



Diseño de un agitador incubador orbital para la empresa Bioquirama

Juan Felipe Carmona Deossa

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Carlos Alberto Mejía Blandón

Ingeniero Mecánico

Asesor interno

Carlos Andres Mesa Betancur

Ingeniero Eléctrico

Asesor externo

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024.

Cita	(Carmona Deossa, 2024) [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] Carmona Deossa, “Diseño de un agitador incubador orbital”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, cuyo respaldo y cariño han sido fundamentales en mi camino académico y en la culminación de este proyecto. A todos los compañeros con los que compartí en las diferentes clases y nos apoyamos mutuamente. A todas las personas de la empresa ENERGIART SAS quienes generosamente compartieron su experiencia y colaboraron en diversas etapas de este trabajo. También quiero agradecer a una persona muy especial, Nancy Martínez, quien; aunque llegó cuando el recorrido estaba por terminar, ha sabido llenar mis días de alegría y motivación. Gracias por estar a mi lado en este tramo final, acompañándome con tu apoyo y cariño. A mi asesor interno, el profesor Carlos Mejía, por su paciencia, dedicación y amplio conocimiento no solo fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo, sino también una fuente constante de motivación para mejorar y superar cada obstáculo que se presentó.

CONTENIDO

RESUMEN.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. MARCO TEÓRICO.....	12
3.1 Tipos de movimientos de agitadores.....	14
3.1.1. Movimiento Orbital.....	14
3.1.2. Movimiento vaivén.....	15
3.1.3. Movimiento de balanceo.....	16
3.1.4. Movimiento de rotación.....	17
3.2. Tipos de agitadores incubadores orbitales.....	18
3.2.1. Agitadores incubadores de mesa.....	18
3.2.2. Agitadores incubadores con control de CO ₂	19
3.2.3. Agitadores incubadores apilables.....	20
4. METODOLOGÍA.....	20
4.1. Recolección de información.....	20
4.1.1. Concepto general de funcionamiento y objetivos de la agitación orbital.....	21
4.2. REGULACIÓN DE DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO.....	23
4.2.1. IEC 60601-1 Normal internacional para equipos médicos eléctricos.....	23
4.2.2. Resolución 666 de 2020 Ministerio de Salud y Protección Social.....	24
4.3. MODELADO DEL DISEÑO.....	24
4.3.1. Diseño estructural.....	24
4.3.1.1. Estructura principal.....	25

4.3.1.2. Base de la estructura.....	27
4.3.1.3. Base interna erlenmeyer.	28
4.3.1.4. Estructura portante.	29
4.3.1.5. Guarda resistencias.....	30
4.3.1.6. Base inferior.	31
4.3.1.7. Sistema motriz.....	32
4.3.1.8. Motor.....	35
4.3.1.9. Control de temperatura.....	36
4.3.2. MATERIALES DE LA ESTRUCTURA.....	38
4.3.2.1. Matriz de selección de material para el cerramiento.....	41
4.3.2.2. Policarbonato.....	42
4.3.3. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS.	42
4.3.3.1. Diagrama de Potencia.....	43
4.3.3.2. Sistema de Arranque.	43
4.3.3.3. Sistema del Motor.	44
4.3.3.4. Control de temperatura.....	44
4.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS PRINCIPALES.	45
4.4.1. Variador.....	46
4.4.2. Ventilador.....	47
4.4.3. Control de temperatura.....	48
4.4.4. Control Lógico programable.	49
4.4.5. Sensor de temperatura.	50
4.5. SIMULACIÓN DE TENSIÓN DE CARGA VÉRTICAL.	51
5. CONCLUSIONES.	55
REFERENCIAS	58

6. ANEXOS.....	61
001-Vertical superior.....	61
002-Horizontal.	61
003-Lateral.	62
004-Guarda chumaceras.....	62
005-Base inferior.....	63
006-Guardas resistencias.....	63
007-Base inferior erlenmeyer.....	64
008-Base superior erlenmeyer.....	64
009-Columnas internas.....	65
010-Eje libre.....	65
011-Eje motriz.....	66
012-Soporte ventilador.....	66
013-Puerta.	67
014-Envolvente base.	67
015-Tapa controles.....	68
500-Estructura principal.....	68
501-Base del agitador.....	69
502-Estructura portante.....	69
503-Agitador incubador orbital.....	70
Plano de diagrama eléctrico de potencia.....	71
Plano sistema de arranque eléctrico.....	71
Plano eléctrico sistema de motor.....	72
Plano eléctrico control de temperatura.....	72

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Evaluación de materiales para el cerramiento.</i>	40
<i>Tabla 2. Ponderación de los criterios.</i>	41
<i>Tabla 3. Matriz de selección.</i>	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Agitador orbital.	15
Ilustración 2. Agitador de vaivén.	16
Ilustración 3. Agitador de balanceo.....	17
Ilustración 4. Agitador rotativo.	17
Ilustración 5. Agitador incubador orbital de mesa.	19
Ilustración 6. incubador de CO2.	19
Ilustración 7. Agitador incubador orbital apilable.	20
Ilustración 8. Diseño de agitador incubador.....	25
Ilustración 9. Perfil personalizado de acero inoxidable.	26
Ilustración 10. Estructura principal del agitador.	27
Ilustración 11. Base del agitador.	28
Ilustración 12. Base erlenmeyer.	29
Ilustración 13. Estructura portante.	30
Ilustración 14. Guarda resistencias.....	31
Ilustración 15. Base inferior.	32
Ilustración 16. Sistema motriz.....	33
Ilustración 17. Concepto de diseño de eje excéntrico libre.	33
Ilustración 18. Diagrama eléctrico de potencia.	43
Ilustración 19. Diagrama sistema de arranque.	44
Ilustración 20. Diagrama sistema de motor.....	44
Ilustración 21. Diagrama control de temperatura.....	45
Ilustración 22. ABB ACS150.....	47
Ilustración 23. Ventilador Sunon MF80251V1-A99.....	48
Ilustración 24. DTK4848V12.....	49
Ilustración 25. Siemens S7-1200.....	50
Ilustración 26. Posicionamiento de los componentes eléctricos principales.....	51
Ilustración 27. Base de la estructura.....	52
Ilustración 28. Fuerza aplicada y condiciones de restricción.....	53

Ilustración 29. Desplazamiento.....	54
Ilustración 30. Tensión de Von Mises.....	54
Ilustración 31. Coeficiente de seguridad.....	54
Ilustración 32. Diseño final.....	57

RESUMEN.

El proyecto se centra en el diseño y desarrollo de un agitador incubador orbital en la empresa ENERGIART SAS para el laboratorio de la empresa Bioquirama. Este dispositivo es crucial para la realización de diversas actividades en el laboratorio, como la mezcla de cultivos celulares y la incubación de muestras biológicas. El enfoque principal del proyecto ha sido crear un agitador incubador orbital que cumpla con los estándares de calidad y rendimiento requeridos por Bioquirama, además de incorporar características innovadoras que mejoren la eficiencia y la fiabilidad del proceso de agitación e incubación.

Para lograr estos objetivos, se llevó a cabo un exhaustivo análisis de los requisitos del laboratorio, incluyendo las especificaciones técnicas como el control preciso de la temperatura, la estabilidad del movimiento orbital y la facilidad de limpieza y mantenimiento. El diseño también considera la selección de materiales duraderos y resistentes a la corrosión, así como la incorporación de un sistema de control que permita programar diferentes parámetros de agitación y temperatura según las necesidades específicas de los experimentos.

El resultado es un dispositivo que no solo optimiza los procesos de agitación e incubación, sino que también se integra de manera eficiente en el entorno de trabajo de Bioquirama, contribuyendo a mejorar la calidad y reproducibilidad de sus investigaciones. Este desarrollo tecnológico tiene el potencial de aumentar la competitividad de Bioquirama en el sector biotecnológico, al contar con un equipo diseñado específicamente para sus necesidades y fabricado con altos estándares de calidad.

Palabras clave — Diseño, agitador incubador orbital, desarrollo, biotecnológico.

1. INTRODUCCIÓN.

En el panorama de la investigación científica y el desarrollo industrial, la eficacia y la precisión en los procesos de laboratorio son esenciales para alcanzar resultados óptimos y avanzar en el conocimiento y la innovación. Dado que el diseño y desarrollo de equipos especializados juegan un papel fundamental en la mejora continua de los métodos de trabajo y la obtención de datos confiables, resulta imperativo prestar atención a los detalles técnicos. En efecto, en el laboratorio de la empresa Bioquirama, dedicada a la investigación y desarrollo en el campo de insecticidas, la necesidad de contar con un agitador incubador orbital adaptado a sus requerimientos específicos se ha convertido en una prioridad.

Puesto que este equipo combina la capacidad de agitar muestras con la capacidad de incubarlas a una temperatura controlada, es fundamental para una amplia gama de aplicaciones, desde cultivos celulares hasta ensayos enzimáticos. Por consiguiente, la eficiencia y la precisión en la agitación e incubación de muestras son aspectos críticos para garantizar la reproducibilidad y la validez de los resultados experimentales. Así pues, el diseño de un agitador incubador orbital que cumpla con los estándares de calidad y rendimiento exigidos por Bioquirama es un desafío técnico y científico de gran importancia.

En cuanto al presente proyecto, se propone diseñar y desarrollar un agitador incubador orbital personalizado para las necesidades específicas del laboratorio de Bioquirama en la empresa ENERGIART SAS. Simultáneamente, a través de un enfoque interdisciplinario que integre conceptos de ingeniería mecánica y electrónica, se buscará crear un equipo que ofrezca un rendimiento excepcional, una fácil operación y una versatilidad para adaptarse a una variedad de aplicaciones.

Este proyecto no solo representa un avance en términos de tecnología y diseño de equipos de laboratorio, sino que también contribuirá significativamente a la capacidad de Bioquirama para llevar a cabo investigaciones de vanguardia y alcanzar sus objetivos científicos y comerciales en el mercado nacional e internacional.

2. OBJETIVOS

2.1. *Objetivo general.*

Diseñar y desarrollar un agitador incubador orbital personalizado para su implementación en el laboratorio de la empresa Bioquirama, con el fin de mejorar la eficiencia en los procesos de agitación e incubación de muestras biológicas.

2.2. *Objetivos específicos.*

- Realizar un análisis exhaustivo de los requisitos y especificaciones técnicas necesario para el diseño y desarrollo del agitador incubador orbital, teniendo en cuenta las aplicaciones específicas del laboratorio de Bioquirama.
- Investigar y seleccionar los componentes y materiales adecuados que garanticen un rendimiento óptimo del agitador incubador orbital en términos de estabilidad, precisión de temperatura y agitación, y durabilidad.
- Diseñar el prototipo del agitador incubador orbital utilizando herramientas de modelado y simulación, asegurando una integración adecuada de los componentes electrónicos, mecánicos y de control.

3. MARCO TEÓRICO.

La agitación y la incubación son dos procesos fundamentales en los laboratorios biotecnológicos. La agitación se utiliza para mezclar y homogeneizar muestras líquidas, facilitando la interacción entre los componentes y promoviendo reacciones químicas o biológicas; el diseño adecuado de los agitadores debe integrar tecnologías avanzadas y materiales de alta calidad para cumplir con los rigurosos estándares de los laboratorios modernos. “En el diseño de dispositivos biomédicos como los agitadores incubadores orbitales, la selección de materiales desempeña un papel crítico en la funcionalidad y seguridad del dispositivo. Los materiales deben ser biocompatibles, resistentes a la corrosión y capaces de mantener condiciones estériles durante el cultivo celular. Además, la elección de materiales con propiedades de conducción térmica adecuadas es crucial

para garantizar un control preciso de la temperatura en el sistema." [1]. Los protocolos de limpieza y las normas de estas varían en cada organización, empresa o centro educativo al que pertenezca el laboratorio, pero hay algunas normas generales que son aplicables en casi todos los laboratorios; como que el equipo suele limpiarse con etanol (75%) [2], por lo cual mínimamente la estructura del agitador debe soportar esta concentración.

El proceso de agitación corresponde a un componente de la línea de elaboración de insecticidas y productos orgánicos de Bioquirama, por lo cual es muy importante el diseño de una máquina que se integre en su sistema de producción y contenga un rango de funciones que se adapten a todos los productos que la empresa elabora. Esta integración no solo implica la capacidad de la máquina para realizar eficientemente las funciones de agitación necesarias, sino también su flexibilidad para adaptarse a la amplia gama de productos que la empresa elabora. Además de esto las variaciones en los volúmenes de producción y los requisitos específicos de agitación para garantizar la calidad y consistencia de los productos finales. Además, la máquina debe ser fácil de operar y mantener, minimizando así el tiempo de inactividad y maximizando la eficiencia global del proceso de producción.

Para mantener su posición competitiva y continuar avanzando en la investigación biotecnológica, Bioquirama requiere equipos de laboratorio que cumplan con altos estándares de precisión y fiabilidad. El desarrollo de un agitador incubador orbital específico para su laboratorio responde a la necesidad de contar con herramientas que aseguren la reproducibilidad y la eficiencia de sus experimentos. La precisión en el control de la velocidad de agitación y la temperatura es crucial para obtener resultados consistentes y confiables. Al enfocarse en estos aspectos, el diseño del agitador incubador orbital no solo facilita la homogeneización y mezcla de las muestras, sino que también mantiene un ambiente estable y controlado para las reacciones biológicas y químicas, lo que es vital para obtener resultados reproducibles.

Los principales parámetros para el diseño son:

- **Velocidad de Agitación:** La velocidad de agitación debe ser ajustable para adaptarse a diferentes tipos de muestras y procesos. El rango de RPM establecido por la empresa es de 50 RPM a 80 RPM. Se establece una velocidad máxima de operación de 120 RPM.
- **Variación de Temperatura:** La capacidad de mantener una temperatura constante de 37°C es esencial para muchas aplicaciones biotecnológicas. El sistema de control de temperatura debe ser preciso y fiable.

- **Iluminación:** La incorporación de lámparas que mejoren la visualización de las mezclas es crucial para el monitoreo continuo de los experimentos. Esto facilita la detección de anomalías y asegura el seguimiento visual de los procesos.

- **Volumen de Trabajo:** El equipo debe tener la capacidad de manejar 8 frascos Erlenmeyer simultáneamente (el equipo actual de la empresa tiene capacidad de 4), adaptándose a los volúmenes de producción requeridos para la expansión de Bioquirama.

- **Materiales:** Los materiales seleccionados, como el acero inoxidable para la estructura principal y el polietileno y goma para las bases de los frascos, deben ser resistentes a la corrosión, biocompatibles y capaces de soportar soluciones de limpieza estándar como el etanol al 75%.

- **Ciclo de Trabajo:** La máquina debe ser diseñada para operar de manera continua o en ciclos prolongados, según las necesidades de producción, asegurando un rendimiento consistente y minimizando el tiempo de inactividad por mantenimiento o ajustes.

La correcta consideración de estos parámetros permitirá desarrollar un agitador incubador orbital que no solo cumpla con los requisitos técnicos y operativos de Bioquirama, sino que también mejore la eficiencia y calidad de sus procesos de investigación y producción biotecnológica.

- **Dimensiones requeridas:** La decisión de diseñar y fabricar un agitador orbital en lugar de adquirir uno comercial responde a varias necesidades específicas de la empresa que no pueden ser satisfechas de manera óptima con los modelos disponibles en el mercado. Principalmente, la personalización del diseño permite adaptar las dimensiones del equipo para ajustarse perfectamente al espacio de trabajo y a los requerimientos operativos del laboratorio.

3.1 Tipos de movimientos de agitadores.

3.1.1. Movimiento Orbital.

El movimiento orbital es circular, donde el centro de rotación permanece fijo mientras que el contenedor se mueve en un patrón circular sobre su eje. A diferencia de los agitadores lineales o de vaivén, el movimiento orbital distribuye la fuerza de manera constante, generando una mezcla

homogénea sin alterar significativamente la estructura de las células u organismos en crecimiento. Este tipo de agitación es especialmente útil para cultivos celulares que requieren una mezcla constante pero no demasiado agresiva, lo que ayuda a mejorar la oxigenación y la disponibilidad de nutrientes sin dañar las células o interferir con los procesos biológicos. Generalmente los equipos con este movimiento son pequeños en tamaño, con sujeción para erlenmeyer de hasta 500 ml y controles digitales de hasta 200 RPM, como se aprecia en la ilustración 1 [3].



Ilustración 1. Agitador orbital.

3.1.2. Movimiento vaivén.

El movimiento de vaivén consiste en un desplazamiento alternado hacia adelante y hacia atrás en un plano horizontal, tal y como se muestra en la ilustración 2 [4]. Este tipo de movimiento favorece una mezcla más vigorosa y rápida, ideal para ciertos tipos de reactivos químicos que requieren una agitación más energética o para romper conglomerados en soluciones más densas. Es muy útil para aplicaciones en las que la mezcla debe romperse y rehacerse constantemente, como en estudios de solubilidad, preparación de suspensiones, o en aplicaciones de extracción de compuestos.

Este tipo de agitador es adecuado para procesos que necesitan una mezcla eficiente en poco tiempo y puede trabajar con diferentes tipos de recipientes, incluyendo matraces, botellas o bolsas plásticas. La intensidad de la agitación y la amplitud del movimiento pueden ajustarse según la

necesidad del experimento, lo que permite un control preciso sobre la velocidad de mezcla y las fuerzas aplicadas a las soluciones.



Ilustración 2. Agitador de vaivén.

3.1.3. Movimiento de balanceo.

El movimiento de balanceo es un desplazamiento alternativo en un plano inclinado que forma un ángulo con la superficie, lo que genera un vaivén rítmico. Este tipo de agitación es más suave en comparación con el movimiento orbital o de vaivén, lo que lo hace ideal para procesos que requieren una mezcla menos agresiva. Los recipientes que contienen las muestras suelen estar situados sobre una plataforma plana, y el ángulo de inclinación y la velocidad de balanceo pueden ajustarse según las necesidades específicas del experimento [5].

Este equipo es muy utilizado en estudios de biología molecular y microbiología, donde es crucial mantener cultivos en condiciones homogéneas sin someterlos a fuerzas disruptivas que podrían alterar su crecimiento o viabilidad. La velocidad y el ángulo de balanceo se pueden ajustar para obtener resultados óptimos en función de la naturaleza de los materiales que se agitan.



Ilustración 3. Agitador de balanceo.

3.1.4. Movimiento de rotación.

El movimiento de rotación es ideal para mezclar líquidos en recipientes cerrados o con tapas, lo que permite mantener condiciones estériles o controladas, a diferencia de otros tipos de agitadores; el de rotación no genera fuerzas que podrían romper estructuras celulares o afectar la calidad de los cultivos. La velocidad de rotación puede ajustarse, lo que permite una mezcla lenta para líquidos viscosos o una rotación más rápida para soluciones acuosas, este tipo de agitador es frecuentemente utilizado en aplicaciones de biología molecular, microbiología y química, donde la mezcla suave pero constante es esencial para mantener la homogeneidad sin causar turbulencias [6]. Además, es útil en técnicas que requieren una exposición uniforme de la muestra a reactivos o enzimas, como la incubación de reactivos en procedimientos enzimáticos o de inmunología.



Ilustración 4. Agitador rotativo.

El agitador orbital es una elección óptima para la mezcla de químicos utilizados en la producción de insecticidas en el laboratorio de Bioquirama debido a su capacidad de proporcionar un movimiento suave y uniforme. Este tipo de agitador genera un movimiento circular controlado que permite mezclar eficientemente los líquidos sin crear turbulencias excesivas, lo cual es crucial cuando se manipulan sustancias químicas que requieren un equilibrio cuidadoso entre la homogeneidad y la preservación de las propiedades físicas de las soluciones.

En la fabricación de insecticidas, donde se manejan formulaciones químicas complejas, es fundamental mantener una mezcla uniforme para garantizar la efectividad del producto. El agitador orbital permite ajustar la velocidad de rotación para adaptarse a las características viscosas o reactivas de los diferentes componentes, lo que evita la separación de fases o la descomposición de los ingredientes activos. Esto es particularmente importante para mantener la estabilidad química y asegurar la distribución homogénea de los compuestos insecticidas dentro de la solución, a diferencia de otros tipos de agitadores, como el de vaivén o balanceo, el agitador orbital minimiza el riesgo de daños mecánicos en la estructura química de los compuestos debido a la suavidad de su movimiento, lo que lo convierte en una herramienta ideal para trabajar con químicos delicados. Además, su capacidad para trabajar a velocidades controladas y constantes permite optimizar los procesos de mezcla sin comprometer la calidad del producto final, asegurando que los insecticidas se mantengan eficaces y homogéneos en su aplicación.

3.2. Tipos de agitadores incubadores orbitales.

3.2.1. Agitadores incubadores de mesa.

Estos son los más compactos y están diseñados para laboratorios con limitaciones de espacio. Estos equipos ofrecen una interfaz fácil de usar con pantallas digitales para controlar y monitorear los parámetros principales los cuales son el control ajustable de velocidad y temperatura, son ideales para aplicaciones de bajo volumen que no requieren muchas muestras simultáneamente. La mayoría de estos dispositivos incluyen plataformas intercambiables para acomodar diferentes tamaños de matraces o placas [7].



Ilustración 5. Agitador incubador orbital de mesa.

3.2.2. Agitadores incubadores con control de CO₂

Estos dispositivos están equipados con sistemas avanzados de filtración, garantizan la esterilidad interna, lo cual es crucial en cultivos celulares. El control de CO₂ es altamente preciso y permite simular condiciones fisiológicas, lo que es esencial en estudios de biología celular. Además, muchos tienen sensores para ajustar automáticamente los niveles de CO₂, lo que facilita su uso en investigaciones prolongadas. Debe estar fabricado para que soporte condiciones agresivas como la atmósfera de dióxido de carbón y condiciones de humedad, garantizando precisión en los resultados [8].



Ilustración 6. incubador de CO₂.

3.2.3. Agitadores incubadores apilables.

Estos dispositivos permiten apilar varias unidades unas sobre otras, lo que maximiza el uso del espacio en el laboratorio. Aunque son de gran tamaño, están diseñados para optimizar el espacio vertical, lo que permite procesar un mayor número de muestras simultáneamente sin requerir más espacio horizontal [9].



Ilustración 7. Agitador incubador orbital apilable.

4. METODOLOGÍA.

Para cumplir con el objetivo propuesto en este proyecto, se seguirá una metodología dividida en varias etapas que permitirán estructurar el diseño del agitador incubador orbital para la empresa Bioquirama en la empresa ENERGIART SAS.

4.1. Recolección de información.

4.1.1. Concepto general de funcionamiento y objetivos de la agitación orbital.

Un agitador incubador orbital es un equipo esencial en laboratorios de biotecnología, microbiología y otros campos científicos que requieren el crecimiento de cultivos celulares, bacterianos o microbianos en condiciones controladas. Estos dispositivos combinan agitación y temperatura constante, permitiendo una mejor oxigenación y distribución de nutrientes, lo que facilita el crecimiento uniforme de células [10]. Un agitador de este tipo opera con movimientos circulares u orbitales, lo que lo diferencia de otros dispositivos como los agitadores de vaivén. Esta agitación orbital mejora la mezcla sin crear turbulencias excesivas, lo que es crucial para cultivos celulares delicados.

4.1.2. Información de requerimientos por parte de la empresa BIOQUIRAMA.

4.1.2.1. Temperatura.

En el estudio de microorganismos, cada especie tiene un rango de temperatura específico que favorece su crecimiento. Cuando observamos la relación entre temperatura y la tasa de crecimiento, se puede identificar una temperatura mínima por debajo de la cual el crecimiento no ocurre. Conforme la temperatura aumenta, la tasa de crecimiento también lo hace hasta alcanzar un punto óptimo. Sin embargo, si la temperatura continúa subiendo más allá de este valor óptimo, el crecimiento se desacelera bruscamente, llegando incluso a causar la muerte celular debido al estrés térmico. [11]. Dado que los microorganismos utilizados en la producción de insecticidas requieren condiciones precisas para prosperar y desarrollar su actividad biológica, es esencial que el equipo de incubación, como el agitador incubador orbital, mantenga un control riguroso de la temperatura, la agitación y otros parámetros ambientales. El control adecuado no solo asegura el crecimiento óptimo de los microorganismos, sino también la estabilidad y calidad del insecticida producido. En este sentido, un diseño que integre de manera efectiva los requisitos de temperatura, junto con una agitación homogénea, permitirá que las formulaciones de insecticidas sean más eficientes y seguras para su aplicación. Para este caso Bioquirama solicita una temperatura máxima y constante de 37° C.

4.1.2.2. Velocidad.

Este factor es esencial para el crecimiento celular, ya que una velocidad insuficiente podría resultar en zonas con baja concentración de nutrientes, mientras que una agitación excesiva podría dañar o destruir las células sensibles [10]. El control de velocidad permite ajustarse a las diferentes fases del crecimiento microbiano o reacciones químicas que puedan ocurrir en la incubación. Durante la fase inicial, cuando la concentración celular es baja, una velocidad moderada podría ser suficiente; sin embargo, a medida que el cultivo crece y las demandas de oxígeno aumentan, podría ser necesario incrementar la velocidad de agitación para garantizar una oxigenación adecuada; por lo tanto, un agitador incubador orbital que permita un ajuste preciso y flexible de la velocidad es fundamental para adaptarse a las distintas necesidades del proceso productivo de insecticidas en Bioquirama, asegurando tanto la calidad del producto como la eficiencia del proceso de producción. La empresa solicita un rango de 0 a 120 RPM.

4.1.2.3. Volumen de trabajo.

El equipo debe tener la capacidad de manejar 8 frascos erlenmeyer de 2000 ml simultáneamente, esto con el fin de aumentar el volumen de producción por ciclo (actualmente cuentan con un dispositivo para 4 erlenmeyer por ciclo).

4.1.2.4. Dimensiones generales del equipo.

La decisión de diseñar y fabricar un agitador orbital en lugar de adquirir uno comercial responde a varias necesidades específicas de la empresa que no pueden ser satisfechas de manera óptima con los modelos disponibles en el mercado. Principalmente, la personalización del diseño permite adaptar las dimensiones del equipo para ajustarse perfectamente al espacio de trabajo y a los requerimientos operativos del laboratorio. Las dimensiones deseadas del agitador son de 1000x600x1500 mm, lo que permite su ubicación estratégica sobre un mesón a una altura de un metro del suelo. Esta especificación es crucial para cumplir con las necesidades ergonómicas del personal, facilitando el acceso a las muestras y los controles del equipo.

4.2. REGULACIÓN DE DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO.

El diseño de dispositivos biomédicos en Colombia, como el agitador incubador orbital, enfrenta un desafío particular debido a la falta de normativas locales específicas que regulen de manera exhaustiva su fabricación. Aunque existen marcos legales generales relacionados con la producción y el uso de equipos médico; estos no abordan de manera detallada los requisitos técnicos para muchos dispositivos de laboratorio. Esta situación implica que los fabricantes y diseñadores deben recurrir a estándares internacionales para garantizar la calidad, seguridad y funcionamiento eficiente de sus productos.

Específicamente, este trabajo se enfocará en analizar y aplicar ciertas normativas nacionales y una internacional que, aunque no específicas para dispositivos biomédicos como el agitador incubador orbital, proporcionan pautas importantes para garantizar el cumplimiento de requisitos de seguridad y funcionalidad. En ausencia de una regulación integral en Colombia, es crucial adaptarse a las normativas internacionales como punto de partida, mientras se toman en cuenta las leyes locales vigentes para asegurar que los dispositivos diseñados puedan operar de manera legal y segura en el mercado colombiano.

4.2.1. IEC 60601-1 Normal internacional para equipos médicos eléctricos.

La norma IEC 60601-1 establece los requisitos generales de seguridad y rendimiento para equipos electromédicos. Esta norma cubre aspectos como la protección contra riesgos eléctricos, mecánicos y térmicos, asegurando que los componentes del equipo no presenten peligro para los usuarios y que el sistema funcione sin comprometer la seguridad operativa [12]. Esta norma también contempla la precisión operativa y el control de la temperatura, factores críticos en la incubación de muestras biológicas. Esto implica que los elementos de calefacción y control de temperatura deben cumplir con los estándares internacionales para garantizar que las condiciones de incubación sean estables, seguras y ajustadas a las necesidades experimentales, sin generar riesgos de sobrecalentamiento o errores de funcionamiento.

Además, la norma subraya la importancia de la calidad de los materiales y el diseño ergonómico para garantizar un uso sencillo y seguro del equipo. Al implementar un diseño que sigue estos lineamientos, el agitador incubador orbital no solo asegura el rendimiento científico requerido por

Bioquirama, sino que también cumple con los estándares de seguridad globales, reduciendo el riesgo de fallos técnicos y protegiendo a los operarios que lo utilizan en el laboratorio.

4.2.2. Resolución 666 de 2020 Ministerio de Salud y Protección Social.

Esta resolución establece un marco integral para la regulación de dispositivos médicos, incluyendo directrices específicas sobre la higiene y el control de infecciones [14]. Igualmente subraya la importancia de garantizar que todos los dispositivos médicos estén libres de contaminantes y sean seguros para su uso en procedimientos clínicos. En su Artículo 10, la resolución establece que los dispositivos médicos deben someterse a procesos de limpieza, desinfección o esterilización, según el tipo de dispositivo y su uso previsto, para prevenir riesgos asociados con infecciones y contaminación cruzada.

La máquina debe diseñarse para facilitar la limpieza y desinfección de sus componentes, utilizando materiales resistentes a productos de limpieza como el etanol al 75%, comúnmente utilizado en los laboratorios

4.3. MODELADO DEL DISEÑO.

4.3.1. Diseño estructural.

Como diseño estructural se planteó el modelo de la ilustración 1, esta estructura es la encargada de soportar los 8 erlenmeyer (cantidad solicitada por la empresa); 4 por nivel, está inspirada en un agitador ya existente en la empresa.



Ilustración 8. Diseño de agitador incubador.

La estructura principal del agitador incubador orbital está diseñada específicamente para ser fabricada en lámina metálica, esto aprovechando las capacidades de corte láser y doblado que posee la empresa ENERGIART SAS. Esta decisión no solo optimiza el proceso de manufactura, sino que también garantiza una mayor precisión en el ensamblaje y robustez del equipo. El uso de lámina cortada con láser permite obtener piezas con bordes limpios y dimensiones exactas, lo que reduce el margen de error durante el ensamblaje y asegura una mejor alineación de los componentes críticos.

Además, la tecnología de doblado CNC permite crear estructuras tridimensionales a partir de una sola pieza de lámina, minimizando el uso de soldaduras y otros métodos de unión que podrían afectar la integridad del equipo a largo plazo.

4.3.1.1. Estructura principal.

Para la estructura principal del agitador incubador orbital, se ha seleccionado el uso de perfiles personalizados de acero inoxidable tipo 305, los cuales ofrecen una combinación óptima de resistencia mecánica y resistencia a la corrosión, ideal para aplicaciones en entornos de laboratorio. Estos perfiles son fabricados a partir de láminas de 2,5 mm de espesor, asegurando una robustez adecuada para soportar las cargas dinámicas del sistema durante su operación. El proceso de fabricación de estos perfiles se realiza utilizando tecnología de corte láser y doblado en máquinas CNC, garantizando una alta precisión y consistencia en cada componente estructural y permite fabricar los perfiles con las perforaciones necesarias y biseles correspondientes.

La empresa ENERGIART cuenta con las instalaciones y equipos necesarios para llevar a cabo estos procesos de manufactura internamente, eliminando la necesidad de tercerizar estos servicios. Los perfiles de acero inoxidable 304 que componen la estructura principal serán unidos mediante soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) autógena. Este proceso se seleccionó por su capacidad para generar uniones de alta calidad y precisión, esenciales en un equipo que requiere estabilidad estructural, durabilidad y un acabado estético impecable. La soldadura TIG es particularmente adecuada para el acero inoxidable, ya que permite un control detallado de la temperatura y la cantidad de material de aporte, reduciendo al mínimo las deformaciones y preservando las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión del material.



Ilustración 9. Perfil personalizado de acero inoxidable.



Ilustración 10. Estructura principal del agitador.

4.3.1.2. Base de la estructura.

La base de la estructura principal del agitador incubador orbital está diseñada con tubería de acero inoxidable de sección cuadrada de 40x40 mm y un espesor de 2 mm. Este diseño estructural ha sido cuidadosamente seleccionado para proporcionar una plataforma robusta y estable, esencial para soportar las operaciones dinámicas del equipo. La elección del acero inoxidable responde a la necesidad de resistencia a la corrosión y durabilidad, lo cual es crucial en entornos de laboratorio donde se manejan sustancias químicas y se requiere un mantenimiento mínimo.

Esta base no solo sostiene el motor y el sistema motriz, sino que también alberga la mayoría de los componentes electrónicos, proporcionando un espacio seguro y organizado para su instalación. Al concentrar estos elementos en la base, se facilita el acceso para mantenimiento y se optimiza la distribución del peso, mejorando así la estabilidad general del agitador durante su funcionamiento.

La base está cubierta por lámina de acero inoxidable cal 16, para la protección de los componentes internos y su aislamiento con el entorno. Esta base estaría sujeta a modificaciones

por parte de la empresa; esto por la disponibilidad de motores en Stock, dependiendo del motor se adiciona elementos para la sujeción del mismo.



Ilustración 11. Base del agitador.

4.3.1.3. Base interna erlenmeyer.

La base destinada a la sujeción de los erlenmeyer en el agitador orbital está diseñada para garantizar estabilidad, y absorción de vibraciones durante el funcionamiento. La base principal está fabricada con lámina de acero inoxidable de 3 mm de espesor, esta proporciona una estructura sólida y resistente a la corrosión, ideal para el entorno de un laboratorio. Se coloca una capa de poliestireno expandido entre la base de acero inoxidable y la base de goma; esto porque durante la operación del agitador orbital, el movimiento de los ejes excéntricos genera vibraciones que pueden transmitirse a la estructura y a las muestras, el polietileno actúa como un amortiguador natural, absorbiendo parte de estas vibraciones y reduciendo el impacto sobre los erlenmeyer. La capa final consiste en una base de goma, diseñada para proporcionar una superficie antideslizante que asegura la adhesión firme de los erlenmeyer. La base es de neopreno, conocido por su excelente resistencia al desgaste, propiedades antideslizantes y capacidad para absorber impactos, además el neopreno también es resistente a productos químicos, lo que lo hace ideal para su uso en un laboratorio.

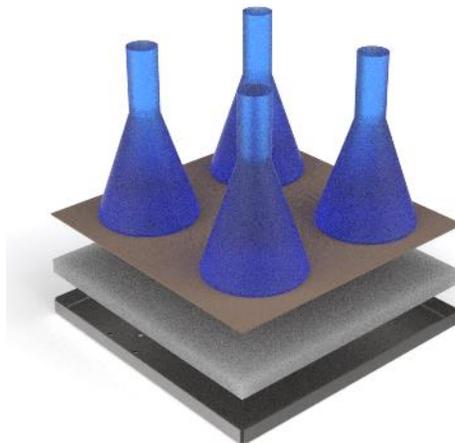


Ilustración 12. Base erlenmeyer.

4.3.1.4. Estructura portante.

La estructura portante de los erlenmeyer en el agitador orbital está diseñada para proporcionar un soporte robusto y estable, facilitando la operación y el mantenimiento del equipo. Esta estructura está construida con ángulos de acero inoxidable de 3 mm de espesor. Los perfiles de acero están ensamblados estratégicamente en las esquinas de las bases que sostienen los erlenmeyer, utilizando tornillos que permiten un montaje y desmontaje sencillo. Este diseño modular facilita el acceso a las bases para la limpieza, el mantenimiento o la sustitución de componentes, asegurando la máxima versatilidad.

La estructura está configurada para soportar dos bases, una en la parte inferior y otra en la parte superior, cada una de las cuales puede alojar hasta cuatro erlenmeyer de 2000 ml; esta disposición optimiza el espacio y permite un uso eficiente de la capacidad del agitador, asegurando que múltiples muestras puedan ser agitadas de manera simultánea y uniforme. Adicionalmente, la estructura portante incluye un envolvente de lámina de acero inoxidable que sirve como soporte para las luces integradas. Luces necesarias para iluminar el proceso de agitación, proporcionando una visibilidad clara del estado de las muestras durante la operación, esto mejora la seguridad y el control del proceso, permitiendo a los operadores monitorear visualmente el comportamiento de las muestras sin necesidad de interrumpir el proceso de agitación.



Ilustración 13. Estructura portante.

4.3.1.5. Guarda resistencias.

Este componente estaría fabricado en lámina de acero inoxidable de 4.5 mm de espesor. Este elemento, como otros componentes del agitador, ha sido producido mediante procesos de corte láser y doblado, garantizando un ajuste casi perfecto. Su función principal es proporcionar una protección integral para las resistencias eléctricas, ventiladores y ejes móviles; además de su rol protector, también sirve como un mecanismo de seguridad; evitando el contacto accidental de los usuarios con las partes móviles y componentes eléctricos, esto reduce el riesgo de lesiones y daños. La robustez del acero inoxidable asegura que el elemento sea duradero y resistente a la corrosión, características esenciales en un entorno de laboratorio donde la exposición a diversas sustancias químicas y temperaturas es constante.



Ilustración 14. Guarda resistencias.

4.3.1.6. Base inferior.

La base inferior del agitador incubador orbital ha sido diseñada específicamente para soportar las cargas verticales generadas por los componentes móviles del sistema, incluyendo la estructura portante, los módulos y los erlenmeyers. Para garantizar la resistencia y durabilidad requeridas, se seleccionó una lámina de acero inoxidable con un espesor de 4.5 mm. El espesor de 4.5 mm permite un equilibrio entre peso y robustez, lo que facilita la fabricación, el transporte y el montaje del equipo.

La base es fabricada mediante corte láser, lo que asegura precisión en las dimensiones y un acabado de alta calidad. Las perforaciones incluidas en el diseño permiten el posicionamiento exacto de los ejes excéntricos y los tornillos de las chumaceras, optimizando el ensamblaje y simplificando el mantenimiento del sistema. Además, el diseño garantiza una distribución uniforme de las cargas y minimiza las concentraciones de esfuerzo, reduciendo el riesgo de deformaciones o fallos estructurales. Posteriormente, la resistencia de la base fue verificada a través de un análisis de tensión, confirmando su capacidad para soportar las fuerzas generadas durante la operación sin comprometer la estabilidad del equipo. Esta combinación de materiales, procesos de fabricación y validación estructural asegura un rendimiento confiable y una larga vida útil del componente.

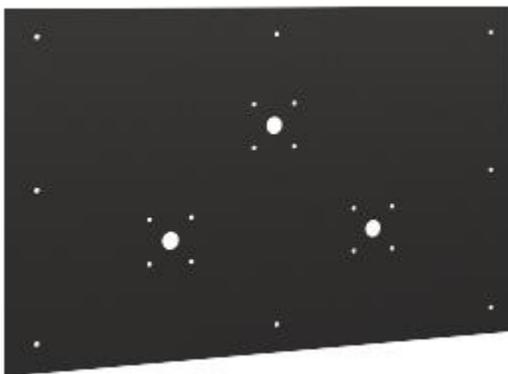


Ilustración 15. Base inferior.

4.3.1.7. Sistema motriz.

El sistema motriz del agitador orbital está diseñado para garantizar un movimiento eficiente y controlado, este sistema se compone de tres ejes excéntricos cuya disposición es clave para la transmisión del movimiento orbital; dos de estos ejes son libres y el tercero es el eje motriz.

El diseño excéntrico de los ejes permite generar el movimiento circular característico del agitador orbital. Los tres ejes están apoyados en la base del agitador mediante chumaceras las cuales proporcionan un soporte mecánico robusto, estos también facilitan el movimiento de rotación con un bajo nivel de fricción, lo que resulta en una transmisión eficiente del movimiento. La elección de las chumaceras y su correcta alineación es fundamental para reducir el desgaste de los componentes y asegurar un funcionamiento estable y duradero del sistema motriz.

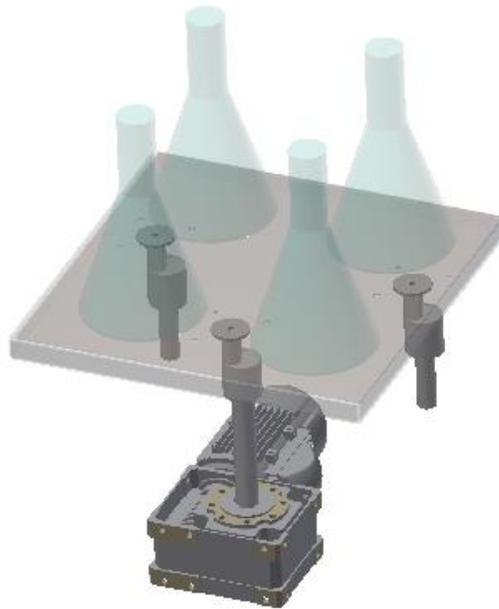


Ilustración 16. Sistema motriz.



Ilustración 17. Concepto de diseño de eje excéntrico libre.

Como se observa en la ilustración 16, en la parte superior del eje se ensambla un disco de acero inoxidable con pernos, esto con el objetivo de mejorar la zona de contacto entre el eje y el módulo inferior.

La transmisión es directa desde el motor hacia el eje excéntrico motriz, eliminando la necesidad de una banda o cadena de transmisión. Esta configuración directa es posible debido a que la

relación de transmisión es de 1:1, lo cual significa que el eje excéntrico gira a la misma velocidad que la salida del motor, la transmisión directa mantiene la simplicidad mecánica del sistema y también reduce los costos al prescindir de componentes adicionales, como poleas o tensores. La velocidad variable requerida para el proceso se logra a través del variador, lo que proporciona flexibilidad en el control sin necesidad de complejas soluciones de transmisión y reduciendo costos.

La diferencia de centros entre ejes es de 12,7 mm (eje excéntrico). Las mezclas para agitar son acuosas y no requieren un gran esfuerzo para generar una buena mezcla, si bien los líquidos viscosos pueden necesitar movimientos más agresivos, las soluciones acuosas, especialmente en el caso de insecticidas, son generalmente menos viscosas y no requieren una alta intensidad en el movimiento. Un desplazamiento excéntrico de 12.7 mm es suficiente para proporcionar un movimiento orbital adecuado sin requerir un gran consumo de energía o fuerzas excesivas que puedan afectar el sistema, esta medida se tomó de referencia del equipo existente en el laboratorio.

Los ejes no soportan esfuerzos cortantes o esfuerzos de deflexión, esto es por la posición de los ejes y que no contienen elementos de transmisión como polea o engranajes, la fuerza que el eje debe soportar es la suma de las fuerzas centrífugas generadas por la rotación de los módulos y la estructura portante. Para verificar si los ejes cumplen, primero tenemos que calcular la fuerza centrífuga teniendo en cuenta las RPM máximas de trabajo (80 RPM):

$$80 \text{ RPM} = 8,3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Suponiendo la masa de la estructura portante con los erlenmeyer con líquido (40 kg aproximadamente), se tiene para la fuerza centrífuga

$$F_c = m * r * \omega^2$$

$$F_c = 40 \text{ kg} * 0,0127 \text{ m} * \left(8,3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2$$

$$F_c = 35,7 \text{ N}$$

La fuerza tangencial sobre el eje se puede aproximar como la fuerza centrífuga. En este sistema la fuerza tangencial sobre el eje es proporcional a la fuerza centrífuga, ya que la fuerza centrífuga actúa como la fuente de la carga dinámica sobre el eje. La fuerza centrífuga que se calcula para el

objeto en la órbita también se refleja en la cantidad de torsión que debe resistir el eje, lo que genera una fuerza tangencial. El eje debe resistir la torsión y la flexión debido a la fuerza centrífuga aplicada en el punto excéntrico.

$$T = F_c * r$$

$$T = 35,7 \text{ N} * 0,0127 \text{ m} = 0,45 \text{ N.m}$$

Los ejes deben resistir la torsión de 0,45 N.m sin fallar. Para el eje de 1" (25,4 mm) el módulo de sección polar es:

$$J = \frac{\pi * d^4}{32}$$

$$J = \frac{\pi * (0,0254)^4}{32} = 4,08 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

Ahora calculamos el esfuerzo torsional

$$\tau = \frac{T * r}{J}$$

$$\tau = \frac{0,45 \text{ N.m} * 0,0127 \text{ m}}{4,08 * 10^{-8} \text{ m}^4} = 14 \text{ MPa}$$

Este esfuerzo es mucho menor que la resistencia del acero inoxidable, además el resultado habría que dividirlo por 3 (tres ejes excéntricos). Por esto los ejes diseñados cumplen con la resistencia necesaria para la operación bajo las condiciones dadas.

4.3.1.8. Motor.

Para conocer la potencia del motor requerido se usan los parámetros que se obtienen durante el diseño:

- Masa: 60 kg (peso aproximado de los módulos del agitador, estructura interna y Erlenmeyer con líquido)
- Velocidad: 120 RPM = 12,5663 rad/s
- Diámetro de la polea: 81,28 mm

$$T = f * d$$

$$T = (60 \text{ kg}) * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{81,28 \text{ mm}}{2 * 1000 \text{ mm}} = 24,384 \text{ Nm}$$

Ahora tenemos que la potencia es:

$$P = T * \omega$$

$$P = 24,384 \text{ Nm} * 12,5663 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 0,306 \text{ Kw}$$

Finalmente se supone una eficiencia del motor de 0,75 para el cálculo de la potencia mínima del motor:

$$P_{min} = \frac{0,306 \text{ Kw}}{0,75} = 0,408 \text{ Kw}$$

$$P_{min} = 0,504 \text{ HP}$$

La empresa BIOQUIRAMA eligió el trabajar con un motor de 1 HP. Esta decisión está fundamentada en el stock de motores que posee la empresa, esta elección proporciona un margen de seguridad frente a sobrecargas, prolonga la vida útil del motor al operar a una menor carga y permite una mayor estabilidad y eficiencia energética. Además, se reduce el riesgo de fallos por variaciones en la carga, disminuyendo la necesidad de mantenimiento, y deja espacio para futuras modificaciones o expansiones del equipo sin necesidad de reemplazar el motor.

4.3.1.9. Control de temperatura.

El rango de operación solicitado debe oscilar entre los 20°C y los 40°C, con un objetivo particular de estabilización a 37°C. Este control preciso de la temperatura es fundamental para garantizar la viabilidad de los experimentos y la homogeneidad en las reacciones químicas que se puedan realizar en la mezcla de insecticidas. Para este caso se utilizarán resistencias eléctricas como fuente de calor para el agitador, integrado con un sensor de temperatura cuya función es el control de las resistencias para garantizar una temperatura uniforme dentro del dispositivo. Para determinar la resistencia calefactora adecuada, se tiene en cuenta que la temperatura promedio en Medellín 23,5°C [14], y el espacio interno a calentar es de 0,588 m³. Con estos datos se calcula la cantidad de calor necesaria para calentar el volumen de 23,5°C a 40°C.

$$Q_{req} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Donde:

- Q es el calor requerido (en Joules).
- m es la masa del aire en el volumen del incubador (kg).
- c es la capacidad calorífica específica del aire (aproximadamente 1009 J/kg·K) [14]
- ΔT es el incremento de temperatura (en Kelvin).

La densidad del aire es $1,225 \frac{kg}{m^3}$ por lo tanto la masa del aire es

$$1,225 \frac{kg}{m^3} \times 0,588m^3 = 0,7203 kg$$

El delta de temperatura es $40^{\circ}C - 23,5^{\circ}C = 16,5^{\circ}C = 289,65 K$

$$Q = 0,7203 kg \times 1009 \frac{J}{kg \cdot K} \times 289,65 K = 210512,60 J = 58,5 W$$

Es el calor necesario para calentar el aire dentro del agitador. Se considera la perdida de calor por convección:

$$Q_{conv} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde:

- h es el coeficiente de transferencia de calor por convección del aire, sabemos que por convección natural se encuentra entre 5-25 [W/m².°C]. suponemos 10 W/m².°C
- A es el área superficial del agitador, estimada en 4,39 m²,
- ΔT es la diferencia de temperatura ($40^{\circ}C - 23,5^{\circ}C = 16,5^{\circ}C$).

$$Q_{conv} = 10 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \times 4,39m^2 \times 16,5^{\circ}C = 724W$$

La pérdida de calor por radiación se puede calcular usando la ley de Stefan-Boltzmann:

$$Q_{rad} = \sigma \cdot \epsilon \cdot A \cdot (T_{in}^4 - T_{amb}^4)$$

Donde:

- σ Es la constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$.
- ε Es la emisividad del acero inoxidable que según el libro de transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel [15], es de 0,17
- A es el área superficial (4,39 m²),
- T_{in} es la temperatura interna en Kelvin ($40^{\circ}C = 313.15 K$),

- Tamb es la temperatura ambiente en Kelvin ($23.5^{\circ}\text{C} = 296.65 \text{ K}$).

$$Q_{rad} = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \times 0,17 \times 4,39 m^2 \times ((313,15 \text{ K})^4 - (296.65)^4)$$

$$Q_{rad} = 79,21 \text{ W}$$

La potencia requerida de las resistencias es la suma de las potencias calculadas

$$Q_{total} = Q_{req} + Q_{convección} + Q_{radiación} = 861,71 \text{ W}$$

Se ha determinado que para este sistema se deben incluir dos resistencias de 500W, sumando una potencia total de 1000W. Esta configuración garantiza mantener una temperatura estable de 37°C dentro de la cámara de incubación, además de esto, la potencia de 500W es un valor estándar y ampliamente disponible en resistencias tubulares comerciales; lo que facilita tanto la selección como la adquisición de los componentes, también por ser un valor de potencia muy utilizado, se encuentran en el mercado resistencias que cumplen con parágrafos de la normativa IEC 60601-1 sobre riesgo eléctrico. Para este dispositivo solo se consideró la tasa de pérdida de calor por convección y radiación, las cuales son los métodos de transferencia de calor que predominan en este caso. con el material principal acero inoxidable.

4.3.2. MATERIALES DE LA ESTRUCTURA.

Para este tipo de equipos es necesario garantizar la resistencia de los materiales a la limpieza y desinfección. Esto implica que los componentes del agitador deben ser resistentes a productos químicos como el etanol al 75%, y otros desinfectantes comúnmente utilizados en laboratorios, para evitar riesgos de contaminación y garantizar la seguridad del equipo.

Además, la norma IEC 60601-1, aplicable a equipos electromédicos, establece que los materiales utilizados deben ofrecer una protección adecuada contra riesgos eléctricos, mecánicos y térmicos [12]. Dado que el agitador operará a temperaturas controladas de hasta 37°C , los materiales seleccionados deben ser capaces de mantener su integridad y propiedades físicas bajo estas condiciones térmicas, sin afectar su durabilidad ni funcionamiento.

Para la fabricación del agitador incubador orbital se seleccionó acero inoxidable 304 como material principal, dado que ofrece un excelente equilibrio entre resistencia mecánica, durabilidad y costo en comparación con otras aleaciones como el acero inoxidable 316. Aunque el acero inoxidable 316 proporciona mayor resistencia a la corrosión debido a su contenido de molibdeno, esta propiedad no es estrictamente necesaria en este caso, ya que las soluciones empleadas en la mezcla de insecticidas no son altamente corrosivas ni agresivas químicamente. Además, el acero inoxidable 304 posee una excelente resistencia a la oxidación y es suficientemente robusto para soportar las condiciones operativas del equipo en el laboratorio. Su menor costo en relación con el 316 lo hace una opción más eficiente y económica, sin comprometer la funcionalidad ni la longevidad del dispositivo. Esta elección asegura un balance adecuado entre calidad, desempeño y viabilidad financiera para la aplicación específica. Este material presenta las siguientes ventajas:

- **Resistencia a la corrosión:** El acero inoxidable AISI 304 es altamente resistente a la corrosión, lo que lo convierte en una excelente opción para entornos donde se usan productos químicos para la desinfección y limpieza [13]. Esto se ajusta a las directrices establecidas en la Resolución 666, que exige que los materiales sean fáciles de limpiar y resistentes a contaminantes.
- **Durabilidad y estabilidad mecánica:** Cumple con los requisitos mecánicos de la norma IEC 60601-1 en cuanto a la robustez de los dispositivos biomédicos. Su resistencia estructural es adecuada para soportar las cargas y vibraciones generadas por el movimiento orbital del agitador, además de resistir deformaciones que puedan afectar la precisión de la incubación.
- **Compatibilidad térmica:** El acero inoxidable AISI 304 tiene una excelente resistencia a las variaciones térmicas. Aunque la temperatura máxima del equipo será de 37 °C, su capacidad de soportar temperaturas mucho mayores garantiza que no habrá problemas de deformación o degradación bajo las condiciones de trabajo del agitador.
- **Facilidad de manufactura:** La estructura está diseñada para su fabricación mediante corte láser y doblado, aprovechando la capacidad de la empresa ENERGIART SAS para procesar lámina de acero inoxidable mediante estas técnicas.

Para el cerramiento del agitador incubador orbital, se evaluarán tres materiales principales: policarbonato, acrílico y vidrio. Cada uno de estos materiales ofrece características únicas en términos de resistencia, transparencia y durabilidad, lo que los convierte en opciones viables para proteger y aislar el sistema. El policarbonato es conocido por su alta resistencia al impacto y su capacidad para soportar temperaturas elevadas, lo que lo hace ideal para entornos donde la seguridad es primordial. El acrílico, por su parte, ofrece una excelente claridad óptica y es más ligero que el vidrio, lo que facilita su manipulación y montaje. El vidrio, aunque más pesado, proporciona una excelente resistencia a los arañazos y es altamente resistente a los productos químicos, lo que puede ser beneficioso en un entorno de laboratorio.

Criterio	Descripción
Costo	Evalúa el precio del material, considerando la relación costo-beneficio a largo plazo.
Resistencia al Impacto	Analiza la capacidad del material para resistir golpes y fuerzas externas sin romperse.
Transparencia	Determina el grado de visibilidad que ofrece el material, esencial para monitorear el interior del dispositivo.
Durabilidad	Mide la vida útil del material en función de su resistencia al desgaste y a factores ambientales.
Facilidad de Mantenimiento	Valora la simplicidad y frecuencia del mantenimiento requerido para el material.
Resistencia a la Temperatura	Examina la capacidad del material para mantener su integridad estructural bajo diferentes condiciones térmicas.
Peso	Considera el peso del material, afectando la facilidad de instalación y manipulación.
Resistencia Química	Evalúa cómo el material responde a la exposición a productos químicos comúnmente utilizados en laboratorios.

Tabla 1. Evaluación de materiales para el cerramiento.

Criterio	Ponderación
Costo	25%
Resistencia al Impacto	20%
Transparencia	15%
Durabilidad	20%
Facilidad de Mantenimiento	10%
Resistencia a la Temperatura	5%
Peso	5%
Resistencia Química	5%
Total	100%

Tabla 2. Ponderación de los criterios.

4.3.2.1. Matriz de selección de material para el cerramiento.

Según los parámetros de la selección y su respectiva calificación asignada se construye una matriz de selección y se evalúan los materiales:

Criterio	Ponderación	Policarbonato	Acrílico	Vidrio
Costo	25%	20%	22%	18%
Resistencia al Impacto	20%	19%	15%	10%
Transparencia	15%	14%	15%	12%
Durabilidad	20%	18%	16%	14%
Facilidad de Mantenimiento	10%	9%	8%	7%
Resistencia a la Temperatura	5%	4%	3%	5%
Peso	5%	5%	4%	2%
Resistencia Química	5%	4%	3%	2%
Total	100%	93%	86%	70%

Tabla 3. Matriz de selección.

4.3.2.2. Policarbonato.

El policarbonato ofrece una combinación de propiedades físicas, mecánicas, térmicas y ópticas que lo hacen ideal para aplicaciones exigentes [16], como el cerramiento de un agitador incubador orbital. Su densidad de $1,20 \text{ g/cm}^3$ y rango de temperatura de uso entre $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ y $+135 \text{ }^\circ\text{C}$ garantizan que el material pueda soportar las condiciones de operación sin deformarse ni degradarse, lo cual es crucial para mantener un entorno controlado y seguro dentro del dispositivo.

Las propiedades mecánicas, como un alargamiento a la rotura del 100-150% y una resistencia al impacto Izod de 600-850 J/m, aseguran que el policarbonato pueda resistir impactos y tensiones sin romperse, protegiendo las muestras biológicas en caso de accidentes. Su dureza Rockwell M70 y módulo de tracción de 2,3-2,4 GPa también contribuyen a la rigidez estructural del cerramiento, manteniendo la estabilidad del sistema durante la agitación.

Desde el punto de vista térmico, el calor específico de aproximadamente $1200 \text{ J/(K}\cdot\text{kg)}$ y la conductividad térmica de $0,19\text{-}0,22 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ facilitan una distribución uniforme del calor, esencial para la incubación precisa de las muestras. Además, las propiedades ópticas, como una transmisión lumínica del $90\% \pm 1\%$, permiten la visibilidad de las muestras sin necesidad de abrir el dispositivo, lo que ayuda a mantener la temperatura y las condiciones internas estables. Todas estas características hacen del policarbonato una opción segura, duradera y eficiente para el uso en un entorno de laboratorio exigente.

4.3.3. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS.

Para el correcto funcionamiento mecánico-eléctrico del dispositivo, se desarrollan los planos eléctricos fundamentales del agitador incubador orbital. Estos planos detallan el concepto de la disposición y conexión de los componentes eléctricos que aseguran el correcto funcionamiento del sistema, desde la distribución de potencia hasta el control de la temperatura. Cada diagrama está diseñado para proporcionar claridad en la configuración y garantizar que el sistema opere de manera segura y eficiente. A continuación, se describen detalladamente los cuatro planos eléctricos principales, los cuales desarrollados en el departamento eléctrico de la empresa.

4.3.3.1. Diagrama de Potencia.

El diagrama de potencia muestra la disposición de los elementos responsables de la distribución y protección de la energía eléctrica dentro del sistema. Dos relés termomagnéticos están conectados, uno de 40 A y otro de 3A, los cuales actúan como dispositivos de protección para evitar sobrecargas y cortocircuitos en el circuito de control. El relé de 40 A protege el circuito de mayor potencia, mientras que el de 3A resguarda componentes de menor carga, asegurando que el sistema funcione dentro de los parámetros eléctricos establecidos.

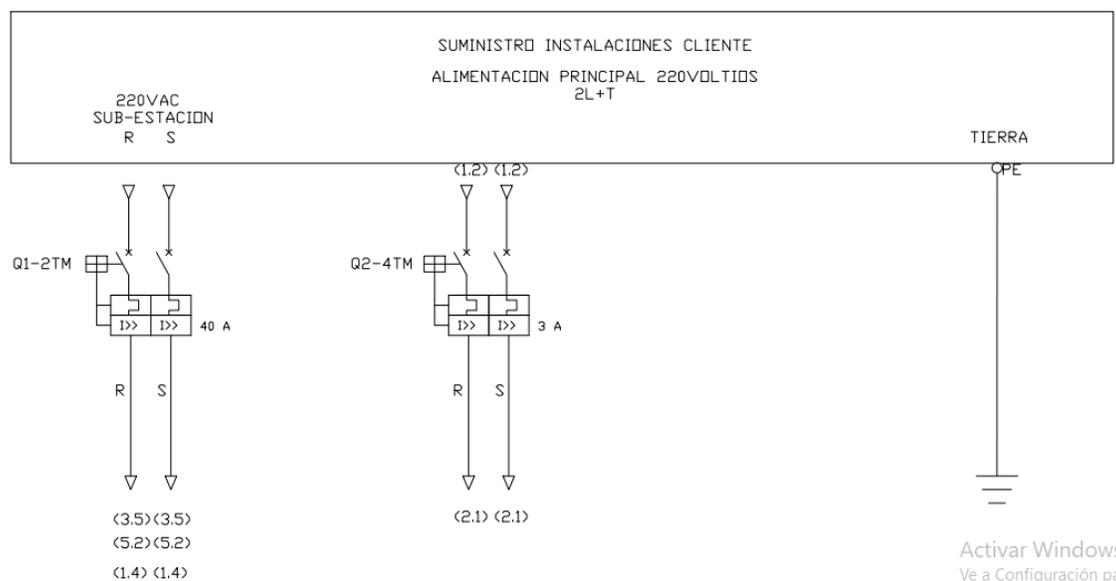


Ilustración 18. Diagrama eléctrico de potencia.

4.3.3.2. Sistema de Arranque.

El sistema de arranque está configurado para iniciar y detener el funcionamiento del agitador mediante un esquema de enclavamiento. Incluye un contactor, un botón de paro normalmente cerrado (NC), un botón de inicio normalmente abierto (NA), y un contacto auxiliar del relé que trabaja en paralelo con el botón de inicio. Al presionar el botón de inicio, la bobina del contactor se activa, cerrando el contacto paralelo y manteniendo el sistema en marcha incluso después de soltar el botón. Adicionalmente, se incluye una llave que controla el encendido y apagado de las lámparas del agitador, permitiendo un manejo independiente de la iluminación del equipo.

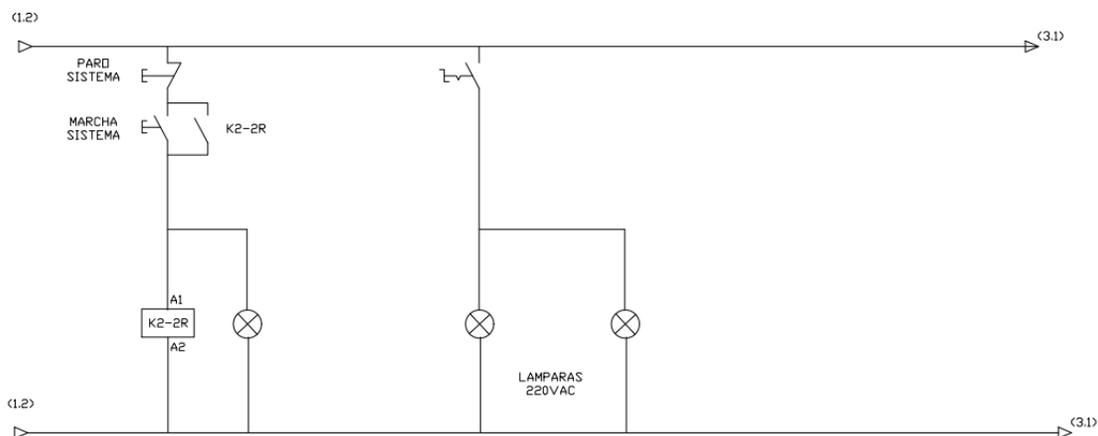


Ilustración 19. Diagrama sistema de arranque.

4.3.3.3. Sistema del Motor.

El diagrama del motor incorpora una protección térmica de 10 A para salvaguardar el variador de frecuencia. El contactor utiliza un contacto normalmente abierto (NA) que, al ser activado por el botón de marcha, permite el encendido del variador. Este dispositivo es esencial para controlar la velocidad del motor dentro del rango de operación deseado, garantizando un rendimiento adecuado para las necesidades del proceso. Además, se incluye un potenciómetro para ajustar la velocidad de manera precisa, lo que proporciona flexibilidad y control en el manejo del agitador.

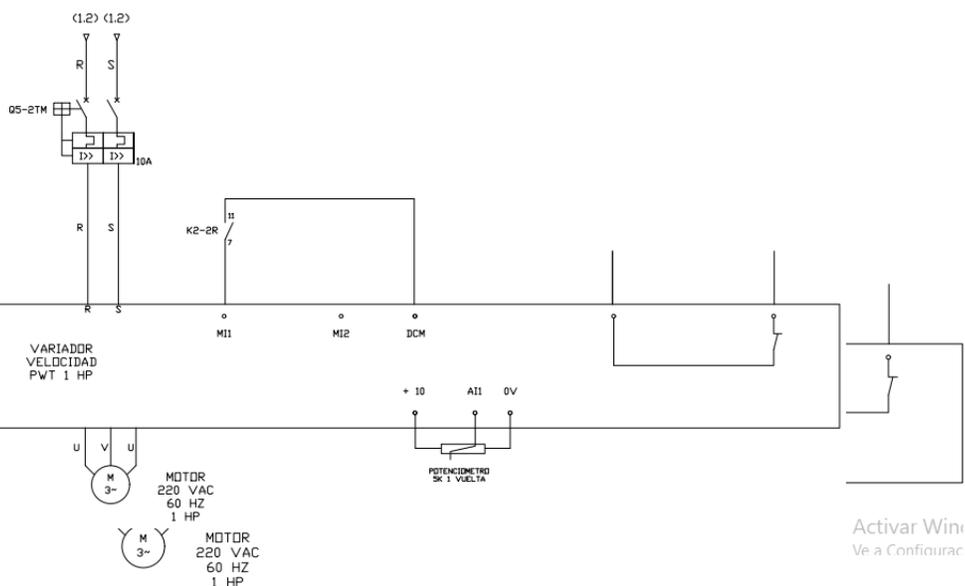


Ilustración 20. Diagrama sistema de motor.

4.3.3.4. Control de temperatura.

El controlador de temperatura está diseñado para regular y mantener la temperatura interna del agitador entre 20°C y 40°C. Se alimenta con una tensión de 220 VCA y está conectado a un contactor que, al alcanzar el setpoint programado, cierra los contactos necesarios para activar las resistencias calefactoras y los ventiladores. Este sistema asegura que las condiciones térmicas sean óptimas para los procesos de incubación, garantizando la eficiencia energética y la seguridad operativa del dispositivo.

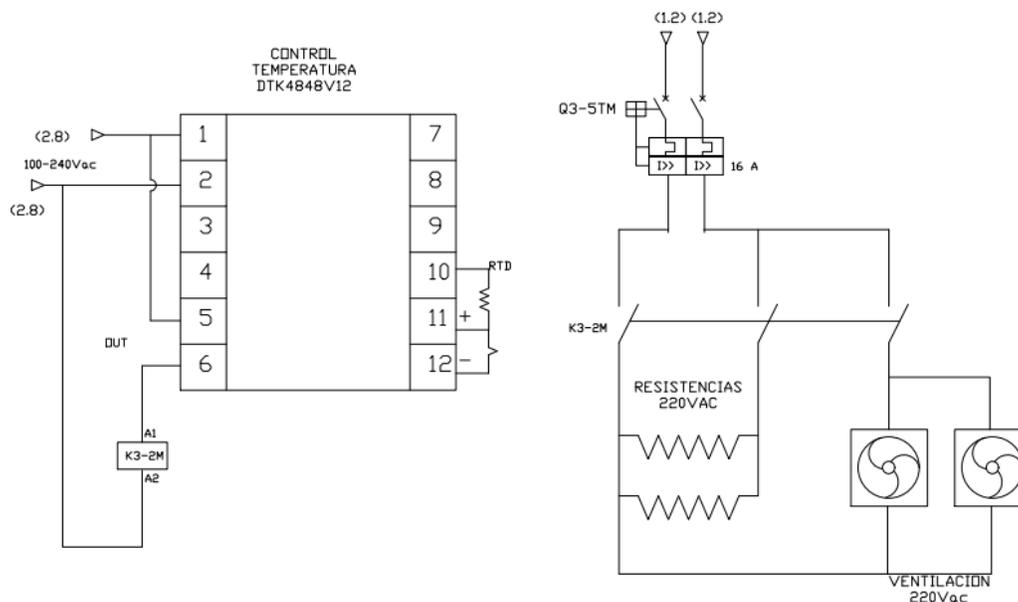


Ilustración 21. Diagrama control de temperatura.

4.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS PRINCIPALES.

La selección de los componentes eléctricos principales es un parámetro de diseño fundamental para este dispositivo, puesto que son los encargados del funcionamiento seguro y eficiente del dispositivo, se debe asegurar que cada componente cumpla con las regulaciones pertinentes en términos de seguridad, calidad y desempeño. Por esta razón, la selección de los componentes eléctricos se realiza de acuerdo con las normativas internacionales de seguridad aplicables a dispositivos de laboratorio.

Las normativas que aplica al diseño del agitador incubador orbital radica principalmente en sus componentes eléctricos y electrónicos, ya que estos son los elementos que determinan su seguridad operativa, fiabilidad y desempeño dentro del entorno de laboratorio. Aunque no existe una legislación específica que regule dispositivos como los agitadores incubadores orbitales, es

esencial asegurar que cada uno de sus componentes cumpla con las normativas internacionales de seguridad y calidad, particularmente aquellas relacionadas con el uso de equipos eléctricos en espacios controlados como los laboratorios.

Los componentes clave del sistema, tales como el motor, los variadores de frecuencia, los controladores de temperatura, las termocuplas, y los ventiladores, deben cumplir con normativas específicas que garanticen su correcto funcionamiento y seguridad. En este contexto, las normativas como la IEC 60601-1 y ASTM E230 son fundamentales, ya que definen los requisitos para la seguridad eléctrica y el desempeño de los equipos en entornos sensibles, como los laboratorios, donde las condiciones de trabajo y la seguridad de los usuarios y las muestras son de máxima prioridad; el cumplimiento con estas normativas se traduce en la incorporación de componentes que, por su diseño y características técnicas, minimizan los riesgos de fallos eléctricos, sobrecalentamientos, o interacciones peligrosas con el entorno. De esta manera, el agitador incubador orbital, aunque no esté específicamente normado como un dispositivo de laboratorio, cumple implícitamente con las regulaciones indirectas que garantizan un uso seguro y eficiente dentro de un laboratorio.

4.4.1. Variador.

Para la selección del variador se requiere considerar factores como la potencia del motor, el rango de control de velocidad, el cumplimiento de normas de seguridad y su disponibilidad a nivel nacional; esto garantiza la accesibilidad para su adquisición y reemplazo en caso de ser necesario. El variador ABB ACS150 cumple con la norma IEC 61800-5-1 [17], que regula los sistemas de control de potencia y variadores de frecuencia. Esta norma comparte principios fundamentales con la IEC 60601-1, que regula los equipos médicos, ya que ambas normativas se enfocan en garantizar la seguridad eléctrica, térmica y mecánica de los dispositivos, aunque aplicadas a diferentes contextos. La IEC 60601-1 se centra en la seguridad de equipos médicos, mientras que la IEC 61800-5-1 se aplica a sistemas industriales y comerciales así como el variador seleccionado. Ambas normativas exigen características de seguridad similares, como aislamiento adecuado, protección contra sobrecorriente y pruebas de tensión dieléctrica para proteger a los usuarios de riesgos eléctricos. La IEC 60601-1 limita las temperaturas máximas en superficies accesibles para evitar quemaduras, mientras que la IEC 61800-5-1 regula las temperaturas

operativas de los variadores para prevenir sobrecalentamientos. También, ambas normativas incluyen medidas para evitar daños mecánicos, asegurando la resistencia a vibraciones y golpes en los equipos.

En cuanto a la compatibilidad electromagnética (EMC), ambas normas garantizan que los dispositivos no generen interferencias que afecten el funcionamiento de otros equipos. Asimismo, exigen altos estándares de fiabilidad y redundancia, asegurando que un fallo no comprometa el control del sistema ni genere condiciones inseguras. Aunque la IEC 60601-1 se aplica a equipos médicos y la IEC 61800-5-1 a variadores industriales, ambas comparten principios de seguridad fundamentales, permitiendo que el variador ABB ACS150 cumpla con las regulaciones necesarias para el agitador incubador orbital.



Ilustración 22. ABB ACS150.

4.4.2. Ventilador.

Se requiere un total de cuatro ventiladores de dimensiones 80x80 mm, capaces de operar eficientemente a una temperatura de trabajo de 37 °C. Tras una evaluación exhaustiva, el ventilador Sunon MF80251V1-A99 fue seleccionado por su capacidad de manejar temperaturas máximas de 85 °C [18], asegurando un amplio margen de operación seguro. Además, su diseño de bajo ruido lo hace ideal para un entorno de laboratorio, donde se busca minimizar las perturbaciones acústicas. Los ventiladores seleccionados cumplen con certificaciones CE y UL, lo que garantiza su seguridad eléctrica y operativa en entornos industriales y comerciales.

Aunque estos ventiladores no están certificados bajo la norma IEC 60601-1, que es específica para equipos médicos, comparten principios esenciales en términos de seguridad eléctrica y protección del usuario. La certificación CE asegura el cumplimiento de directivas europeas sobre seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética, mientras que UL verifica que los dispositivos no representen riesgos de incendio o choque eléctrico.



Ilustración 23. Ventilador Sunon MF80251V1-A99.

4.4.3. Control de temperatura.

La selección del controlador de temperatura DTK4848V12 para el agitador incubador orbital responde a la necesidad de un control térmico preciso y seguro en entornos de laboratorio en Colombia. Este dispositivo, al cumplir con certificaciones como CE y UL [19], garantiza un alto estándar de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética, fundamentales para asegurar un entorno de trabajo seguro. Aunque no cuenta con la certificación IEC 60601-1, específica para dispositivos médicos, sus estándares de seguridad y fiabilidad se alinean con los requisitos de operación en laboratorios, ofreciendo una protección comparable para los usuarios.

El DTK4848V12 se rige también bajo la norma IEC 61326, que se enfoca en la compatibilidad electromagnética de equipos de medición y control. Esta norma garantiza que el controlador no generará interferencias perjudiciales para otros equipos en el laboratorio, un aspecto crucial en

entornos donde coexisten múltiples dispositivos electrónicos sensibles. Esta compatibilidad electromagnética es un principio compartido con IEC 60601-1, lo que refuerza la seguridad y funcionalidad del DTK4848V12 en un entorno similar al de los dispositivos médicos.

Además de su cumplimiento normativo, el DTK4848V12 ofrece ventajas técnicas significativas. Su alta precisión de control ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) es fundamental para mantener las condiciones óptimas dentro del incubador, especialmente en procesos que requieren estabilidad térmica estricta, como la incubación de muestras biológicas. La versatilidad en su salida (Relé, SSR, 4-20 mA) permite una integración flexible y eficiente con el sistema de calentamiento del agitador, asegurando una respuesta rápida a los cambios de temperatura. Por estas razones, el DTK4848V12 se presenta como una opción ideal, cumpliendo con los requisitos de precisión, seguridad y normativa necesarios para un funcionamiento eficaz en laboratorios.



Ilustración 24. DTK4848V12.

4.4.4. Control Lógico programable.

Para la selección del controlador lógico programable (PLC) adecuado, se analizaron criterios fundamentales como la capacidad de entradas y salidas (I/O), la comunicación y conectividad, la facilidad de programación, y el cumplimiento de normativas. Estos criterios aseguran que el PLC pueda manejar eficientemente las funciones esenciales del sistema, tales como el control de velocidad del motor, la regulación de la temperatura, y la gestión de alarmas de seguridad.

Entre las opciones evaluadas, se consideraron los modelos Siemens S7-1200, Allen-Bradley MicroLogix 1400, y Omron CP1H. Todos estos PLCs ofrecen capacidades de I/O expansibles, comunicación Ethernet integrada y soporte para protocolos industriales como Profinet y Modbus

TCP. Además, cada uno proporciona herramientas de programación intuitivas, siendo TIA Portal para Siemens, RSLogix 500 para Allen-Bradley, y CX-One para Omron.

El Siemens S7-1200 destacó como la opción más adecuada debido a su robustez, cumplimiento con certificaciones CE y UL, y su facilidad de integración con otros sistemas a través de Profinet [24]. Su programación en TIA Portal facilita la personalización y el ajuste de los procesos operativos, asegurando que se puedan realizar modificaciones de manera eficiente. Además, la capacidad de expansión del S7-1200 permite futuras ampliaciones del sistema, lo cual es esencial para un entorno dinámico como el laboratorio de Bioquirama.



Ilustración 25. Siemens S7-1200

4.4.5. Sensor de temperatura.

La termocupla tipo K, fabricada con materiales de Níquel-Cromo/Níquel-Aluminio, es reconocida por su amplio rango de temperatura, que abarca desde -200°C hasta 1260°C . Esta característica permite que la termocupla opere de manera eficaz en un amplio espectro de condiciones térmicas, ofreciendo flexibilidad y adaptabilidad a diversas necesidades de laboratorio.

La compatibilidad de la termocupla tipo K con el controlador de temperatura DTK4848V12 es otro factor decisivo en su selección. Esta compatibilidad asegura una integración fluida entre los componentes del sistema de control térmico, permitiendo un manejo eficiente de las temperaturas y una respuesta rápida a cualquier fluctuación térmica. Este tiempo de respuesta rápido es crucial

en procesos de incubación, donde los cambios de temperatura deben ser detectados y corregidos con prontitud para evitar afectar la calidad de las muestras.

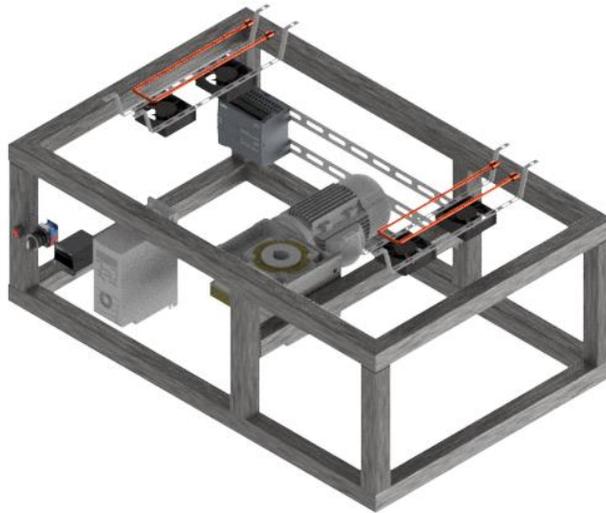


Ilustración 26. Posicionamiento de los componentes eléctricos principales.

En la ilustración 27 se detalla la ubicación conceptual de los principales componentes eléctricos del agitador incubador orbital. Es importante destacar que esta disposición es flexible y puede ajustarse según las necesidades específicas del proyecto o las solicitudes de la empresa; el fin de esta ubicación es proporcionar una referencia inicial que facilite el montaje y la integración de los elementos eléctricos, asegurando una distribución óptima que favorezca el rendimiento y la accesibilidad para el mantenimiento.

Asimismo, el motor mostrado en el esquema es representativo y no refleja un modelo específico. La base del motor también es esquemática, puesto que el motor a utilizar lo decidiría la empresa, por esto la base del motor cambiaría de acuerdo con el motor seleccionado.

4.5. SIMULACIÓN DE TENSIÓN DE CARGA VERTICAL.

La base inferior del agitador será la encargada de resistir el peso vertical; de los módulos cargados con los erlenmeyer, se realizará un análisis mediante la simulación de cargas en el software INVENTOR 2023 para conocer su deformación y esfuerzos de tensión máximos, para

las cargas se ha supuesto el peso del Erlenmeyer de 2000 ml lleno (2kg), espesor de la lámina base de acero inoxidable 4,5 mm.

Como se observa en la ilustración 26 la carga de los módulos y la estructura portante recaen sobre los ejes, que a su vez pasan esta carga a la superficie de las chumaceras.

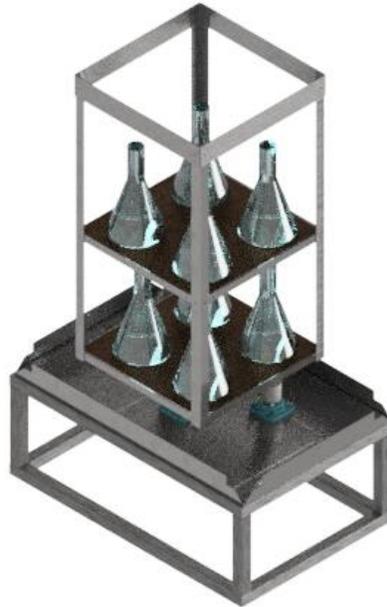


Ilustración 27. Base de la estructura.

El peso aproximado de la estructura portante con los módulos cargados es de 40 kg, por lo tanto, la fuerza vertical que debe soportar la base es de:

$$40 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 392 \text{ N} \approx 400 \text{ N}$$

Como la base esta soportada en tres puntos específicos; se asume que cada punto soportara 133,33 N.

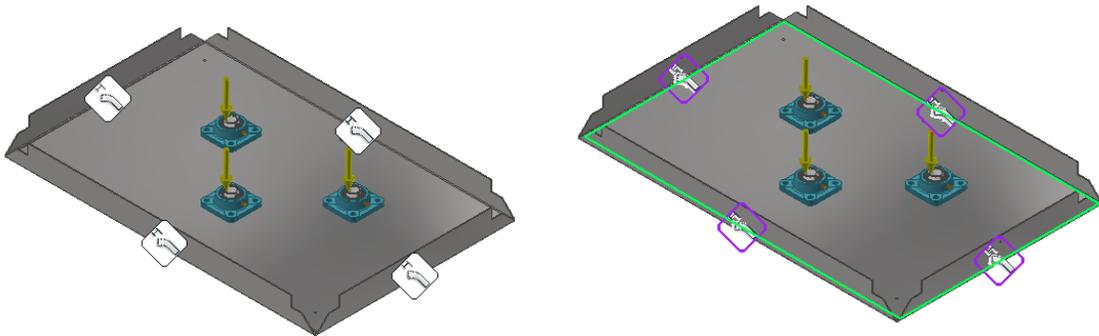
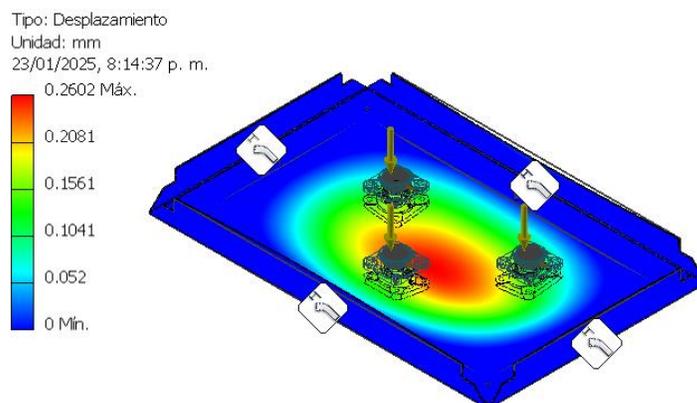


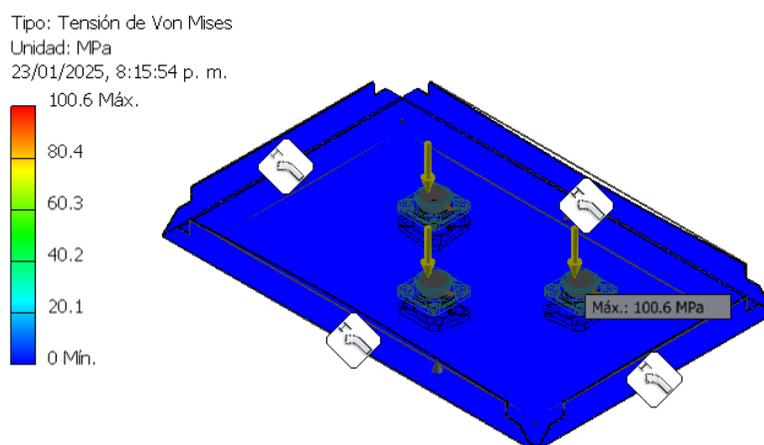
Ilustración 28. Fuerza aplicada y condiciones de restricción.

En la Ilustración 28 se presentan las condiciones de carga y restricciones aplicadas en el análisis, conforme a lo descrito previamente. La carga es distribuida en los tres puntos de apoyo correspondientes a las chumaceras, que transmiten la carga vertical hacia la base de la estructura. Por su parte las restricciones aplicadas en los bordes de la base simulan la resistencia proporcionada por la estructura de soporte tubular, la cual contribuye a la estabilidad general del sistema. Este análisis es esencial para determinar si el centro de la base puede soportar adecuadamente el peso operativo del agitador, garantizando así la integridad estructural durante su funcionamiento.

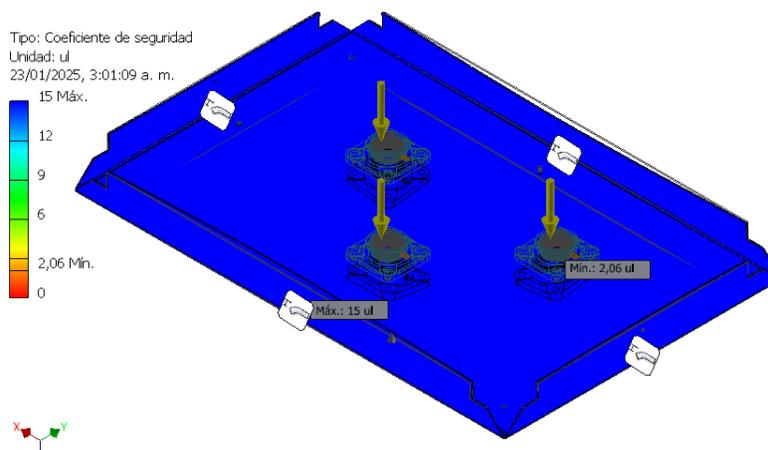
Después de la simulación se obtuvieron los siguientes resultados:



Ilustración 29. Desplazamiento.



Ilustración 30. Tensión de Von Mises.



Ilustración 31. Coeficiente de seguridad.

Los resultados del análisis de tensión realizado fueron los esperados, muestran que la base puede soportar una carga vertical de 400 N sin comprometer su integridad estructural. La tensión máxima de von Mises registrada fue de 100 MPa, la cual se encuentra significativamente por debajo del límite elástico típico del acero inoxidable, que ronda los 193 MPa [21]. Esto indica que la base opera dentro de un rango de seguridad considerable, evitando deformaciones plásticas o fallas estructurales bajo las cargas esperadas. La deformación máxima de 0,26 mm es igualmente reducida, lo que sugiere que la base mantiene su estabilidad dimensional y funcionalidad, minimizando posibles impactos en el rendimiento del agitador.

Estos resultados refuerzan la idoneidad del diseño, asegurando que la base es capaz de soportar de manera efectiva las tensiones y deformaciones asociadas al funcionamiento del agitador incubador orbital, garantizando así un uso seguro y confiable en su entorno operativo.

El resultado también enseña un factor de seguridad máximo de 12 y un mínimo de 2; en este software el factor de seguridad se define como la relación entre la tensión admisible del material y la tensión real generada por las cargas aplicadas.

5. CONCLUSIONES.

- El agitador incubador orbital fue seleccionado como la mejor opción de diseño debido a su capacidad para generar movimientos circulares controlados, estos son ideales para mezclas homogéneas en procesos de producción de insecticidas. Aunque otros tipos de agitadores pueden tener costos iniciales más bajos, su menor capacidad y precisión se traducen en mayores costos operativos a largo plazo, esto debido a la necesidad de realizar más ciclos para alcanzar los mismos volúmenes de producción. Esta selección asegura un balance óptimo entre el rendimiento, la inversión inicial y los costos operativos, maximizando los ingresos para la empresa a largo plazo.
- Este desarrollo cuenta con capacidad para 8 erlenmeyers, representa un aumento del 100% en capacidad comparado con el agitador actual, que solo soporta 4 erlenmeyers. Si el agitador actual realiza un ciclo de mezcla por solución en un tiempo estimado de 1 hora y opera 8 horas diarias, la producción actual es de 32 mezclas por día. Con el nuevo dispositivo, esta cifra aumentaría a 64 mezclas diarias, lo que equivale a un incremento de 960 mezclas adicionales al mes y 11,520 mezclas al año. Este aumento en la capacidad no solo reduce los tiempos de espera para la producción de insecticidas, sino que también mejora significativamente los ingresos potenciales de la empresa al duplicar la producción.

- La investigación y selección de componentes y materiales, como motores, variadores de frecuencia, ventiladores y controladores de temperatura, garantizó que el agitador cumpliera con altos estándares de estabilidad, precisión y durabilidad. El cumplimiento de normativas internacionales como CE y UL asegura que el equipo es seguro para su uso en entornos de laboratorio.
- El proyecto representó una opción eficiente y personalizada a las necesidades de la empresa, para mejorar su capacidad de producción y optimizar procesos clave en la mezcla de soluciones de insecticidas; esto demostró la importancia de implementar tecnologías innovadoras y adaptadas a sus requerimientos específicos. Por otro lado, este proyecto implicó un desafío integral que permitió aplicar conocimientos de ingeniería mecánica, selección de materiales, análisis estructural y diseño asistido por computador, fortaleciendo habilidades técnicas y de gestión. Además, la interacción constante con los requerimientos reales de la industria propició un desarrollo profesional orientado a la resolución de problemas, consolidando una visión práctica y estratégica en el diseño de soluciones industriales.
- El análisis de tensión realizado sobre la base del agitador proporcionó un factor de seguridad máximo de 12 y un mínimo de 2, lo que garantiza que la estructura no se deforma por las cargas verticales y asegura la integridad del equipo para su funcionamiento.

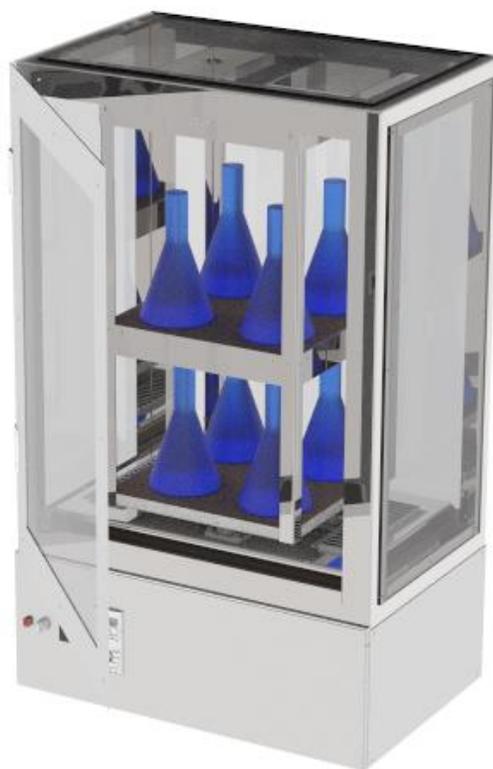


Ilustración 32. Diseño final.

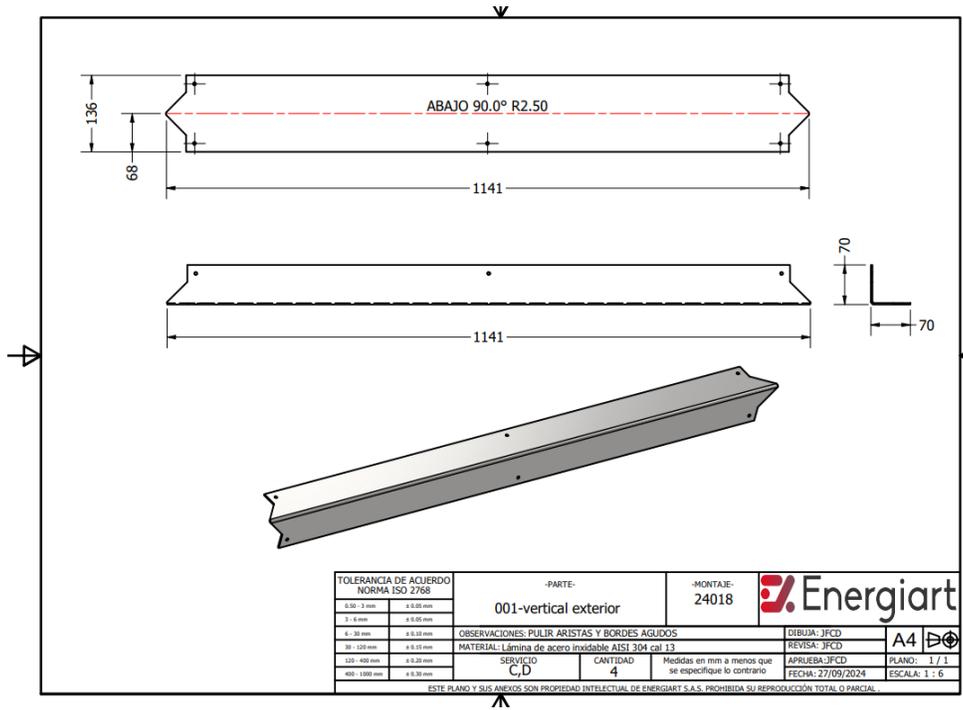
REFERENCIAS

- 304 Stainless Steel. (Consultado el 10/04/2024) <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da> [21]
- ACS150 - microconvertidor de frecuencia. (Consultado 05/04/2024) ACS150, el microconvertidor más avanzado para aplicaciones simples - Microconvertidores, grandes beneficios para sus motores pequeños (Convertidores de frecuencia de baja tensión de CA) | Microconvertidores | ABB. [17]
- Auxilab. Agitador rotativo múltiples. (Consultado 20/03/2024) Agitador rotativo multiplos. analóg, RSLAB-9, disco - Material de Laboratorio. [6]
- Bedoya Pérez J, Hoyos Sánchez R. (2010). Efecto de la Relación Agitación-Aireación sobre el Crecimiento Celular y la Producción de Azadiractina en Cultivos Celulares de *Azadirachta indica* A. Juss 24950-87594-1-PB.pdf [10]
- Biosan. MR-12 Agitador de balanceo. (Consultado 20/03/2024) <https://biosan.lv/es/products/-mr-12-shaker-rocker/> [5]
- Biosan. CPS-20 CO2 agitador. (Consultado 20/03/2024) CPS-20, CO2 agitador| Biosan. [5]
- Caicedo Lozano L, Corrales Ramírez L, Trujillo Suárez D. (2020). Las bacterias, su nutrición y crecimiento: una mirada desde la química <https://doi.org/10.22490/24629448.5293> [11]
- Chemist EU. Large Stackable Horizontal Incubator Shaker. (Consultado 20/03/2024) Large Stackable Horizontal Incubator Shaker buy for from €8,086.12 | Chemist EU. [9]
- Çengel Y. Transferencia de calor y masa. (2007). [15]

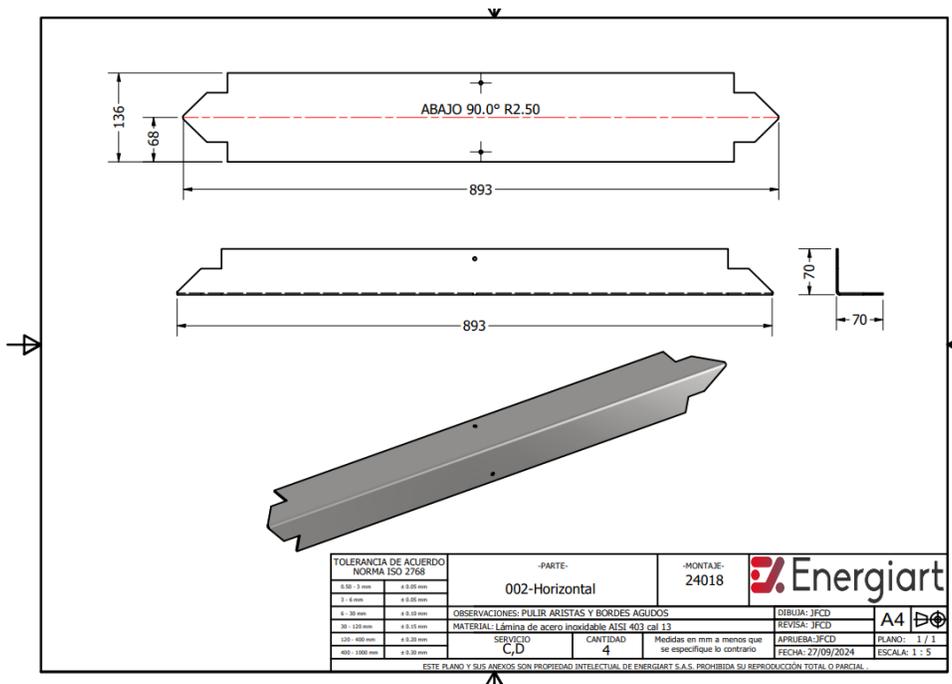
- Controltecnia. Agitador de vaivén SHR. (Consultado 20/03/2024) <https://www.controltecnic.com/bio/producto/agitador-de-vaiven-shr/> [4]
- DTK4848V12. (Consultado 05/04/2024) <https://automation.lubielectronics.com/product/dtk4848v12/> [19]
- Equipos y laboratorios Colombia. Agitador orbital de mesa marca THERMO. (Consultado 20/03/2024) AGITADOR ORBITAL DE MESA, MARCA THERMO SCIENTIFIC SHKE420HP. [7]
- IEC 60601-1, International Electrotechnical Commission, Medical electrical equipment - Part 1: General requirements for basic safety and essential performance, 765-777, Ginebra-Suiza (2007). [12]
- Paul H. King, Richard C. (2018). Diseño de dispositivos y sistemas biomédicos. [1]
- Medellín weather and climate. (Consultado 02/04/2024) <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine,Medellin,Colombia> [14]
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). Resolución 666 de 2020. [13]
- Quimicompany. Agitador Orbital BS-2. (Consultado 20/03/2024) Agitador Orbital BS-2 – Quimicompany [3]
- Schnell, H. (13 de Junio de 2011). Tecnología de los plásticos: Policarbonato. (Consultado 05/04/2024) <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/policarbonato.html> [16]
- Siemens, (2017), s7-1200. (Consultado 10/04/2024) <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html> [20]

- Sunon Fans MF80251V1-1000U-A99. (Consultado 05/04/2024) MF80251V1-1000U-A99 de Sunon Fans - Capacitors - Distribuidores, comparaciones de precios y fichas técnicas | Búsqueda de componentes de Octopart. [18]
- Roderick van Oostrom (2023). Design of an orbital shaker for future laboratory use, University of Twente. [2]

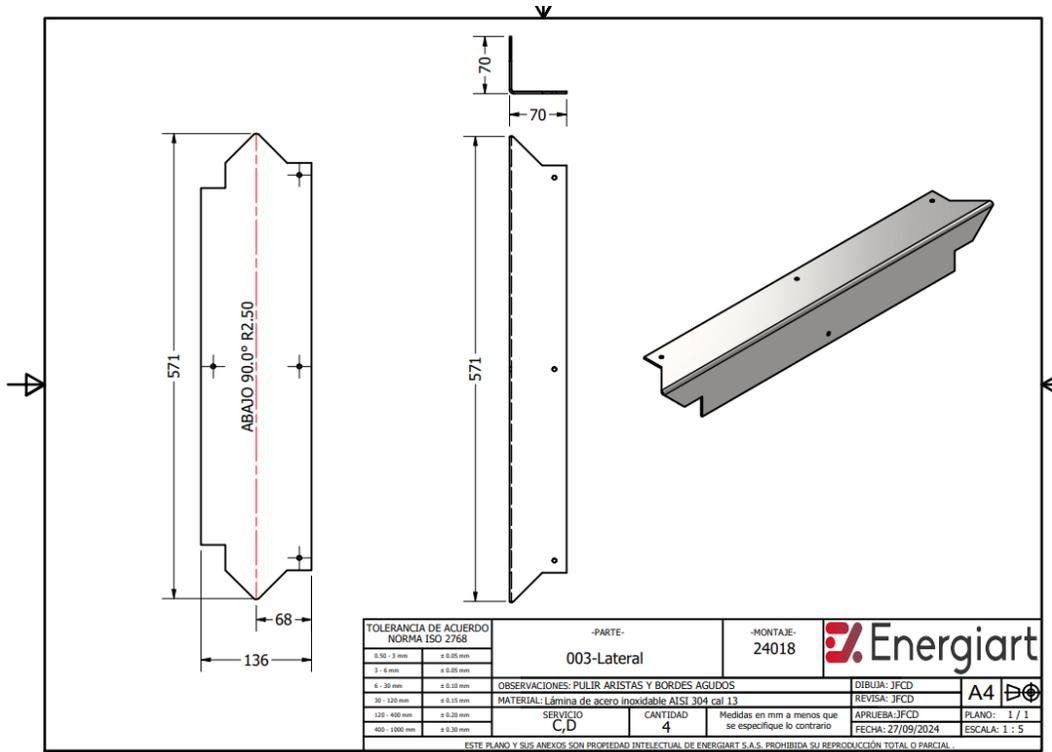
6. ANEXOS.



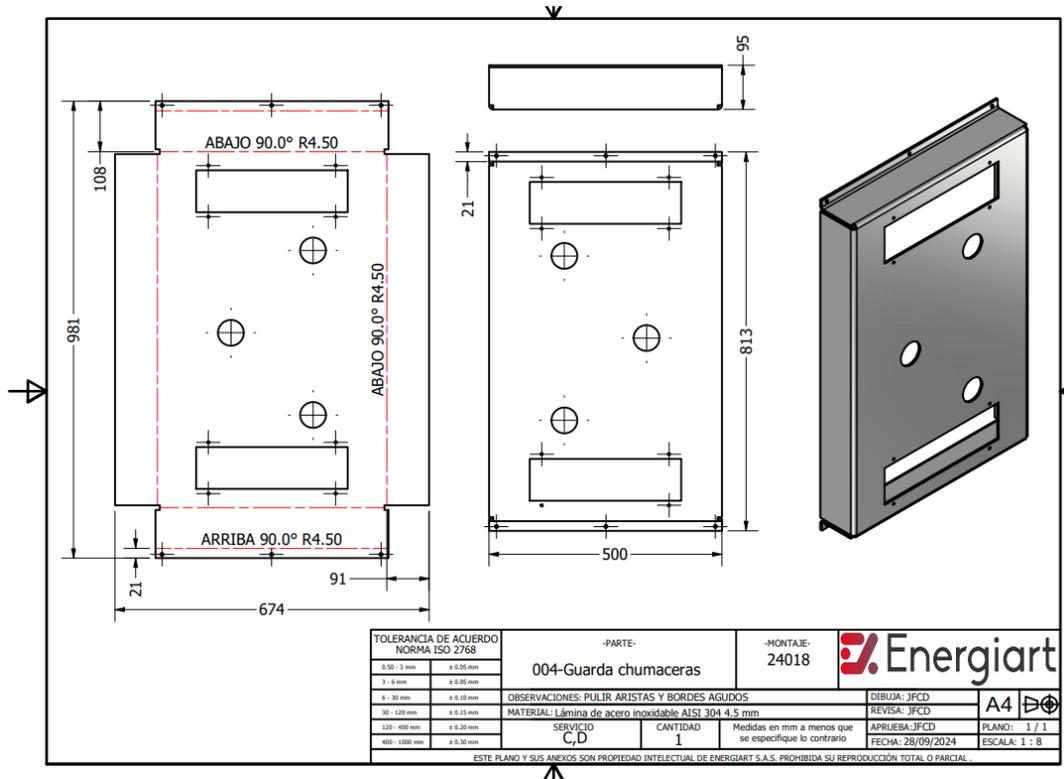
001-Vertical superior.



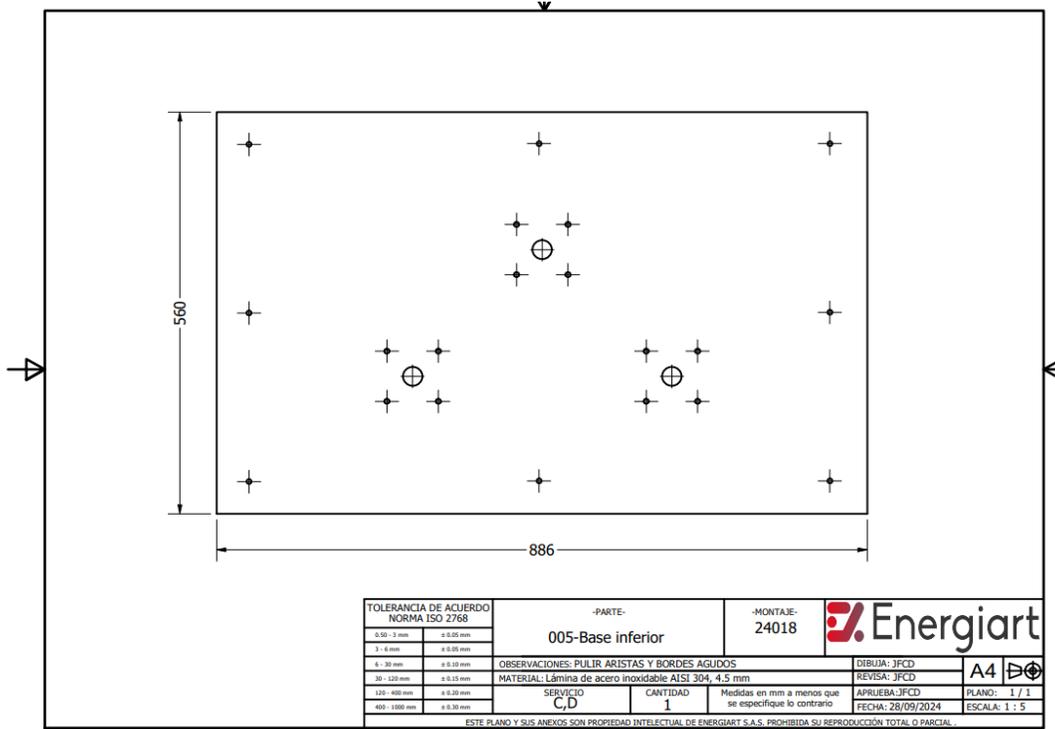
002-Horizontal.



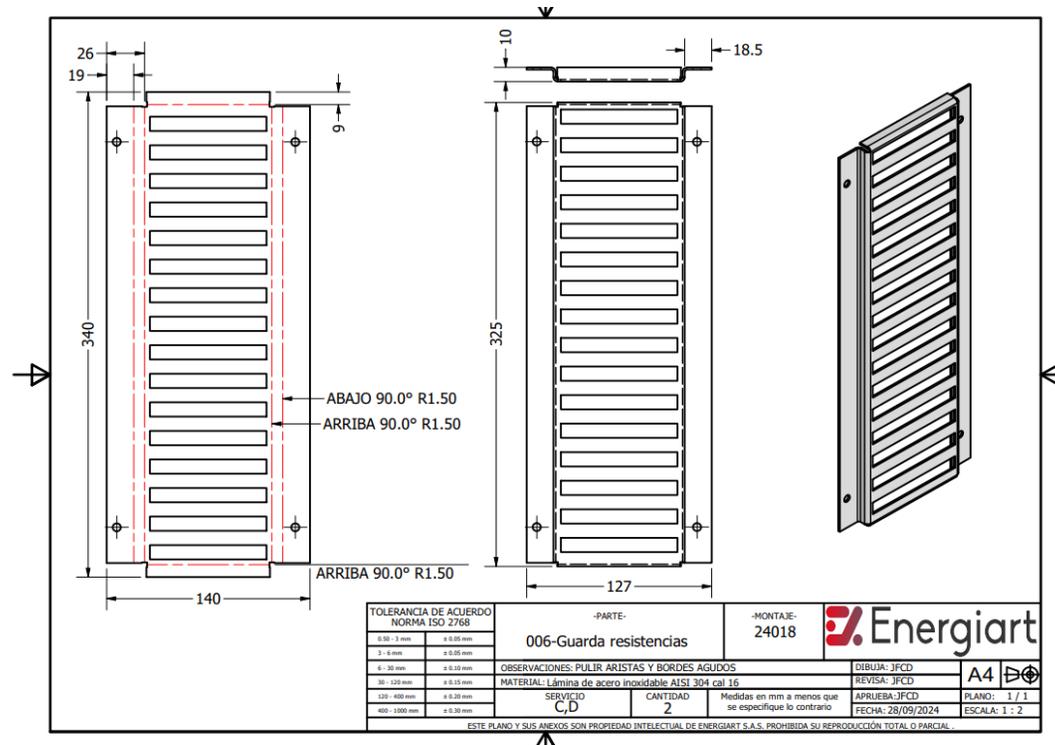
003-Lateral.



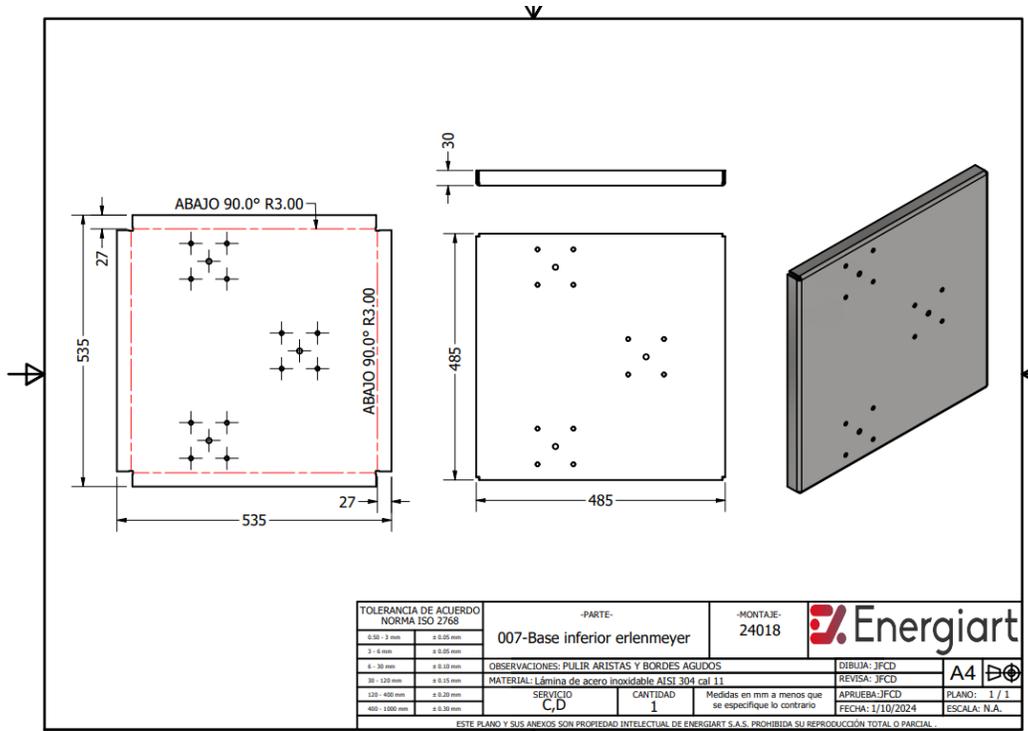
004-Guarda chumaceras.



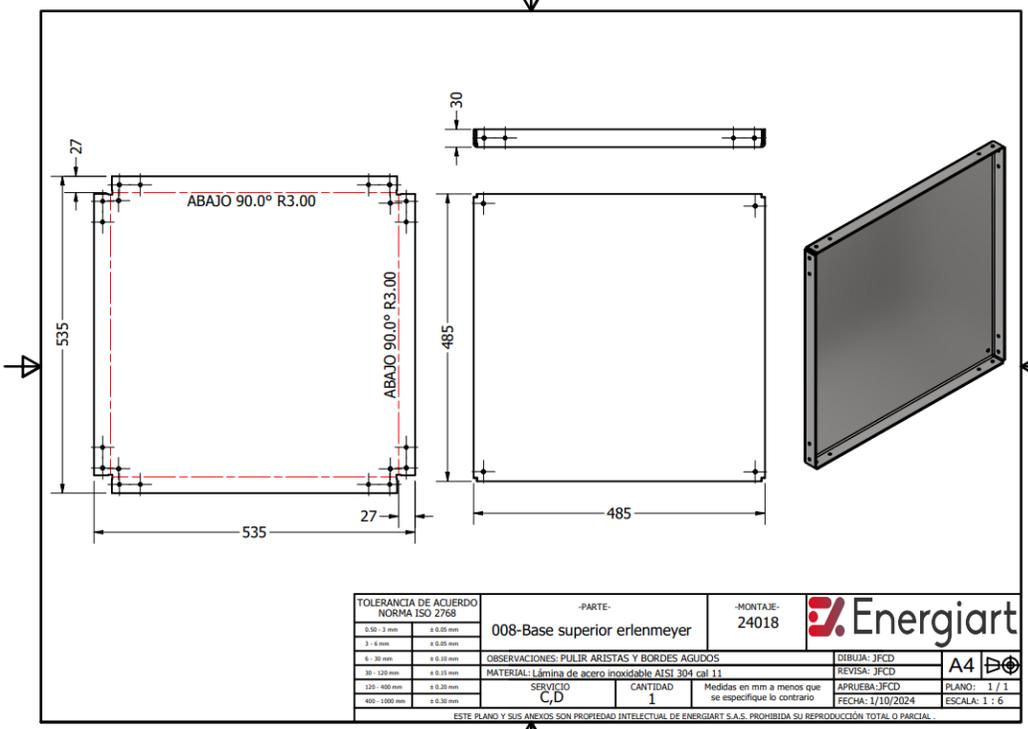
005-Base inferior.



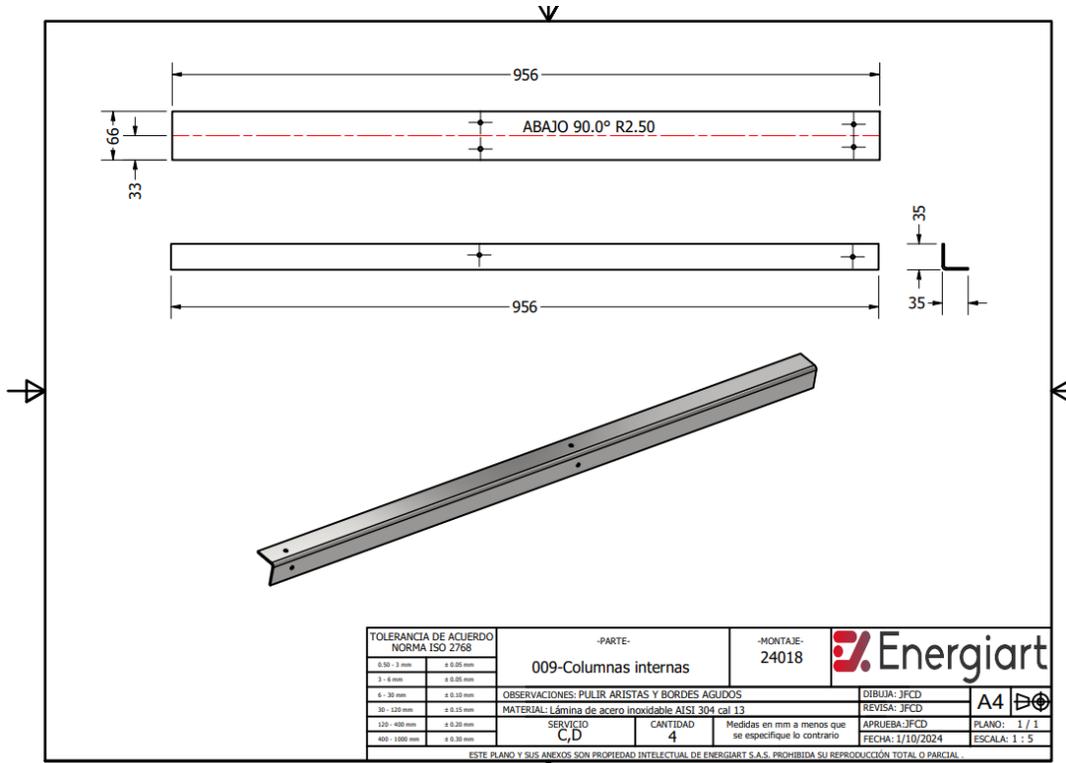
006-Guardas resistencias.



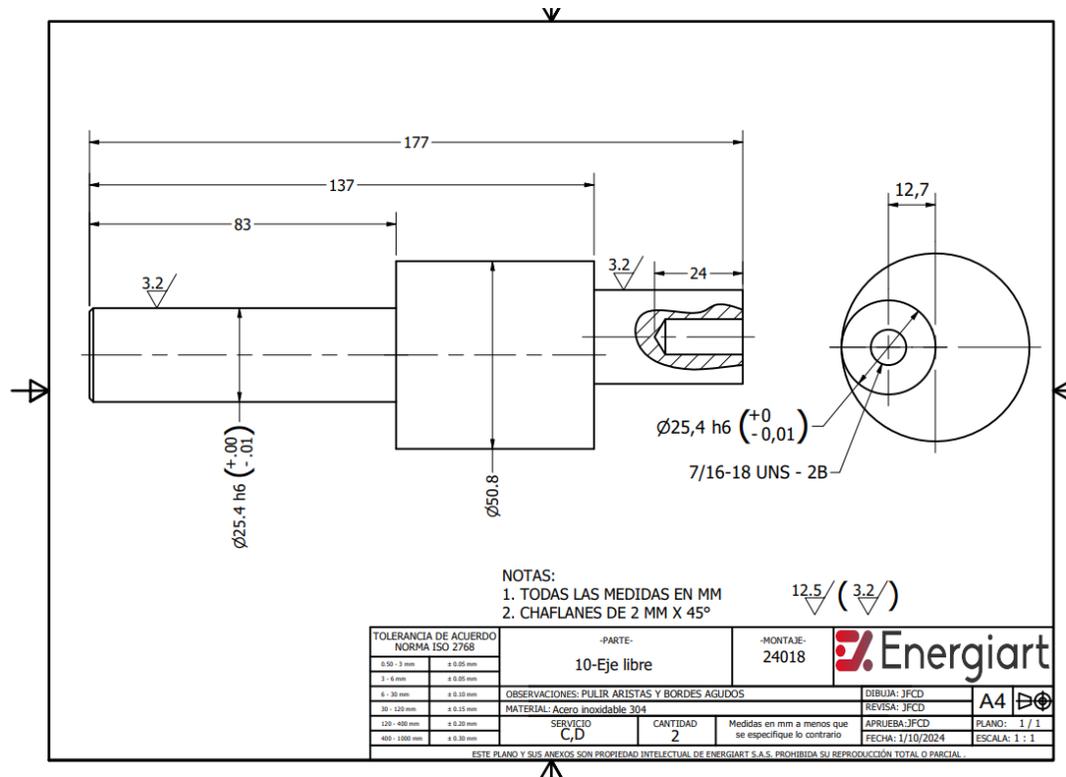
007-Base inferior erlenmeyer.



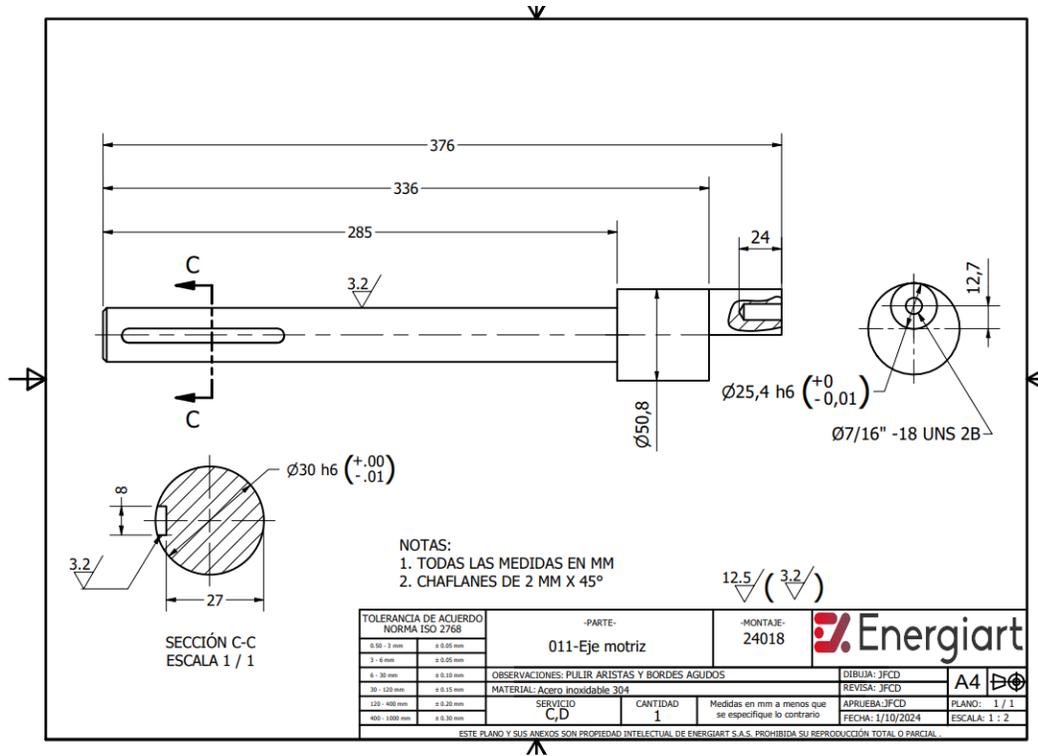
008-Base superior erlenmeyer.



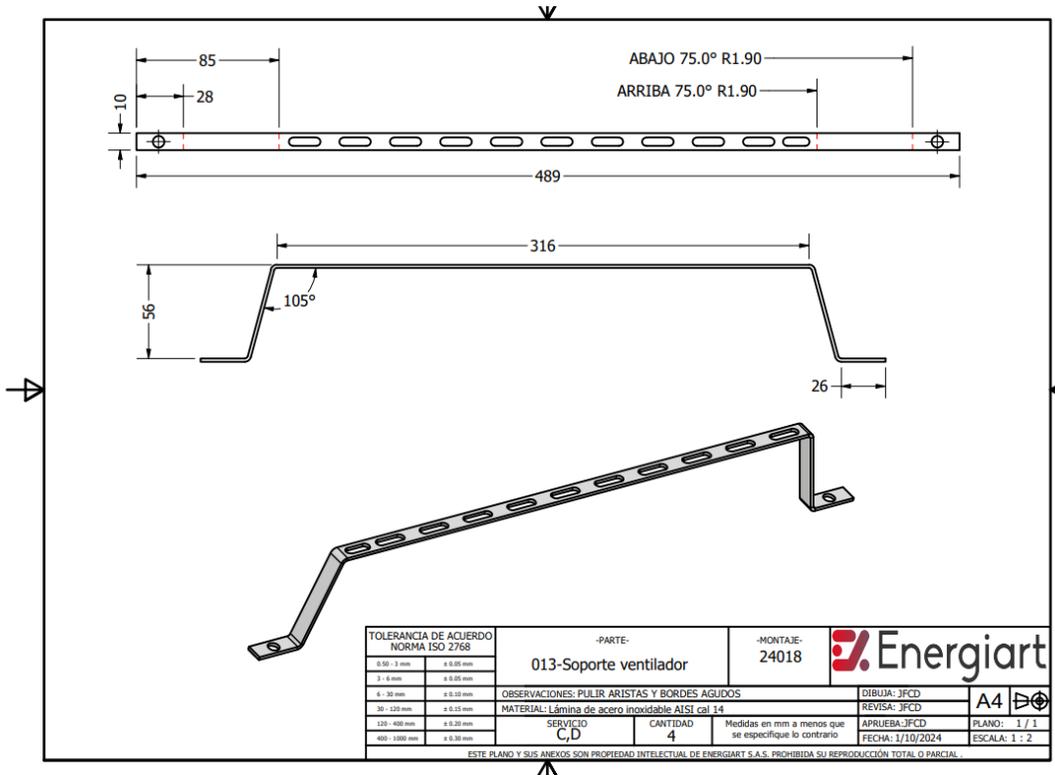
009-Columnas internas.



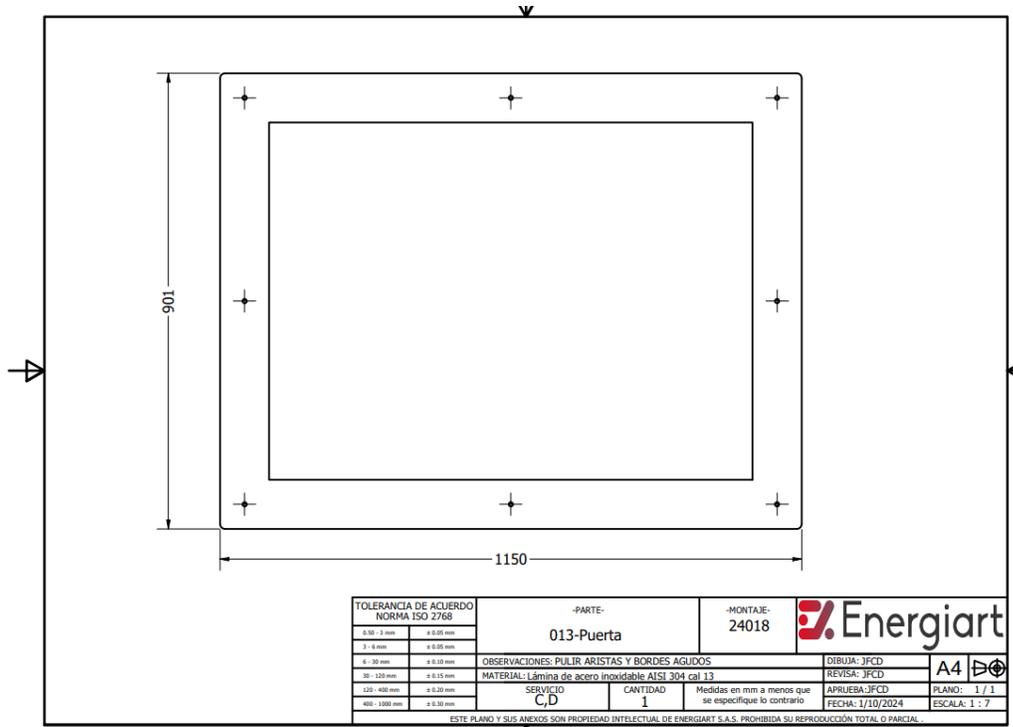
010-Eje libre.



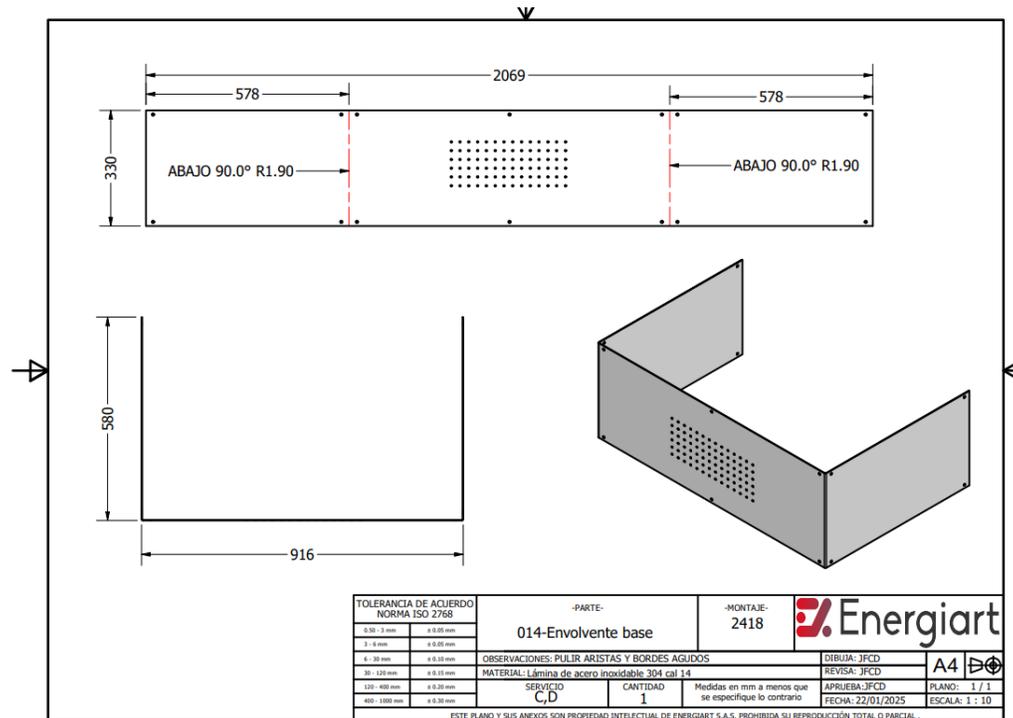
011-Eje motriz.



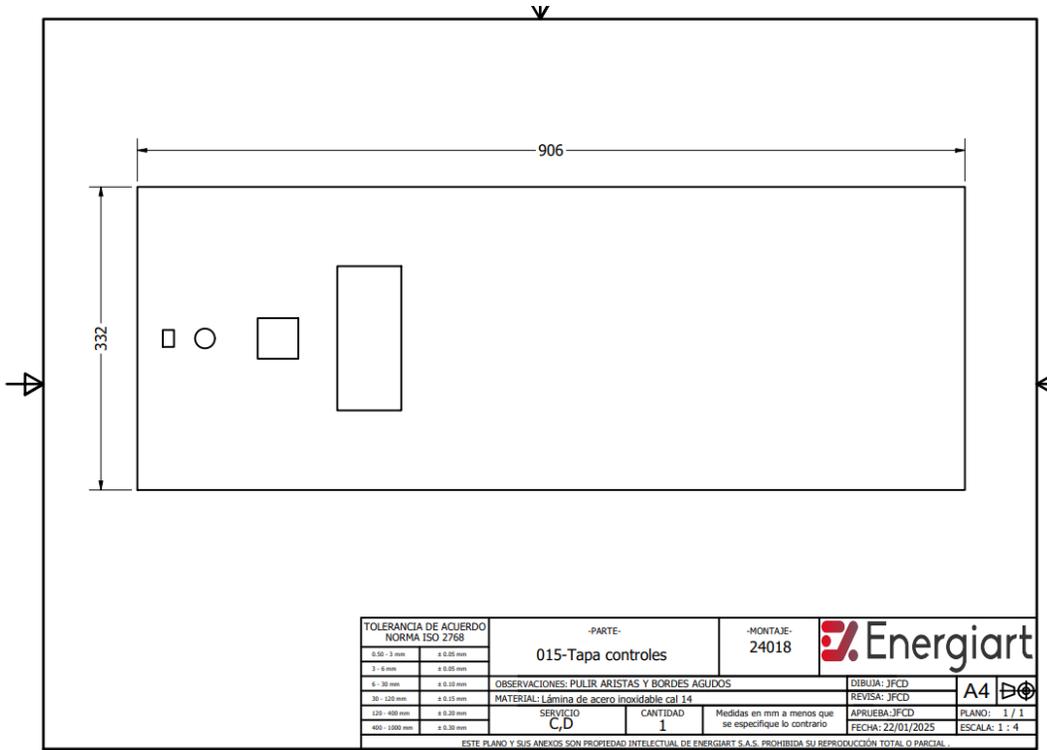
012-Soporte ventilador.



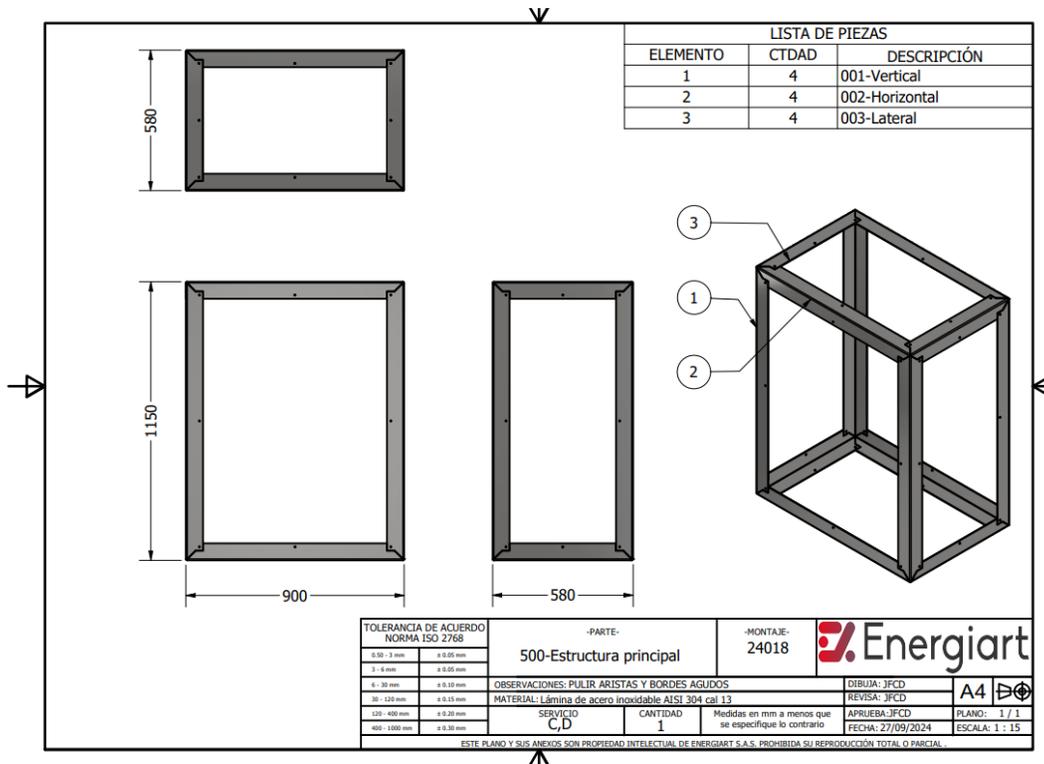
013-Puerta.



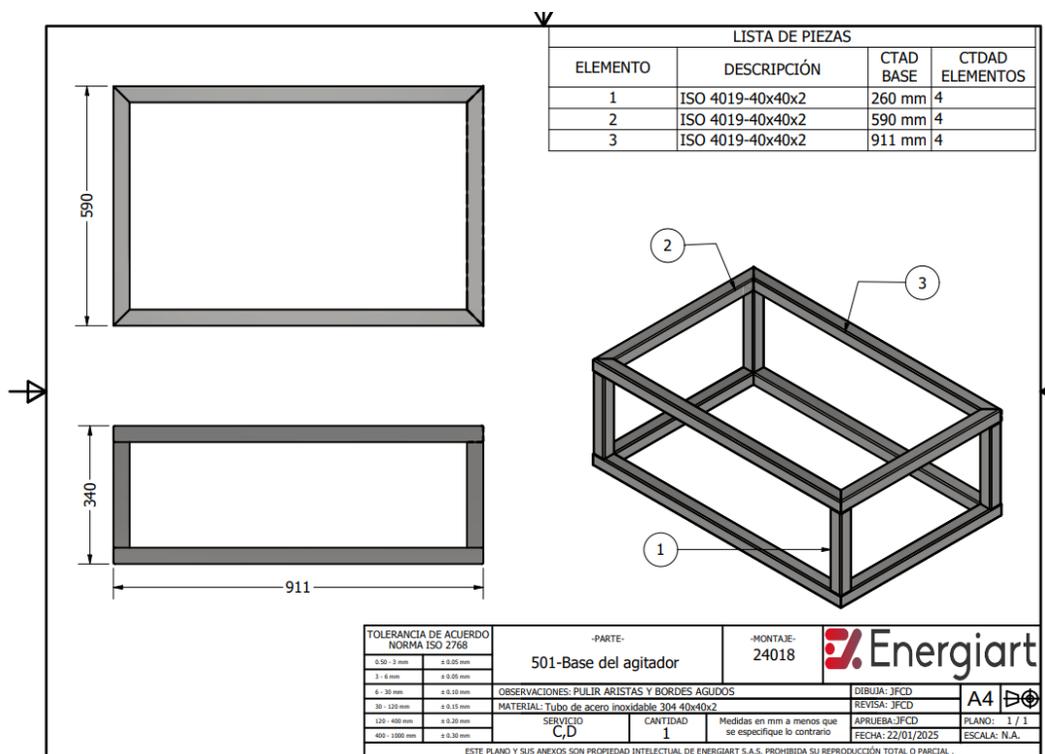
014-Envolvente base.



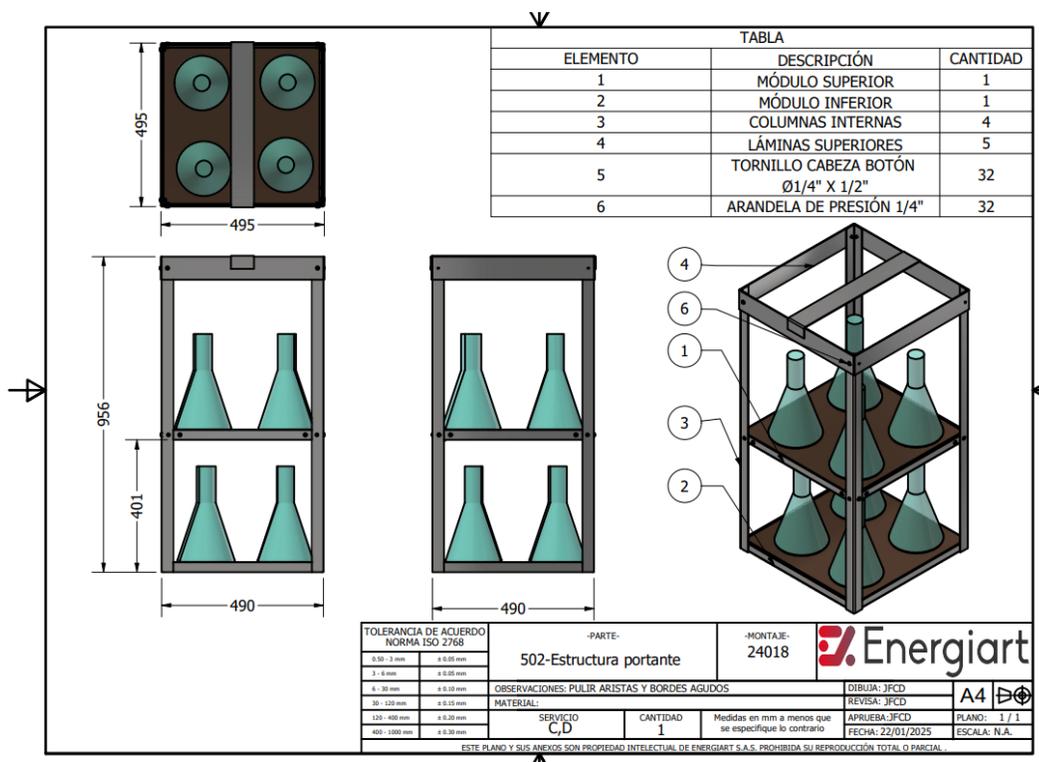
015-Tapa controles.



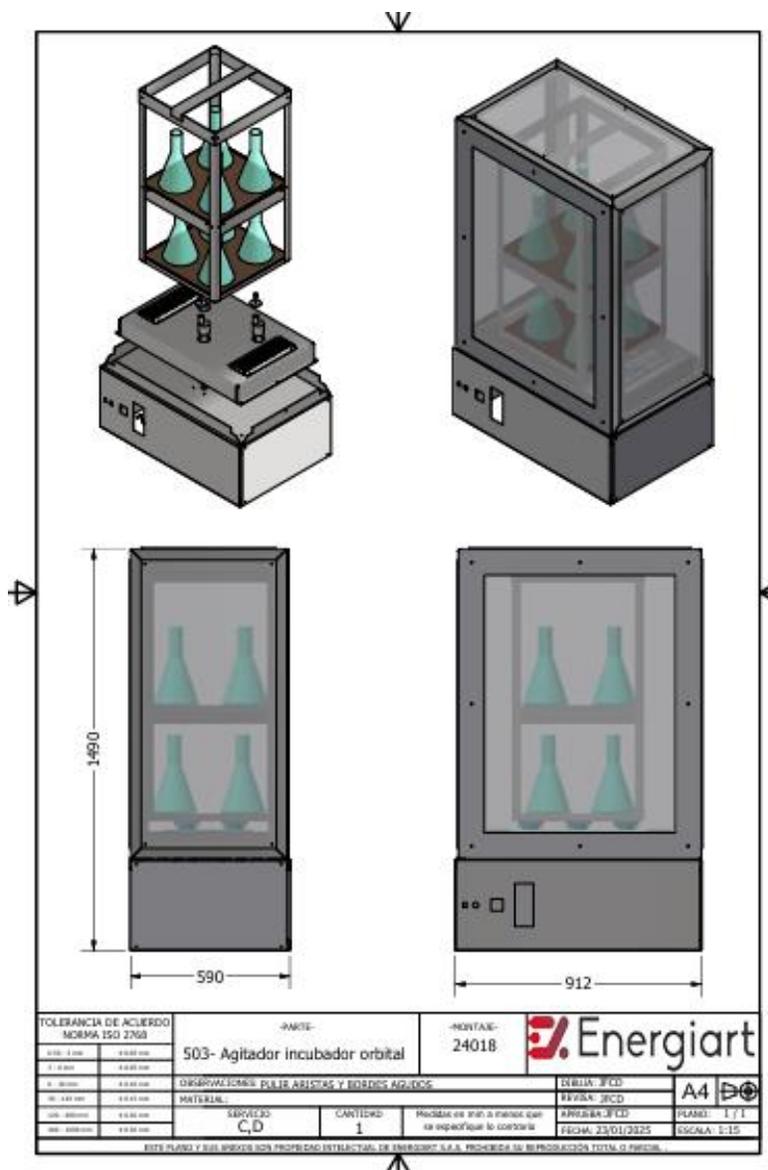
500-Estructura principal.



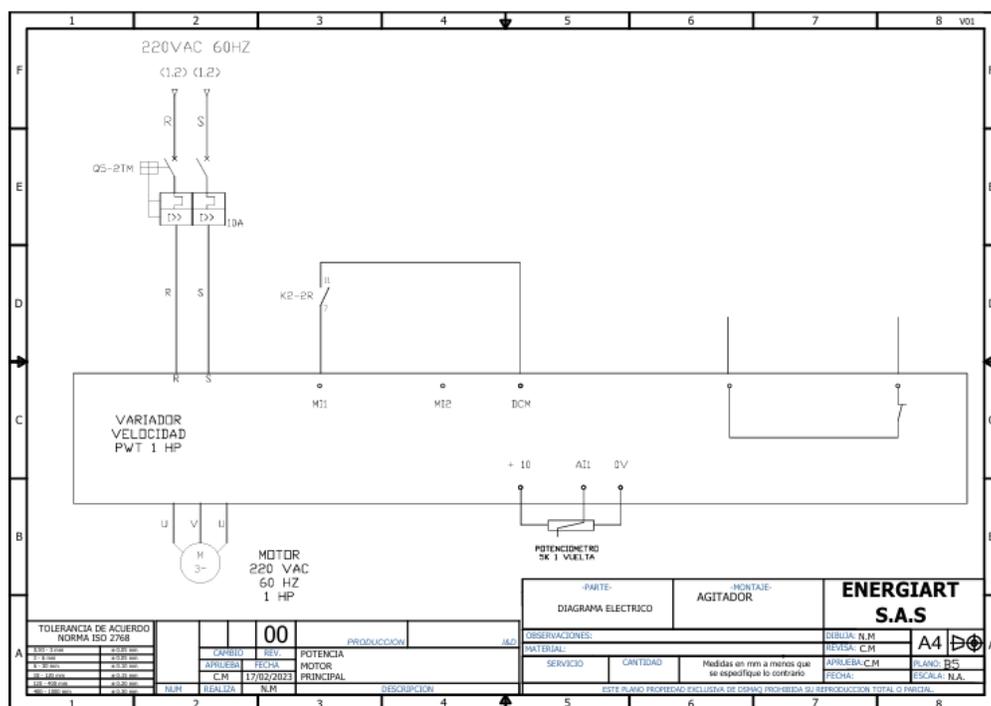
501-Base del agitador.



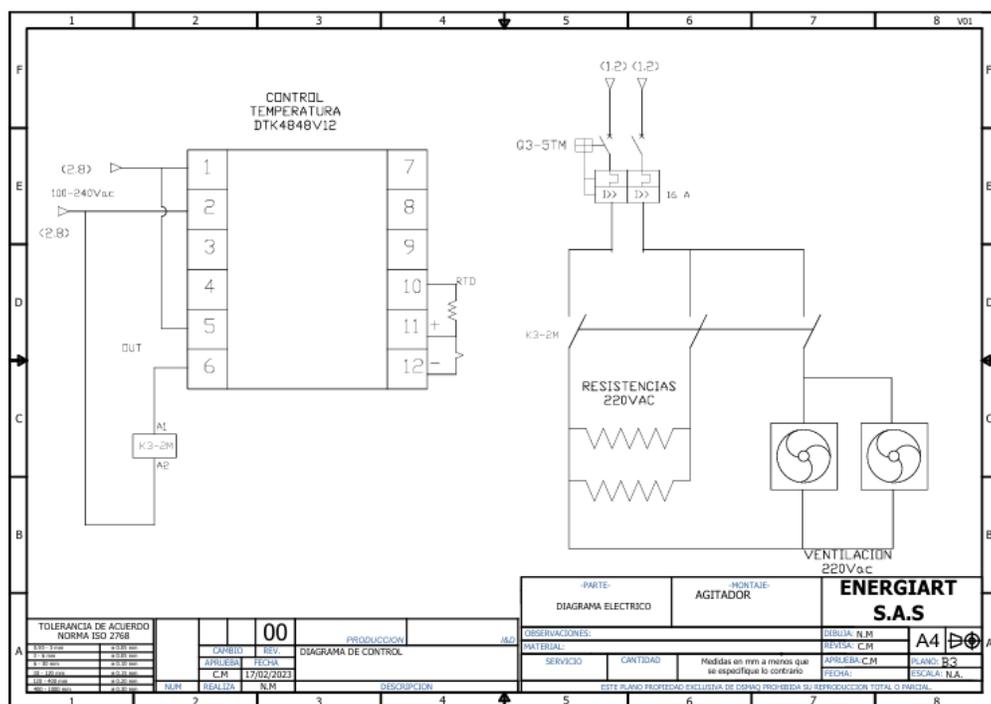
502-Estructura portante.



503-Agitador incubador orbital.



Plano eléctrico sistema de motor.



Plano eléctrico control de temperatura.