

DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN AGITADOR MECÁNICO PARA PREPARAR AGUAS DE DESAFÍO BAJO NORMATIVA ANMAT

DESIGN AND MANUFACTURE OF A MECHANICAL AGITATOR TO PREPARE CHALLENGE WATER UNDER ANMAT REGULATIONS

Milagros R. Tevez Sauco¹, Nicolás Hermann², Fernando Massaro²

milagros.tevezsauco@gmail.com, hermannnicolas89@gmail.com, massarofernando@yahoo.co.uk

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Llavallol (1836), Buenos Aires, Argentina.

² Laboratorio LMFA. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Llavallol (1836), Buenos Aires, Argentina.

Recibido 13/05/2024; Aceptado: 18/09/2024

Resumen: En el presente trabajo se muestra el desarrollo de una hélice, de tres paletas, a partir de un agitador de fluido con un diseño de tipo Axial; utilizada para preparar aguas de desafíos de baja viscosidad ($<8 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ / $<8000 \text{ cP}$), con perfiles N.A.C.A. (National Advisory Committee for Aeronautics) con una velocidad tangencial de entre 3 m/s y 15 m/s .

Se presenta el prototipo de hélice realizada utilizando técnicas de impresión 3D. Asimismo, se puso a prueba en una simulación física y ensayos reales de prototipo utilizando 3 velocidades diferentes. Se pudo observar como la velocidad en el borde de ataque es la misma que en el borde de salida, lo que nos garantiza que el diseño del perfil hidrodinámico es el correcto. Acompañando esta observación, se detecta la nula presencia de cavitación en la hélice en las tres velocidades utilizadas en la simulación y en la experimentación.

Palabras-clave: Aguas de desafío; Hélice; Impresión 3D.

Abstract: This work shows the development of a three-bladed propeller, based on a fluid agitator with an Axial type design; used to challenge water with low viscosity fluids ($<8 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ / $<8000 \text{ cP}$) and to homogenize, with N.A.S.A. (National Advisory Committee for Aeronautics) profiles with a tangential speed of between 3 m/s and 15 m/s . The propeller prototype made using 3D printing techniques is presented. Likewise, it was tested in a simulation and real test using 3 different speeds. It was observed how the speed at the leading edge is the same as the trailing edge, which guarantees that the design of the hydrodynamic profile is the correct one. Accompanying this observation, the zero presence of cavitation in the propeller is detected at the three requested speeds.

Keywords: Challenge waters; Propeller; 3D print.

1. Introducción

La NSF (The Public Health and Safety Organization) es el ente internacional encargado de desarrollar los estándares de certificaciones de salud pública que ayudan a proteger los alimentos, el agua, los productos de consumo y el medio ambiente.

Para el desarrollo de agua potable se utiliza la norma NSF 53 mediante la cual se detecta y restringen contaminantes relacionados con la salud (por ejemplo, el plomo, el arsénico o el asbesto). En la norma, se establecen los valores máximos de contaminantes permitidos que pueden tener un efecto adverso en la salud y otorga un programa de certificación de productos para dispositivos de tratamientos de agua que cumplan con sus estándares, dándole a los consumidores la garantía de que el agua que están consumiendo está protegida. En Argentina es la ANMAT quien adopta esta norma y establece las mismas condiciones para dar la aprobación de los productos que quieran ingresar en el mercado.

Para conseguir la certificación, estos deben cumplir o superar los requisitos descritos solicitados por ANMAT, por lo que deben ser sometidos a “aguas de desafío”. Estos son los entornos donde se someten los elementos filtrantes para evaluar su real capacidad y de esta forma estudiar si son realmente capaces de retener o eliminar contaminantes específicos antes de considerarlo apto para su uso en la producción a gran escala.

La norma solo especifica las cantidades máximas de contaminantes en las aguas de desafío, aunque no la forma en la que se llega a la misma. Por lo que la preparación de las aguas queda a cargo del laboratorio que vaya a realizar el ensayo. Tanto como su selección de método a agitar como los materiales de los componentes que vaya a utilizar para la generación del entorno.

2. Objetivo

El objetivo del trabajo fue diseñar un agitador mecánico para un termoreactor con retroiluminación del laboratorio de aguas y medios filtrantes de la Facultad de Ingeniería de la UNLZ (LMFA). El mismo posee una capacidad de 20 litros y servirá para preparar las “Aguas de desafío”. Se plantea lograr un diseño a partir de componentes disponibles en el mercado, adaptado para el equipo existente, y que asegure conseguir una mezcla homogénea en todos los puntos del tanque, para posteriormente simular el comportamiento de la hélice y luego imprimir el diseño con dos técnicas 3D distintas (FDM y SLA) para realizar un ensayo real en el termoreactor.

3. Sustento teórico

3.1 Agitación mecánica: Estudio de flujos

Se define un tipo de flujo buscado en el tanque de agitación para posteriormente definir el tipo de agitador mecánico a diseñar.

En el tanque de agitación aparecen tres tipos de componentes:

- *Radial: actúa en dirección perpendicular al eje;*
- *Axial: actúa en dirección paralela al eje;*
- *Tangencial: actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular dada por el agitador.*

Definir el tipo de flujo implica decidir cuál de esas componentes se busca que sea la predominante. En este caso es importante generar un flujo axial y de esta forma asegurarse de que las partículas de la sustancia a dosificar no se concentren en el fondo del tanque.

Por otro lado, es importante considerar que el flujo tangencial da lugar a la generación de vórtices en la superficie del líquido. Esto sucede ya que el flujo laminar da lugar a una estratificación permanente en diferentes niveles de sustancias sin mezclar, sin permitir que haya flujo vertical de un nivel a otro.

Si el fluido tiene partículas sólidas (como el caso a estudiar) las corrientes circulatorias las empujarán contra las paredes del recipiente debido a la fuerza centrífuga, desde donde caerán hasta el fondo del tanque. Entonces, si se llega a dar esta situación, se estarían generando alteraciones y/o gradientes en las concentraciones en el fondo del tanque, distorsionando la calidad del agua de desafío.

Teniendo en cuenta estos dos aspectos se decide avanzar con un agitador tipo hélice marina con ángulos en sus palas no mayores a 90° y se colocara en el tanque placas deflectoras para romper cualquier posible vértice y así hacer del flujo axial el predominante en comparación al circulatorio.

3.2 Perfiles hidrodinámicos

El perfil

Un perfil hidrodinámico es una sección enfrentada al flujo de un fluido. Este está compuesto por las siguientes partes (ver Figura 1):

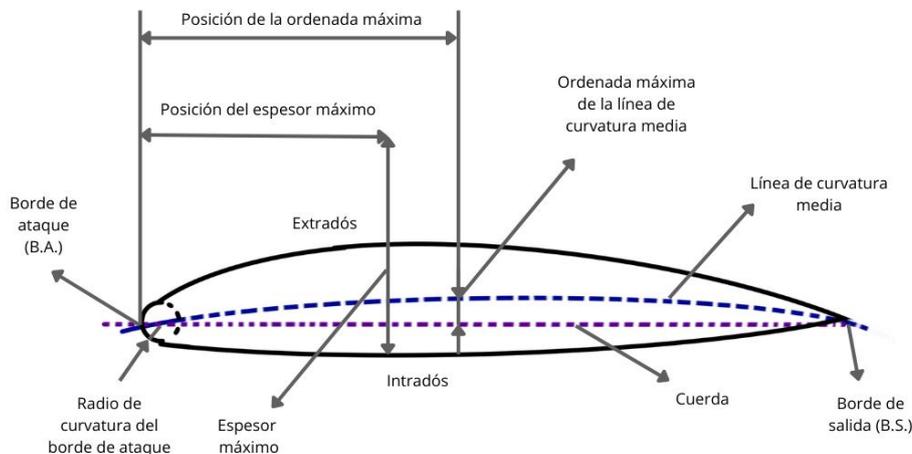


Figura 1– Modificado a partir de la imagen de Paz, S. P. (27 de Junio de 2013). El perfil alar y su nomenclatura NASA (ex – NACA)

1. La línea de cuerda es una línea recta que une el borde de ataque con el borde de salida.
2. La cuerda es la longitud de la línea de cuerda.
3. La línea de curvatura media es la línea media entre el extradós y el intradós.
4. Curvatura máxima es la distancia entre la línea de curvatura media y la cuerda.

5. *El espesor máximo es la distancia máxima entre la superficie superior e inferior.*
6. *Radio del borde de ataque es un valor de espesor del borde de ataque.*
7. *Extradós: Superficie superior*
8. *Intradós: Superficie inferior*

Perfiles N.A.C.A

Los perfiles N.A.C.A. (actual N.A.S.A.) son perfiles aerodinámicos creados y nombrados por el antiguo Comité asesor nacional para la aeronáutica (National Advisory Committee for Aeronautics – NACA) que luego dio origen a la actual N.A.S.A (National Administration for Space and Aeronautics). Para establecerlos, el comité realizó diferentes pruebas exhaustivas en túneles de viento para estudiar los diferentes perfiles existentes y caracterizar cada uno de ellos, dando lugar a una extensa “biblioteca” de perfiles aerodinámicos, y cada perfil posee 4 dígitos que lo identifican. Para desarrollar el diseño se utilizaron diferentes perfiles ya establecidos de referencia.

Aspectos físicos

Para el diseño de la hélice se tuvieron en cuenta ciertos fenómenos físicos que podrían llegar a dañarla si esta no está bien diseñada y/o construida. En principio para asegurar su integridad se debe evitar el desprendimiento de la capa límite.

Cada fluido que circula a cierta velocidad libre y sin obstáculos, posee en cada punto la misma velocidad. Cuando este fluido entra en contacto con una superficie, esto genera fuerzas de rozamiento que impiden el avance del mismo. En este punto la velocidad tiende a cero y a medida que nos alejamos de la superficie, las diferentes capas van adquiriendo mayor velocidad hasta alcanzar la velocidad que tenía originalmente el flujo. La capa límite es el conjunto de estas capas. El desprendimiento de esta se ve originado por el aumento local de presión del fluido cuando la velocidad disminuye. Si este fenómeno es grave y termina generando un cizallamiento sobre la superficie (en este caso la hélice) y en consecuencia daños en la sustentación de la hélice.

Por otro lado, se debe tener especial cuidado que no se genere cavitación. Este fenómeno sucede cuando hay una caída de presión del líquido por debajo de la presión de vapor en aquellos puntos donde la velocidad es muy alta (por ejemplo, en las puntas de las aspas de la hélice) lo que produce una vaporización instantánea del fluido que implota al entrar en contacto con otras zonas de mayor presión alrededor del perfil produciendo una estela característica alrededor del perfil con una firma acústica muy pronunciada, ya que las implosiones generan ondas de choque que viajan aproximadamente a la velocidad del sonido y si éstas chocan contra una superficie pueden dañarla gravemente.

4. Métodos y técnicas

4.1 Diseño del agitador

Descripción

Se seleccionó un agitador de fluido tipo axial. Específicamente de tipo hélice. Esta se utiliza para fluidos de baja viscosidad y para homogeneizar, además son eficientes en estanques de gran tamaño.

Características para el diseño

- *Número de paletas: 3 paletas*
- *Campo de flujo generado: Axial*
- *Régimen alcanzado: Turbulento*
- *Velocidad tangencial: 3-15 m/s*
- *Viscosidad del medio: <8 Pa.s / <8000 cP*

Dimensionamiento

Relaciones geométricas

Para el dimensionamiento del sistema de agitación se utilizan las siguientes relaciones geométricas:

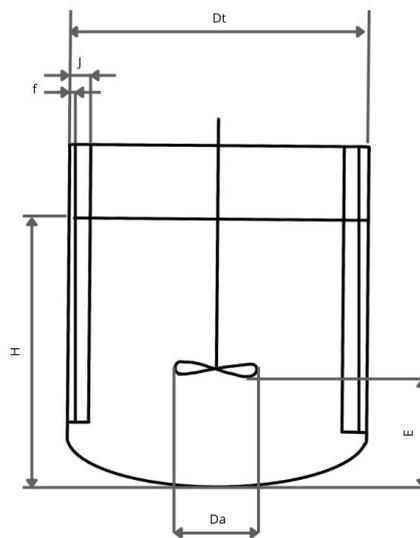


Figura 2 - Esquema de relaciones geométricas para el diseño. | Modificado a partir del esquema obtenido de "DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS"

- Relación 1:

$$\frac{H}{Dt} = 1$$

Siendo H: la altura del fluido; Dt: diámetro del tanque.

- Relación 2:

$$\frac{Da}{Dt} = 0,33$$

Siendo Da: el diámetro de las palas.

- Relación 3:

$$\frac{E}{Dt} = 0,33$$

Siendo E: Distancia desde el fondo del tanque hasta el impulsor.

- Relación 4:

$$\frac{J}{Dt} = 0,1$$

Siendo J: Ancho de las placas deflectoras

- La inclinación de las palas siempre debe ser menor o igual a 25°.

Teniendo en cuenta de que el diámetro de las palas (D_a) no puede superar los 60 mm por las limitaciones que nos da el agitador y el termoreactor, y que el diámetro de tanque ya es dato (D_t): 300 mm. Se alcanzan los siguientes resultados finales.

Relaciones finales

D_t: Diámetro del tanque: 300 mm

D_a: Diámetro de las palas: 60 mm

H: Altura del fluido: 270 mm

J: Ancho de las placas deflectoras: 30 mm

E: Distancia desde el fondo del tanque hasta el impulsor: 100 mm

Ángulo de inclinación de las palas: $\leq 25^\circ$

Cantidad de placas deflectoras: 4 placas

Finalmente se decide no colocar las placas deflectoras debido a la forma hexagonal del tanque.

Modelado

Para el modelado de la pieza se utilizó el software SolidWorks (Versión 2017).

Diseño de la paleta

El diseño se basó en un análisis desde la vista superior como una lateral. A continuación, en las Figuras 3 y 4 se muestran ambas perspectivas y el estudio por zona.

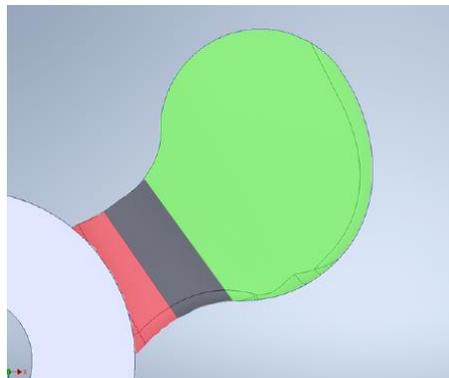


Figura 3 - Vista superior de la paleta (elaboración propia en SolidWorks)

- La zona roja: es la zona de mayor esfuerzo mecánico. Es importante que la paleta al unirse al tronco principal de la hélice no tenga puntos que generen tensiones y fisuras. La inclinación en esta parte será de 15° .
- La zona negra: es la zona de baja velocidad.
- La zona verde: es la zona de alta velocidad. Esta parte tendrá una inclinación de 25° . Es la que hará el trabajo de mover axialmente el fluido.

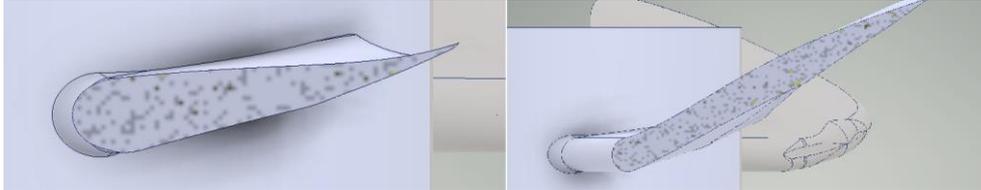


Figura 4 – Izquierda: Vista lateral (Zona roja); Derecha: Vista lateral (Zona verde).
Elaboración propia en SolidWorks.

Partes de un perfil hidrodinámico:

- Angulo de ataque: La hélice posee dos tipos de inclinaciones. Al inicio una inclinación de 15° . Al final, en la zona de alta velocidad, una inclinación de 25° .
- Borde de ataque: posee un espesor de 2mm. Es redondo. El radio es tangente al intradós y al extradós.
- Borde de salida: posee un espesor de 0,00001 mm.
El borde de ataque es más grueso que el de salida porque es el encargado de “levantar” el agua. Es el que se verá enfrentado a la corriente, sometido a mayores velocidades y a mayores esfuerzos.
- Espesor máximo: 2 mm.
- Ordenada máxima de la línea de curvatura media: 0
- Cuerda: es la longitud del perfil. Esta variara por la forma de la hélice.
- Línea de curvatura media: pasará por el mismo lugar de la curva ya que no habrá ordenada máxima.
- Intradós: Parte inferior.
- Extradós: Parte superior, exterior.

El perfil califica como uno biconvexo simétrico.

Diseño de la hélice

En esta etapa del diseño de la hélice se muestra en la Figura 5 con las vistas isométricas, superior y lateral.

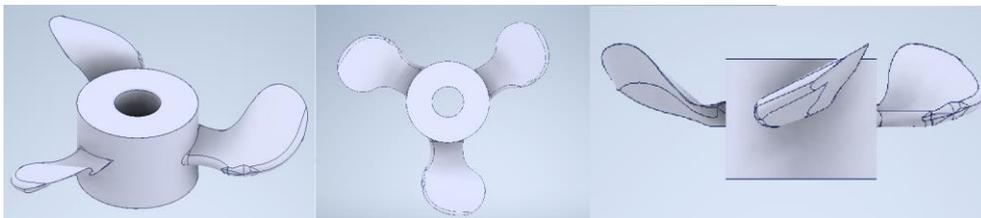


Figura 5 – Izquierda: Vista isométrica; Centro: Vista superior; Derecha: Vista lateral.
Elaboración propia en SolidWorks.

Impresión

En la etapa de impresión se plantea trabajar con dos técnicas de impresión FDM y SLA.

Técnica FDM

Descripción

La técnica por deposición fundida FDM (de las siglas en inglés Fused Deposition Modeling) se basa en tres elementos principales: La cama de impresión, la bobina de filamento (material) y una cabeza de extrusión (extrusor). Para trabajar, la técnica funciona extruyendo el filamento desde la bobina y es pasado por el extrusor que lo funde a una temperatura de [190°C-200°C] y deposita sobre la cama de impresión en la coordenada establecida.

Impresión del prototipo

La impresora utilizada fue GEEETECH E180. Se utilizó un filamento de PLA de la marca Printalot de espesor: 1,75mm. La impresión final duró 3 horas y se trabajó a 210°C. (Figura 6)



Figura 6 - Hélice impresa por FDM. Laboratorio LMFA | Foto propia

Técnica SLA

Descripción

La estereolitografía funciona imprimiendo las piezas capa por capa mediante la aplicación de temperatura localizada mediante un láser. Esta impresión necesita de dos máquinas, la impresora y una curadora. La impresora posee una bandeja de resina, una plataforma móvil y un láser UV. Este rayo barre la superficie de la resina líquida y va formando capa por capa el elemento a imprimir. Una vez finalizado se debe limpiar la pieza con una solución solvente para sacar la resina que no solidificó. Posteriormente las piezas se curan en un horno de luz UV.

Impresión del prototipo

La impresora utilizada fue Creality, modelo: LD-002H. Se utilizó una resina marca “3D Printer UV Sensitive Resin”. Posteriormente se limpió con alcohol isopropílico y se llevó a tratar en la curadora-lavadora: Creality, modelo: UW-02. La impresión final duró 3 horas y se curó durante 15 minutos.

En la Figura 7 se muestra la pieza final realizada por este procedimiento.



Figura 7-Hélice impresa por SLA | Foto propia

5. Resultados

5.1 Simulación

Condiciones:

Se simuló el diseño utilizando el software SolidWorks trabajando con el complemento “Flow Simulation”. Se aplicaron las siguientes condiciones de borde:

- Unidades: SIMELA
- Longitud: mm
- Fluid Flow: si
- Rotación: si
- Tipo: rotación global.
- Eje de referencia: Y
- Velocidad angular: 52,30 rad/s
- Tipo de análisis: interno
- Geometría: CAD Booleano
- Fluido: agua
- Cavitación: si
- Adiabático: si
- Rugosidad: 0 micrometro
- Parámetros termodinámicos:
 - Presión: 101325 Pa
 - Temperatura: 293,2 K
- Velocidades:
 - En x: 0 m/s
 - En y: 0,1 m/s
 - En z: 0 m/s
- Sistema de coordenadas: Y

Simulaciones realizadas:

A continuación, se realizan las simulaciones en tres velocidades distintas: 300, 400 y 600 RPM, tal como se muestran en las siguientes figuras.

300 RPM

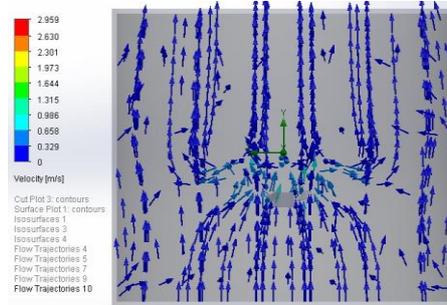


Figura 8 – Resultados de simulación a 300 RPM | Líneas de flujo: velocidad | vista frontal

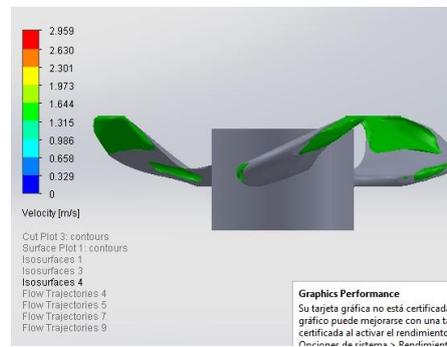


Figura 9 – Resultados de simulación a 300 RPM | isolíneas de velocidad | vista frontal

400 RPM

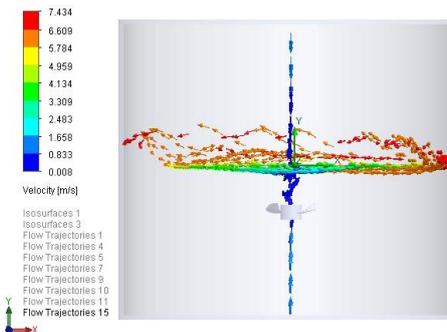


Figura 10 – Resultados de simulación a 400 RPM | Líneas de flujo: velocidad | vista frontal

600 RPM

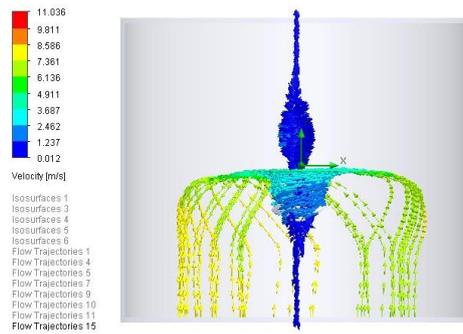


Figura 11 – Resultados de simulación a 600 RPM | Líneas de flujo: velocidad | vista frontal

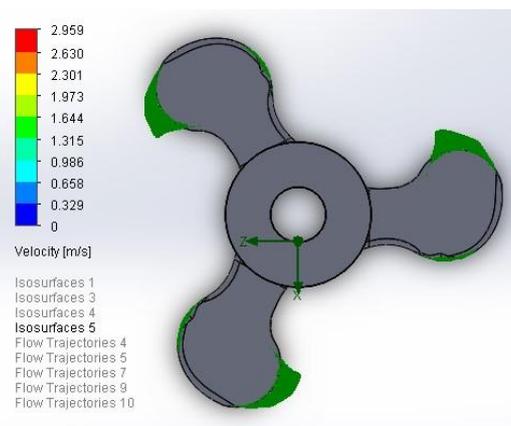


Figura 12 - Resultados de simulación a 600 RPM | isóneas de velocidad | vista frontal

5.2 Ensayos del prototipo

Luego se realizó el ensayo del agitador mecánico diseñado y se utilizó un agitador electrónico de montaje superior con pantalla digital LED marca: DragonLab, modelo: OS40-S. Al mismo, se le desacoplo el agitador original y se colocó la pieza impresa en el Laboratorio LMFA bajo la técnica SLA.

Experimentación del prototipo

Por último, se utilizó el software illustrator para dibujar los patrones de flujo resultantes al hacer funcionar la hélice en distintas revoluciones (Figura 13: 300 RPM, Figura 14: 400RPM, Figura 15: 600 RPM)

300 RPM

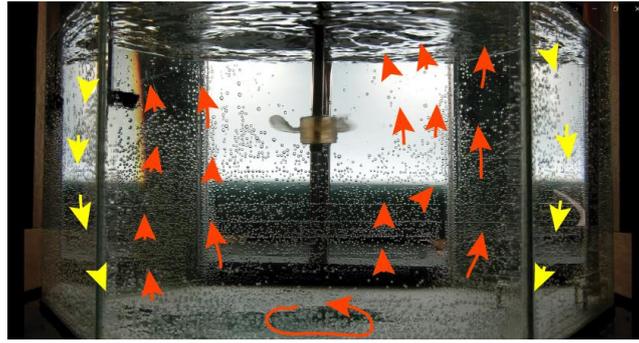


Figura 13 - Ensayo del prototipo a 300 RPM | Foto y edición propia

400 RPM

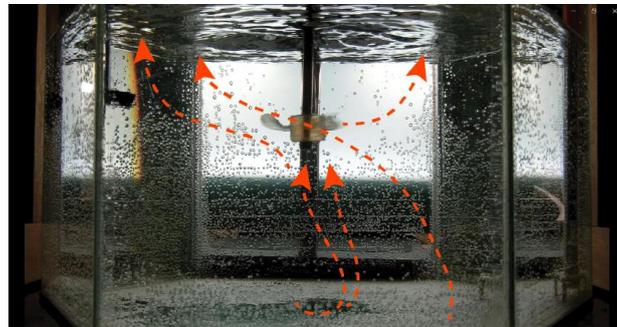


Figura 14 - Ensayo del prototipo a 400 RPM | Foto y edición propia

600 RPM

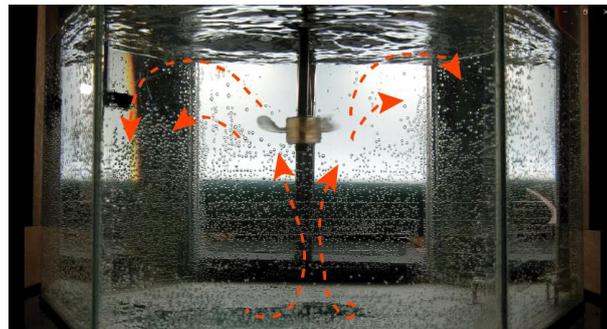


Figura 15 - Ensayo del prototipo a 600 RPM | Foto y edición propia

Se adjunta en el siguiente código QR con los videos de las simulaciones y ensayos resultantes:



Figura 16 – Código QR con videos y simulaciones

6. Conclusiones

Sobre el diseño realizado, en las Figuras 13 y 15 donde se ven las isolíneas de velocidad para 300 y 600 RPM respectivamente, se puede observar como la velocidad en el borde de ataque es la misma que el borde de salida. Lo que nos garantiza que el diseño del perfil hidrodinámico es correcto. Acompañando esta observación, se detecta ausencia de cavitación en la hélice en las tres velocidades solicitadas.

Sobre su desempeño, en las simulaciones realizadas, se puede ver como la velocidad del flujo a 300 RPM es baja. Eso se coincide con el ensayo a la misma velocidad donde no hay un flujo determinado y el movimiento no alcanza todos los puntos del tanque. Recién a partir de los 400 RPM se detecta tanto en la simulación como en el ensayo un flujo axial. Este flujo toma las partículas en el fondo del tanque y las eleva hacia la superficie. A medida que se aumenta de velocidad el flujo se hace menos caótico y genera una mezcla homogénea más rápido. Por lo que con el modelo diseñado se lograría producir las aguas de desafío buscadas.

Con respecto a la técnica de impresión SLA se observó que la impresión con resina soporta la exigencia requerida por el proyecto.

Como líneas futuras se plantea comparar los ensayos realizados con la técnica SLA con la FDM. Además, se propone avanzar a la siguiente etapa comenzando con las primeras pruebas de producción de aguas de desafío y comparar la eficiencia de utilizar un agitador mecánico con uno ultrasónico y magnético.

7. Referencias bibliográficas

3D systems. 3D systems. ¿Qué es la estereolitografía? [En línea] [https://es.3dsystems.com/stereolithography#:~:text=La%20estereolitograf%C3%ADa%20\(SLA\)%20es%20la,convirti%C3%A9ndolos%20de%20l%C3%ADquidos%20en%20s%C3%B3lidos](https://es.3dsystems.com/stereolithography#:~:text=La%20estereolitograf%C3%ADa%20(SLA)%20es%20la,convirti%C3%A9ndolos%20de%20l%C3%ADquidos%20en%20s%C3%B3lidos).

Acin, Marcos. 2012. ResearchGate. Statistical Database for Helicopter Preliminary Design. [En línea] Julio de 2012. https://www.researchgate.net/publication/341345007_Statistical_Database_for_Helicopter_Preliminary_Design.

Campbell, Brian. 2023. Waterfilterguru. NSF 42, 53, 58, 401 & More: Water Filter Certifications Explained. [En línea] 11 de Agosto de 2023. <https://waterfilterguru.com/nsf-ansi-standard-certifications-explained/>.

Federal Register. Federal Register. National Science Foundation. [En línea] <https://www.federalregister.gov/agencies/national-science-foundation>.

Hernanz, Marta Herrero. 2016. TEORÍA DEL FLUJO POTENCIAL Y CAPA LÍMITE PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO FLUIDO CON APLICACIÓN EN ESTENOSIS ARTERIAL. [En línea] Junio de 2016. https://oa.upm.es/42977/1/TFG_MARTA_HERRERO_HERNANZ.pdf.

lavionnaire. Lavionnaire. LAS ALAS. [En línea] <https://www.lavionnaire.fr/EspAlas.php>.

Paz, Santiago Pinzón. 2013. El perfil alar y su nomenclatura NACA. [En línea] 27 de Junio de 2013. <https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/4/106>.

Plaza, David. 2020. Motor es. Aerodinámica: capa límite, flujo laminar y turbulento. [En línea] 02 de Enero de 2020. <https://www.motor.es/formula-1/aerodinamica-capa-limite-flujo-laminar-turbulento-202063700.html>.

DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN AGITADOR MECÁNICO PARA PREPARAR AGUAS DE DESAFÍO BAJO NORMATIVA ANMAT - RIIYM – ISSN 2525-0396 – VOLUMEN VIII – NÚMERO 15

Ravi, Prashanth. 2023. ResearchGate. Stereolithography (SLA) in Pharmaceuticals. [En línea] Septiembre de 2023. https://www.researchgate.net/publication/373905759_Stereolithography_SLA_in_Pharmaceuticals.

Uribe, Vladimir Castillo. 2013. DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS. [En línea] Octubre de 2013. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Urbe_Vladimir.pdf.