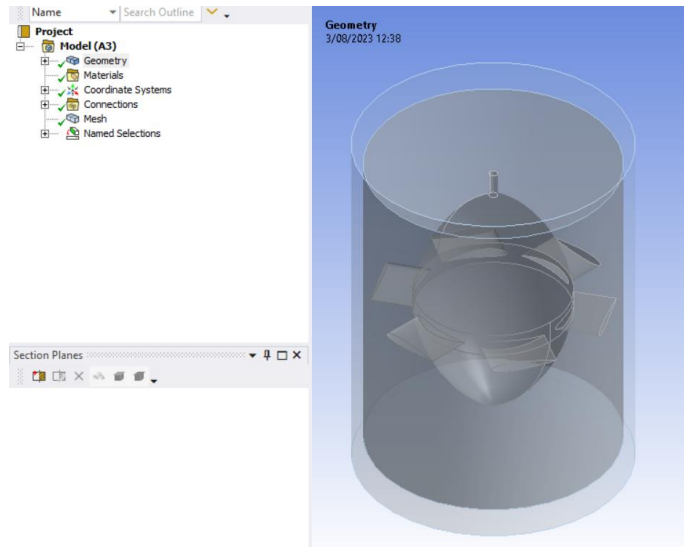


Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

b. MESH

La Figura 46, expone para el caso del mallado donde se utiliza una malla de la escala estándar que genera el programa mesh de Ansys con la finalidad de simular de manera más rápida la WT debido a que es un solo objeto para analizar y no requiere un mallado exhaustivo ya que solo se está simulando el comportamiento del viento dentro de la cámara OWC y WT.

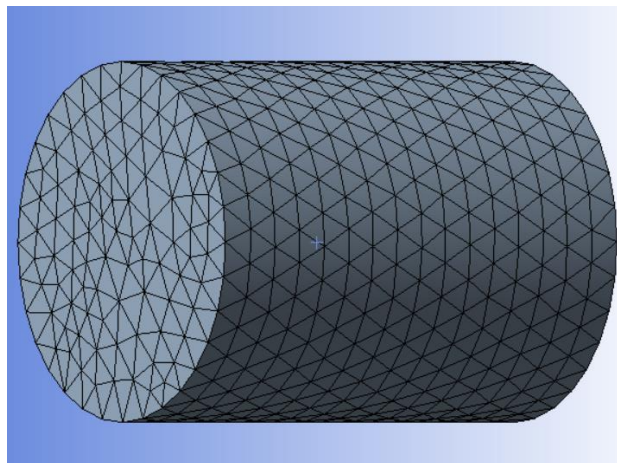
Figura 46: Generación del Meshing de la WT



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 47, señala el mallado regular generado en la pared estática del sistema OWC, se decide este tipo de mallado debido a la pared estática por donde pasa el flujo de aire, que limita con el vacío generado con la pared rotativa donde el flujo de aire tiene diferente comportamiento a comparación del flujo de aire a través de la pared estática.

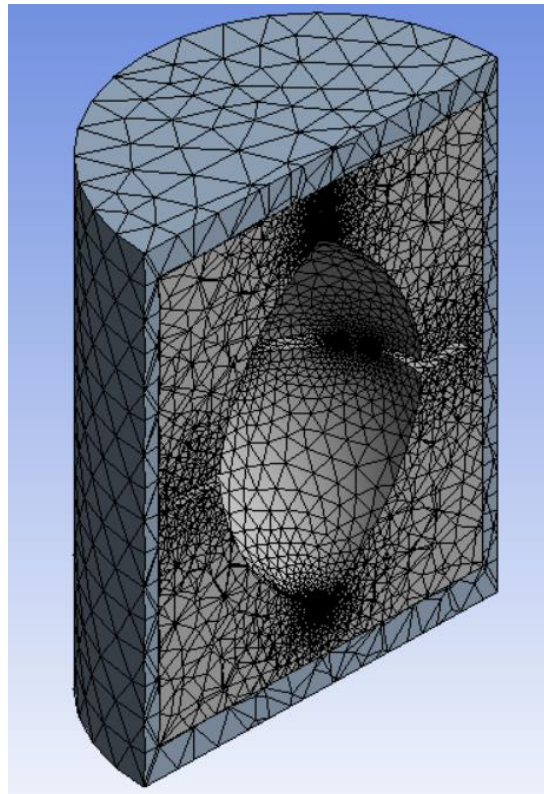
Figura 47: Mallado regular en la pared estática



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 48, expone el tipo de malla no estructurada en la pared rotativa debido a la complejidad de la geometría de la WT, además en la región rotativa se analiza el comportamiento del flujo de aire al interactuar con los alabes de la WT.

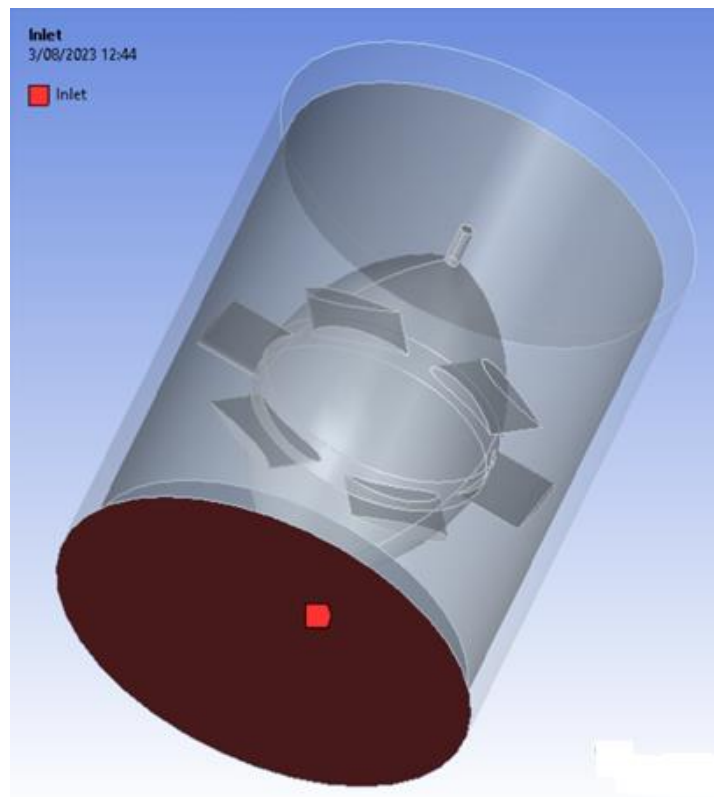
Figura 48: Mallado no estructurado en la región rotativa



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

Se nombra las paredes donde se van a introducir los datos iniciales como presión, velocidad del viento y velocidad angular. Por ejemplo, La Figura 49, muestra la ubicación del Inlet por donde ingresa la velocidad del viento $U = 5 \text{ m/s}$.

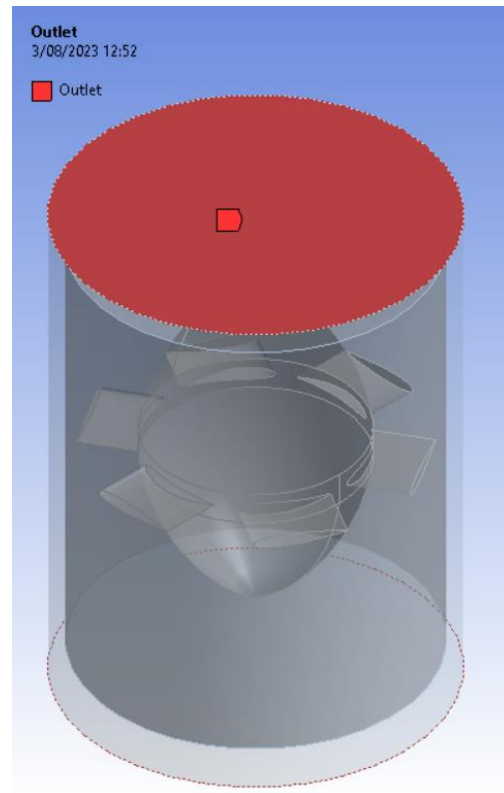
Figura 49: Designación del Inlet



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 50, muestra la zona por donde se ubica la diferencia de presión se llama Outlet debido a que la presión de entrada en el inlet es 1000 Pa , presión a condiciones ambientales, y la presión de salida es 2544.51 Pa . El outlet se representa en la parte superior del ducto circular del sistema OWC.

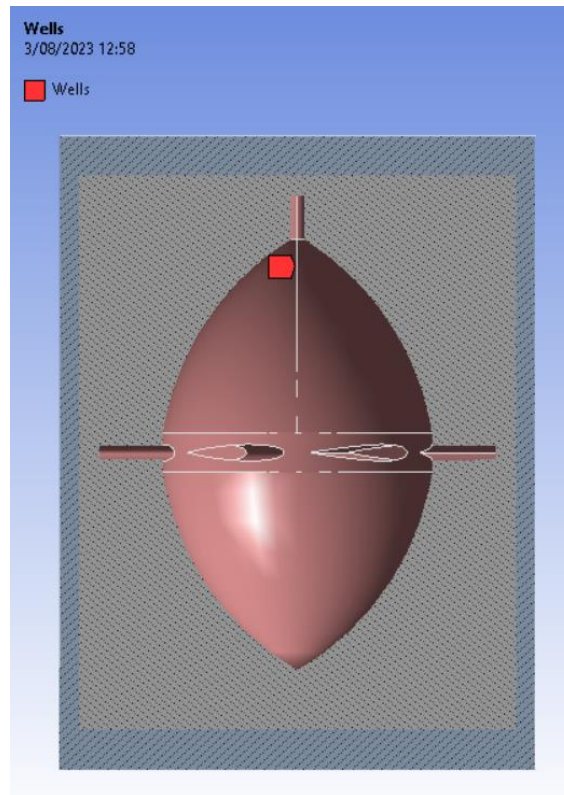
Figura 50: Designación del outlet



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

En la Figura 53, se presenta a la zona vacía generada por la diferencia de la pared rotativa y la WT con la finalidad de poner la velocidad rotativa en esa zona, se designa como Wells. Esto se debe a que se suprimió con la función Boolean la WT para generar límites de malla no estructurada con la pared rotativa, de este modo se estudia el comportamiento del flujo de aire al incidir con la superficie de la WT.

Figura 51: Designación de la turbina Wells



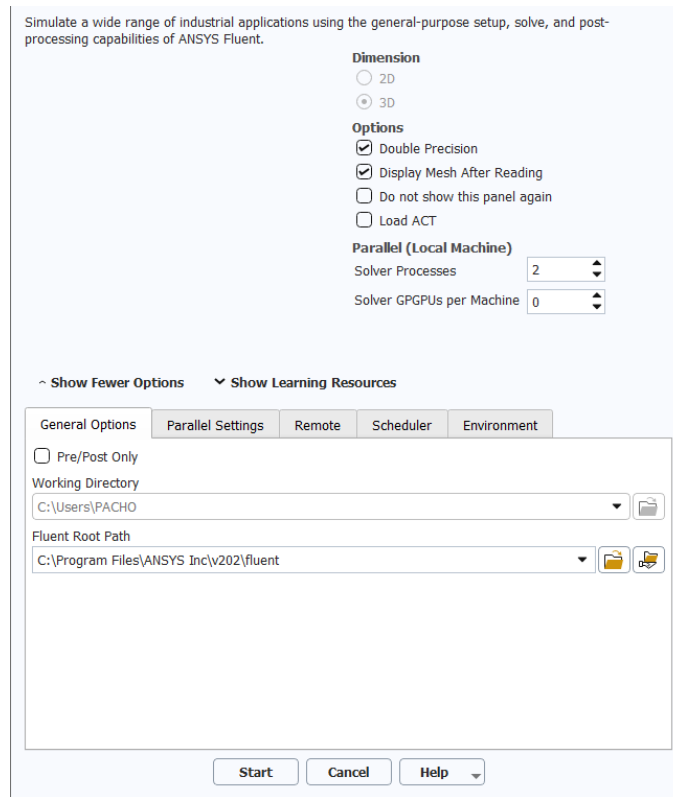
Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

3.4.2. SOLVER

a. SOLUTION

Una vez designada los nombres en el mesh de Ansys - Fluent como se muestra en la Figura 49, la Figura 50 y la Figura 51. Se procede a configurar el programa Fluent de ANSYS con la finalidad de simular la WT mediante CFD, para tal caso la Figura 52 señala el Launcher de Fluent donde se selecciona Double precisión y 2 para el solver processes para una mejor precisión a costa de un mayor costo computacional.

Figura 52: Configuración del Launcher en Ansys – Fluent

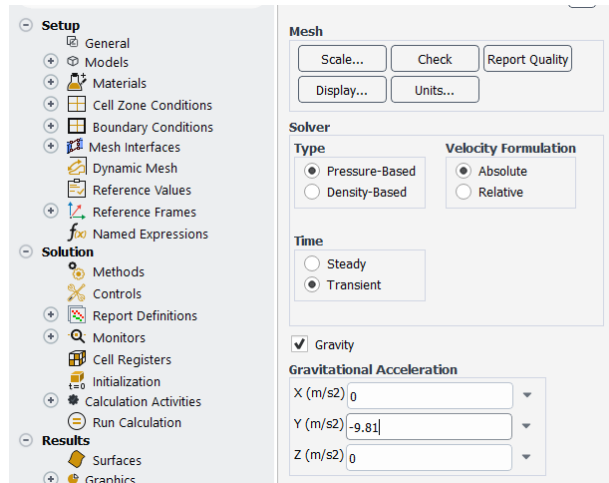


Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

b. SOLUTION

Una vez iniciado el Fluent se empieza con la configuración general, para la presente tesis la Figura 53 muestra que se propone un estudio bajo las siguientes condiciones un time – transient y gravity con un valor de la gravedad igual a 9.81 m/s y en el eje “Y” debido a que el ducto circular del sistema OWC se ubica de manera vertical.

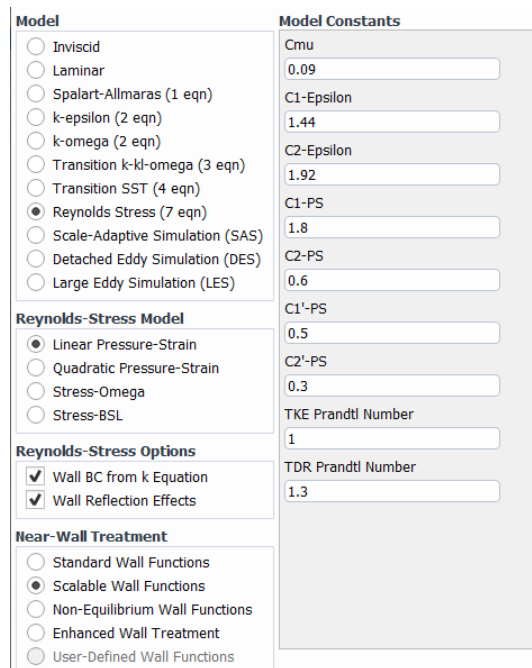
Figura 53: Configuración general del Fluent



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 54, señala que para el modelo de turbulencia se selecciona el modelo de Reynolds Strees (7 eqn) con la finalidad de obtener una convergencia más valores por analizar. Donde se aprecia que usa los valores constantes del modelo $k - \epsilon$ según (Ruiz Solorio, 2014)

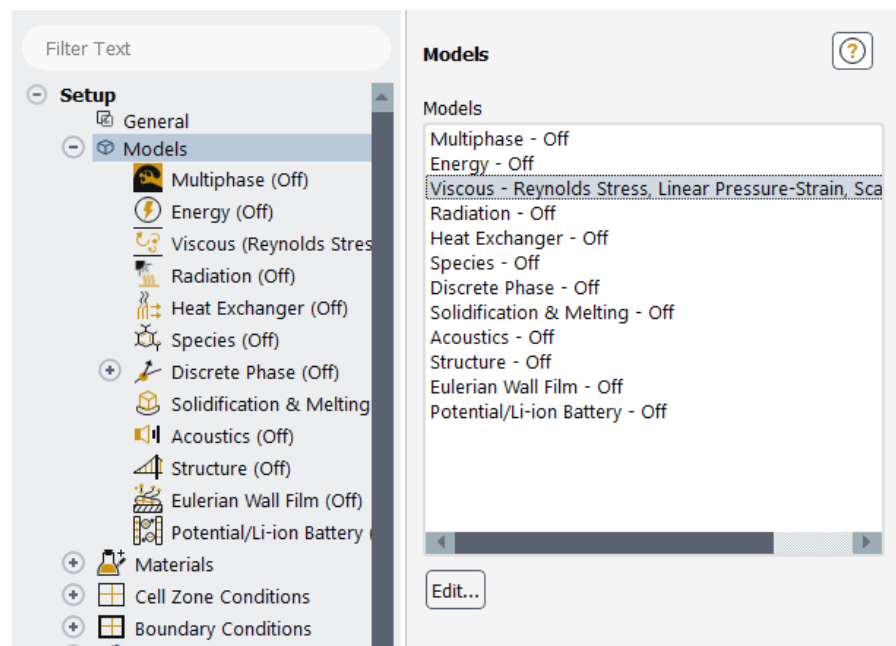
Figura 54: Configuración del tipo de modelo de turbulencia



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 57, señala la configuración de modelo de turbulencia viscoso y lineal debido a que se analiza en un proceso monofase, se entiende por proceso monofase a que solo se escoge un modelo de turbulencia para un fluido dentro del estudio CFD, para la presente tesis el fluido a estudiar es el.

Figura 55: Modelo de turbulencia



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 56, muestra la configuración de la velocidad de entrada del flujo de aire en la zona Inlet, el valor designado en la zona de entrada de aire del ducto circular es de $U = 5 \text{ m/s}$ correspondiente a la velocidad de la corriente de aire, este valor es el primer valor de condición inicial dentro de las condiciones de frontera. La Figura 57, expone la configuración de presión en la zona Outlet debido a que en esta zona presenta un incremento de presión con respecto a la presión

de entrada, el valor de presión de salida en la zona Outlet es de 2544.51 Pa.

Figura 56: Velocidad del viento en el Outlet

Velocity Inlet

Zone Name
inlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Velocity Specification Method: Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame: Absolute

Velocity Magnitude (m/s): 5

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal): 0

Turbulence

Specification Method: Intensity and Viscosity Ratio

Turbulent Intensity (%): 5

Turbulent Viscosity Ratio: 10

Reynolds-Stress Specification Method: K or Turbulent Intensity

Apply Close Help

Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

Figura 57: Parámetros iniciales de presión en Outlet

Pressure Outlet

Zone Name
outlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Backflow Reference Frame: Absolute

Gauge Pressure (pascal): 2544.51

Pressure Profile Multiplier: 1

Backflow Direction Specification Method: Normal to Boundary

Backflow Pressure Specification: Total Pressure

Prevent Reverse Flow

Radial Equilibrium Pressure Distribution

Average Pressure Specification

Target Mass Flow Rate

Turbulence

Specification Method: Intensity and Viscosity Ratio

Backflow Turbulent Intensity (%): 5

Backflow Turbulent Viscosity Ratio: 10

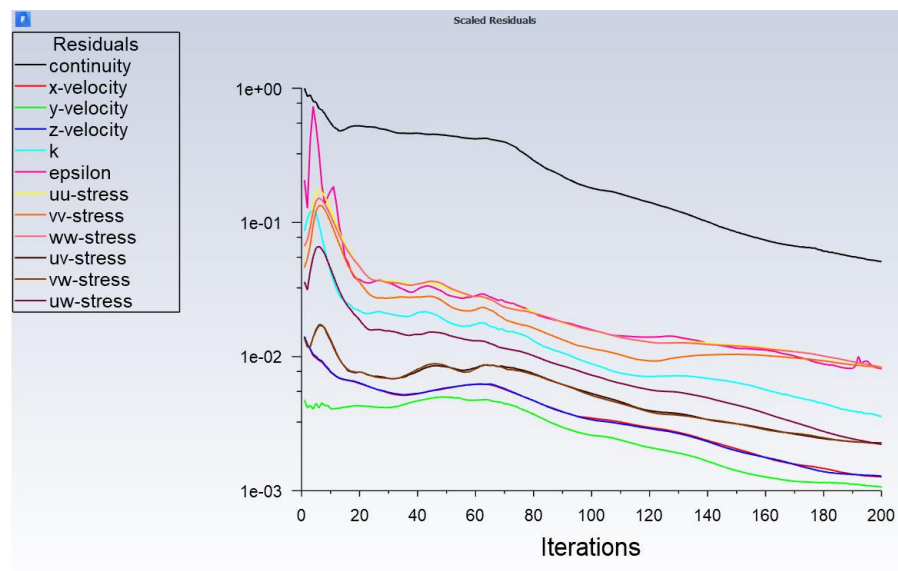
Reynolds-Stress Specification Method: K or Turbulent Intensity

Apply Close Help

Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

Una vez realizado toda la configuración con los parámetros requeridos, se procede a iniciar la simulación con 200 iteraciones debido al alto costo computacional y a la simplicidad del modelo, ya que la WT posee una geometría simple pero un mallado no estructurado. La Figura 58, presenta la convergencia de la simulación al llegar a las 200 iteraciones.

Figura 58: Convergencia de la simulación en Fluent



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

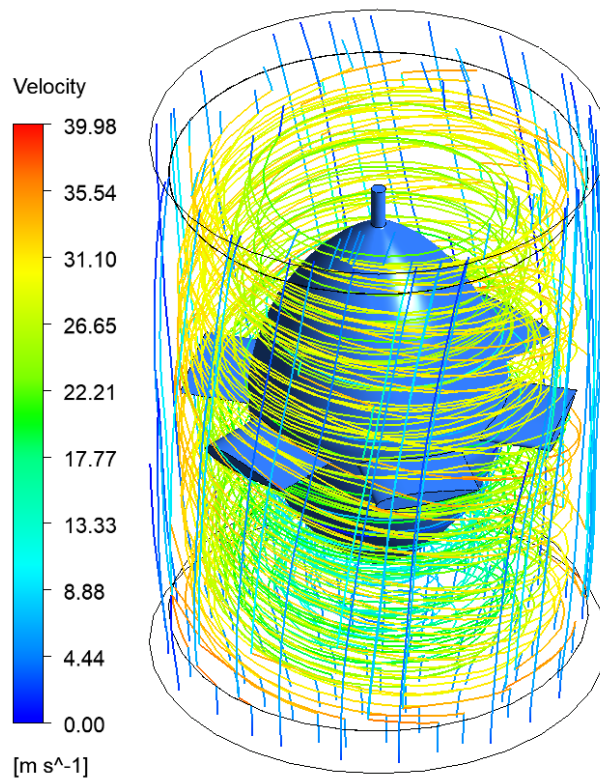
3.4.3. POST – PROCESSING

El post procesado, se observa el comportamiento del flujo de aire a través de la cámara donde se observa que el aire ingresa por el inlet de manera estática pero que al interactuar con la zona rotativa y la zona Wells aparece un movimiento de carácter rotativo cambiando la manera como se observa el flujo de aire, que es de carácter rotacional a lo largo de la turbina Wells pero que vuelve a ser estacionaria cuando interactúa con el outlet.

a. RESULTS

La Figura 59, muestra el comportamiento de la velocidad del viento a través de la pared rotativa y la pared estática, donde se observa el rango de velocidad que va desde 0 m/s hasta 39.98 m/s que se considera como 40 m/s . se observa el carácter estático del flujo de aire a la entrada y a la salida de la cámara cilíndrica del sistema OWC, por otra parte, se observa el carácter rotativo del flujo de aire alrededor de la WT. También se observa que el sentido de giro de la turbina es antihorario y la velocidad del viento está dentro del rango de velocidades de 22.21 m/s hasta 26.65 m/s en los extremos de los alabes.

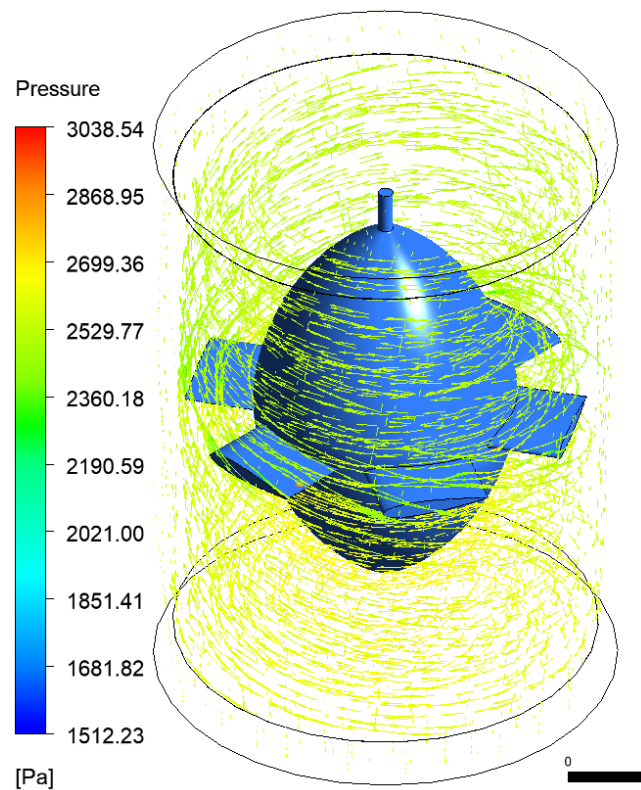
Figura 59: Velocidad del viento en la turbina Wells



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 60, expone el comportamiento de la presión a través de la pared rotativa y la pared estática, donde se observa el rango de velocidad que va desde $1512.23 Pa$ hasta $3038.54 Pa$. Se observa el incremento gradual de la presión en función de la longitud del ducto circular del sistema OWC, esto se debe al carácter rotativo de la turbina que genera un incremento de presión que es máximo en la salida del ducto. Por otra parte, se observa el cambio de presión a partir de la mitad de la turbina Wells, de modo que se observa el rango de presiones en todo el sistema que varía desde $2529 Pa$ hasta $2699.36 Pa$.

Figura 60: Distribución de Presión en la turbina Wells



Fuente: ANSYS

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS

4.1.1. DISEÑO FINAL DE LA TURBINA

El diseño final de la turbina Wells es producto del análisis numérico por medio del cálculo con fórmulas de diseño para la turbina Wells por ello la Tabla 11 recopila los datos que son resultado de los cálculos realizados en la presente tesis.

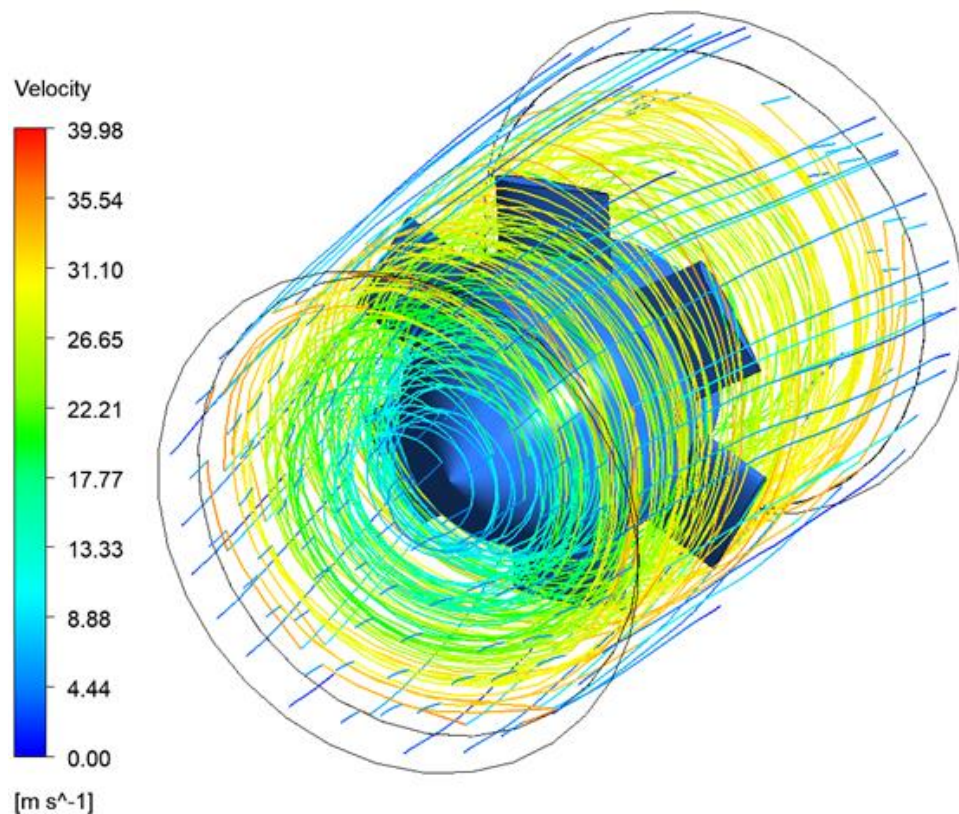
Tabla 11: Diseño final de Turbina Wells - NACA 0015

<i>Tipo de perfil NACA</i>	0015
<i>Diámetro exterior</i>	1000 mm
<i>Diametro del cubo</i>	680 mm
<i>Cuerda</i>	280 mm
<i>Solidez (σ)</i>	0.64
<i>Velocidad de rotación</i>	1500 RPM
<i>Velocidad de corriente de aire</i>	5 m/s
<i>Caudal (Q)</i>	3.93 m ³ /s
<i>Caída de presión ($P_1 - P_2$)</i>	2544.51 Pa
<i>Torque (T)</i>	34.69 N – m
<i>Potencia útil</i>	7.5 kW
<i>B número de alabes</i>	6
ΔP_0^*	0.330
T^*	0.04
U^*	0.06
η	54.53%

Fuente: Elaboración propia

La Figura 61, presenta el resultado final del postprocesamiento del software Ansys – Fluent, donde se observa el comportamiento del flujo, ya que en la zona del inlet ingresa con un valor de 5 m/s pero que al pasar a través de la cámara este valor se ve incrementado debido al movimiento rotativo de la turbina, ello genera un incremento sustancial de la velocidad. Cabe mencionar que este estudio se realizó en una sola dirección debido a que el viento retorna por la zona outlet de manera cíclica producto de la finalidad del sistema de columna de agua oscilante. Se observa que en la región rotativa tiene un rango de velocidad de aire que varía desde 13.33 m/s hasta 31.10 m/s .

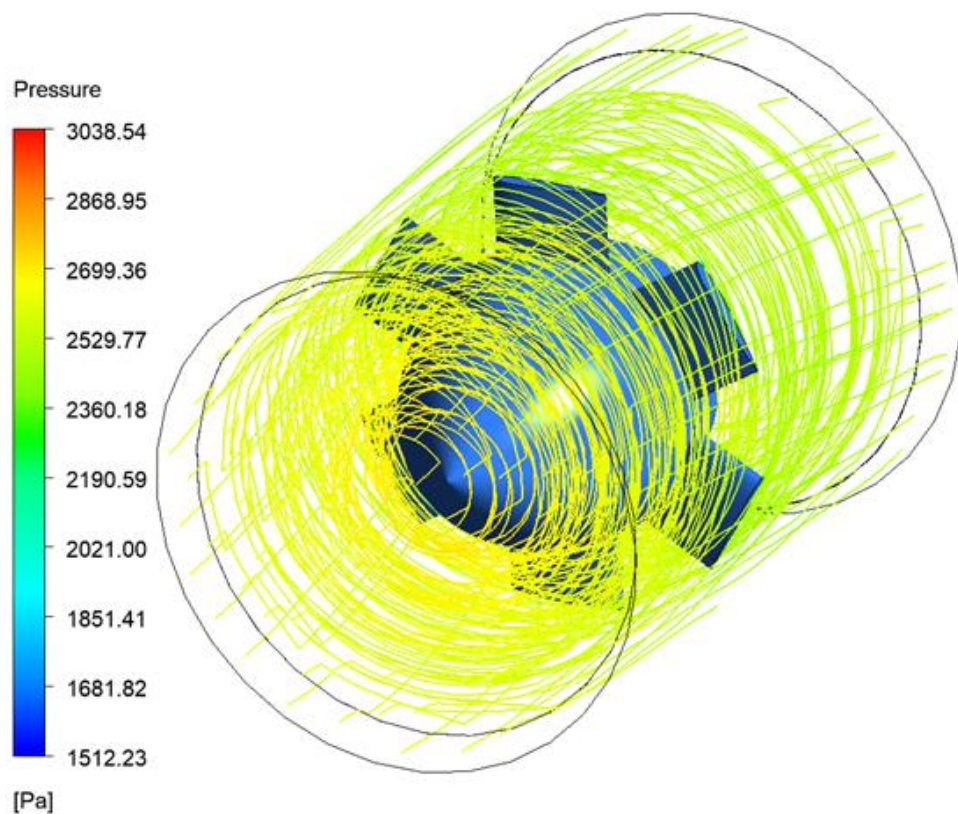
Figura 61: Comportamiento de la turbina Wells respecto a la velocidad



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 64, presenta el comportamiento y distribución de la presión del aire a través del ducto de la cámara OWC y la turbina Wells. Se observa que el rango de velocidad es de 2529.77 Pa hasta 2699.36 Pa , este rango, el cual está dentro del valor teórico de presión calculado es de 2544.51 Pa

Figura 62: Comportamiento de la turbina Wells respecto a la presión

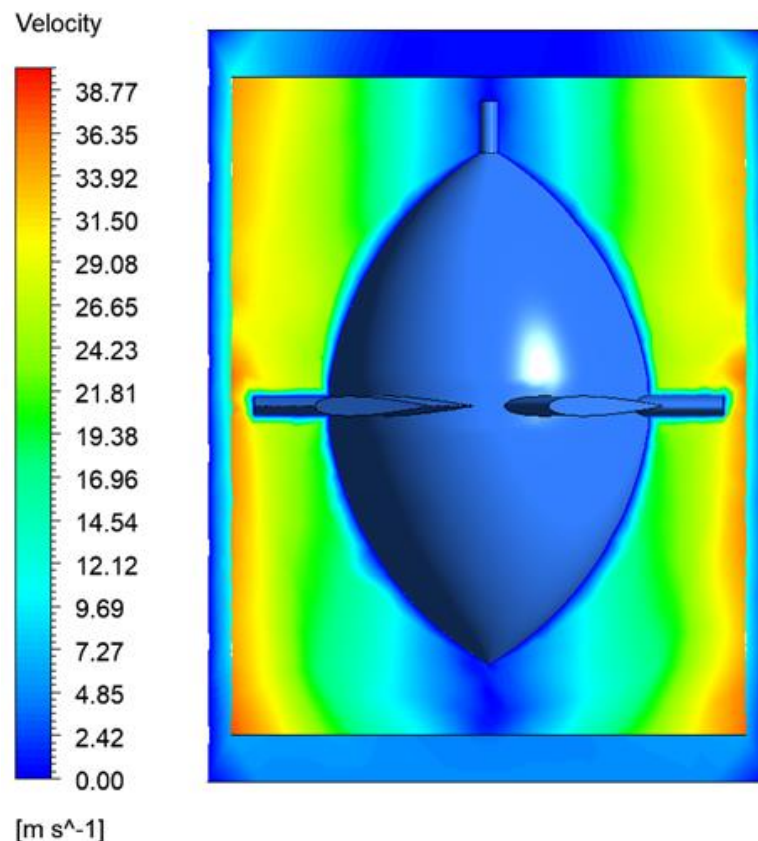


Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 63, expone la distribución de velocidad en base al plano $Y - Z$, para evaluar el comportamiento de la velocidad del viento a través de la turbina Wells, se aprecia al inicio de la cámara donde se ubica la turbina Wells es alrededor de $U = 5 \text{ m/s}$ y va incrementando

conforme se acerca a la mitad de la turbina, exactamente en la zona de los alabes debido a que es una zona crítica en movimiento rotativo por lo cual la velocidad del viento está dentro del rango de 24.23 m/s hasta 26.65 m/s . También, se observa que en la parte final de la cámara OWC, donde está la turbina Wells el viento sale con una velocidad alrededor de 2.42 m/s hasta 7.27 m/s de manera que el viento vuelve entrar con esa misma velocidad U .

Figura 63: Distribución de velocidad en plano Y - Z

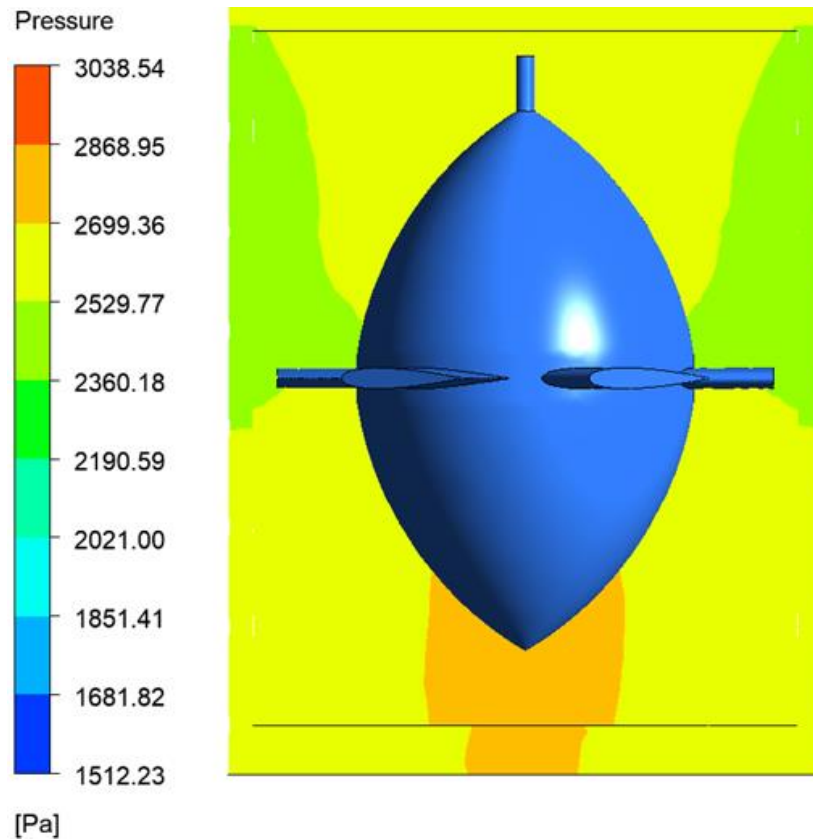


Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 64, presenta la distribución de la presión del aire donde el rango promedio de operación va desde 2360.18 Pa hasta 2699.36 Pa que demuestra el incremento de presión respecto a la condición de

entrada que es de 1000 Pa . También, se observa que a la salida del ducto circular del sistema OWC está dentro del rango 2529.77 Pa hasta 2699.36 Pa , este rango comprueba que la salida de presión concuerda con el valor teórico calculado de 2544.51 Pa

Figura 64: Distribución de presión en plano Y - Z

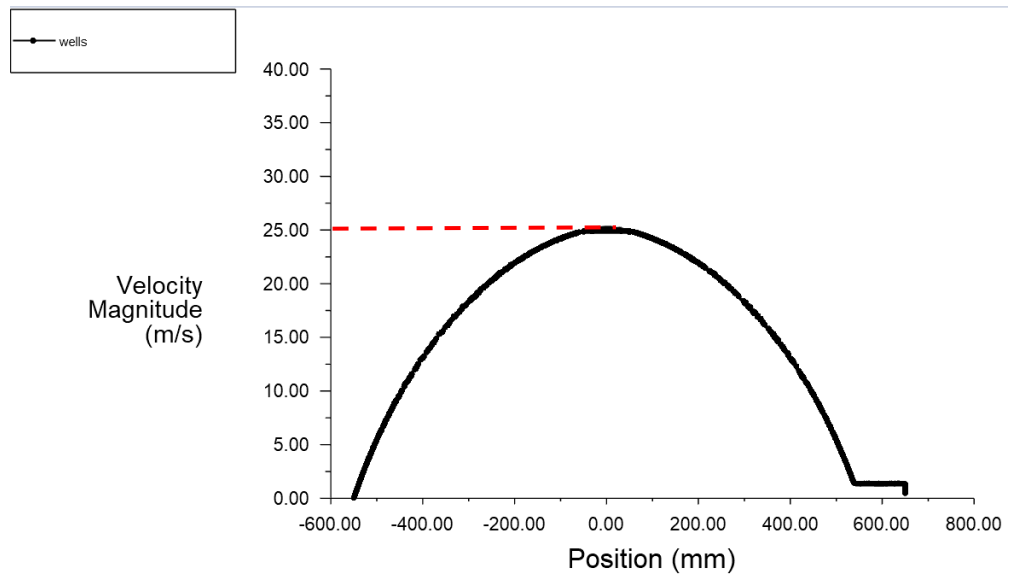


Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 65, es una gráfica que muestra el comportamiento de la velocidad respecto a la posición cuyo criterio se basa como punto de partida el inicio de la turbina Wells hasta la parte final de la turbina. Se aprecia que la velocidad del viento en el extremo del alabe es de 25 m/s en la zona media de la turbina Wells donde se ubican los alabes

de la turbina. Con ello se corrobora el rango de velocidades obtenido en la Figura 61 y la Figura 63.

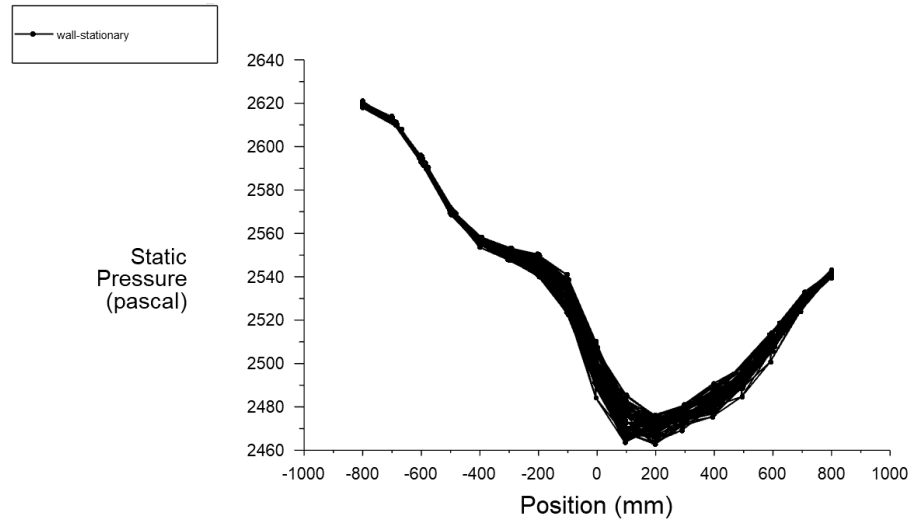
Figura 65: Grafica de Velocidad vs Posición



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

La Figura 66, es la gráfica entre la presión dentro del ducto de la cámara del sistema de columna de agua oscilante respecto a la posición que considera todo el largo de la turbina Wells. Se aprecia de la gráfica que el rango de presión va desde un mínimo de 2400 Pa hasta 2620 Pa , siendo la presión de salida del ducto igual a 2550 Pa , cercano al valor teórico obtenido en la Ecuación 3.24. Además, de estar dentro del rango de presiones similar al rango de presiones mostrados en la Figura 64.

Figura 66: Grafica de Presión vs Posición



Fuente: (ANSYS Inc., 2022)

CONCLUSIONES

En síntesis, se ha logrado culminar esta tesis logrando con éxito los objetivos propuestos, los cuales son enumerados a continuación.

1. La estimación de la velocidad del viento $U = 5 \text{ m/s}$ proveniente del oleaje se obtiene gracias al estudio y análisis numérico mediante las herramientas que ofrece la dinámica de fluidos computacional, por medio del software Ansys - Fluent, que permite obtener resultados cercanos a la realidad, que en el presente trabajo de tesis trae como consecuencia el cálculo de las dimensiones de la cámara del sistema de columna de agua oscilante y la selección del tipo de perfil NACA 0015 simétrico, por medio del software XFOIL, para la WT.
2. La potencia mecánica tiene relación con el torque y la velocidad angular, debido a que están ligados a datos que se obtienen en el análisis de dinámica de fluidos computacional tanto en la WT como la interacción del flujo de aire dentro de la cámara circular del sistema OWC. En la presente tesis se estimó la velocidad angular $\omega = 1500 \text{ rpm}$ gracias a la selección de un generador eléctrico, tal dato sirvió como punto de partida junto a la velocidad del viento $U = 5 \text{ m/s}$ para simular y estudiar el comportamiento del viento con respecto a la WT.
3. Se estudia la velocidad del viento, tomando como punto de partida los datos del oleaje y periodo durante todo el año 2022. De esta forma se estimó la potencia generada $P = 8.52 \text{ kW}$ por las olas y se

sobredimensionó la capacidad generada por la cámara con el fin de cumplir el requisito mínimo de $P_{NETA} = 7.5 \text{ kW}$. Dicho criterio se toma debido a que las estaciones del año producen diferente tipo de oleaje y periodo, para evitar producir menos potencia de la requerida se sobredimensiona la capacidad del sistema OWC.

4. La eficiencia de la WT es una consecuencia del análisis numérico de la WT, que da como resultado una eficiencia de $\eta = 54.53\%$ que representa una mejora de esta, ya que se maneja como mínimo de eficiencia un valor del 50%. La mejora depende de la temporada, el oleaje que presenta el mar de Matarani y las diferentes configuraciones en la geometría donde se ubica la cámara de la turbina Wells. Esto con la finalidad de obtener una mejor velocidad del viento $U = 5 \text{ m/s}$ que tiene como consecuencia un incremento en la eficiencia de la turbina.
5. La geometría de la turbina logra generar energía eléctrica en términos numéricos debido a que se propone un modelo aerodinámico cuyo comportamiento se aprecia en el presente trabajo de tesis, un indicador de factibilidad es la eficiencia $\eta = 54.53 \%$ de la WT que supera el 50%, la geometría de la turbina Wells depende en gran medida del lugar donde se va a implementar el sistema OWC ya que depende de la velocidad del viento $U = 5 \text{ m/s}$ y el tipo de perfil NACA 0015 simétrico.

RECOMENDACIONES

Complementariamente a partir de esta tesis se generan una serie de recomendaciones que ayudarán en las posibles investigaciones futuras.

1. Evaluar otros tipos de perfiles NACA simétricos o asimétricos con la finalidad de comparar distintos valores de C_l y C_d , ya que con ello se sentarían las bases de la optimización del modelo de turbina Wells dependiendo del tipo de oleaje y ubicación.
2. Definir de manera experimental el torque que se genera debido al movimiento rotativo de la turbina para conseguir distintos modos de operación con la finalidad de optimizar de manera real el diseño de la turbina Wells.
3. Calcular de manera experimental la velocidad del viento en la playa de Matarani para reducir el tiempo de cálculo mediante dinámica de fluidos computacional.
4. Analizar el cambio de oleaje por estaciones del año para evitar el sobredimensionamiento del sistema de columna de agua oscilante, con la finalidad de calcular el material necesario que se requiere para construir el sistema.
5. Evaluar otro tipo de opciones que aprovechen la velocidad del viento dentro de un sistema de columna de agua oscilante, tales como una turbina Darrieus o una turbina eólica dentro de la cámara del sistema de columna de agua oscilante con la finalidad de evaluar las eficiencias que presentarán con respecto a la turbina Wells.

6. Evaluar el diseño a escala de la turbina Wells por medio de un ducto circular adecuado. Además, de un generador de viento para evaluar el comportamiento de la turbina

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ANSYS Inc. (2022). ANSYS (R1).
- [2] Arroyo, I. (2016). *Optimización de factores para mejorar el rendimiento de turbina de eje vertical*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ.
- [3] Arrunategui, M. (2019). *Evaluación del potencial eólico en la zona costera de la provincia de Paita, Piura, Perú*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO.
- [4] Bloss, V. (2020). *Estudo do desempenho de um conversor de energia tipo coluna de agua oscilante utilizando um modelo computacional tridimensional e design construtal com tres graus de liberdade* [PROGRAMA DE POS - GRADUACAO EM ENGENHARIA MECANICA]. UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO SINOS - UNISINOS.
- [5] Castiella, A. (2013). *Diseño del modelo y control de un absorbedor puntual de columna oscilante de agua utilizado para la conversión de energía undimotriz*. UNIVERSIDAD PUBLICA DE NAVARRA.
- [6] Cengel, Y., & Cimbala, J. (2012). *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones* (P. Roig & A. Delgado, Eds.; 2nd ed.). McGraw Hill.
- [7] Chuquimamani, B. (2017). *Análisis de la variación del perfil alar en una turbina eólica de baja potencia*. UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTIN DE AREQUIPA.
- [8] Ciappi, L., Cheli, L., Simonetti, I., Bianchini, A., Talluri, L., Cappietti, L., & Manfrida, G. (2022). Wave-to-wire models of wells and impulse turbines for oscillating water column wave energy converters operating in the

Mediterranean Sea. *Energy*, 238, 121585.
<https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2021.121585>

- [9] CURRAN, R., & GATO, L. M. C. (1997). The energy conversion performance of several types of Wells turbine designs. *IMechE*, 1–13.
- [10] Das, T. K., Kerikous, E., Venkatesan, N., Janiga, G., Thevenin, D., & Samad, A. (2022). Performance improvement of a Wells turbine through an automated optimization technique. *Energy Conversion and Management: X*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100285>
- [11] Díaz, A. (2000). *Método de mallado y algoritmos adaptativos en dos y tres dimensiones para la resolución de problemas electromagnéticos cerrados mediante el método de los elementos finitos* [DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES]. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
- [12] Domínguez, J. (2019). *Generador eléctrico magnetohidrodinámica para el aprovechamiento de la energía de oleaje* [ENERGIA - PROCESOS Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA]. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
- [13] ESSS. (2016, June 24). *Dinámica de fluidos computacional ¿qué es?* Blog ESSS.
- [14] Fernandes, C. (2020). *Estudo numerico de um conversor coluna de agua oscilante atraves do metodo design construtal* [PROGRAMA DE POS - GRADUACAO EM ENGENHARIA MECANICA]. UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS RINOS - UNISINOS.
- [15] García Andrés, M. (2020). *Influencia de las condiciones de contorno para diferentes geometrías de eyector integrados en ciclos de refrigeración*

[MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA AERONAUTICA].
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.

- [16] Garcia Caracas, G. J., García Regodeseves, P., & Santolaria Morros, C. (2016). *Modelado numérico del flujo en una turbina Wells mediante CFD*.
- [17] Garcia, G. (2020). *Modelado numérico del flujo en una turbina Wells mediante CFD* [MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA ENERGETICA]. UNIVERSIDAD DE OVIEDO.
- [18] García, M. (2016). *Análisis de un sistema OWC twin turbines con turbinas radiales* [Trabajo Fin de Máster]. Universidad de Oviedo.
- [19] Gato, L. M. C., Henriques, J. C. C., & Carrelhas, A. A. D. (2022). Sea trial results of the biradial and Wells turbines at Mutriku wave power plant. *Energy Conversion and Management*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115936>
- [20] Iturrioz Eceiza, A. (2014). *Modelado numérico de sistemas de extracción de energía del oleaje basados en la tecnología de columna de agua oscilante* [PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGIAS PARA LA GESTIÓN DE LA COSTA]. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.
- [21] Kumar, T., Halder, P., & Samad, A. (2017). Optimal design of air turbines for oscillating water column wave energy systems. *The International Journal of Ocean and Climate Systems*, 8, 1–13.
- [22] Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas* (2nd ed.). EDICIONES DEL CASTILLO S.A.

- [23] Negrete Correa, D. U. (2016). *Desarrollo de un modelo numérico para la simulación de procesos hidráulicos*. INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTIFICA Y TECNOLOGICA.
- [24] Paraguay, J. (2021). *Selección óptima de la turbina hidráulica para el aprovechamiento del recurso hidro energético de la minicentral hidroeléctrica de la CC.NN. Betania*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ.
- [25] Puddu, P., Paderi, M., & Manca, C. (2013). Aerodynamic characterization of a wells turbine under bi-directional airflow. *68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association*, 1–10.
- [26] Ring, P. (2021). *Teoría lineal de oleaje - ejercicios de aplicación - ingeniería de costas*. Youtube.
- [27] Rodrigues, A. (2019). *Estudo do ganho de rendimento de uma turbina hidraulica de fluxo reversivel do tipo wells dotada de sistema diretor de pas fixas, aplicada em centrais maremotrizes [MESTRE EM ENGENHARIA HIDRICA - AREA DE CONCENTRACAO GERACAO HIDROELETRICA]*. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBA.
- [28] Rodrigues Simões, M. (2009). *Simulação computacional de escoamento turbulento em compressor axial utilizando ferramenta de CFD*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [29] Rodriguez, L. (2018). *Diseño, construcción y optimización de turbinas hidro cinéticas de ríos y canales para generación de energía eléctrica*. UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA.

- [30] Ruiz Solorio, G. (2014). Modelos de turbulencia en mecánica de fluidos computacional. *XXII CONGRESO NACIONAL DE HIDRAULICA*, 1–5.
- [31] Salueña Berna, X., Ortiz Marzo, J. A., & Raso Bautista, A. (2015). Diseño y fabricación de un prototipo a pequeña escala de una turbina de aire, para el aprovechamiento de la energía marina, a bajo coste mediante técnicas de prototipado rápido. *II CONGRÉS UPC SOSTENIBLE 2015*, 1–9.
- [32] Santa, A., Lozano, M., & Pinilla, A. (2019). Generación de energía eléctrica con turbinas Wells. *Departamento de Ingeniería Mecánica Uniandes, Bogotá-Colombia*, 1–9.
- [33] Santa, A., Lozano, M., & Pinilla, A. E. (n.d.). *Generación de energía eléctrica con turbinas Wells*.
- [34] Santana Yáñez, R. G. (2008). *Diseño de conversor de energía de olas de mar 1 kW de potencia* [Escuela de ingeniería civil mecánica]. Universidad Austral de Chile.
- [35] Sarmiento Sarmiento, E., & Sifuentes Sancho, J. F. (2020). *Análisis experimental y simulación numérica de un horno a gas natural para rostizado de carnes con dispositivos de cambio de dirección de flujo para la mejora de la eficiencia térmica*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- [36] Venturelli, A. (2016). *Diseño energético de turbina de impulso auto-rectificantes de 15 w para ensayos de laboratorio*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.

- [37] Villacrés, A. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo de turbina Wells para la generación de energía* [INGENIERÍA MECÁNICA]. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- [38] Widmann, E., Schanz, J., Rohlfes, M., & König, O. (1999). *WINDFINDER*.

ANEXOS

**ANEXO A: TABLA DE OLEAJE DEL LA PLAYA DE MATARANI EN EL AÑO
2022.....1**

**ANEXO B: TABLA DE PERIODOS DEL LA PLAYA DE MATARANI EN EL
AÑO 2022.....16**

**ANEXO C: TABLA DE POTENCIA DE MOTOR SINCRONICO DE 1500 RPM
.....31**

ANEXO D: CONVERGENCIA DE PERFIL NACA 0015 EN XFOIL.....32

FECHA	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h
13/2/22	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
14/2/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
15/2/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
16/2/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
17/2/22	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6
18/2/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4
19/2/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
20/2/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
21/2/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
22/2/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
23/2/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
24/2/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3
25/2/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
26/2/22	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2
27/2/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
28/2/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
1/3/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8
2/3/22	2	2	2	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
3/3/22	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1
4/3/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
5/3/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
6/3/22	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8
7/3/22	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2	2
8/3/22	2	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
9/3/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
10/3/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
11/3/22	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2	2	2.1	2.1
12/3/22	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
13/3/22	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8
14/3/22	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
15/3/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
16/3/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7
17/3/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6
18/3/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
19/3/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3
20/3/22	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6
21/3/22	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
22/3/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
23/3/22	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
24/3/22	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2	2	2	2	2	2
25/3/22	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2
26/3/22	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3
27/3/22	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2	2	2	2	2	2	1.9	1.9
28/3/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
29/3/22	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9
30/3/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7
31/3/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1
1/4/22	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3
2/4/22	2	2	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8
3/4/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

FECHA	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h
24/5/22	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
25/5/22	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2	2	2	2	2	2
26/5/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
27/5/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
28/5/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6
29/5/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
30/5/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
31/5/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
1/6/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
2/6/22	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
3/6/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4
4/6/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
5/6/22	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
6/6/22	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7
7/6/22	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
8/6/22	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
9/6/22	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2	2	2	2	2	2.1
10/6/22	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
11/6/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9
12/6/22	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8
13/6/22	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
14/6/22	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2	2
15/6/22	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
16/6/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
17/6/22	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
18/6/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
19/6/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
20/6/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
21/6/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
22/6/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
23/6/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
24/6/22	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2
25/6/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
26/6/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
27/6/22	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7
28/6/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9
29/6/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
30/6/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
1/7/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
2/7/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
3/7/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5
4/7/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
5/7/22	2	2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4
6/7/22	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
7/7/22	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
8/7/22	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7
9/7/22	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4
10/7/22	2	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5
11/7/22	1.7	1.8	1.9	1.9	2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4
12/7/22	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1

FECHA	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h
13/7/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2
14/7/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
15/7/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
16/7/22	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6
17/7/22	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3
18/7/22	2.1	2.1	2	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
19/7/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
20/7/22	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7
21/7/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
22/7/22	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8
23/7/22	1.9	1.9	2	2	2	2	2	1.9	2	2	2	1.9	1.9
24/7/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
25/7/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
26/7/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
27/7/22	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5
28/7/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2	2.1	2.1	2.2	2.2
29/7/22	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3
30/7/22	2.1	2.1	2.1	2	2	2	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9
31/7/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
1/8/22	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
2/8/22	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2	2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2
3/8/22	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1
4/8/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7
5/8/22	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
6/8/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
7/8/22	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8
8/8/22	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
9/8/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8
10/8/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
11/8/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
12/8/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
13/8/22	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9
14/8/22	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
15/8/22	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
16/8/22	2.9	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4
17/8/22	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3	3	3
18/8/22	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3
19/8/22	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
20/8/22	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3
21/8/22	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8
22/8/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
23/8/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
24/8/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2
25/8/22	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.9
26/8/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
27/8/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
28/8/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7
29/8/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2	2	2	2	2.1
30/8/22	2	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8
31/8/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

FECHA	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h
21/10/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
22/10/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
23/10/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
24/10/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
25/10/22	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
26/10/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3
27/10/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
28/10/22	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
29/10/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
30/10/22	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2	2
31/10/22	2.1	2.1	2.1	2	2	2	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9
1/11/22	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	2	2.1	2.1	2.2	2.2
2/11/22	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1
3/11/22	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6
4/11/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
5/11/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
6/11/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
7/11/22	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1	1	1	1	1
8/11/22	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
9/11/22	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
10/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
11/11/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
12/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1
13/11/22	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
14/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
15/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
16/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
17/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
18/11/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8
19/11/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7
20/11/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
21/11/22	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	2
22/11/22	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
23/11/22	2.1	2.1	2.1	2.1	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
24/11/22	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
25/11/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3
26/11/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
27/11/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
28/11/22	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7
29/11/22	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
30/11/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
1/12/22	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1	1	1	1
2/12/22	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9
3/12/22	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3
4/12/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
5/12/22	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1	1	1	1	1	1
6/12/22	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
7/12/22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8/12/22	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
9/12/22	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1	1	1	1

FECHA	13h	14h	15h	16h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	21h	22h	23h
21/6/22	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2
22/6/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
23/6/22	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.2	1.3	1.4
24/6/22	2	2	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	2	2
25/6/22	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	1.5
26/6/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
27/6/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1.7
28/6/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
29/6/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8
30/6/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6
1/7/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5
2/7/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
3/7/22	1.5	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.5	1.6
4/7/22	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	1.8	1.8
5/7/22	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4
6/7/22	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4
7/7/22	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1
8/7/22	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7
9/7/22	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2	2	2.4	2.4
10/7/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.5	1.5
11/7/22	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4	2.4
12/7/22	2	2	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2
13/7/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
14/7/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
15/7/22	1.9	2	2	2	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	1.9	2
16/7/22	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6
17/7/22	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.3	2.3
18/7/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8
19/7/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
20/7/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
21/7/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6
22/7/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
23/7/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.9	1.9
24/7/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
25/7/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5
26/7/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2
27/7/22	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.5	1.6
28/7/22	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.2	2.2
29/7/22	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.3	2.3
30/7/22	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9
31/7/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1/8/22	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.7	1.4	1.4
2/8/22	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.2
3/8/22	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2	2	2	2	1.9	1.9	2.1	2.1
4/8/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
5/8/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7
6/8/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
7/8/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
8/8/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
9/8/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8

FECHA	13h	14h	15h	16h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	21h	22h	23h
29/9/22	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5
30/9/22	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7
1/10/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6
2/10/22	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.9	2	2
3/10/22	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.7	1.6
4/10/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.6	1.6
5/10/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7
6/10/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.7	1.7
7/10/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6
8/10/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
9/10/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
10/10/22	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2	2
11/10/22	2.1	2.1	2.1	2	2	2	2	2	2	2	2	2.1	2.1
12/10/22	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2	2
13/10/22	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
14/10/22	2	2	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2	2
15/10/22	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.3	2.3
16/10/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8
17/10/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5
18/10/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3
19/10/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
20/10/22	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.4	1.5
21/10/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
22/10/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6
23/10/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
24/10/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
25/10/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3	1.3
26/10/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3
27/10/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2
28/10/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5
29/10/22	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7
30/10/22	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2	2
31/10/22	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9
1/11/22	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
2/11/22	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	2	2
3/11/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6
4/11/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
5/11/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
6/11/22	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
7/11/22	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1
8/11/22	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1	1	1.1	1.1	0.9	0.9
9/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
10/11/22	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3
11/11/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
12/11/22	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
13/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
14/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
15/11/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
16/11/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
17/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2

FECHA	13h	14h	15h	16h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	21h	22h	23h
18/11/22	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
19/11/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7
20/11/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
21/11/22	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2	2
22/11/22	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3
23/11/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.8	1.8
24/11/22	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5
25/11/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
26/11/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
27/11/22	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4
28/11/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
29/11/22	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5
30/11/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	1.2
1/12/22	1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	0.9
2/12/22	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1	1	1.1	0.9	0.9
3/12/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
4/12/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2
5/12/22	1	1	1	1	1	0.9	1	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1
6/12/22	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
7/12/22	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1
8/12/22	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
9/12/22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1	1
10/12/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
11/12/22	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2
12/12/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
13/12/22	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4
14/12/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
15/12/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
16/12/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
17/12/22	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
18/12/22	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5
19/12/22	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3
20/12/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
21/12/22	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
22/12/22	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
23/12/22	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
24/12/22	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	1.7	1.8
25/12/22	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8
26/12/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7
27/12/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
28/12/22	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
29/12/22	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.5
30/12/22	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5
31/12/22	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6

Fuente: Elaboración propia

FECHA	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h
24/5/22	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	15	15	15
25/5/22	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14
26/5/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
27/5/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
28/5/22	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
29/5/22	19	19	19	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
30/5/22	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
31/5/22	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1/6/22	17	13	20	20	20	16	16	16	16	19	19	19	19
2/6/22	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17
3/6/22	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15
4/6/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
5/6/22	13	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12
6/6/22	11	11	11	11	11	11	11	15	15	15	15	14	14
7/6/22	11	11	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
8/6/22	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13
9/6/22	13	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	13	13
10/6/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
11/6/22	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	14	14
12/6/22	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13
13/6/22	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13
14/6/22	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15
15/6/22	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13
16/6/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
17/6/22	11	11	11	11	11	11	11	13	13	13	13	12	12
18/6/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
19/6/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11
20/6/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11
21/6/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
22/6/22	12	11	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18
23/6/22	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16
24/6/22	14	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12
25/6/22	13	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11
26/6/22	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10
27/6/22	18	18	18	18	18	17	16	16	16	16	16	16	16
28/6/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14
29/6/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
30/6/22	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14
1/7/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
2/7/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
3/7/22	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12
4/7/22	11	11	11	11	11	18	18	18	18	17	11	17	17
5/7/22	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
6/7/22	15	15	15	15	15	14	14	15	15	15	15	15	15
7/7/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13
8/7/22	13	13	13	13	13	17	17	17	17	16	16	16	16
9/7/22	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
10/7/22	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	14	14
11/7/22	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14
12/7/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13

FECHA	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h
13/7/22	15	15	15	15	14	13	13	13	13	13	13	13	13
14/7/22	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17
15/7/22	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15
16/7/22	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14
17/7/22	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
18/7/22	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16
19/7/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
20/7/22	17	17	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15
21/7/22	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
22/7/22	13	13	13	13	13	13	13	13	16	16	16	16	16
23/7/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
24/7/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13
25/7/22	13	13	13	12	12	12	15	15	15	15	15	15	15
26/7/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13
27/7/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
28/7/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	17	17	17
29/7/22	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15
30/7/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
31/7/22	13	13	13	13	13	13	15	15	14	14	14	14	14
1/8/22	12	12	16	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16
2/8/22	15	15	18	18	18	18	18	18	18	18	19	18	17
3/8/22	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15
4/8/22	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
5/8/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
6/8/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12
7/8/22	12	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16
8/8/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
9/8/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13
10/8/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
11/8/22	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17
12/8/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14
13/8/22	13	13	13	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17
14/8/22	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16
15/8/22	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16/8/22	16	17	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17
17/8/22	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
18/8/22	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
19/8/22	17	17	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15
20/8/22	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14
21/8/22	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13
22/8/22	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15
23/8/22	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
24/8/22	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	15	15	15
25/8/22	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15
26/8/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
27/8/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14
28/8/22	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
29/8/22	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15
30/8/22	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
31/8/22	14	14	13	13	13	13	13	13	13	15	15	15	15

FECHA	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h
1/9/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
2/9/22	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
3/9/22	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15
4/9/22	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16
5/9/22	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14
6/9/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13
7/9/22	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15
8/9/22	14	14	14	14	17	17	17	17	16	16	16	16	16
9/9/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14
10/9/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
11/9/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	18	18
12/9/22	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	18	18	18
13/9/22	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
14/9/22	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16
15/9/22	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15
16/9/22	15	15	15	15	15	18	18	18	18	17	17	17	17
17/9/22	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
18/9/22	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14
19/9/22	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13
20/9/22	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
21/9/22	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14
22/9/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12
23/9/22	10	10	10	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
24/9/22	14	14	14	14	18	18	18	17	17	17	17	17	16
25/9/22	15	15	15	15	14	14	14	14	16	16	16	16	16
26/9/22	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14
27/9/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
28/9/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
29/9/22	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12
30/9/22	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1/10/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
2/10/22	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16
3/10/22	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14
4/10/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	17	17	17	17
5/10/22	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14
6/10/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
7/10/22	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13
8/10/22	12	12	11	11	11	19	19	19	19	19	18	18	18
9/10/22	17	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	18
10/10/22	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15
11/10/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14
12/10/22	14	14	14	13	13	13	13	19	19	19	19	19	19
13/10/22	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16
14/10/22	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15/10/22	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	15	15	15
16/10/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
17/10/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12	12
18/10/22	12	12	12	12	12	12	12	14	14	14	14	14	14
19/10/22	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14
20/10/22	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	15	20	20

FECHA	13h	14h	15h	16h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	21h	22h	23h
2/5/22	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	15	15
3/5/22	18	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17	18	18
4/5/22	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	19	16	16
5/5/22	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	17	17
6/5/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
7/5/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
8/5/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
9/5/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
10/5/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
11/5/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	15	15	12	12
12/5/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
13/5/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
14/5/22	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	17	17
15/5/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	15	15
16/5/22	14	14	14	19	19	19	19	19	19	19	18	14	14
17/5/22	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	17	17
18/5/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
19/5/22	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	15	15
20/5/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12	13	13
21/5/22	12	12	16	16	16	16	16	15	15	15	15	12	12
22/5/22	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	14	14
23/5/22	12	12	12	15	15	15	15	15	15	15	17	12	12
24/5/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
25/5/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	14	14
26/5/22	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	12
27/5/22	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
28/5/22	11	11	10	11	12	12	12	12	12	12	19	11	11
29/5/22	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	18	18
30/5/22	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	15
31/5/22	14	14	14	14	14	14	14	16	17	17	17	14	14
1/6/22	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18	18	19	19
2/6/22	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	17	17
3/6/22	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	15	15
4/6/22	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14
5/6/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12	12
6/6/22	14	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	14	13
7/6/22	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	15	15
8/6/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
9/6/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
10/6/22	13	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	12
11/6/22	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14
12/6/22	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12	13	13
13/6/22	13	13	13	18	18	18	17	17	17	17	17	13	13
14/6/22	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	15	15
15/6/22	13	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12	13	13
16/6/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12	12
17/6/22	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	12	12
18/6/22	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	12
19/6/22	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	12	11	11
20/6/22	11	11	11	13	13	13	13	13	13	13	12	11	11

FECHA	13h	14h	15h	16h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	21h	22h	23h
18/11/22	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	16	16
19/11/22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
20/11/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
21/11/22	16	16	16	15	15	15	15	18	18	18	17	16	16
22/11/22	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	16	16
23/11/22	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	14
24/11/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
25/11/22	12	12	12	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12
26/11/22	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15
27/11/22	13	13	13	13	13	13	12	12	12	16	16	13	13
28/11/22	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	15	15
29/11/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
30/11/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1/12/22	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
2/12/22	10	10	15	15	15	15	15	15	14	14	14	10	10
3/12/22	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	13	13
4/12/22	11	11	11	14	14	14	14	14	14	14	14	11	11
5/12/22	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	12
6/12/22	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
7/12/22	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	11	11
8/12/22	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
9/12/22	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10/12/22	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
11/12/22	10	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	10	14
12/12/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12	12	13	13
13/12/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
14/12/22	12	12	12	12	11	11	10	11	11	11	11	12	12
15/12/22	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	14
16/12/22	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	13
17/12/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
18/12/22	11	11	11	11	11	11	10	10	12	13	13	11	11
19/12/22	12	12	15	16	15	15	15	15	15	15	15	12	12
20/12/22	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	14	14
21/12/22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
22/12/22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
23/12/22	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	13
24/12/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	14	14
25/12/22	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12	13	13
26/12/22	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	12	12
27/12/22	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
28/12/22	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	15	15
29/12/22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
30/12/22	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13
31/12/22	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C: TABLA DE POTENCIA DE MOTOR SINCRONICO DE 1500 RPM

4P Synchronous speed 1500r/min									
Model	Rated Output		Rated Current (A)		Speed rpm	Eff(%)	Power factor COS ϕ	Is/In	Tmax/Tn
	HP	KW	230/400V	400/690V					
OMPMB0A4	0.75	0.55	1.29/0.74	/	1500	90.0	0.96	9.5	2.3
OMPMB0B4	1	0.75	2.19/1.27	/	1500	90.0	0.96	9.5	2.3
OMPMB90S4	1.5	1.1	3.23/1.87	/	1500	90.0	0.96	9.5	2.3
OMPMB90L4	2	1.5	4.4/2.54	/	1500	91.0	0.96	9.5	2.3
OMPMB100LA4	3	2.2	6.38/3.69	/	1500	91.0	0.96	9.5	2.3
OMPMB100LB4	4	3	8.69/5.02	/	1500	92.0	0.96	9.5	2.3
OMPMB112M4	5.5	4	11.46/6.62	/	1500	92.0	0.96	9.5	2.3
OMPMB132S4	7.5	5.5	15.67/9.05	/	1500	92.1	0.96	9.0	2.3
OMPMB132M4	10	7.5	21.11/12.19	/	1500	92.6	0.96	9.0	2.3
OMPMB160M4	15	11	/	17.71/10.23	1500	93.6	0.96	9.0	2.2
OMPMB160L4	20	15	/	24.1/13.91	1500	94.0	0.96	9.0	2.2
OMPMB180M4	25	18.5	/	29.52/17.05	1500	94.3	0.96	9.0	2.2
OMPMB180L4	30	22	/	35.05/20.24	1500	94.7	0.96	9.0	2.2
OMPMB200L4	40	30	/	47.62/27.49	1500	95.0	0.96	9.0	2.2
OMPMB225S4	50	37	/	58.48/33.76	1500	95.3	0.96	9.0	2.2
OMPMB225M4	60	45	/	70.95/40.97	1500	95.6	0.96	9.0	2.2
OMPMB250M4	75	55	/	86.57/49.98	1500	95.8	0.96	9.0	2.2
OMPMB280S4	100	75	/	117.71/67.96	1500	96.0	0.96	9.0	2.2
OMPMB280M4	125	90	/	141.05/81.44	1500	96.2	0.96	9.0	2.2
OMPMB315S4	150	110	/	172/99.31	1500	96.4	0.96	9.0	2.1
OMPMB315M4	180	132	/	206.19/119.05	1500	96.5	0.96	9.0	2.1
OMPMB315LA4	220	160	/	249.9/144.29	1500	96.5	0.96	9.0	2.1
OMPMB315LB4	270	200	/	312.1/180.19	1500	96.6	0.96	9.0	2.1
OMPMB315LC4	293	220	/	343.24/198.17	1500	96.6	0.96	9.0	2.1
OMPMB355M4	340	250	/	387.82/223.91	1500	96.7	0.96	9.0	2.1
OMPMB355L4	430	315	/	490.48/283.18	1500	96.8	0.96	9.0	2.1

ANEXO D: CONVERGENCIA DE PERFIL NACA 0015 EN XFOIL

=====

XFOIL Version 6.99

Copyright (C) 2000 Mark Drela, Harold Youngren

This software comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY,
subject to the GNU General Public License.

Caveat computor

=====

File xfoil.def not found

QUIT Exit program

. OPER Direct operating point(s)

. MDES Complex mapping design routine

. QDES Surface speed design routine

. GDES Geometry design routine

SAVE f Write airfoil to labeled coordinate file

PSAV f Write airfoil to plain coordinate file

ISAV f Write airfoil to ISES coordinate file

MSAV f Write airfoil to MSES coordinate file

REVE Reverse written-airfoil node ordering

LOAD f Read buffer airfoil from coordinate file

NACA i Set NACA 4,5-digit airfoil and buffer airfoil

INTE Set buffer airfoil by interpolating two airfoils

NORM Buffer airfoil normalization toggle

XYCM rr Change CM reference location, currently 0.25000 0.00000

BEND Display structural properties of current airfoil

PCOP Set current-airfoil panel nodes directly from buffer airfoil points

PANE Set current-airfoil panel nodes (160) based on curvature

. PPAR Show/change paneling

. PLOP Plotting options

WDEF f Write current-settings file

RDEF f Reread current settings file

NAME s Specify new airfoil name

NINC Increment name version number

Z Zoom | (available in all menus)

U Unzoom |

XFOIL c> naca 0015

Max thickness = 0.150043 at x = 0.300

Max camber = -0.000000 at x = 0.015

Buffer airfoil set using 331 points

Blunt trailing edge. Gap = 0.00315

Paneling parameters used...

Number of panel nodes 160

Panel bunching parameter 1.000

TE/LE panel density ratio 0.150

Refined area/LE panel density ratio 0.200

Top side refined area x/c limits 1.000 1.000

Bottom side refined area x/c limits 1.000 1.000

XFOIL c> gdes

You are working with the buffer airfoil.

.GDES c> oper

Command OPER not recognized. Type a "?" for list.

.GDES c>

Buffer airfoil is not identical to current airfoil

XFOIL c> oper

.OPERi c> ?

<cr> Return to Top Level

! Redo last ALFA, CLI,CL,ASEQ,CSEQ,VELS

Visc r Toggle Inviscid/Viscous mode

.VPAR Change BL parameter(s)

Re r Change Reynolds number

Mach r Change Mach number

Type i Change type of Mach,Re variation with CL

ITER Change viscous-solution iteration limit

INIT Toggle BL initialization flag

Alfa r Prescribe alpha

CLI r Prescribe inviscid CL

CL r Prescribe CL

ASeq rrr Prescribe a sequence of alphas

CSeq rrr Prescribe a sequence of CLs

SEQP Toggle polar/Cp(x) sequence plot display

CINC Toggle minimum Cp inclusion in polar

HINC Toggle hinge moment inclusion in polar

Pacc i Toggle auto point accumulation to active polar

PGET f Read new polar from save file

PWRT i Write polar to save file

PSUM Show summary of stored polars

PLIS i List stored polar(s)

PDEL i Delete stored polar

PSOR i Sort stored polar

PPlo ii. Plot stored polar(s)

APlo ii. Plot stored airfoil(s) for each polar

ASET i Copy stored airfoil into current airfoil

PREM ir. Remove point(s) from stored polar

PNAM i Change airfoil name of stored polar

PPAX Change polar plot axis limits

RGET f Read new reference polar from file

RDEL i Delete stored reference polar

GRID Toggle Cp vs x grid overlay

CREF Toggle reference Cp data overlay
 FREF Toggle reference CL,CD.. data display
 CPx Plot Cp vs x
 CPV Plot airfoil with pressure vectors (gee wiz)
 .VPIo BL variable plots
 .ANNO Annotate current plot
 HARD Hardcopy current plot
 SIZE r Change plot-object size
 CPMI r Change minimum Cp axis annotation
 BL i Plot boundary layer velocity profiles
 BLC Plot boundary layer velocity profiles at cursor
 BLWT r Change velocity profile scale weight
 FMOM Calculate flap hinge moment and forces
 FNEW rr Set new flap hinge point
 VELS rr Calculate velocity components at a point
 DUMP f Output Ue,Dstar,Theta,Cf vs s,x,y to file
 CPWR f Output x vs Cp to file
 CPMN Report minimum surface Cp
 NAME s Specify new airfoil name
 NINC Increment name version number
 .OPERi c> a 4

Calculating unit vorticity distributions ...

```
.OPERi c> v
```

```
Enter Reynolds number r> 1458275
```

```
M = 0.0000
```

```
Re = 1458275
```

```
.OPERv c> a 4
```

```
Calculating wake trajectory ...
```

```
Calculating source influence matrix ...
```

```
Solving BL system ...
```

```
Initializing BL ...
```

```
.OPERv c> aseq 0 15 1
```

```
Calculating wake trajectory ...
```

```
Calculating source influence matrix ...
```

```
Solving BL system ...
```

```
.OPERv c> pacc
```

```
Polar 1 newly created for accumulation.
```

```
Airfoil archived with polar: NACA 0015
```

```
Enter polar save filename OR <return> for no file s> NACA 0015.txt
```

```
New polar save file available.
```

```
Enter polar dump filename OR <return> for no file s>
```

```
Polar dump file will NOT be written.
```

```
Polar accumulation enabled.
```