

Universidad Autónoma de Nayarit
Unidad Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías



**Diseño asistido por computadora y simulación
mediante dinámica de fluidos computacional de un
deshidratador solar.**

Presenta:

Luis Alonso Altamirano Barbosa

Director de tesis:

Dra. Sarah Ruth Messina Fernández

Asesor:

Dr. Iván Salgado Tránsito

Para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

Tepic - Nayarit

Febrero 2024

Dedicatoria

A mi tío Fernando.

A mis padres y abuelos.

A mis maestros.

Agradecimientos

Agradezco a la Dra. Claudia Estela Saldaña Duran, por ser mi asesora desde que cursaba el tercer semestre de mi carrera y considerarme en el proyector de investigación: Modelo transdisciplinar para el bienestar de las comunidades agrícolas y rurales de Nayarit a través de la incorporación de tecnologías solares, hacia la sostenibilidad. Además de aceptarme para realizar esta tesis por lo cual agradezco profundamente la confianza que deposito en mi.

Debo agradecer de manera especial al Dr. Iván Salgado Transito, por su disponibilidad, por ser quien capacitó en el uso del programa ANSYS, y guiarme en el desarrollo de esta tesis. Por sus siempre atentas respuestas a las diferentes inquietudes surgidas en el desarrollo de este trabajo, lo cual se vio reflejado en los buenos resultados obtenidos.

Agradezco a todos los miembros del proyecto: Modelo transdisciplinar para el bienestar de las comunidades agrícolas y rurales de Nayarit a través de la incorporación de tecnologías solares, hacia la sostenibilidad. En especial a la responsable técnica la Dra. Sara Ruth Mesinas Fernández, le agradezco el haberme facilitado los medios suficientes para llevar a cabo las actividades requeridas para esta tesis.

Además, quiero expresar mis agradecimientos a mis maestros que influenciaron mi formación como estudiante, de mi bachillerato a la Dra. Cassandra Loera Gutiérrez y de la universidad autónoma de Nayarit al Dr. Sergio Becerra Ansaldo, y al Maestro Juan Luis Hernández Méndez.

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	X
Capítulo Uno: Introducción	2
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Objetivos	6
1.3. Justificación	7
Capítulo Dos: Marco teórico	9
2.1. Deshidratación solar	9
2.1.1. Definición de deshidratación solar	10
2.1.2. Objetivos de la deshidratación solar	11
2.2. Fundamentos teóricos	13
2.2.1. Modelación en isotermas de sorción	15
2.2.2. Etapas típicas en la operación de deshidratado	18
2.2.3. Transferencia de calor y materia en el deshidratado solar	20
2.2.4. Deshidratadores usados en la industria alimentaria	22
2.2.5. Tipos de deshidratadores directos o por convección	23
2.3. Proceso de diseño	25
2.3.1. Proceso de diseño	25
2.4. Dinámica de fluidos computacional	27
2.4.1. Teoría de los flujos impulsados por la flotabilidad y la convección natural	28
2.4.2. Teoría del modelo de radiación de superficie a superficie (S2S)	30
2.5. Convección natural	31

Capítulo Tres: Metodología	33
3.1. Diseño CAD del Deshidratador Solar	33
3.1.1. Proceso de diseño SOLIDWORKS	33
3.1.2. Proceso de diseño deshidratador solar	34
3.2. Análisis CAE del deshidratador solar	38
3.2.1. Proceso de realización de un calculo	38
3.2.2. ANSYS Workbench	39
3.2.3. ANSYS Geometry	42
3.2.4. ANSYS Meshing	46
3.2.5. ANSYS Fluent	50
3.3. Validación Experimental de los resultados- instrumentación	61
3.3.1. IDE de Arduino	61
3.3.2. Módulo ESP32	62
3.3.3. Serial USB Terminal	62
3.3.4. Sensores	63
3.3.5. DTH22	64
3.3.6. DS18B20	64
3.3.7. Capuchón DS18B20	65
3.3.8. Sensor meteorológico	66
3.3.9. Dispositivo de adquisición de datos.	67
Capítulo Cuatro: Resultados y Discusión	73
4.1. Resultados	73
4.1.1. Irradiancia en la base del deshidratador	73
4.1.2. Temperatura interior	75
4.1.3. Flujo de aire interno	79
4.1.4. Temperatura y humedad registradas en el deshidratador	81
4.1.5. Comparativa simulación experimental y evaluación del deshidratador	85

Conclusión	87
Bibliografía	88
Bibliografía	89
Anexos	91
4.2. Sketch arduino-Sistema de adquisición de datos	91
4.3. Plano deshidratador solar domestico	94

Índice de figuras

2.1. Esquema de las fases alimento-fluido entre las que se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente de actividad de agua (a_w).	10
2.2. Mapa de estabilidad de los alimentos en función de la actividad del agua. . . .	14
2.3. Las etiquetas A, B y C representan regiones en isotermas de adsorción y desorción donde el agua tiene diferente energía de enlace.	16
2.4. Curva de secado típica de materiales húmedos	19
2.5. Proceso de diseño.	26
3.1. Geometría y funcionamiento de un deshidratador solar integral de tipo gabinete.	34
3.2. Croquis 2D, base deshidratador solar.	35
3.3. Vista isométrica base del deshidratador solar (completo).	36
3.4. Vista isométrica base del deshidratador solar (simplificado).	36
3.5. Ensamblaje deshidratador domestico.	37
3.6. Ubicación de toolbox en workbench.	39
3.7. Ubicación de zona donde se coloca la herramienta para realizar el estudio en workbench.	40
3.8. Ubicación de la herramienta FLUENT en el apartado de Sistemas de análisis. .	41
3.9. Ubicación de importación de geometría en ANSYS Geometry.	42
3.10. Interfaz de importación de geometría en ANSYS Geometry.	43
3.11. Selección de editor de geometría en ANSYS Geometry.	43
3.12. ANSYS SpaceClaim.	44
3.13. ANSYS SpaceClaim- Selección de zonas para la herramienta.	45
3.14. ANSYS SpaceClaim- Volumen creado con Volume Extract.	45
3.15. Generación y edición de malla desde ANSYS Workbench.	46
3.16. ANSYS Meshing.	47
3.17. ANSYS Meshing-Aumento de resolución de maya.	47
3.18. ANSYS Meshing-Vista isometrica de la geometría mallada.	48

3.19. ANSYS Meshing-Create Named Selection.	49
3.20. ANSYS Meshing-Selection Name.	49
3.21. ANSYS Fluent Launcher	50
3.22. ANSYS Fluent	51
3.23. Localización de condiciones de operación.	52
3.24. Condiciones de operación	52
3.25. Activación de energía en el calculo	54
3.26. Modelo de radiación	55
3.27. Carga solar	56
3.28. Calculadora solar.	57
3.29. Condición de contorno- Entrada de flujo	59
3.30. Condición de contorno- Salida de flujo	60
3.31. Condición de contorno- Pared	60
3.32. Capuchón DS18B20	65
3.33. Sensor 5 en 1 AcuRite	66
3.34. Sistema adquisición de datos.	67
3.35. Arreglo de sensores en ESP32.	68
3.36. Distribución de sensores dentro del deshidratador.	70
3.37. Sensores en el interior del deshidratador	71
3.38. Posterior deshidratador solar en operación	71
4.1. Vista isométrica irradiancia en el interior del deshidratador	74
4.2. Vista superior irradiancia en el interior del deshidratador	74
4.3. Vista isométrica de la temperatura en el deshidratador	76
4.4. Vista lateral temperatura plano medio	77
4.5. Vista superior 1er charola	77
4.6. Vista superior 2da charola	78
4.7. Vista superior 3er charola	78

4.8. Vista isométrica flujo de aire en el deshidratador	79
4.9. Vista lateral flujo de aire en el deshidratador	80
4.10. Sensor 5 en 1 AcuRite y deshidratador solar	81
4.11. Frontal deshidratador en operación.	82
4.12. Comparativa sensores de temperatura y humedad	83
4.13. Comparativa temperatura y humedad 05-07-2023	84
4.14. Comparativa temperatura deshidratador-simulación.	85
4.15. Plano deshidratador solar domestico	94

Índice de cuadros

4.1. Tabla comparativa temperatura deshidratador y simulación.	86
4.2. Características generales del deshidratador	86

Resumen

La deshidratación es una de las técnicas más antiguas utilizadas para la conservación de alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los albores de la humanidad proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia.(Fito, Andres, Barat, y Albors, 2020)

La producción del mango, caña y jícama en el estado de Nayarit se encuentra en los primeros lugares de producción a nivel nacional ostentando el tercer lugar en producción de mango en el año 2020, teniendo una producción de 304,819 toneladas (Messina y cols., 2022). De acuerdo a cifras de 2018 del servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) en el 2018 nayarit produjo 66.2 toneladas de jícama, siendo ese año el principal estado productor de jícama del país (SIAP, 2022). Adicionalmente estos productos representan parte de la identidad de las personas de estas regiones, ya que se le otorga un reconocimiento social a los sitios donde se cultivan.

Desafortunadamente existe una problemática que afecta a los productores agrícolas, el tiempo de vida de la producción agrícola de frutas y hortalizas no supera las dos semanas, por lo tanto se pierden y/o se desperdicia hasta un 30% de la producción mundial (FAO, 2012). Algunos productores como alternativa recurren a costosos y diversos métodos de conservación de alimentos como lo son: la refrigeración, congelación, criogenización y deshidratación de las diversas frutas que se recolectan de los huertos y campos del estado.

Para las comunidades rurales el uso de sistemas de refrigeración, congelación y criogenización se vuelve punitivo debido al alta demanda de energía y a los subsecuentes altos costos de inversión de capital.

Actualmente en el mercado mexicano es posible encontrar diversos modelos de deshidratadores los cuales si bien cumplen con su propósito (el cual es deshidratar la fruta), no están diseñados optimizados para un uso en entornos rurales; además que para su operación utilizan como fuente de energía combustibles fósiles, principalmente gas natural o gas LP.

El propósito de este proyecto es diseñar un deshidratador solar utilizando herramientas de software CAD/CAE, para modelar y simular mediante la dinámica de fluidos computacional

(CFD) su desempeño y funcionamiento. Con ello se espera mejorar el diseño de tal modo que se reduzcan las zonas de estancamiento de aire frío o caliente, y se mantenga la temperatura lo más homogénea posible en las diferentes zonas del secador para que garanticen el deshidratado uniforme del producto. Este deshidratador se implementará en las comunidades rurales con alto índice de recurso solar en el estado de Nayarit.

Como establece Giesecke (2013), el proceso de diseño para cualquier producto requiere una comprensión clara de las funciones y el rendimiento esperado de ese producto. Es debido a ello que se debe tener una idea clara respecto al tipo y función que se requiere realice el deshidratador solar. De acuerdo con García (2017), los deshidratadores clasifican de acuerdo con la distribución de los componentes del dispositivo en: integrales, distribuidos y mixtos. En los deshidratadores integrales, la cabina de secado sirve también como captador, este tipo de deshidratador se subdivide a su vez en tipo gabinete o invernadero. El deshidratador solar a utilizar será de tipo gabinete integral con una capacidad de secar hasta 10 kg de peso de fruta máximo en húmedo, está fabricado en policarbonato celular color gris humo en la base y transparente en el resto de las superficies de las caras, cuenta con tres niveles de charolas para la colocación del producto a deshidratar.

Capítulo Uno

Introducción

Capítulo Uno: Introducción

La deshidratación es una de las técnicas más antiguas utilizadas para la conservación de alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los albores de la humanidad proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia. (Fito y cols., 2020)

La humanidad comenzó a utilizar técnicas de secado de alimentos exponiéndolos directamente a la luz solar o indirectamente a la sombra y éstos con el calor, perdían gradualmente su humedad, consiguiendo que se conservaran por un mayor periodo de tiempo. Este método de conservación extiende el tiempo para el consumo del alimento, ya que los microorganismos que necesitan el agua para desarrollarse no pueden hacerlo a la misma razón de crecimiento que lo harían en un alimento con un contenido de agua normal.

La forma tradicional de deshidratado de alimentos es mediante la quema de un combustible fósil, principalmente gas, con la consecuente contaminación del producto por azufre y químicos que posee el combustible, ya que durante el proceso existe desprendimiento de gases que en algunos casos afecta el sabor, color, olor y propicia la pérdida de nutrientes de los alimentos. Otra tecnología también muy utilizada es el deshidratado con resistencias eléctricas, en estos sistemas la limitante es el incremento de los costos de operación.

Una manera más sostenible de secar los alimentos es utilizando energía solar como fuente de energía. Los secadores o también llamados deshidratadores solares son dispositivos que utilizan la radiación solar para calentar aire en su interior y así retirar la humedad de los tejidos de productos como frutas, verduras, semillas, carne, o hierbas. Una vez deshidratados, los alimentos pueden conservarse en ese estado hasta por un año sin perder sus propiedades nutritivas, bromatológicas y organolépticas. La deshidratación solar es una alternativa práctica para la micro-industria y un mecanismo de desarrollo económico para pequeños productores hortofrutícolas.

La manera en como funciona un secador solar es la siguiente: La energía llega del sol como radiación, las paredes del colector se calientan por efecto de la absorción de la radiación y se transfiere dentro de la estructura y arreglo de charolas por el mecanismo de conducción de calor.

El aire fresco que entra a la cabina de secado se calienta mediante el efecto de la convección. El calor al interior del secador hace que agua contenida en los productos se evapore, y este vapor es evacuado por el el aire hacia la parte exterior de la cabina de secado y liberado al ambiente. El proceso constante de convección conlleva al secado de los frutos en lapsos de tiempo que dependen de las condiciones climáticas y microclimáticas del día, además del sitio donde se encuentre funcionando el deshidratador, la orientación geográfica en la que se coloque y las características del fruto a deshidratar .

1.1 Planteamiento del problema

La producción del mango, caña y jícama en el estado de Nayarit se encuentra en los primeros lugares de producción a nivel nacional ostentando el tercer lugar en producción de mango en el año 2020, teniendo una producción de 304,819 toneladas (Messina y cols., 2022). De acuerdo a cifras de 2018 del servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) en el 2018 nayarit produjo 66.2 toneladas de jícama, siendo ese año el principal estado productor de jícama del país (SIAP, 2022). Adicionalmente estos productos representan parte de la identidad de las personas de estas regiones, ya que se le otorga un reconocimiento social a los sitios donde se cultivan.

Desafortunadamente existe una problemática que afecta a los productores agrícolas, el tiempo de vida de la producción agrícola de frutas y hortalizas no supera las dos semanas, por lo tanto se pierden y/o se desperdicia hasta un 30% de la producción mundial (FAO, 2012). Algunos productores como alternativa recurren a costosos y diversos métodos de conservación de alimentos como lo son: la refrigeración, congelación, criogenización y deshidratación de las diversas frutas que se recolectan de los huertos y campos del estado.

Para las comunidades rurales el uso de sistemas de refrigeración, congelación y criogenización se vuelve punitivo debido al alta demanda de energía y a los subsecuentes altos costos de la energía y los montos de inversión de capital. Actualmente en el mercado mexicano es posible encontrar diversos modelos de deshidratadores los cuales si bien cumplen con su propósito, no están diseñados y optimizados para un uso en entornos rurales; en las cercanías de los sitios de cultivo, donde el acceso a la energía o a los combustibles, muchas veces es inaccesible, además que para su operación utilizan como fuente de energía combustibles fósiles, principalmente gas natural o gas LP. El abundante recurso solar disponible en el estado de Nayarit, hace que el uso de deshidratadores solares sea una alternativa técnicamente viable y económicamente factible. Un estudio sobre el recurso solar realizado desde el año 2010, ha encontrado que la irradiación solar promedio al día es 5.5 kilowatt-hora por metro cuadrado (kWh/m^2) con máximos de hasta $7 kWh/m^2$ en los días más soleados, cantidad similar a la de ciudades del noroeste del país don-

de se reciben las mayores cantidades de recurso solar en el país. (Messina y cols., 2022). Sin embargo, la rentabilidad de un deshidratador o secador solar depende de que tan eficientemente desarrolle el proceso de secado. El desempeño de un secador solar es variable ya que es función de las condiciones climáticas (Irradiancia solar, velocidad del viento y temperatura ambiente) y de su diseño y parámetros de operación. Por ello, para mejorar el desempeño de secadores solares se deben de diseñar y optimizar para las condiciones climáticas locales y acorde a su capacidad nominal de secado. Por ello, para mejorar el desempeño de secadores solares se deben de diseñar y optimizar para las condiciones climáticas locales y acorde a su capacidad nominal de secado.

Por ello en este trabajo se realizará el diseño y simulación de un deshidratador solar doméstico buscando dar una opción más económica y sustentable a los pequeños productores en comunidades rurales, con el enorme beneficio de no requerir de algún combustible fósil o fuente de biomasa para operar, sino aprovechando una fuente de energía prácticamente ilimitada como la energía solar. Con el secado se espera extender la vida útil de la fruta sin que pierda sus propiedades naturales. Para aprovechar al máximo el recurso solar se seguirá una metodología de diseño, modelación y evaluación utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés) tal como SolidWorks2019, CATIA, NX y de dinámica de fluidos computacional (CFD) tal como ANSYS Fluent para su diseño y optimización. El deshidratador solar será diseñado con materiales asequibles y que garanticen la inocuidad de los alimentos, el control de los parámetros clave del proceso tales como la ventilación, las temperaturas máximas y mínimas, el contenido de humedad, etc. Para abordar este problema se realizarán simulaciones de transferencia de calor y de dinámica de fluidos computacional (CFD) haciendo uso de los softwares SolidWorks 2019 y ANSYS 2022 R2 definiendo las condiciones de frontera en las cuales operara el deshidratador como lo son temperatura de superficies, geometrías de diseño, perforaciones, sistemas de extracción de aire, especificaciones de materiales y localización geográfica, para obtener una simulación del desempeño.

1.2 Objetivos

- Diseñar, modelar, evaluar e implementar un deshidratador solar tipo gabinete de escala doméstica, con base a las condiciones promedio requeridas para la producción de fruta deshidratada en el estado de Nayarit.
- Simular el desempeño del deshidratador solar con ayuda de los softwares ANSYS Fluent y SOLIDWORKS. Garantizar el diseño propuesto cumpla con las especificaciones deseadas de temperatura, presión y flujo de aire.
- Construir y comprobar que el diseño propuesto cumpla con las características esperadas.

1.3 Justificación

El propósito de este proyecto es diseñar un deshidratador solar utilizando herramientas de software CAD/CAE, para modelar y simular mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD) su desempeño y funcionamiento. Con ello se espera mejorar el diseño de tal modo que se reduzcan las zonas de estancamiento de aire frío o caliente, y se mantenga la temperatura lo más homogénea posible en las diferentes zonas del secador para que garanticen el deshidratado uniforme del producto. Este deshidratador se implementará en las comunidades rurales con alto índice de recurso solar en el estado de Nayarit, con fines de capacitación, para su posterior escalamiento a escala emprendimiento rural. Para el diseño CAD del prototipo se utilizará el software de modelado 3D, SOLIDWORKS. El proceso de modelado 3D consiste en plasmar la idea mental, bosquejado inicial o planos 2D del diseño requerido en un modelo 3D tipo CAD, "construyendo virtualmente" la pieza con el uso de las herramientas que provee el software y declarando los materiales de los cuales se compondrá. Para evaluar el funcionamiento del diseño CAD del secador solar se implementa una simulación de transferencia de calor y mecánica de fluidos haciendo uso del software comercial líder en la industria ANSYS FLUENT, el cual es un programa informático de volumen finito de propósito general para la solución de análisis de ingeniería de mecánica de fluidos y de transferencia de calor. Las capacidades de la solución ANSYS incluyen: análisis elástico, estático, plástico, tensión térmica, tensión reforzada, grandes deflexiones, elementos bilineales; análisis dinámico, modal (frecuencias naturales y formas de modo), respuesta armónica, historial de tiempo lineal, historial de tiempo no lineal; análisis de transferencia de calor, conducción, convección, radiación, acoplado al flujo de fluido, acoplado al flujo eléctrico; subestructuras. Los análisis se pueden realizar en una, dos o tres dimensiones, incluidas las opciones de elementos armónicos y simétricos del eje. ANSYS también contiene un paquete de gráficos completo y amplias capacidades de pre y pos-procesamiento. En el proyecto se utilizan las versiones de ANSYS 2022 R2 y SOLIDWORKS 2019.

Capítulo Dos

Marco teórico

2.1 Deshidratación solar

La deshidratación solar es una técnica ancestral de conservación de alimentos. Desde tiempos remotos, las comunidades han empleado la exposición al sol para deshidratar diversos alimentos, como frutas, granos, vegetales, carnes y pescados, proporcionando una solución vital en épocas de condiciones adversas.

El agua, uno de los componentes más abundantes en los alimentos, cumple una función estructural y ejerce una influencia significativa en las propiedades físico-químicas y sensoriales de los mismos. Su control resulta fundamental para garantizar la estabilidad del alimento, ya que regula reacciones químicas y enzimáticas. La deshidratación solar aprovecha la radiación solar como fuente de calor para reducir el contenido de agua en un alimento.

Deshidratar un alimento implica reducir su contenido de agua a un nivel de humedad que permita su conservación prolongada, posibilitando su almacenamiento para su futuro consumo o procesamiento.

En la actualidad, la industria de alimentos deshidratados es un sector global en auge. Las instalaciones varían desde simples secadores solares del tamaño de una caja de zapatos hasta grandes instalaciones de secado. El mercado ofrece una amplia gama de productos deshidratados, que incluyen vegetales, frutas, carnes, cereales, pescados y productos lácteos, así como productos formulados a partir de estos, como consomés, salsas y sopas en polvo. Esta diversidad da muestra de la vitalidad y versatilidad de la deshidratación.

2.1.1 Definición de deshidratación solar

De acuerdo a Fito y cols. (2020), Se entiende por deshidratación la operación mediante la cual se elimina total o parcialmente el agua de la sustancia que contiene.

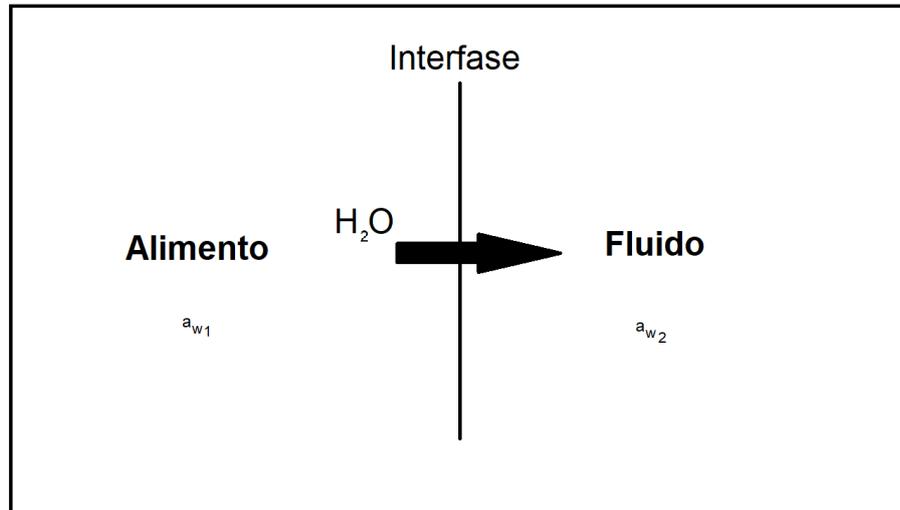


Figura 2.1: Esquema de las fases alimento-fluido entre las que se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente de actividad de agua (a_w).

2.1.2 Objetivos de la deshidratación solar

Los objetivos principales de la deshidratación solar son:

- Disminución o reducción de la actividad del agua.
- Reducción del peso y volumen.
- Transformación del alimento en una materia prima adecuada para el mezclado y formulación de productos nuevos.

Una mayor durabilidad de productos alimenticios esta asociada a niveles bajos de humedad y como establece Fito et al. (2020): Aunque el contenido de humedad de un alimento puede ser un factor indicativo de su propensión al deterioro, también se ha observado que diferentes alimentos con el mismo contenido de humedad pueden ser muy diferentes en su composición por lo que el concepto de contenido de humedad es insuficiente para indicar lo perecedero que es un alimento. Por esta razón, el primer objetivo de la operación de secado en cuanto a aumentar la conservación del producto se define en términos de depresión de la actividad de agua (a_w) y no en términos de disminución del contenido en humedad, puesto que la a_w puede ser considerada una medida indirecta del agua que está disponible en un producto para participar en las reacciones de deterioro. Ajustando la a_w y eligiendo el envase adecuado puede alargarse la vida útil de un alimento sin necesidad de refrigeración durante el almacenamiento.

El proceso de deshidratado solar generan una reducción de peso y volumen, con esto se consigue una notable reducción en costos de almacenamiento y transporte de estos productos. La reducción máxima de volumen se consigue al convertir en polvo los alimentos solidos y posterior a esto son comprimidos en prensas en bloques o tablas.

Con la deshidratación de alimentos se busca que los alimentos conserven sus propiedades por periodos mas prolongados de tiempo, tengan una mayor estabilidad, pero además se busca que se transformen en materias primas adecuadas para la elaboración de nuevos productos, como es el caso de los cereales para el desayuno, cubiertas de helados y yogur, etc. Pero también

se espera que los productos se puedan consumir sin la necesidad de un proceso posterior al deshidratado.

2.2 Fundamentos teóricos

La actividad del agua es importante para demostrar la estabilidad que tienen los productos deshidratados en el aspecto físico, químico y microbiológico.

Esta definida por:

$$a_w = \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Donde:

P = Presión vapor de agua en el producto

P_0 = Presión vapor de agua pura

El contenido de humedad de equilibrio depende de la dirección en que esta vaya, ya sea que un sólido húmedo se deshidrate por desorción o que en un sólido deshidratado se de el fenómeno de absorción. El método utilizado para ver la conducta de estos fenómenos de absorción y desorción se utilizan las isotermas de sorción.

La actividad de agua en el alimento es mas importante que el mismo contenido de agua, ya que existe un rango de actividad de agua critica bajo la cual los microorganismos no pueden desarrollarse. De acuerdo con Labuza et al. (1972), como se aprecia en la figura , para la mayoría de los alimentos este rango se encuentra dentro de 0.6-0.7.

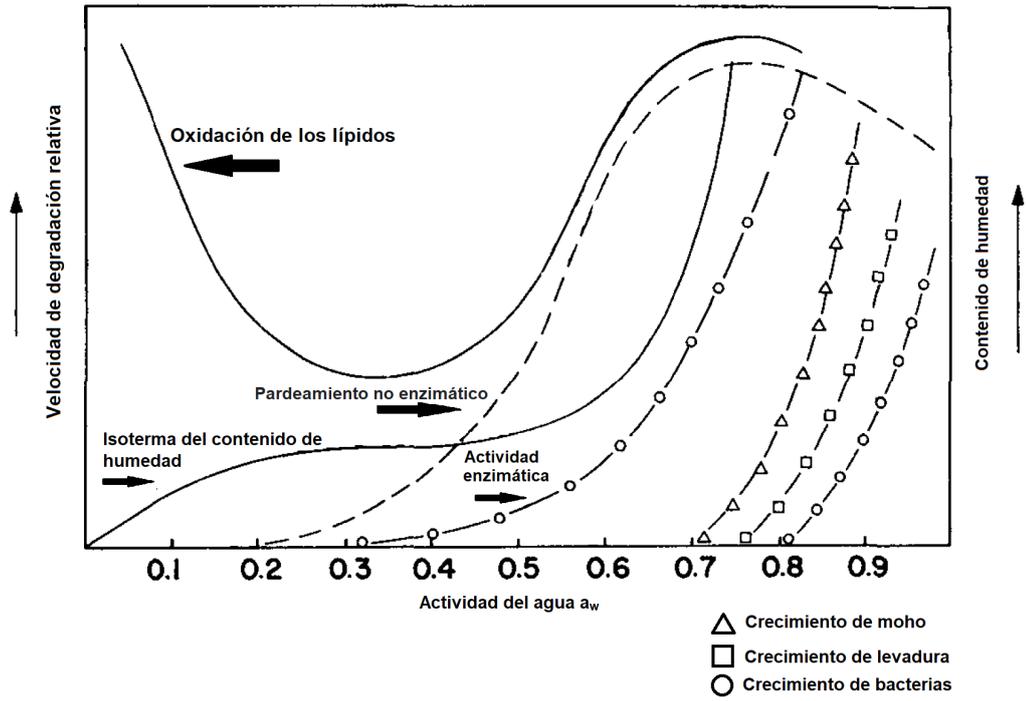


Figura 2.2: Mapa de estabilidad de los alimentos en función de la actividad del agua.

2.2.1 Modelación en isotermas de sorción

Todo proceso donde se involucren moléculas de agua combinadas reversiblemente con los alimentos sólidos se le denominan isotermas de sorción, describen la relación que existe entre la actividad del agua y el contenido de humedad en equilibrio de cierto producto a temperatura y presión específicas.

Las isotermas de sorción comprenden adsorción física, condensación capilar, formación de líquidos y solución de sólidos. Existen tres métodos para determinarlas:

- **Gravimétrica:** Toma en cuenta el cambio de peso de las muestras con el paso de tiempo, para esto las muestras son almacenadas en recipientes herméticos, en los cuales se vierten soluciones saturadas de distintas sales a diversas temperaturas (Talens, P. 2017) . Las muestras se pesan hasta alcanzar el contenido de humedad en equilibrio con un mínimo cambio de peso. Por último son medidas haciendo uso de un gravimétrico secando en un horno para determinar la masa sólida de la muestra.
- **Manométrica:** Se hace uso de manómetros para medir la presión de vapor del agua en equilibrio con la muestra a un nivel conocido de humedad.
- **Higrométrica:** Este método está basado en medir la humedad relativa del aire en equilibrio haciendo uso de un higrómetro.

Los isotermas de sorción se presentan de manera gráfica o en ecuaciones. Conocemos a la diferencia entre absorción y desorción como histeresis (Talens Oliag, 2017). La forma de la histeresis depende de algunos factores como lo son la composición de producto, la temperatura, el almacenamiento previo al análisis, pretratamientos, etc.

El modelo conocido como GAB, el cual se basa en un modelo cinético donde se asume que las moléculas en multicapas, tienen interacciones con el absorbente en valores energéticos similares a los que tienen las moléculas de la monocapa es reconocido como el más versátil y ampliamente utilizado para un gran número de productos alimentarios.

El modelo de GAB esta definido como:

$$w_e = \frac{w_0 * C * K * a_w}{(1 - K * a_w) * (1 + (C - 1) * K * a_w)}$$

Donde:

a_w = Actividad del agua.

w_0 = Humedad de la monocapa.

C = Constante de Guggenheim.

K = Constante relacionada con el calor de sorción de la multicapa.

En la figura 2.3 se puede apreciar un isoterma de sorción típica que muestra un ciclo de histéresis

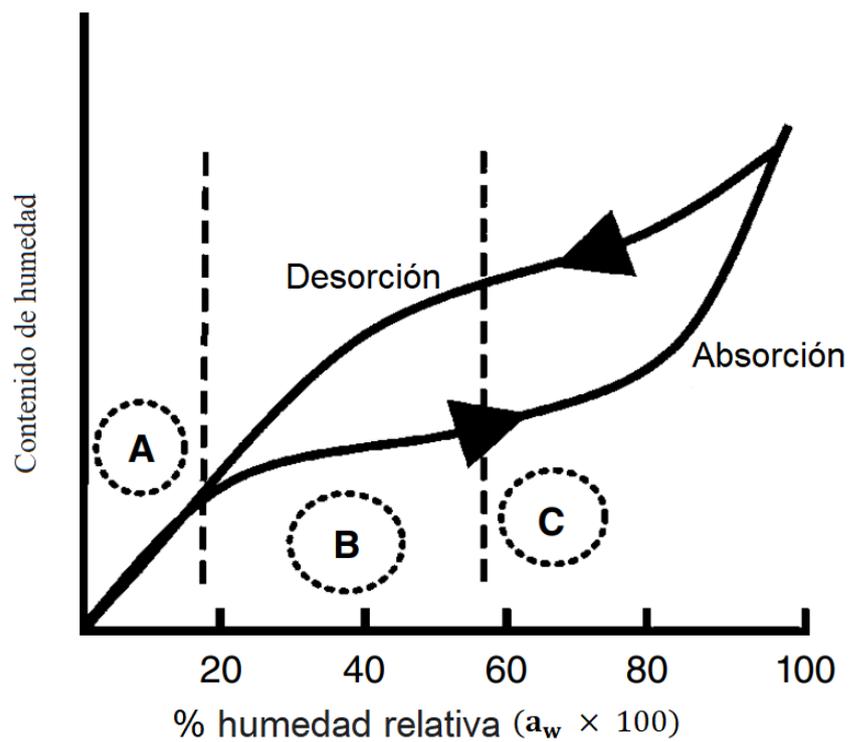


Figura 2.3: Las etiquetas A, B y C representan regiones en isotermas de adsorción y desorción donde el agua tiene diferente energía de enlace.

Una isoterma de desorción se puede dividir en tres regiones en las que el agua posee entalpías de vaporización de magnitud creciente a medida que las actividades del agua son más bajas, dependiendo de la energía de enlace. (Barbosa-Cánovas, Fontana, Schmidt, y Labuza, 2020).

Es en base a esto se obtienen algunos parámetros termodinámicos que proporcionan información acerca de la durabilidad del producto a una humedad y temperaturas determinadas, además de una aproximación a la energía requerida para la deshidratación. Es gracias a esto que se puede calcular la máxima capacidad de eliminación de agua bajo determinados valores de equilibrio y afectan directamente a la velocidad de transferencia de agua del producto al dispositivo que efectúa el deshidratado. También es de gran importancia el proceso de desorción, la disminución de actividad de agua para inhibir los procesos de deterioro por hongos y diversos microorganismos, así como el incentivar la disminución de la velocidad de diversas reacciones perjudiciales para la estabilidad del producto por la presencia de agua libre.

2.2.2 Etapas típicas en la operación de deshidratado

La operación de deshidratado se divide en tres periodos de acuerdo con Fito et al., 2020 (Figura 2.2):

1. **Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente:** En esta etapa se inicia el proceso de secado de manera que el producto se calienta y aumenta la temperatura de la interfase, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado. Este periodo depende también de numerosos factores, su duración será función del contenido inicial de humedad del sólido, de su temperatura, de la velocidad del aire, etc., pero para fines de cálculo se prescinde de él ya que se considera que en su transcurso el secado tiende al régimen estacionario, es decir en los periodos B y C, en los que se centra el estudio .
2. **Periodo de velocidad de secado constante:** La velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es menor que la velocidad con que llega a ella desde el interior del mismo. De esta manera la superficie del material se mantiene constantemente mojada y se comporta como una masa de líquido. De aquí que la velocidad de secado sea igual a la velocidad de evaporación del agua, que será a su vez proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido. En tales condiciones, la temperatura de la interfase será constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido. A medida que transcurre el tiempo, el sólido se va secando y llega un momento en el que la velocidad con que el agua llega a la superficie se hace menor que la velocidad de evaporación que implicaría el uso de toda la energía que llega del aire en evaporar agua del alimento. Desde este momento parte del calor que llega al sólido se invierte en calentarlo. El contenido de humedad del producto en dicho instante se conoce como humedad crítica (X_{wc}) .

3. **Periodo de velocidad de secado decreciente:** La humedad del producto sigue disminuyendo hasta alcanzar la humedad de equilibrio (X_{we}). En este periodo las líneas que se obtienen pueden ser curvas, en otros casos serán rectas o bien una combinación de ambas. La interpretación exacta del fenómeno aun no se ha dado pero hay varias teorías que intentan explicarlo. En los casos en los que la disminución de la velocidad de secado es lineal con el contenido en humedad, se supone que la evaporación del agua que contiene el material continua produciéndose en la misma forma que en el periodo de velocidad constante, con la salvedad de que no ocurre en toda la superficie, ya que comienzan a aparecer zonas secas, de manera que la velocidad de secado disminuye a medida que lo hace la superficie mojada.

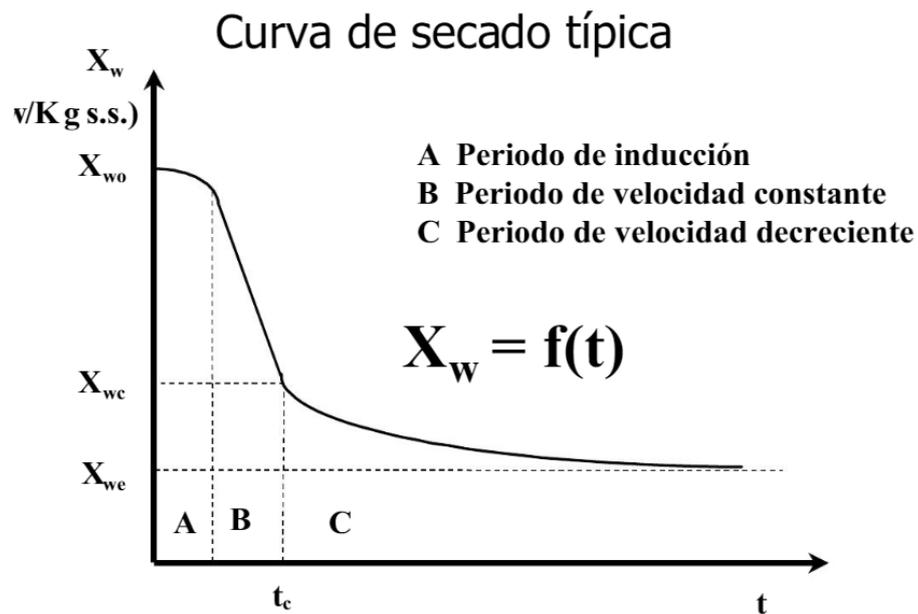


Figura 2.4: Curva de secado típica de materiales húmedos .

2.2.3 Transferencia de calor y materia en el deshidratado solar

La transferencia de calor es el resultado de aportar la energía necesaria para que exista un cambio de estado en el producto (que se transforme el agua del alimento en vapor), en la transferencia de calor por convección el calor suministrado por el aire provoca que el producto que se está deshidratando tenga un incremento de temperatura. En el caso de alimentos se recomienda desestimar la transferencia de calor por radiación hacia la superficie sólida, así como también se supone que no existe transferencia de calor por conducción en las bandejas o superficies metálicas, sino únicamente por convección.

De acuerdo con Geankoplis (Geankoplis, 1998), la velocidad de transferencia de calor del sólido al fluido (o viceversa) se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$q = hA (T_w - T_f)$$

Donde:

q = Velocidad de transferencia de calor en W.

h = Es el coeficiente convectivo de transferencia de calor en W/m^2 .

A = Es el área en m^2 .

T_w = Es la temperatura de la superficie del sólido en K.

T_f = Es la temperatura promedio o general del fluido en K.

El proceso de deshidratado también conlleva la transferencia de materia, la cual es responsable de la transferencia de fluido, del interior hasta la superficie del producto. La remoción de humedad puede darse a través de distintos mecanismos. El fluido producido por la evaporación del agua en la estructura capilar porosa fluye por una región de alta densidad a un área de baja densidad hasta obtener una distribución uniforme. La difusión de Knudsen en los microcapilares pueden ser varios ordenes de magnitud más grandes que el flujo de Poiseuille en macrocapilares. En los alimentos, la forma de conducción de la energía mencionada anteriormente ocurre junto con difusión y transporte de humedad.

De acuerdo con Sinha (Sinha, Sidhu, Barta, Wu, y Cano, 2012), para realizar cálculos industriales, estas diversas formas de transporte de agua pueden manejarse juntas por medio de un parámetro de difusión. Utilizando el parámetro de difusión aparente promedio ($D_e, m^2/s$), el flujo de masa ($q_m, kg/s$) de la humedad en estado estacionario.

$$q_m = c_s D_e \frac{dX}{dz} A$$

Donde:

q_m = El flujo de masa (kg/s).

c_s = Es la concentración del material sólido (kg/m^3).

D_e = Difusión aparente promedio (m^2/s).

X = Es el contenido de humedad del material.

z = Es la longitud en la dirección de de el transporte de humedad (m).

A = Es el área de la superficie perpendicular a la dirección de el transporte de humedad (m^2).

Con los respectivos análisis de balances de materia y energía, ya definidos en los parámetros necesarios para garantizar la calidad de un producto en particular, es necesario determinar el tipo de secado y equipo a emplear. Para poder realizar esto se seleccionara el mecanismo y tipo de equipo de secado que se adecuara a las condiciones del ambiente y a las propiedades del sólido que se desea deshidratar.

2.2.4 Deshidratadores usados en la industria alimentaria

Se puede clasificar los equipos de deshidratado solar en dos grupos en base a: las características y propiedades físicas del alimento a deshidratar, y el procedimiento para transmitir el calor al alimento húmedo.

Los deshidratadores se pueden clasificar en:

- **Deshidratadores directos o convectivos:** se caracterizan por usar gases calientes que entran en contacto directo con el alimento al cual transmiten calor por convección y expulsan fuera del deshidratador los vapores producidos.

Los gases calientes pueden ser:

- Aire calentado por radiación solar.
 - Aire calentado por vapor de agua.
 - Gases inertes.
 - Productos de la combustión.
 - Vapor recalentado.
- **Deshidratadores por conducción o indirectos:** funcionan transmitiendo calor al alimento a través de la pared que lo contiene, estos deshidratadores permiten la restauración del disolvente y son apropiados para la desecación a presiones reducidas y en atmósferas inertes.

La fuente de calor puede ser:

- Aceites térmicos.
- Agua caliente.
- Gases de combustión.
- Resistencia eléctrica

- Vapor que condensa.
- **Deshidratadores por radiación:** Funcionan en base a la transferencia de energía radiante para evaporar la humedad del producto.
- **Deshidratadores dieléctricos:** Se caracteriza por generar calor dentro del propio sólido, el calentamiento en esta operación es uniforme y simultáneo en toda la masa del sólido, esta operación es ideal para la deshidratación de piezas de gran tamaño sin peligro de recalentamiento en la superficie.

2.2.5 Tipos de deshidratadores directos o por convección

Los deshidratadores directos o por convección son dispositivos sencillos y de fácil manejo. Estos son de los más utilizados en la industria agrícola.

Este tipo de deshidratadores constan de las siguientes partes:

- **Recinto:** Es el espacio donde se colocará el producto, por lo general haciendo uso de charolas.
- **Sistema de calefacción:** Puede constar de un sistema de resistencias, quemadores de gas o un sistema de colección de energía solar.
- **Sistema de impulsión de aire:** Puede operar con sistemas de ventilación forzada y constar de sistemas de inductores (mecanismos para introducir aire fresco) o extractores de aire (mecanismos para extraer el aire), o funcionar con ventilación pasiva.

Los deshidratadores mas comunes en la industria son:

- Deshidratador de horno o estufa
- Deshidratador de bandeja o de armario
- Deshidratador de túnel
- Deshidratador de cinta transportadora
- Deshidratador de torre o de bandejas giratorias
- Deshidratador de cascada
- Deshidratador rotatorio
- Deshidratador de lecho fluidizado
- Deshidratador por arrastre neumático
- Deshidratador por atomización

2.3 Proceso de diseño

2.3.1 Proceso de diseño

Dentro del proceso de diseño, los bosquejos iniciales y los dibujos 3D en software de dibujo asistido por computadora (CAD) tienen el propósito de capturar el diseño y especificar los detalles necesarios para su fabricación (Budynas y Nisbett, 2012). El proceso de diseño para cualquier producto requiere una comprensión clara de las funciones y el rendimiento esperado de ese producto (Giesecke y Murrieta, 2013). Según Giesecke et al, el procedimiento para diseñar un producto nuevo o mejorado consta de las siguientes etapas:

1. Identificación del problema: debe describirse una manifestación clara de la necesidad y los objetivos del diseño.
2. Idea: se emplean bocetos técnicos para transmitir para transmitir conceptos a equipos multidisciplinarios.
3. Refinamiento/análisis: los diseños pueden representarse, con base en el análisis de ingeniería. Los modelos y bosquejos CAD son útiles durante la fase de análisis y concesión. Para perfeccionar el diseño, se crean dibujos y modelos CAD en 2D o 3D.
4. Implementación/documentación: se concluyen y aprueban los dibujos de producción y/o funcionamiento que proporcionen los detalles de fabricación y ensamble.

En la siguiente figura se muestra un esquema de las Etapas del proceso de diseño (Giesecke y Murrieta, 2013):

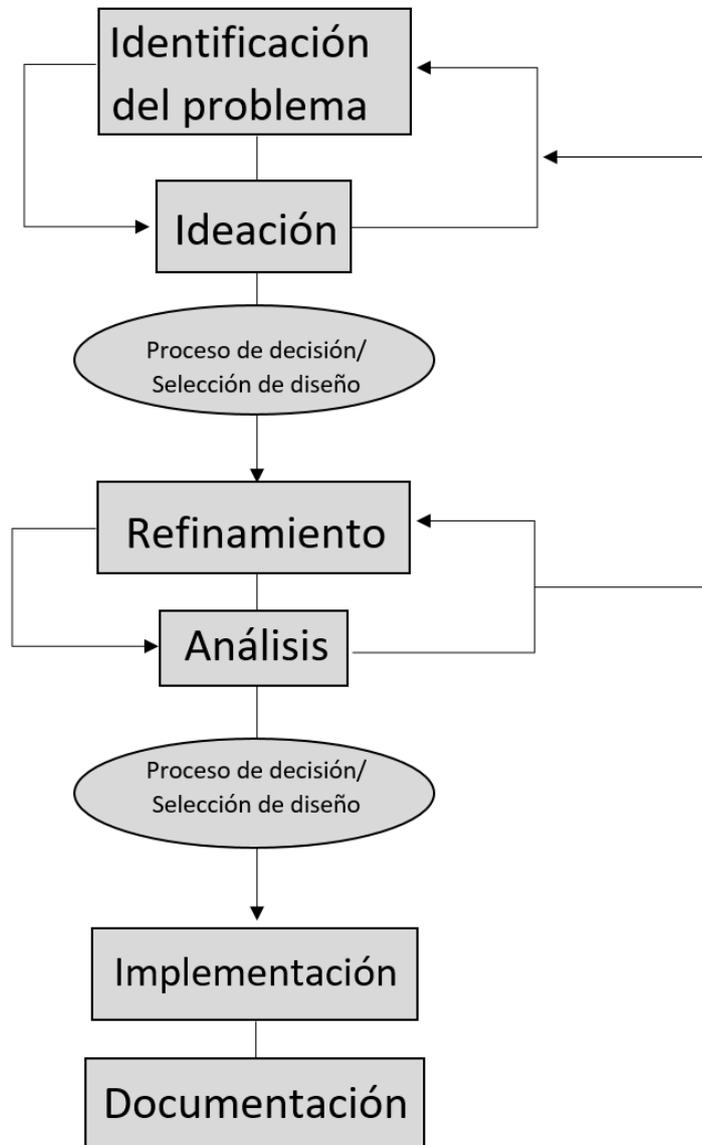


Figura 2.5: Proceso de diseño.

Como se aprecia en la figura, idealmente el diseño transcurre a través de estas etapas, pero siempre que exista nueva información disponible, se deberá volver a calcular una etapa anterior y repetir el proceso.

2.4 Dinámica de fluidos computacional

La dinámica de fluidos computacional (del inglés CFD- Computational Fluid Dynamics) es el área de conocimiento que trata sobre la simulación numérica de flujos de fluidos, consiste en la generación y simulación de modelos los cuales se aplican en el análisis de sistemas relacionados con el flujo de fluidos, transferencia de calor y otros fenómenos asociados (como reacciones químicas) por medio de la simulación por computador (Pharr, Humphreys, y Jakob, 2016).

Este modelo, basado en un problema planteado estrictamente matemáticamente, describe la transferencia de calor entre un cuerpo y un fluido que fluye sobre o dentro de él como resultado de la interacción de dos objetos. Los procesos físicos y las soluciones de las ecuaciones que gobiernan se consideran por separado para cada objeto en dos subdominios. Las condiciones coincidentes para estas soluciones en la interfaz proporcionan las distribuciones de temperatura y flujo de calor a lo largo de la interfaz cuerpo-flujo, eliminando la necesidad de un coeficiente de transferencia de calor.

Es gracias a este modelo que se podrá simular el flujo de aire, así como su temperatura dentro del deshidratador, sin la necesidad de adicionar en la simulación un objeto o condición que proporcione la energía para calentar las superficies o el mismo aire, gracias a que ya se está declarando en las condiciones iniciales las mismas.

Los métodos de discretización más difundidos son el método de las diferencias finitas, el método de los elementos finitos y el método de los volúmenes finitos, siendo este último el más utilizado en Dinámica de Fluidos Computacional

2.4.1 Teoría de los flujos impulsados por la flotabilidad y la convección natural

Cuando se realiza un modelo de simulación de dinámica de fluidos computacional y se le es agregado calor aun fluido y la densidad del fluido varia en función a la temperatura, se puede inducir un flujo debido a la fuerza de gravedad que actúa sobre las variaciones de densidad. Estos flujos los cuales son impulsados por la flotabilidad los denominamos flujos de convección natural (también llamados convección mixta) los cuales fluyen y pueden ser modelados por software de dinámica de fluidos computacional como los es ANSYS Fluent, Autodesk CFD, SimScale, OpenFOAM, entre otros.

La importancia de las fuerzas de flotabilidad en un flujo de convección mixto se puede medir por la relación de Grashof y numero de Reynolds:

$$\frac{Gr}{Re^2} = \frac{g\beta\Delta TL}{v^2}$$

Cuando este numero se acerca o excede la unidad, se debe esperar fuertes contribuciones de flotabilidad al flujo. Por el contrario, si es mínimo, las fuerzas de flotabilidad pueden ignorarse en la simulación. En convección natural, la fuerza del flujo inducido por la flotabilidad se mide con ayuda del numero de Rayleigh:

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3\rho}{\mu\alpha}$$

Donde β es el coeficiente de expansión térmica:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p$$

y α es la difusividad térmica:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

Los números de Rayleigh inferiores a 10^8 indican un flujo laminar inducido por la flotabilidad, con una transición a turbulencia que se produce en el rango de $10^8 < Ra < 10^{10}$.(ANSYS, 2009b)

2.4.2 Teoría del modelo de radiación de superficie a superficie (S2S)

El modelo de radiación de superficie a superficie se utiliza para tener en consideración el intercambio de radiación en un recinto de superficies grises difusas. El intercambio de energía entre dos superficies depende de su tamaño, distancia de separación y orientación.

La suposición principal del modelo S2S es que se puede ignorar cualquier absorción, emisión o dispersión de radiación; por lo tanto, sólo es necesario considerar para el análisis la radiación "superficie a superficie".

El flujo de energía que sale de una superficie determinada se compone de energía directamente emitida y reflejada. El flujo de energía reflejado depende del flujo de energía incidente del entorno, que luego se puede expresar en términos del flujo de energía que sale de todas las demás superficies. La energía reflejada desde la superficie k es

$$q_{out,k} = \epsilon_k \sigma T_K^4 + \rho_k q_{in,k}$$

donde $q_{out,k}$ es el flujo de energía que sale de la superficie, ϵ_k es la emisividad, σ es la constante de Boltzmann y $q_{in,k}$ es el flujo de energía que incide sobre la superficie desde los alrededores. (ANSYS, 2009d)

2.5 Convección natural

La convección natural es un mecanismo, o tipo de transporte de calor, en que el movimiento del fluido no es generado por cualquier fuente externa (como una bomba, ventilador, dispositivo de succión, etc.) pero solo por diferencias de densidad en el fluido ocurriendo debido a gradientes de temperatura.

La convección natural, o libre, se observa como resultado del movimiento del fluido debido a los cambios de la densidad que resultan del proceso de calentamiento.

El movimiento del fluido en la convección natural, ya sea un gas o un líquido, resulta de las fuerzas de flotabilidad impuestas sobre el fluido cuando su densidad en la proximidad de la superficie de transferencia de calor disminuye como consecuencia del proceso de calentamiento. Las fuerzas de flotabilidad no estarían presentes si sobre el fluido no actuase un campo de fuerzas exterior como la gravedad, aunque la gravedad no es el único tipo de campo de fuerzas que puede producir las corrientes de convección natural; sobre un fluido encerrado en una máquina rotatoria actúa el campo de fuerzas centrífugas y, por tanto, podría tener corrientes de convección natural si se calentasen una o más de las superficies en contacto con el fluido. Las fuerzas de flotabilidad que originan las corrientes de convección natural son fuerzas de volumen.

Capítulo Tres

Metodología

3.1 Diseño CAD del Deshidratador Solar

Para el diseño, modelado y desarrollo del deshidratador solar se siguió la siguiente metodología. El primer paso fue desarrollar un diseño preliminar 3D del sistema, para ello se utilizó el software comercial SolidWorks, el cuál es un software de diseño asistido por computadora tipo CAD que utiliza un entorno gráfico que permite la creación rápida de Modelos sólidos en 3D, Ensamblajes y planos en 2D. Para reducir el esfuerzo en modificar y crear variantes en el diseño se siguió el modelado paramétrico, debido a que con este procedimiento las cotas y relaciones usadas para realizar operaciones se almacenan en el programa.

3.1.1 Proceso de diseño SOLIDWORKS

El procedimiento de diseño utilizado en SOLIDWORKS consta de las siguientes etapas:

- Se crea un croquis 2D, en el cual se dibujará un plano de trabajo mediante entidades de croquis (línea, círculo, rectángulo, spline, etc.), herramientas de croquizado, herramientas de acotación y relaciones geométricas (tangente, perpendicular, concéntrica, etc.) entre sus entidades.
- Mediante operaciones (extrusión, revolución, redondeo, chaflán, etc.) se trabaja el modelo 3D (sólido o superficie).
- Se pueden crear otras piezas y con ellas se forma un ensamblaje usando relaciones geométricas de posición (en caso requerir una única pieza se omite este paso).
- Al pasar a el módulo dibujo para representar esa pieza o ensamblaje en un plano con las diferentes vistas estándar, auxiliares, secciones o detalles que nos interese visualizar.

3.1.2 Proceso de diseño deshidratador solar

Como establece Giesecke (2013) . El proceso de diseño para cualquier producto requiere una comprensión clara de las funciones y el rendimiento esperado de ese producto. Es debido a ello que se debe tener una idea clara respecto al tipo y función que se requiere realice el deshidratador solar, los deshidratadores clasifican de acuerdo con la distribución de los componentes del dispositivo en: integrales, distribuidos y mixtos (García, Pilatowsky, y Cabanillas, 2017). En los deshidratadores integrales, la cabina de secado sirve también como captador, este tipo de deshidratador se subdivide a su vez en tipo gabinete o invernadero.

El deshidratador solar que se diseñará será integral de tipo gabinete con una capacidad de 10 kilogramos de peso de fruta máximo en húmedo, se fabricara en policarbonato gris humo en la base y transparente en el resto de las superficies, contará con tres niveles de charolas, en la figura 3.1 , se muestra el esquema de la geometría y funcionamiento del secador solar.

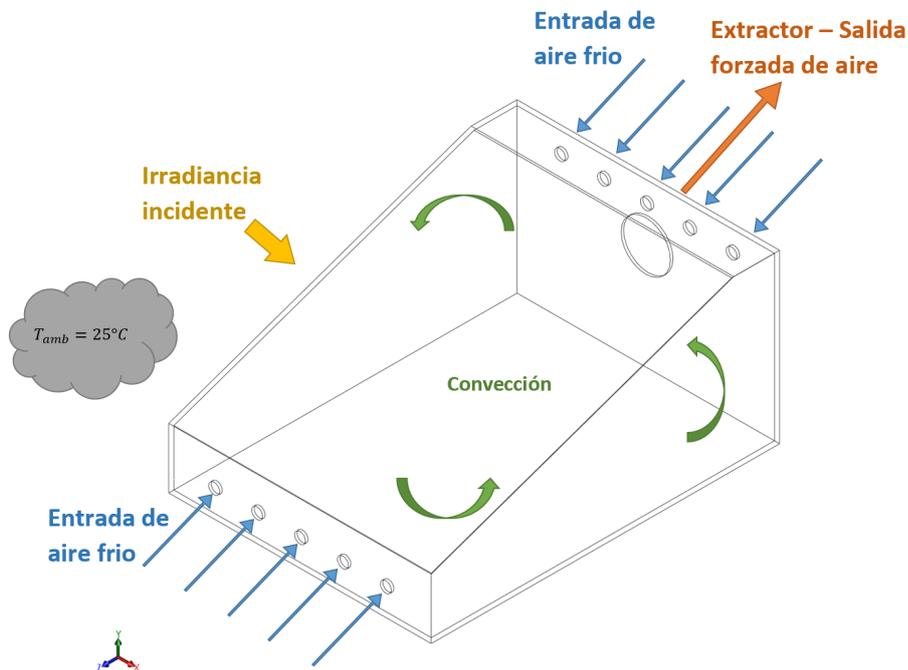


Figura 3.1: Geometría y funcionamiento de un deshidratador solar integral de tipo gabinete.

Una vez establecidos los requerimientos del deshidratador se procede a crear un croquis 2D en el espacio de trabajo de SolidWorks con los planos y bosquejos de las ideas iniciales que fueron desarrollados en la etapa semilla del proyecto “Modelo transdisciplinar para el bienestar de las comunidades agrícolas y rurales de Nayarit a través de la incorporación de tecnologías solares, hacia la sostenibilidad.”

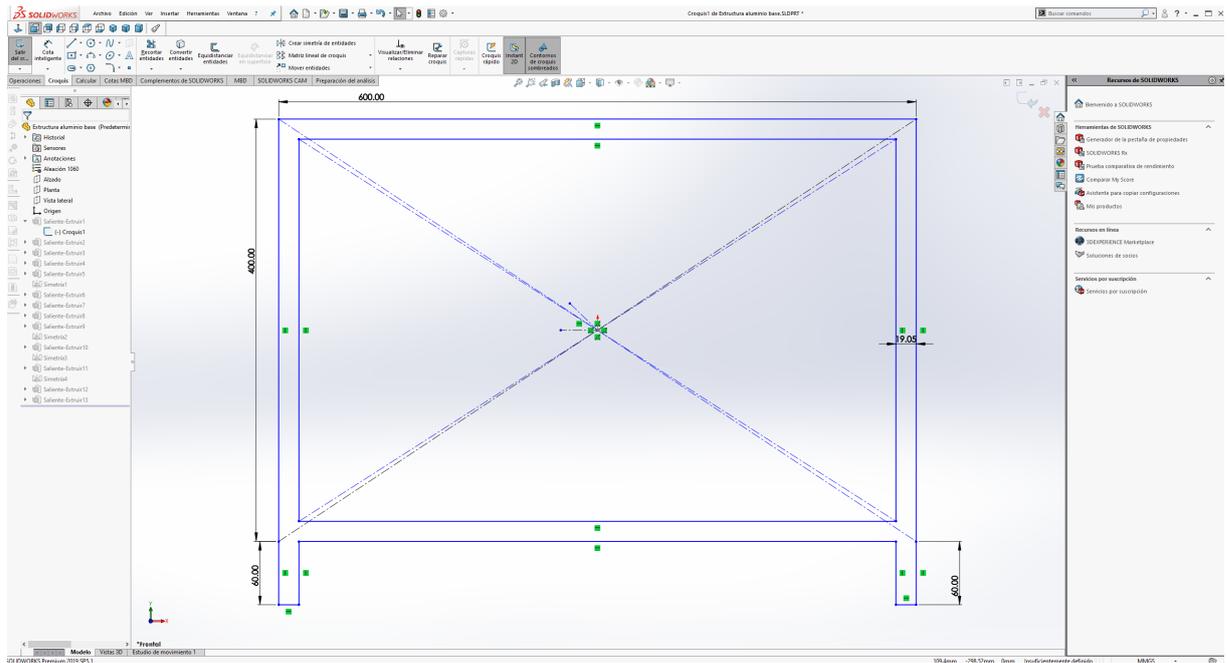


Figura 3.2: Croquis 2D, base deshidratador solar.

Una vez el croquis cumple con las acotaciones y condiciones base se da inicio a la extrusión de los componentes de la pieza que se requiere, si bien es importante que la pieza coincida con su homónimo que se planea manufacturar es importante aclarar que se genero un segundo modelo simplificado con el objetivo de ser usado para la simulación de dinámica de fluidos computacional con el cual se pretende analizar el comportamiento de de los flujos de fluido, las transferencias de calor y las interacciones térmicas dentro del deshidratador solar.

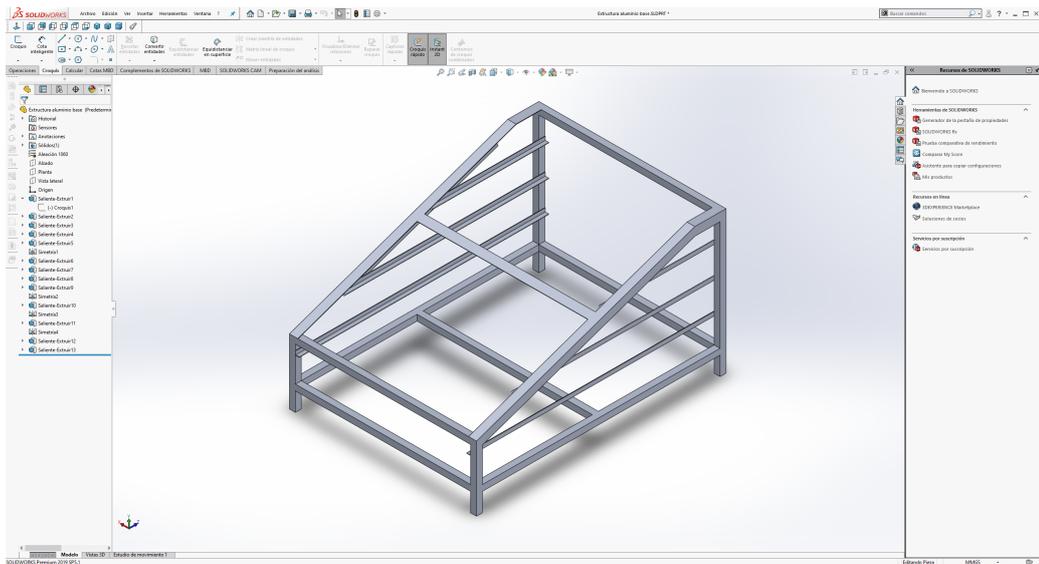


Figura 3.3: Vista isométrica base del deshidratador solar (completo).

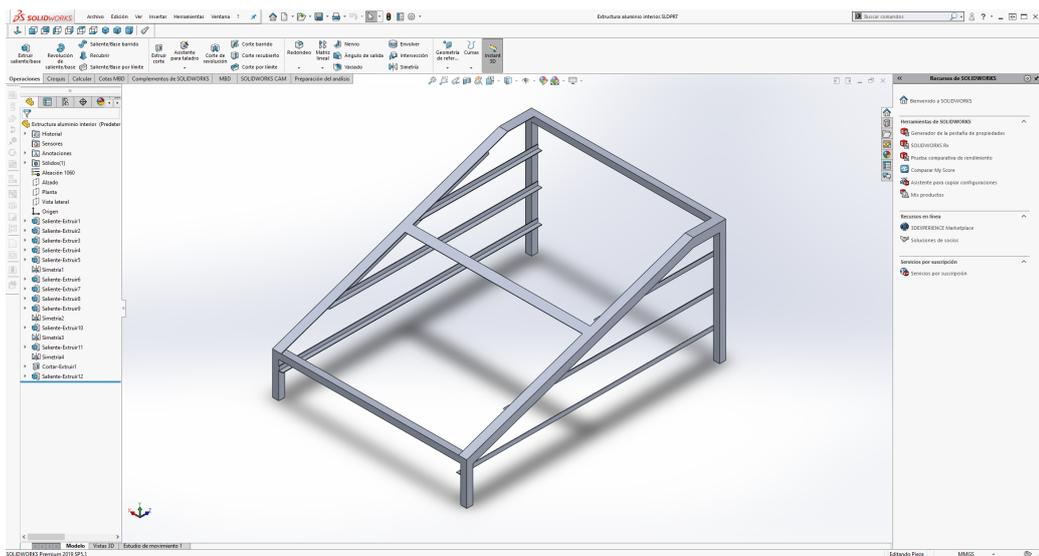


Figura 3.4: Vista isométrica base del deshidratador solar (simplificado).

Como se puede apreciar en entre la Figura 3.3 y la figura 3.4 existe una disparidad con respecto a su base, esto debido a que este excedente conlleva se obtenga una geometría mas compleja la cual en su ensamblaje y posterior mallado se podrían suscitar errores.

Una vez generadas todas las piezas requeridas en el deshidratador solar, se genera un nuevo documento de SOLIDWORKS el cual sera un ensamble, en este documento se concentraran todas las piezas y haciendo uso de las herramientas de relaciones geométricas de posición.

Todas las piezas y relaciones de posición se concentran como se ve en la figura 3.5 (recuadro naranja) en la zona izquierda media del espacio de trabajo de SOLIDWORKS en la ventana del gestor de diseño de FeatureManager. En la zona de herramientas en la parte superior se puede observar la herramienta de Relación de posición (recuadro verde) haciendo uso de esta herramienta se generaran las relaciones de posición estándar como coincidente, paralela, perpendicular, tangente, concéntrica, bloquear, distancia o ángulo.

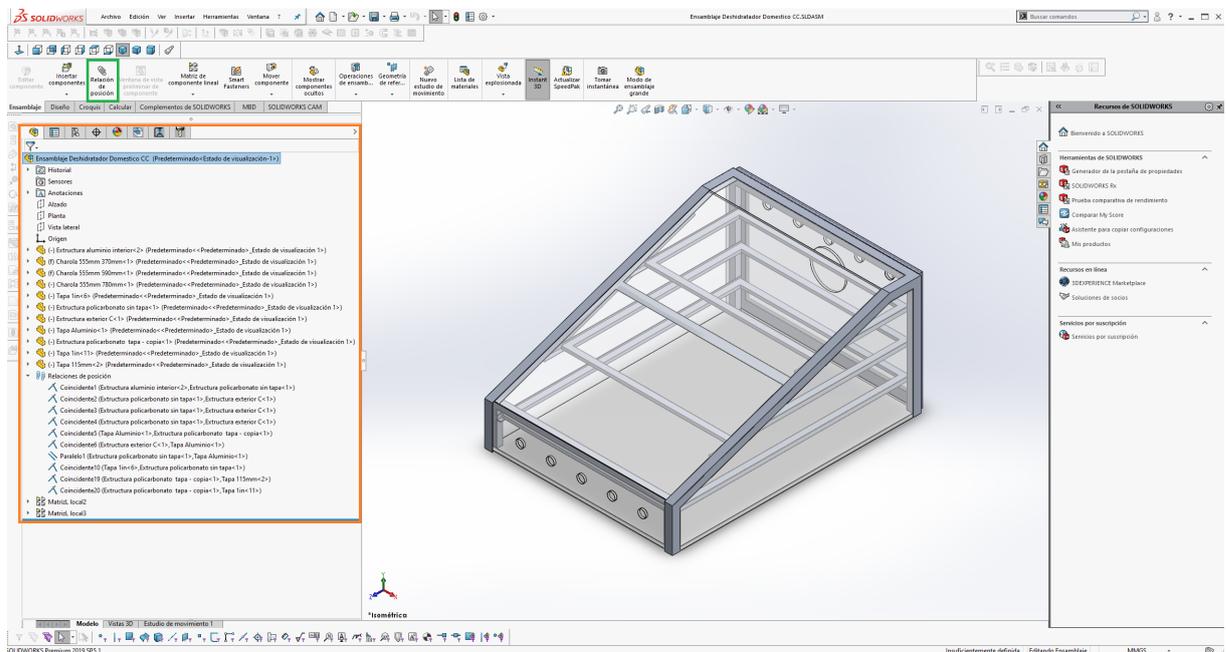


Figura 3.5: Ensamblaje deshidratador domestico.

Una vez concluido el ensamblaje se guardara el documento en dos formatos el primero es el documento por defecto de ensamblajes de SOLIDWORKS .SLDASM y el segundo es el documento IGES o Initial Graphics Exchange Specification (Especificación de Intercambio Inicial de Gráficos) es un formato de archivo informático el cual define un formato neutral de datos el cual permite el intercambio digital de información entre sistemas de diseño asistido por computadora (CAD).

3.2 Análisis CAE del deshidratador solar

ANSYS es un software de simulación ingenieril. Este software es usado en ingeniería eléctrica, civil y mecánica, así como también en física y química. Está creado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos. Está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador tienen proporcionados una interfaz gráfica. Este procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras estáticas y dinámicas (ambas para problemas lineales y no lineales), análisis de transferencia de calor y dinámica de fluidos, además también problemas de acústicas y de electromagnetismo. Normalmente el uso de estas herramientas se utilizan simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como uno solo (Foley, 1994).

3.2.1 Proceso de realización de un calculo

El procedimiento para la realización de un calculo consta de tres pasos:

1. Pre-proceso

- Se establece el modelo, se puede importar desde otro programa de diseño o modelar directamente en ANSYS.
- Sobre el modelo se genera una malla y se definen las superficies con nombre.

2. Proceso

- Se aplican condiciones en el modelo necesarias para la realización del calculo.
- Obtención de la solución.

3. Post-proceso

- Visualización de resultados

3.2.2 ANSYS Workbench

ANSYS Workbench es la plataforma de integración y flujo de trabajo que conecta los productos de Ansys. El área de esquema del proyecto (Project schematic) permite a los usuarios configurar sus procesos de simulación, optimizar la exploración a través de la gestión paramétrica, enviar trabajos al solucionador tanto de forma local como remota, y agregar API (interfaz de programación de aplicaciones) que permitan el uso de software de terceros.

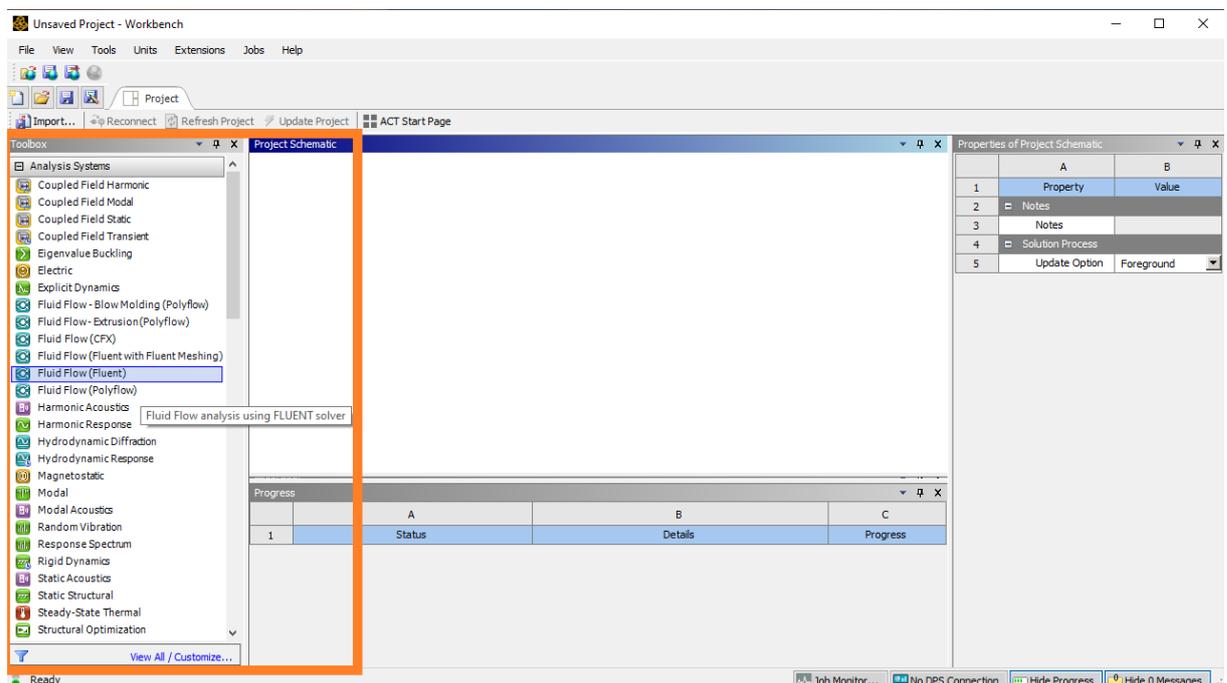


Figura 3.6: Ubicación de toolbox en workbench.

Al iniciar ANSYS Workbench como se ve en la Figura 3.6 en la zona izquierda se ubica Toolbox es la zona donde se ubican las herramientas con las que disponemos en ANSYS es aquí en el apartado de Sistemas de análisis (Analysis Systems) encontramos Fluid Flow (Fluent), para comenzar a hacer uso de ella se debe arrastrar desde Toolbox hasta el área de esquema del proyecto (Project schematic) como se ve en la Figura 3.7.

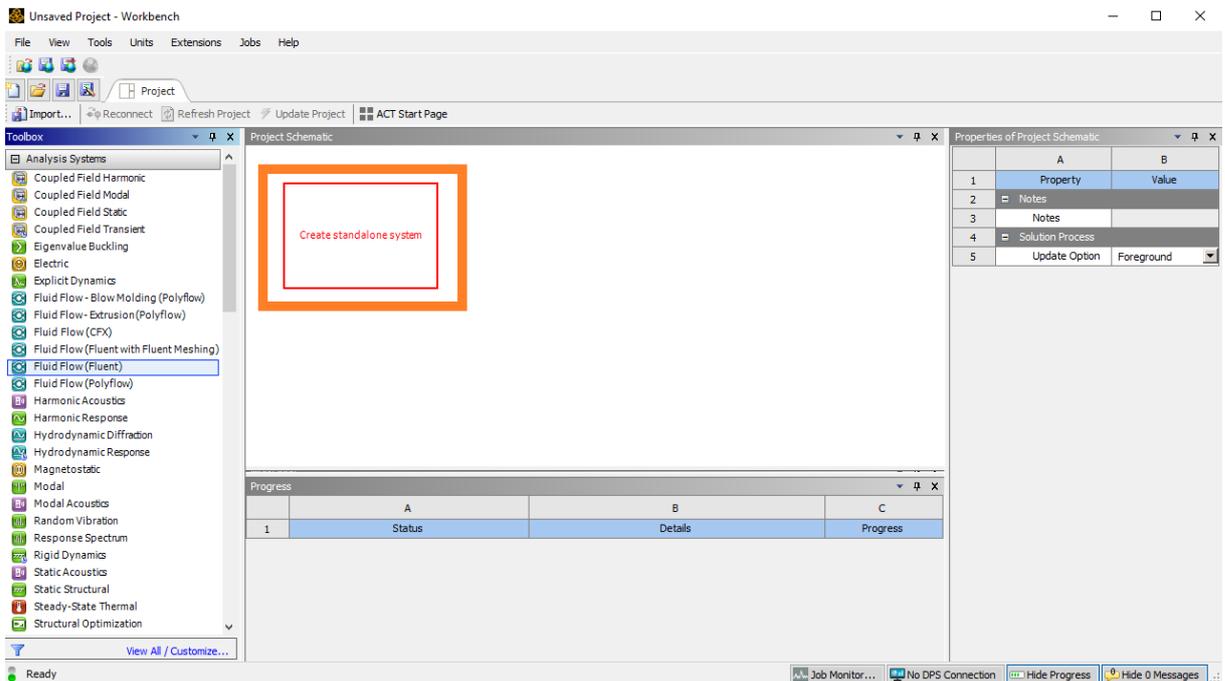


Figura 3.7: Ubicación de zona donde se coloca la herramienta para realizar el estudio en workbench.

Una vez se coloca ahí la herramienta se vera la siguiente ventana como se ve en la Figura 3.8, es en esta ventana donde se realizaran el conjunto de procesos para solucionar el calculo de estudio, en esta ventana se ubican Geometry (Geometría, área donde se importara la geometría del calculo) , Mesh (Mallado, área donde se genera y refina el mallado para satisfacer las necesidades del calculo), Setup (Configuración, área donde se configuran las condiciones iniciales del trabajo), Solution (Solución, área donde se añaden las condiciones iniciales así como especificas para solucionar el calculo), y Results (Resultados, área donde se generan archivos posterior al proceso).

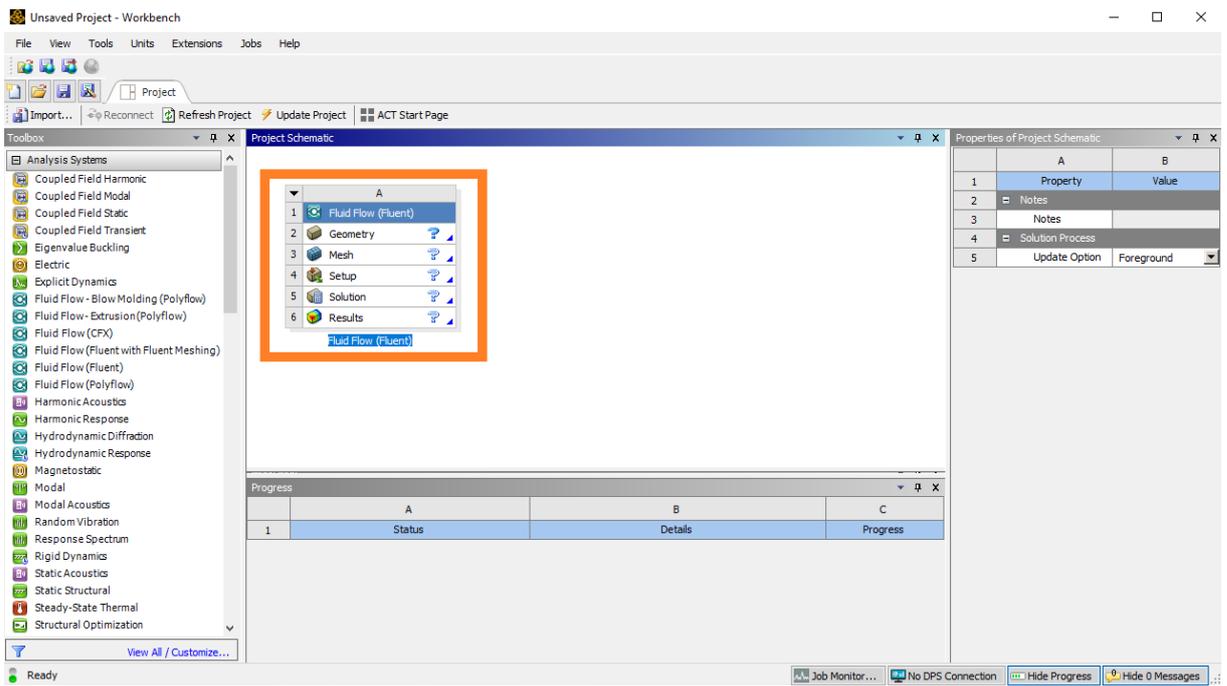


Figura 3.8: Ubicación de la herramienta FLUENT en el apartado de Sistemas de análisis.

3.2.3 ANSYS Geometry

ANSYS Geometry incluye tres opciones, dos de las cuales son herramientas de diseño y dibujo asistido por computadora (CAD) las cuales son Space Claim y Desing Modeler las cuales permiten construir la geometría del problema, creando líneas, áreas o volúmenes desde cero. O se puede usar la tercer opción la cual es importar la geometría desde otro programa de diseño CAD, Como se ve en la Figura 3.9, al dar clic derecho sobre Geometry, se localiza en Import Geometry y se selecciona la opción de Browse (Navegar).

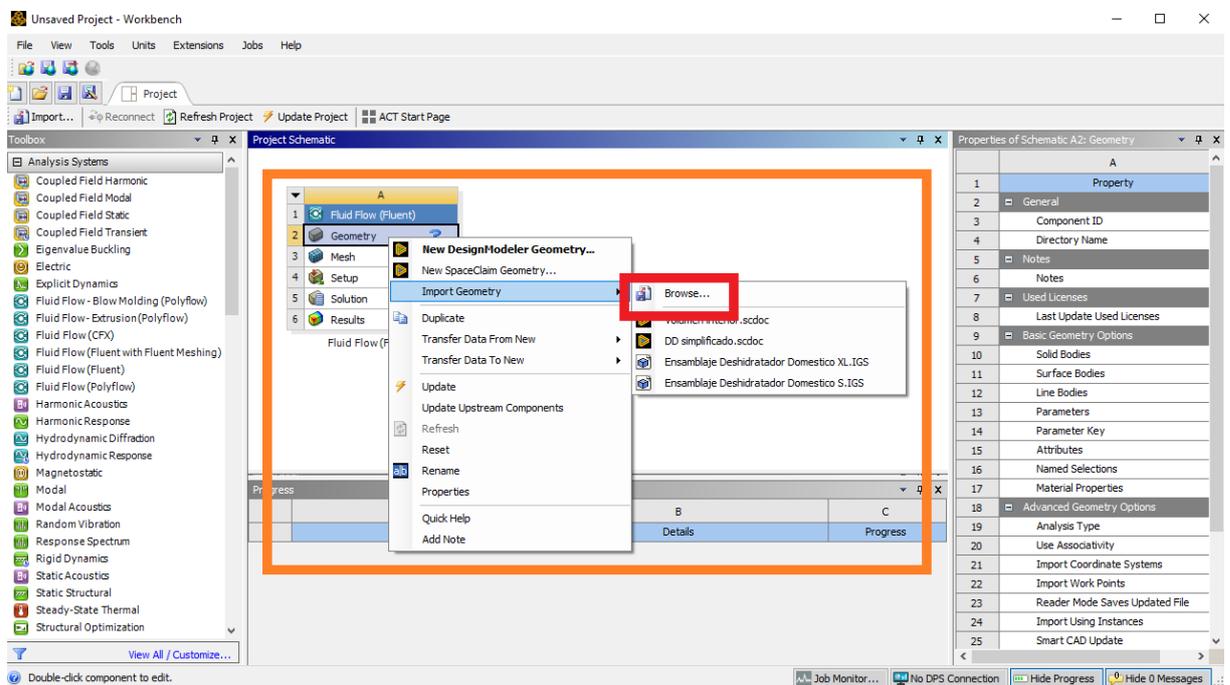


Figura 3.9: Ubicación de importación de geometría en ANSYS Geometry.

Una vez es seleccionado se abrirá una ventana de explorador de archivos(Figura 3.10), en la cual se podrá navegar entre los diversos discos y carpetas del ordenador, es con la ayuda de esta herramienta que ubicaremos el archivo con el cual se realizara el calculo, para este calculo el nombre del archivo en el que se desarrollara el calculo es **Ensamblaje Deshidratador Domestico S.IGS**.

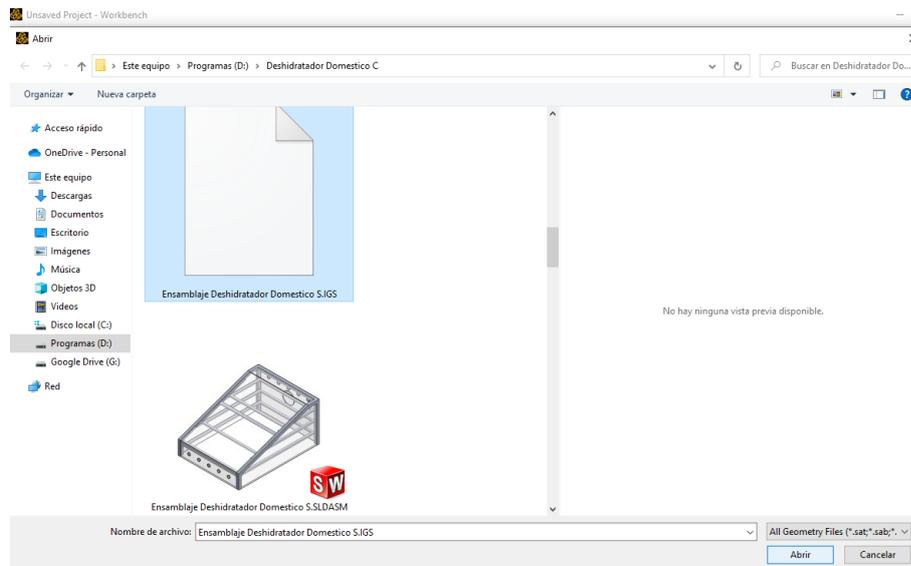


Figura 3.10: Interfaz de importación de geometría en ANSYS Geometry.

Una vez se a seleccionado la geometría con la cual se realizara el calculo, se ha cargado el archivo en el apartado de geometría se volverá a dar clic derecho sobre Geometry y se seleccionara la opción de Edit Geometry in SpaceClaim... (Figura 3.11)

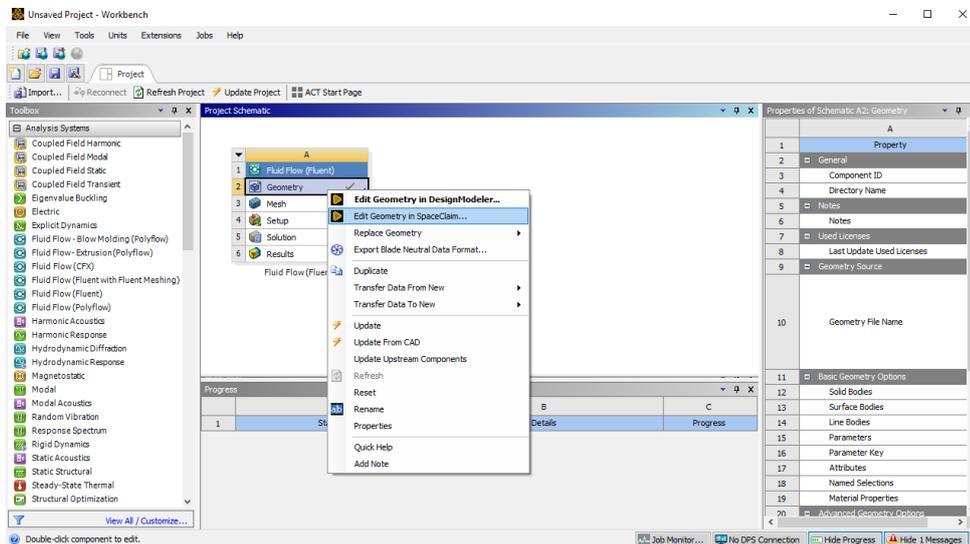


Figura 3.11: Selección de editor de geometría en ANSYS Geometry.

3.2.3.1. SpaceClaim

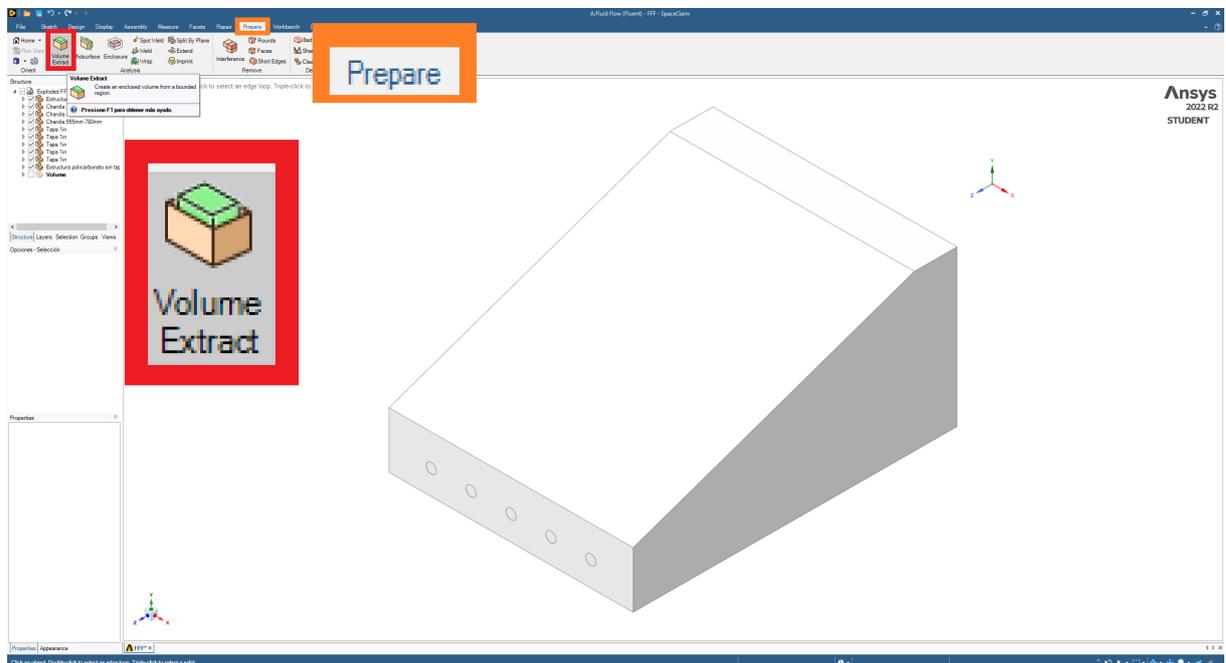


Figura 3.12: ANSYS SpaceClaim.

Como se ve en la Figura 3.12 el entorno de trabajo del editor de geometría SpaceClaim, se cuenta con diversas herramientas de las cuales se pueden dar uso para detallar piezas y ensamblajes, para este calculo en especifico nuestro interés es el flujo de aire, temperatura y presión en el volumen interno del deshidratador, para poder tener obtener esta información se hará uso de la herramienta Volume Extract, la cual nos ayudara a crear un volumen cerrado a partir de una región delimitada.

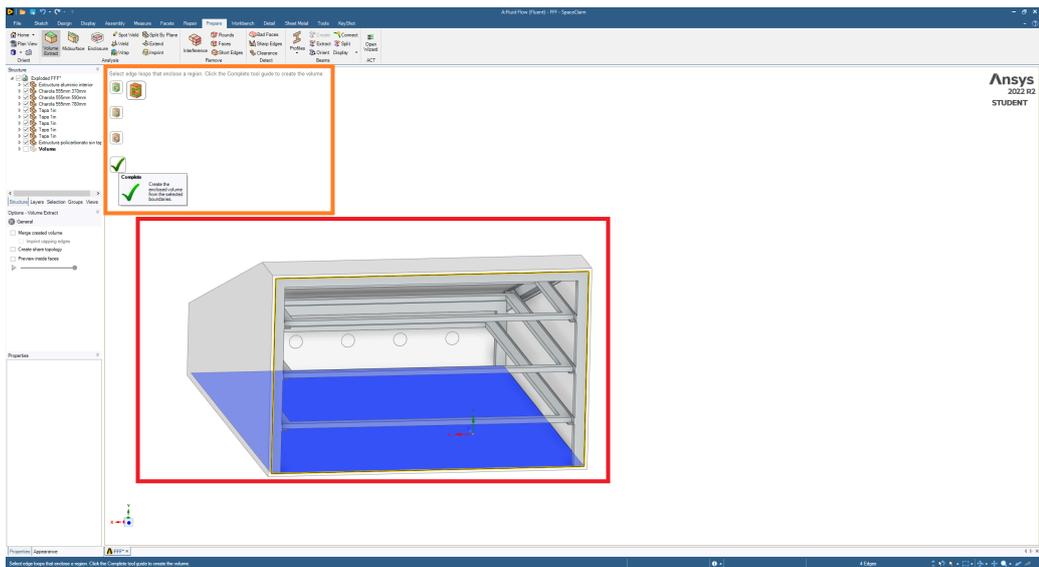


Figura 3.13: ANSYS SpaceClaim- Selección de zonas para la herramienta.

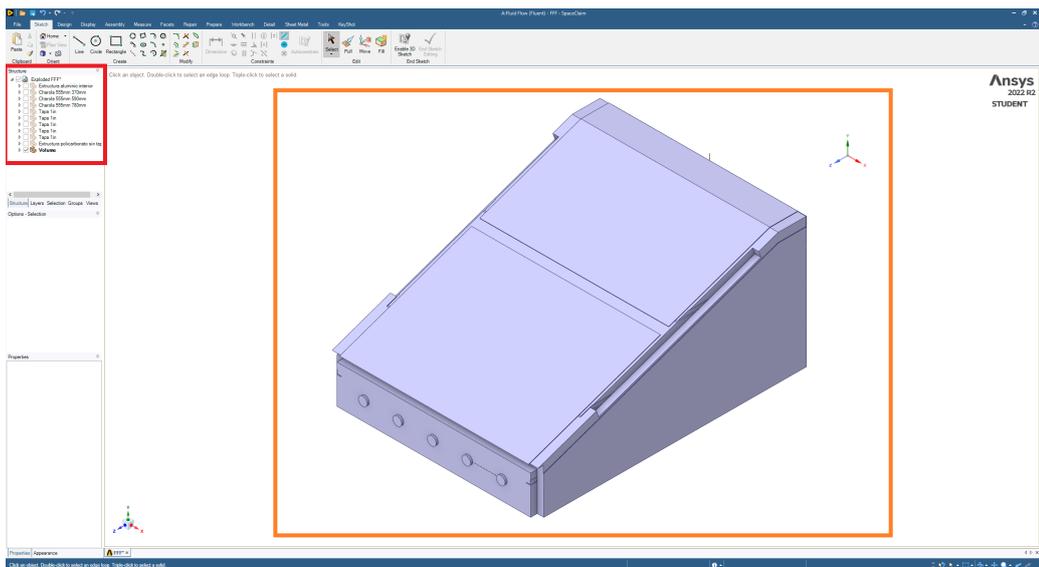


Figura 3.14: ANSYS SpaceClaim- Volumen creado con Volume Extract.

En la Figura 3.13, se observa el proceso de selección de zonas el cual ofrece cuatro tipos de selecciones, de los cuales se deben de seleccionar dos dependiendo de la geométrica del ensamble o pieza una vez seleccionado la base y los bordes selecciona la opción de complete. Una vez se a completado este proceso se obtendrá un volumen (Figura 3.14) el cual sera el objeto en el cual se hará el proceso de calculo.

3.2.4 ANSYS Meshing

ANSYS Meshing es un producto el cual produce la malla más adecuada para soluciones multifísicas precisas y eficientes (ANSYS, 2009a). ANSYS Meshing es responsable del tipo de soluciones que se utilizarán en el proyecto y tiene los juicios adecuados para crear la malla más óptima. La creación de la malla más apropiada es la base de las simulaciones de ingeniería. La geometría y el mallado quedan asociados, de manera que cualquier modificación del modelo actualiza automáticamente en el mallado. ANSYS Meshing se integra automáticamente con cada solución dentro del entorno ANSYS Workbench.

El proceso inicia en ANSYS Workbench como se ve en la Figura 3.15 haciendo clic derecho sobre Mesh y primero dando clic en update y posterior a esto se editara haciendo clic derecho y seleccionando Edit.

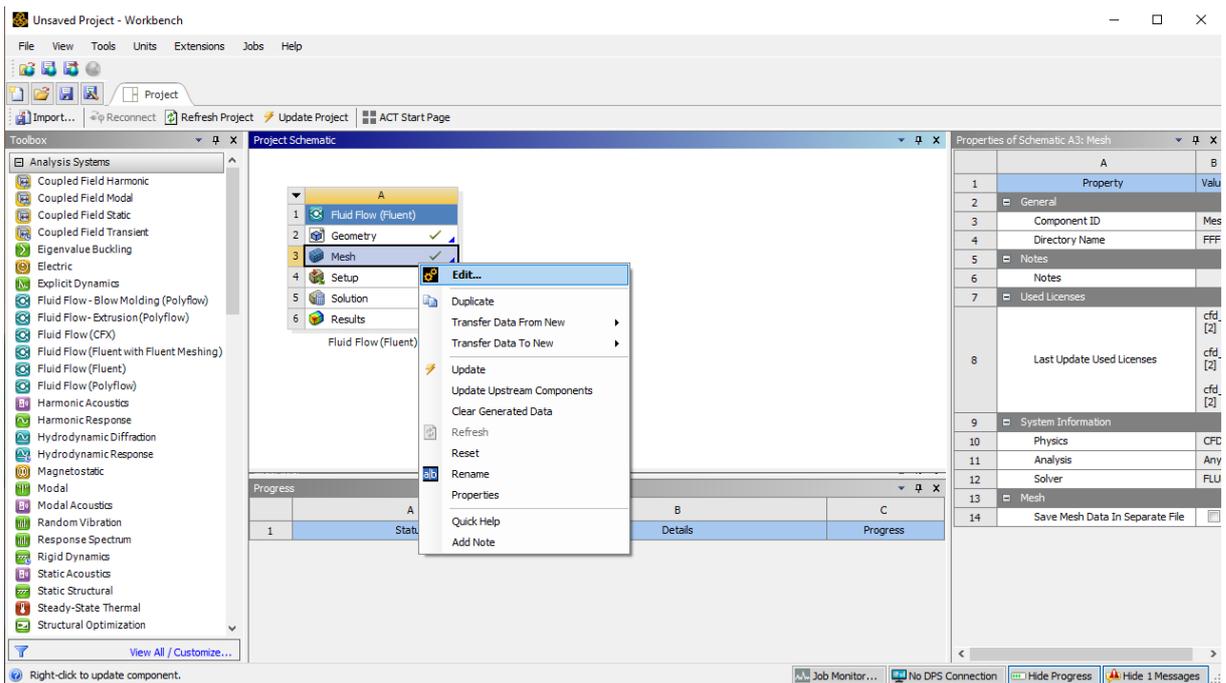


Figura 3.15: Generación y edición de malla desde ANSYS Workbench.

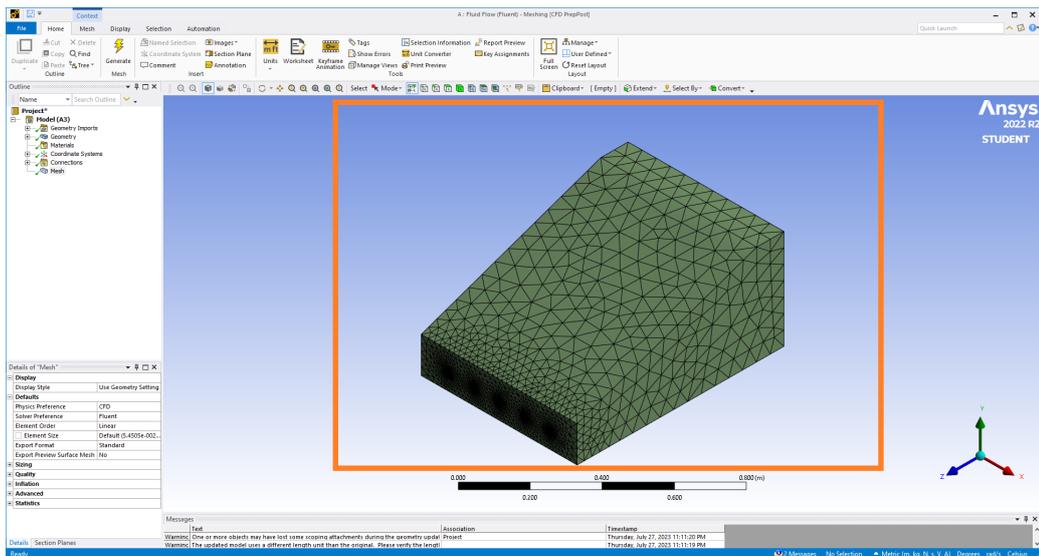


Figura 3.16: ANSYS Meshing.

El proceso inicia en ANSYS Meshing (Figura 3.16.), aquí primero evaluaremos la malla que se genero de manera automática desde ANSYS Workbench, si la malla que se genero de manera automática satisface las necesidades del calculo que se pretende realizar se procede a guardar y continuar el siguiente paso del proceso, de lo contrario se aumentara la resolución de la malla como se ve en la Figura 3.17.

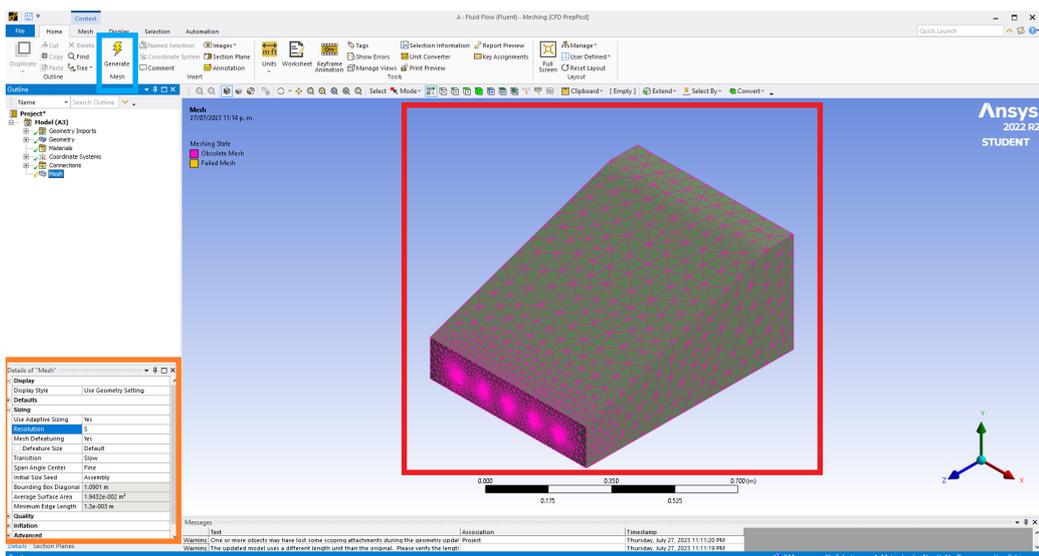


Figura 3.17: ANSYS Meshing-Aumento de resolución de maya.

El ajuste de resolución se hace en la opción Details of "Mesh"(Recuadro naranja, Figura 3.17.) en el apartado de Sizing a mayor nivel de resolución se incrementaran el numero de nodos y elementos, para este calculo se utilizaran 57,060 nodos y 301,105 elementos como se puede apreciar en la figura 3.18. Una vez se a definido el nivel de resolución se debe de nombrar las diferentes secciones mallasadas.

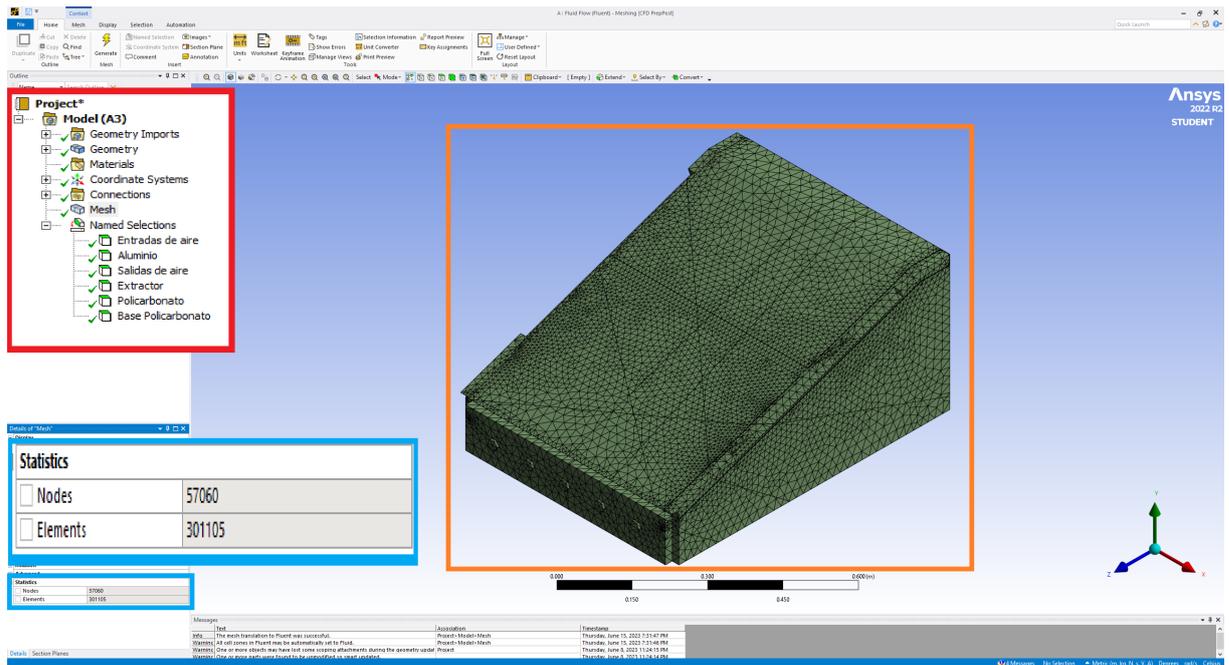


Figura 3.18: ANSYS Meshing-Vista isometrica de la geometría mallasada.

El proceso para nombrar secciones consta de seleccionar un conjunto de superficies de la pieza o ensamble, los cuales quedaran vinculadas entre si bajo el mismo nombre.

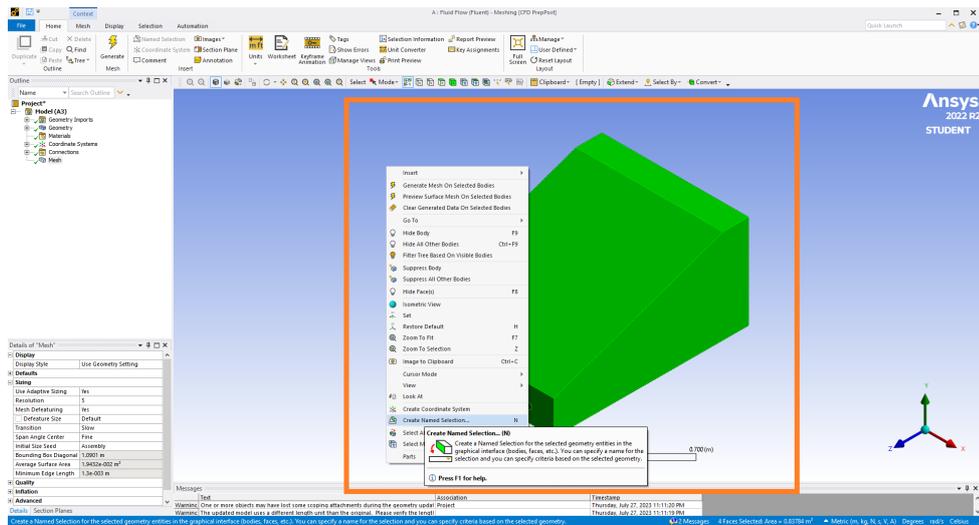


Figura 3.19: ANSYS Meshing-Create Named Selection.

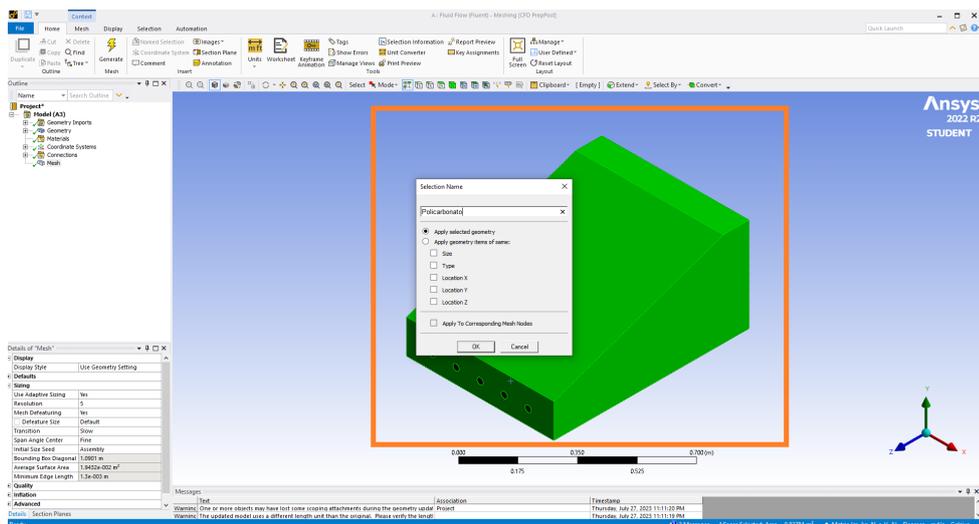


Figura 3.20: ANSYS Meshing-Selection Name.

Una vez se selecciono la superficie que quedara vinculada bajo el mismo nombre se da clic derecho sobre la superficie, el cual abrirá un menú con un conjunto de opciones de la cual seleccionaremos Create Named Selection (Figura 3.19.) y posterior a esto se abrirá una ventana llamada Selection Name, en ella seleccionaremos la opcion de Apply selected geometry (Aplicar a la geometría seleccionada) y una vez se escriba el nombre de la superficie en el recuadro blanco se seleccionara la opción de ok, este proceso se repartirá hasta nombrar todas las secciones de superficies de la pieza o ensamble.

3.2.5 ANSYS Fluent

Fluent es uno de los productos que se pueden usar en el workbench, es una aplicación de simulación ingenieril desarrollado para funcionar bajo la teoría de volúmenes finitos. Se utiliza para simular procesos con fluidos, flujos multifásicos, transferencias de calor, reacciones químicas, análisis de combustión, dinámica de gases, entre otras.

3.2.5.1. Fluent Launcher

Una vez se ha verificado la geometría y el mallado, se dará inicio al proceso de calculo, el primer paso comienza en ANSYS Workbench dando clic en Setup se abrirá una ventana (Figura 3.21.) donde se encuentra Fluent Launcher, aquí se seleccionara Dimension 3D de manera automatica, debido a la naturaleza del calculo se hará en 3D, en el apartado de Options (Opciones) se seleccionara Double Precision y Display Mesh After Reading, se seleccionara el numero de Solver Processes que se requiera, en este calculo sera de 4 y por ultimo se seleccionara Start.

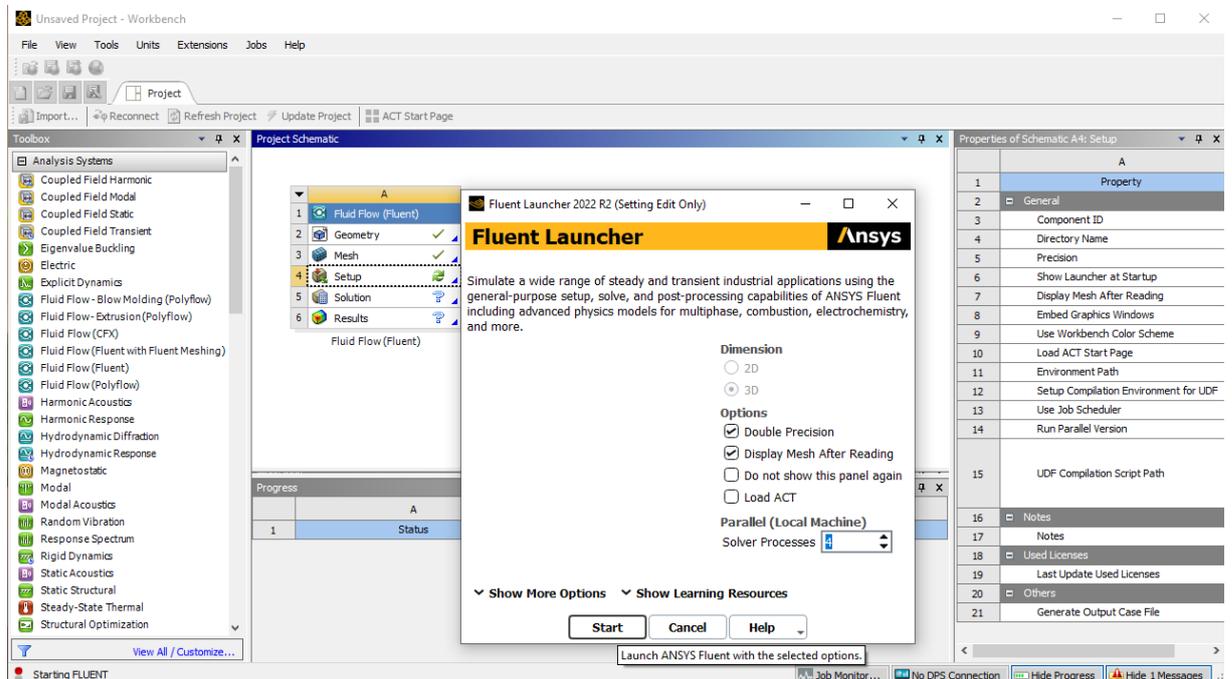


Figura 3.21: ANSYS Fluent Launcher

3.2.5.2. Interfaz ANSYS Fluent

Cuando se activa la gravedad en Fluent, suceden dos cosas. Primero, Fluent agrega un término de fuerza de cuerpo a la ecuación de momento.

$$\frac{\partial(\rho W)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U W) = \mu \nabla^2 W - \frac{\partial P_{abs}}{\partial z} + \rho g$$

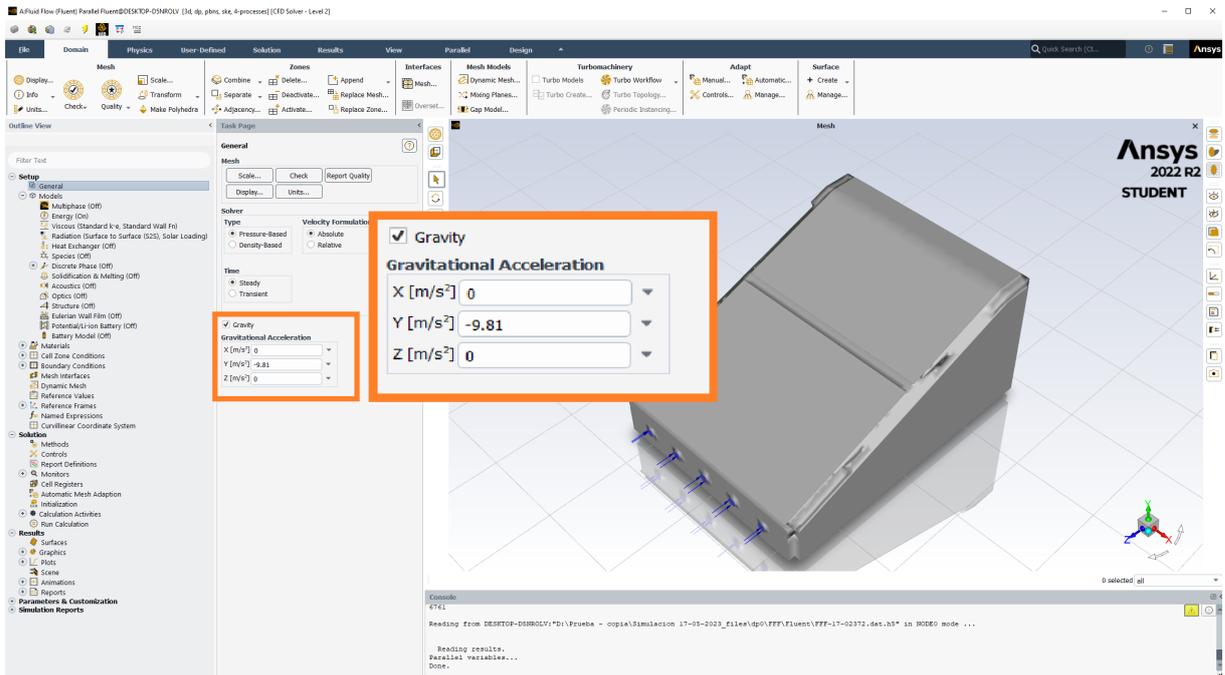


Figura 3.22: ANSYS Fluent

Esta ecuación, se puede manipular de forma que sea mas conveniente para resolver numéricamente, para hacer esto Fluent usa un truco matemático donde una presión modificada, P' , se define como la presión real $-\rho_0 g z$ y básicamente esto es como decir que ya sabemos que habrá siempre un campo de presión hidrostática dado por $P = \rho_0 g z$ y como sabemos que esta ahí, podemos restarlo y luego solo tenemos que resolver la parte del campo de presión que aun no conocemos.

Cuando esta definición se sustituye en la ecuación de momento, los términos de gradiente de presión y fuerza del cuerpo cambian ligeramente, y luego el valor de ρ_0 se toma del valor de ingreso en el panel para la densidad operativa.

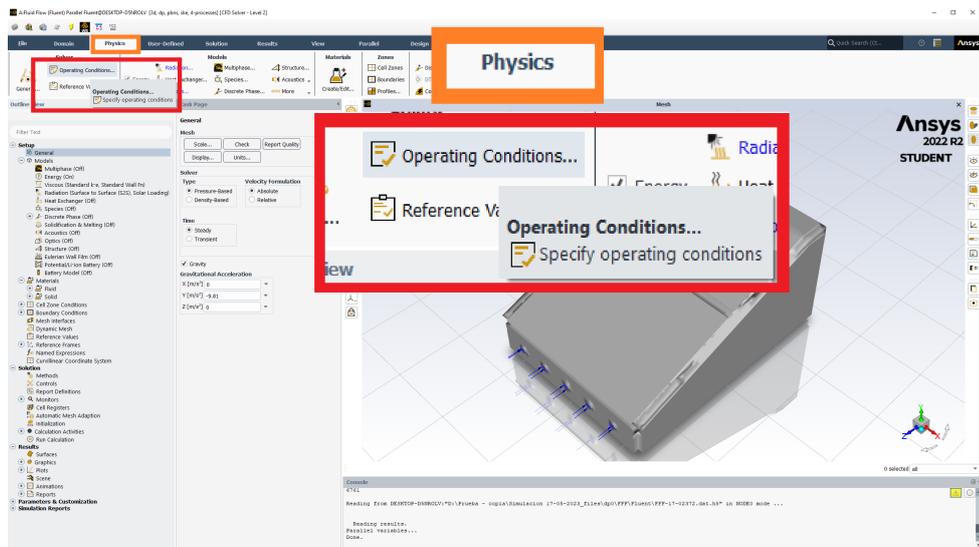


Figura 3.23: Localización de condiciones de operación.

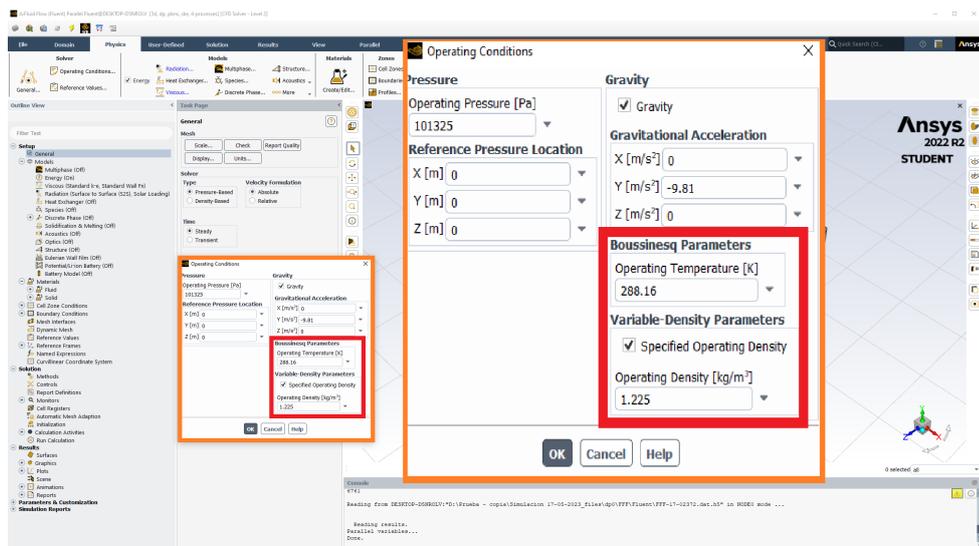


Figura 3.24: Condiciones de operación

Quando se definen las condiciones de contorno, el valor que ingresa es P' , no P , y segundo cuando muestra los contornos o informa las presiones, obtendrá los valores de P' .

Si bien para los modelos de convección natural, se puede usar cualquier definición de densidad dependiendo de la temperatura, incluida cualquiera de los modelos de gas real, lineal por partes, polinómica o definido por el usuario. Los modelos más usadas son Boussinesq, gas ideal incompresible y gas ideal.

En este caso de estudio usaremos el modelo de Boussinesq, el cual se basa en la idea de que si la densidad de un fluido a una temperatura T_0 esta dada por ρ_0 , entonces para pequeños cambios de temperatura, los cambios de densidad correspondientes son lineales y se pueden escribir así, donde beta es el coeficiente de expansión térmica.

Se puede ver si se reorganiza esto y lo multiplicamos por la gravedad, el lado izquierdo es el mismo que el termino de fuerza del cuerpo que vimos antes, así que lo que sucede en Fluent es que simplemente reemplaza el término de la fuerza del cuerpo con el lado derecho de esta ecuación. La variación lineal de la densidad solo es realista en un rango de temperatura pequeño, por lo que se recomienda utilizar el modelo de Boussinesq cuando el producto de Beta y $T - T_0$ es pequeño es relativamente pequeño.

La ventaja del modelo de Boussinesq es que permite utilizar una densidad constante en los otros términos de la ecuación del momento lo que a menudo puede conducir a una convergencia más rápida. Esto puede parecer mucho detalle, pero Boussinesq es uno de los modelos más utilizados en convección natural y es importante para saber que ingresar en el panel de propiedades. Primero, cuando se selecciona Boussinesq en el panel de propiedades de creación o edición de materiales, el valor que se ingresa será de ρ_0 en la ecuación de densidad, el valor predeterminado es cero, pero la densidad no puede ser cero, por lo que no podemos usar este valor. Es necesario ingresar el valor adecuado para ρ_0 en el sistema. En segundo lugar, el coeficiente de expansión térmica el cual se oculta en la parte inferior del panel tendrá el valor predeterminado de cero sería el mismo que sin flotabilidad. La configuración final que necesita para el modelo de Boussinesq es T_0 , y Fluent toma este valor del campo de temperatura de funcionamiento en el panel de condiciones de funcionamiento.

Hay dos cosas importantes que se deben de saber respecto a la temperatura de funcionamiento. Una es que debe de coincidir con la temperatura que se ingreso en el panel de materiales, donde se selecciono el modelo de Boussinesq, y la otra es que la temperatura de funcionamiento siempre esta en el panel, pero a menos que se este usando el modelo de Boussinesq para la densidad, no tiene ningún efecto en la solución, por lo que se puede ignorar y mantener el valor predeterminado.

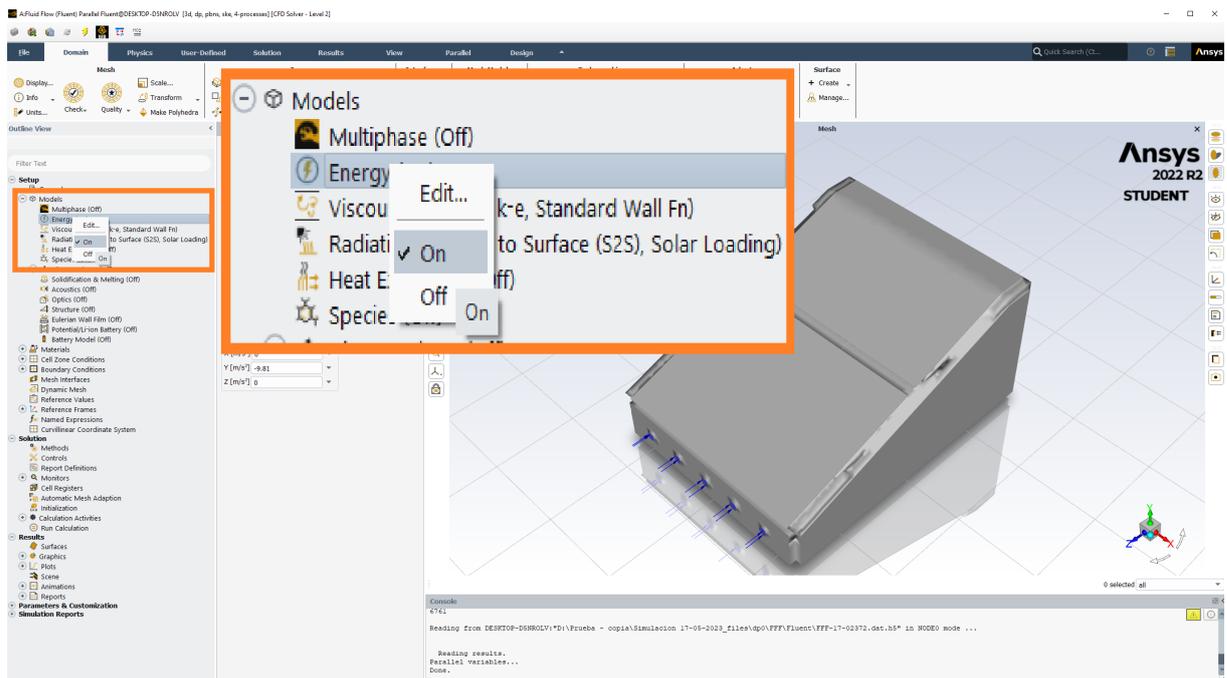


Figura 3.25: Activación de energía en el calculo

3.2.5.3. Modelo de radiación

ANSYS Fluent provee un modelo de carga solar que se puede utilizar para calcular los efectos de radiación de los rayos del sol que entran en el dominio computacional. Hay dos opciones disponibles para el modelo: trazado de rayos solares e irradiación (ANSYS, 2009c). El enfoque de trazado de rayos es un medio altamente eficiente y práctico de aplicar cargas solares como fuentes de calor en las ecuaciones de energía. En los casos en los que desee utilizar el modelo de ordenadas discretas (DO) para calcular los efectos de la radiación dentro del dominio, hay una opción disponible para proporcionar la dirección del haz exterior y los parámetros de intensidad directamente al modelo DO. El modelo de carga solar incluye una herramienta de calculadora solar que se puede utilizar para construir la posición del sol en el cielo para una hora del día, una fecha y una orientación determinadas. La carga solar está disponible solo en el solucionador 3D y se puede usar para modelar flujos constantes e inestables.

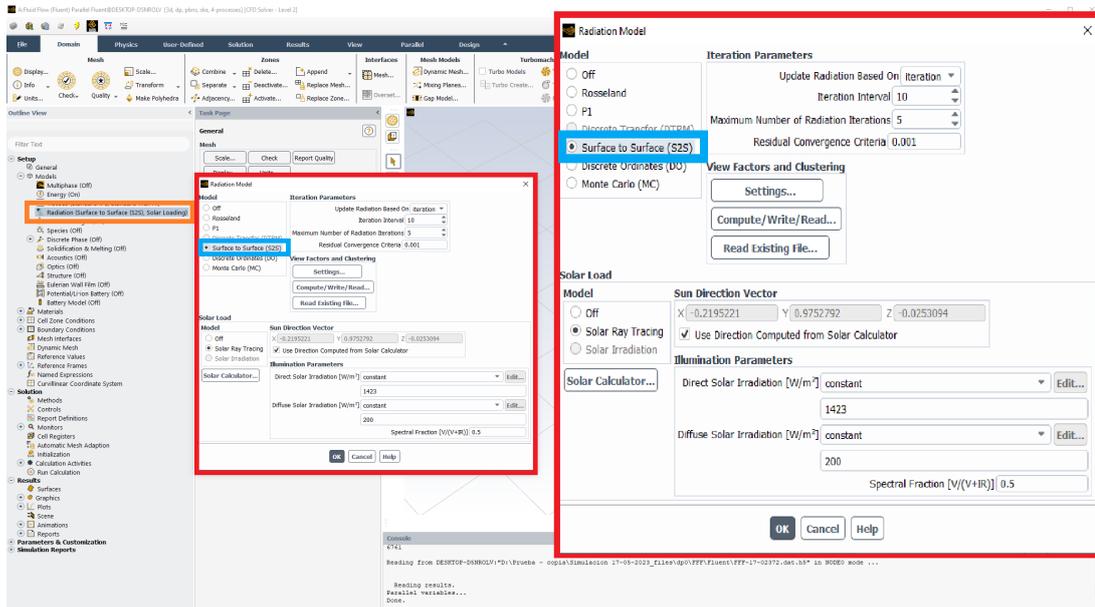


Figura 3.26: Modelo de radiación

Como se ve en la Figura 3.26, la ventana de modelos de radiación contiene diversos modelos y la opción de que no se le aplique ningún modelo al cálculo, en este cálculo se hará uso del modelo de radiación superficie a superficie.

El modelo de radiación de superficie a superficie se puede utilizar para tener en cuenta el intercambio de radiación en un recinto de superficies grises difusas. El intercambio de energía entre dos superficies depende en parte de su tamaño, la separación y orientación entre ellas. Estos parámetros se consideran mediante una función geométrica llamada "factor de vista".

La suposición principal del modelo S2S es que se puede ignorar cualquier absorción, emisión o dispersión de radiación; por lo tanto, sólo es necesario considerar para el análisis la radiación "superficie a superficie".

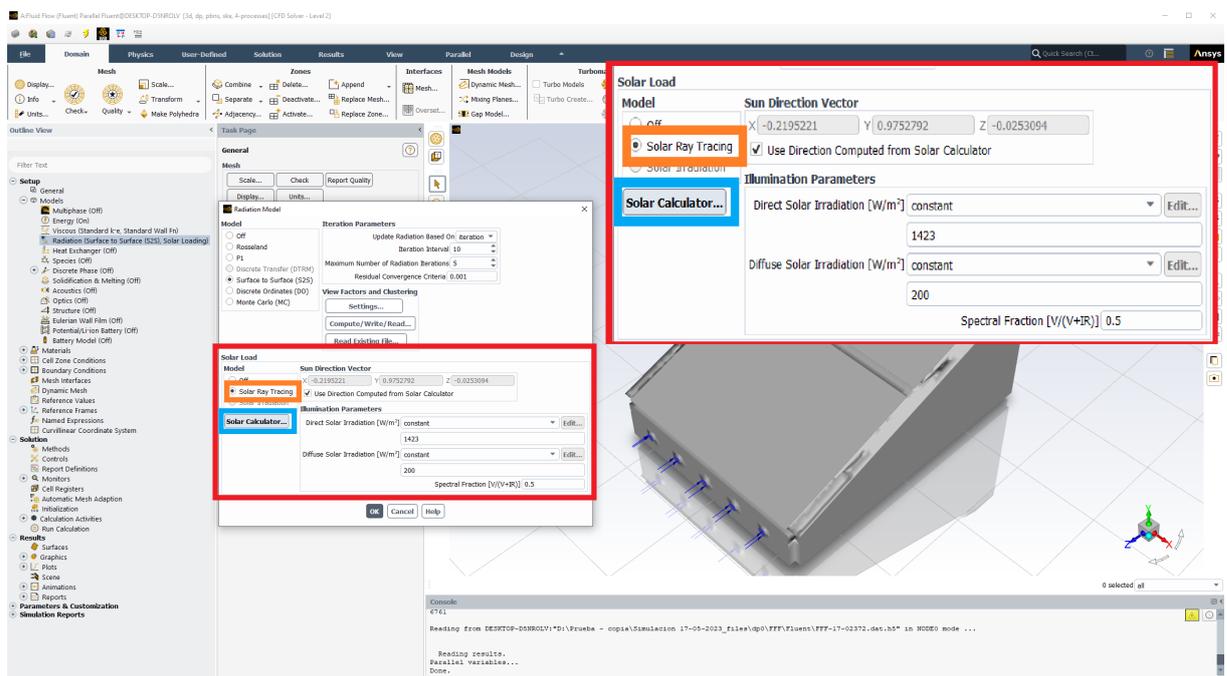


Figura 3.27: Carga solar

La carga solar que se empleara para este calculo sera el modelo Solar Ray Tracing (Trazado de rayos solares). El algoritmo de trazado de rayos del modelo de carga solar se puede utilizar para predecir la fuente de energía de iluminación directa que resulta de la radiación solar incidente. Toma un haz que se modela utilizando el vector de posición del sol y los parámetros de iluminación, lo aplica a una o todas las zonas de límite de pared o entrada/salida que especifique, realiza un análisis de sombreado cara por cara para determinar sombras bien definidas en todos caras límite y paredes interiores, y calcula el flujo de calor en las caras límite que resulta de la radiación incidente.

El flujo de calor resultante que calcula el algoritmo de trazado de rayos solares se acopla al cálculo de ANSYS FLUENT a través de un término fuente en la ecuación de energía. Las fuentes de calor se agregan directamente a las celdas computacionales que bordean cada cara y se asignan a las celdas adyacentes en el siguiente orden: celdas de conducción de capa, celdas sólidas y celdas fluidas. El vector de posición del sol y la intensidad solar pueden ser ingresados directamente, calculados desde la calculadora solar(Figura 3.28). Los parámetros de irradiación directa y difusa también pueden especificarse mediante una función definida por el usuario y conectarse a ANSYS FLUENT en el cuadro de diálogo Modelo de radiación.

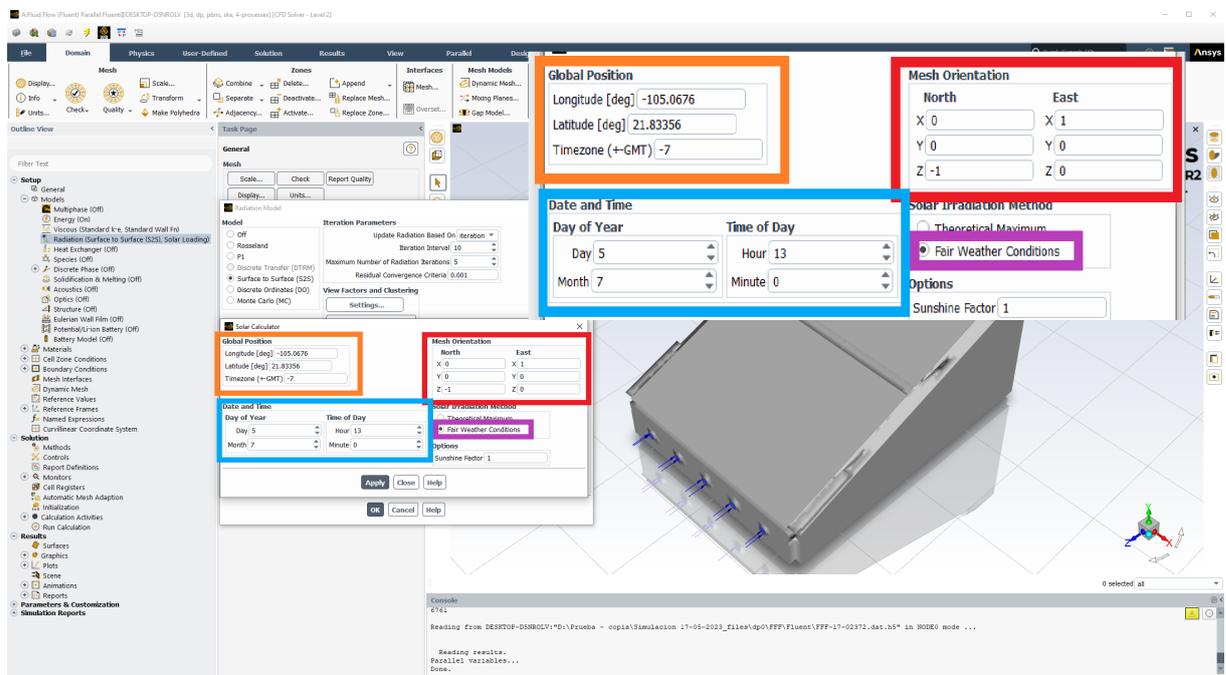


Figura 3.28: Calculadora solar.

Para este calculo se asignaron los datos de posición global, orientación de la malla, así como fecha y hora como se observa en la Figura 3.28, además se seleccionara la opción de fair weather conditions (condiciones de buen tiempo), se aplican los cambios y se selecciona la opción de Use Direccion Computed from Solar Calculator, el ultimo paso es generar un archivo en la opción de view factors and clustering se selecciona la opcion compute/write/read, se crea un archivo y se guardan los cambios.

3.2.5.4. Materiales

Un paso importante en la configuración del modelo es definir los materiales y sus propiedades físicas. Las propiedades de los materiales se definen en la página de tareas Materiales , donde puede introducir valores para las propiedades que son relevantes para el alcance del problema que ha definido en la página de tareas Modelos . Estas propiedades pueden incluir lo siguiente:

- Densidad y/o pesos moleculares.
- Calor específico.
- Conductividad térmica.
- Viscosidad.
- Coeficientes de expansión térmica.

Para este calculo se consideraran tres materiales dos de los cuales son solidos (policarbonato y aluminio) y un fluido (aire), a este ultimo se seleccionara el modelo de Boussinesq para la densidad.

3.2.5.5. Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno consisten en diversas condiciones en las cuales operara el sistema. Para este calculo se utilizaran tres condiciones de contorno:

- Entrada de flujo
- Salida de flujo
- Pared

A continuación se presentan las propiedades de las condiciones de contorno que se utilizaran en el calculo:

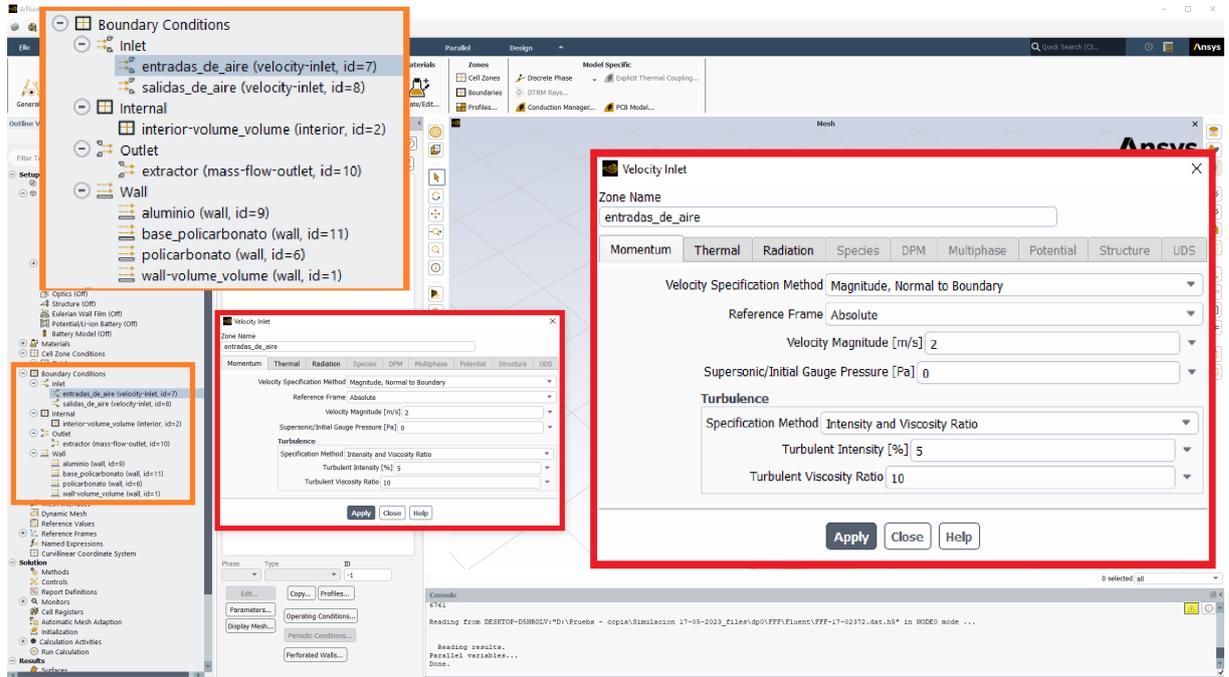


Figura 3.29: Condición de contorno- Entrada de flujo

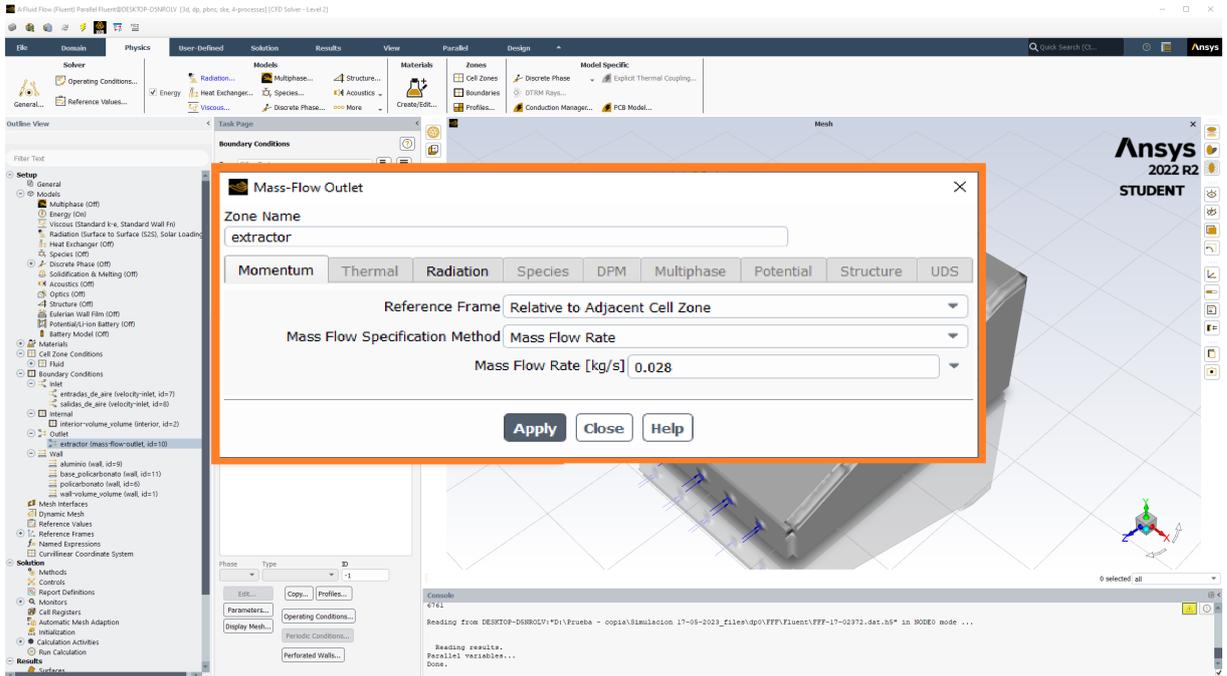


Figura 3.30: Condición de contorno- Salida de flujo

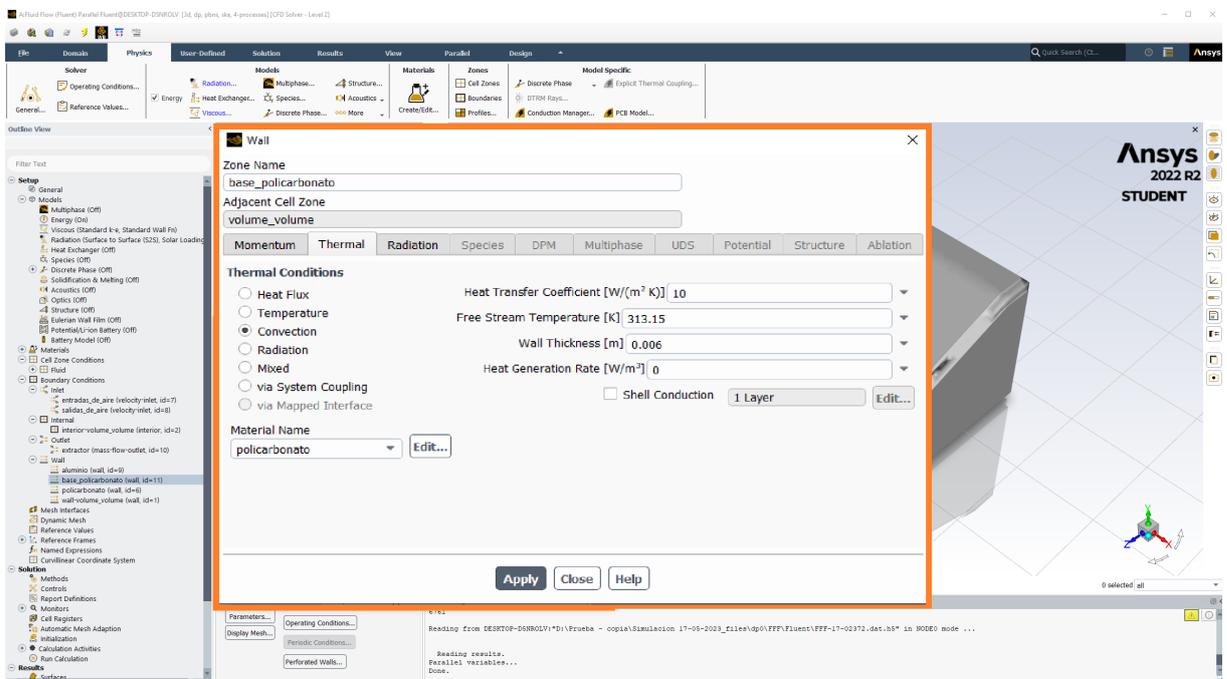


Figura 3.31: Condición de contorno- Pared

3.3 Validación Experimental de los resultados- instrumentación

Los sistemas de adquisición de datos, como su nombre da a entender, son productos o equipos que son empleados para recolectar información con el fin de documentar o analizar un fenómeno. El objetivo de los sistemas de adquisición de datos es proporcionar las herramientas y recursos necesarios para tomar señales físicas y convertirlas en datos que posteriormente se puedan procesar, analizar y mostrar.

Un sistema de adquisición de datos se podría tomar como un grupo de hardware y software que permiten la interacción con el mundo real. La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto (objeto de la investigación) que se necesita evaluar y registrar. Un sensor es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores los cuales se encargan de convertir las señales de los fenómenos físicos mensurables en la adquisición de datos por hardware. La tarjeta de adquisición de datos (DAQ por sus siglas en ingles) actúa como la interfaz entre una PC y los conjuntos de señales del mundo exterior. Funciona como un dispositivo que realiza la digitalización de señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC.

3.3.1 IDE de Arduino

El IDE es un conjunto de herramientas de software que permite al usuario desarrollar y grabar todo el código necesario para hacer que nuestro Arduino realice las tareas deseadas. El IDE de Arduino permite escribir, depurar, editar y grabar programas (llamados “sketches” en el entorno Arduino).

3.3.2 Módulo ESP32

Es una placa de desarrollo con conexión wifi y bluetooth integrados en PCB, es de fácil instalación y conexión, su programación se puede realizar fácilmente mediante IDE de Arduino.

El módulo Esp32 está diseñado especialmente para trabajar en protoboard o placas de expansión. Posee un regulador de voltaje en la placa que le permite alimentarse directamente del puerto USB. Los pines de entradas/salidas trabajan a 3.3V. El chip CP2102/04 se encarga de la comunicación USB-Serial. Tiene un CPU de dos núcleos de hasta 240Mhz que se pueden controlar independientemente.

3.3.3 Serial USB Terminal

Es una aplicación de terminal (consola orientada a línea para microcontroladores, arduinos y otros dispositivos con una interfaz serial) UART conectada con un convertidor de USB A serie a su dispositivo Android. Como expone Bachfeld, esta app tiene como propósito a darle una segunda vida a dispositivos que operan con el sistema operativo Android(Bachfeld, 2018). Esta aplicación proporciona una manera fácil de comunicarse con un microcontrolador desde un dispositivo Android, utilizando la interfaz USB del dispositivo. Es compatible con los microcontroladores basados en Arduino. Admite los últimos convertidores serie a USB. Esta aplicación tiene un diseño intuitivo y sencillo Esta aplicación admite convertidores USB a serie basados en:

- FTDI FT232, FT2232, ...
- Prolific PL2303

3.3.4 Sensores

La temperatura es la medida física más utilizada por los ingenieros y científicos en el mundo, y puede ser medida por una gran diversidad de sensores. Todos ellos toman la temperatura detectando algún cambio en una propiedad física.

Los tipos de sensores para temperatura más utilizados se dividen en dos grupos(Ramírez, Jiménez, y Carreño, 2014):

- **Sensor de temperatura termopares:** Los termopares consisten esencialmente en dos alambres hechos de metales diferentes y unidos en un extremo. Los cambios en la temperatura en esa junta inducen un cambio en la fuerza electromotriz (FEM) entre los otros extremos. A medida que la temperatura se ve incrementada, esta FEM de salida del termopar se ve aumentada, aunque no forzosamente en forma lineal.
- **Sensor de temperatura por resistencia (RTD):** Los dispositivos termométricos de resistencia miden la temperatura mediante la correlación de la resistencia del elemento del sensor de temperatura resistivo (RTD por sus siglas en inglés) con la temperatura. Los RTD son inmunes al ruido eléctrico y adecuado para medir la temperatura en ambientes industriales.

Además de estos existen también existen tres conjuntos mas en donde se pueden agrupar los diferentes tipos de sensores:

- **Sensor de temperatura bimetalicos:** Los dispositivos bimetalicos aprovechan la diferencia en la tasa de dilatación térmica entre diferentes metales. Se unen entre sí tiras o dos metales. Cuando se calientan, un lado se dilatará más que el otro, y la curvatura resultante se traduce a una lectura de temperatura mediante una articulación mecánica a un apuntador.
- **Sensor de temperatura por dilatación de fluido:** Los dispositivos de dilatación de fluido, cuyo ejemplo típico es el termómetro doméstico, en general vienen en dos clasifi-

caciones principales: el tipo de mercurio y el tipo de líquido orgánico. Los sensores de dilatación de fluido no requieren energía eléctrica, no plantean riesgos de explosión y son estables incluso después de ciclos repetidos. Por otra parte, no generan datos que se registren o transmitan fácilmente, y no pueden hacer mediciones puntuales.

- **Sensor de temperatura por cambio de estado:** Los sensores de cambio de estado consisten en etiquetas, crayones, o cristales líquidos cuya apariencia cambia una vez que se alcanza cierta temperatura. El tiempo de respuesta típicamente es de varios minutos, así que estos dispositivos con frecuencia no responden a los cambios de temperatura transitorios, y la precisión es más baja que con otros tipos de sensores. Además, el cambio en estado es irreversible.

3.3.5 DHT22

El DHT22 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Este sensor es ampliamente utilizado en aplicaciones de control automático de temperatura como lo son aplicaciones en el acondicionamiento de aire, el monitoreo ambiental en campos agrícolas, entre otros. A nivel de software dispone de librerías Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". Como desventaja se destaca que si se desea conectar varios sensores DHT22 a una misma placa de desarrollo Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos.

3.3.6 DS18B20

El sensor digital de temperatura DS18B20 permite registrar temperaturas entre -55°C y 125°C . Este sensor es idóneo cuando se requiere medir la temperatura de gases, además es capaz de operar incluso inmerso en agua. Para temperaturas en el intervalo de -10°C y 85°C posee $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ como margen de error. Para el resto de temperaturas entre -55°C y 125°C el error

es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Además de medir la temperatura, el DS18B20 incorpora una memoria de 64-bit (equivalente a 8 bytes) capaz de almacenar el identificador o dirección única de cada sensor. El primer byte identifica el tipo de componente. Esta dirección única es necesaria dentro del bus 1-Wire para identificar cada uno de los sensores de temperatura DS18B20 conectados al bus de comunicación. Gracias a que utiliza este tipo de comunicaciones adquiere dos beneficios ya que, se consiguen, por un lado, robustez en la transmisión de los datos ya que trabaja con datos digitales, mucho menos sensibles a los efectos adversos del ruido que las señales analógicas. Por otro lado, permite conectar muchos sensores de temperatura con un único pin digital.

3.3.7 Capuchón DS18B20

Con el fin de evitar la contaminación de la lectura de temperatura en el sensor DS18B20 por las condiciones en las cuales se encontrara sometido dentro del deshidratador solar, se diseño y desarrollo el capuchón para el sensor DS18B20 con el objetivo de que este solo tome lecturas a la temperatura del aire. En la Figura 3.32, se muestra una ilustración del capuchón que se desarrollo para mejorar las lecturas de temperatura del aire.

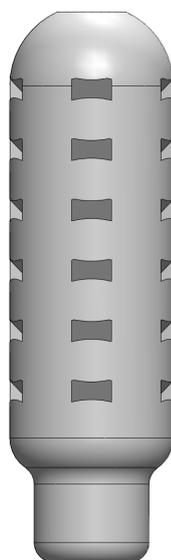


Figura 3.32: Capuchón DS18B20

3.3.8 Sensor meteorológico

El sensor meteorológico 5 en 1 de alta precisión de AcuRite mide con precisión cinco condiciones exteriores diferentes, incluida la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, la dirección del viento y la lluvia, lo que le brinda datos completos y fáciles de entender. Entre sus características se destacan:

- Medidor de lluvia autovaciado
- Anemómetro de velocidad del viento: 0 a 99 mph; 0 a 159 kph
- Paleta de dirección del viento: 16 puntos
- Temperatura: -40 a 158 grados Fahrenheit; -40 a 70.0 °C.
- Humedad relativa del 1
- Funciona hasta -40 grados.



Figura 3.33: Sensor 5 en 1 AcuRite

3.3.9 Dispositivo de adquisición de datos.

La adquisición de datos es un proceso donde los fenómenos físicos del mundo real (Sistema análogo) son convertidos en señales eléctricas. Los sistemas de adquisición de datos se componen de Sensores (Interface entre el mundo real y el sistema de adquisición), Dispositivos DAQ (Hacen la conversión análogo digital de las señales) y el computador (Software controlador o software de aplicación). Para validar la simulación se hará uso de 13 sensores de temperatura DS18B20 y un sensor de humedad y temperatura DHT22, se usara el microcontrolador ESP32 DEVKIT V1 la cual estará montada en una Base Shield Esp32 la cual es una placa de expansión, que nos facilitara el montaje de los sensores.



Figura 3.34: Sistema adquisición de datos.

El Sketch de arduino que se desarrollo para implementar en este dispositivo es el que se adjunta en la seccion de anexos.

En este Sketch de Arduino se declara que todos los sensores DS18B20 se conectaran al pin

15 del microcontrolador ESP32 y el sensor DHT22 se conectara en el pin 4. En el Sketch se declara un numero a cada sensor para así declarar una posición que tendrá el dato una vez se imprima en el Monitor de Serie, también se declara el lapso de tiempo en el que se realiza la medición (5 minutos)

El arreglo de los sensores es el siguiente:

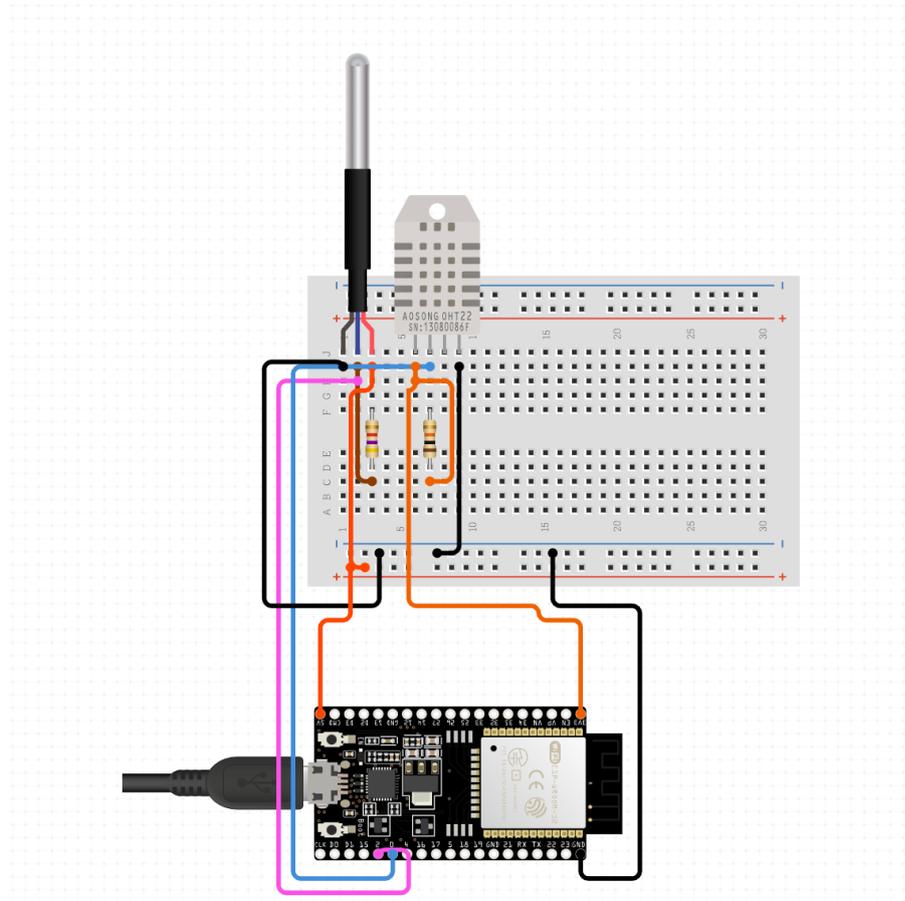


Figura 3.35: Arreglo de sensores en ESP32.

El proceso para la adquisición de datos inicia colocando los sensores dentro del deshidratador, la distribución de posición de los sensores que se utilizara se describe en la figura 3.36 y 3.37, en ella se especifica el nombre de cada sensor y la posición que ocupa dentro del deshidratador siendo 13 sensores de temperatura DS18B20 distribuidos entre 3 charolas y la base del deshidratador, al igual se presenta la ubicación del sensor de humedad y temperatura DHT22. Cuando se colocaron todos los sensores se conecta el microcontrolador al dispositivo android que tenga instalada la aplicación Serial USB terminal, cuando se detecta el dispositivo USB se procede a oprimir el icono de conexión que se ubica en la parte superior junto al icono de eliminar/desechar, cuando se selecciona esta opción el Sketch cargado en el microcontrolador comienza a funcionar, y como su programación lo indica registrara la temperatura pasados 5 minutos al haber iniciado la conexión y lo repetirá hasta que se desconecte el microcontrolador. Los datos obtenidos serán registrados en la línea posterior a la marca de tiempo iniciando con el sensor 1 hasta el sensor 13 y al final al sensor que registra la humedad. Cuando se han registrado los datos que se consideran apropiados para la evaluación del deshidratador procederemos a guardar los datos capturados. El proceso de guardado es sencillo, se oprime el icono de tres puntos junto al icono de eliminar/desechar, se selecciona la opción Data y Save. Con esto se generara un documento .txt, del cual se dispondrá para la evaluación del deshidratador solar.

Las ventajas de usar este sistema son:

- No se requiere definir la fecha y hora en el sistema pues esta información se provee con el reloj del dispositivo android.
- No se requiere de otro sistema de alimentación ajeno al dispositivo.
- Se puede ver con facilidad los datos adquiridos por el sistema.
- Se puede compartir los datos adquiridos sin la necesidad de detener el proceso de adquisición de datos.

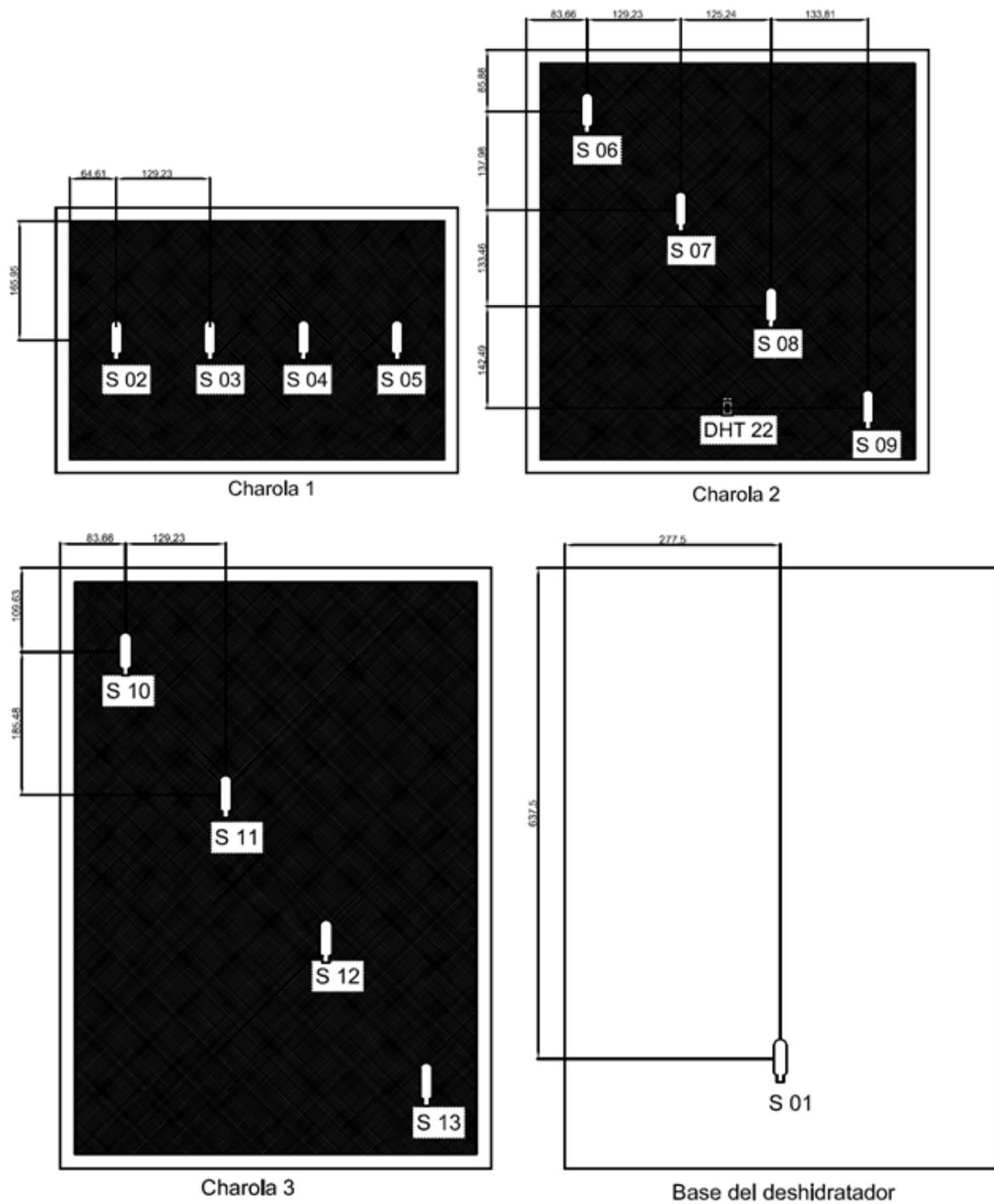


Figura 3.36: Distribución de sensores dentro del deshidratador.

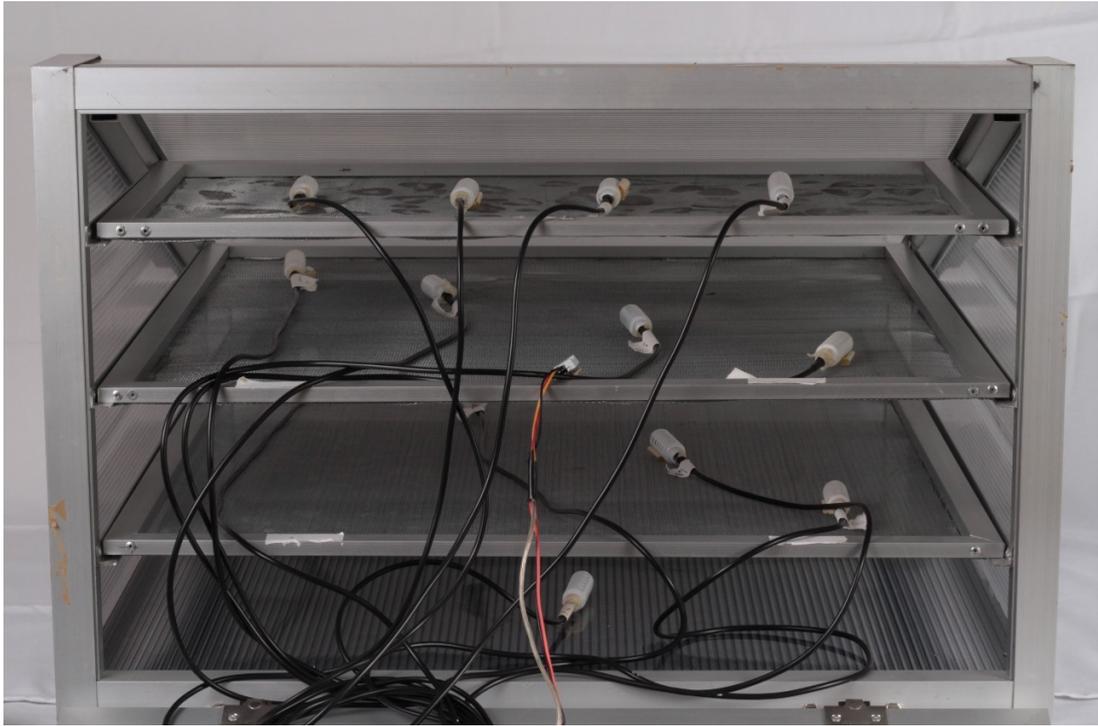


Figura 3.37: Sensores en el interior del deshidratador



Figura 3.38: Posterior deshidratador solar en operación

Capítulo Cuatro

Resultados y Discusión

4.1 Resultados

Los resultados mas relevantes sobre el diseño y simulación de un deshidratador solar se presentan a continuación. Referente a la simulación de desempeño del dispositivo realizados en ANSYS FLUENT, los resultados de mayor interés son: la distribución de la irradiancia solar sobre la base del deshidratador, la distribución del flujo de aire al interior de la cabina de deshidratado y la distribución de temperatura máxima alcanzada dentro del deshidratador. En particular, se hace énfasis en las temperaturas en las zonas donde se ubican los sensores de temperatura al interior de deshidratador.

4.1.1 Irradiancia en la base del deshidratador

La irradiancia solar es la magnitud de la potencia solar incidente por unidad de superficie. En la figura 4.1 y en la figura 4.2 se observa una vista isométrica y superior de la irradiancia incidente sobre el deshidratador solar desarrollado en este proyecto. Las líneas que se proyectan en la base del deshidratador son las sombras tanto de las charolas como de la estructura de aluminio. Como se aprecia en ambas figuras existen tres zonas bien definidas en las cuales existe una irradiancia mínima de $139.215 \frac{W}{m^2}$ en la zona donde se presenta coloración azul profundo, continuo a este se presenta una zona donde se presenta una irradiancia de $185.57 \frac{W}{m^2}$ y en la zona central se una zona de una coloración mas clara donde se presenta la mayor irradiancia siendo de $278.28 \frac{W}{m^2}$.

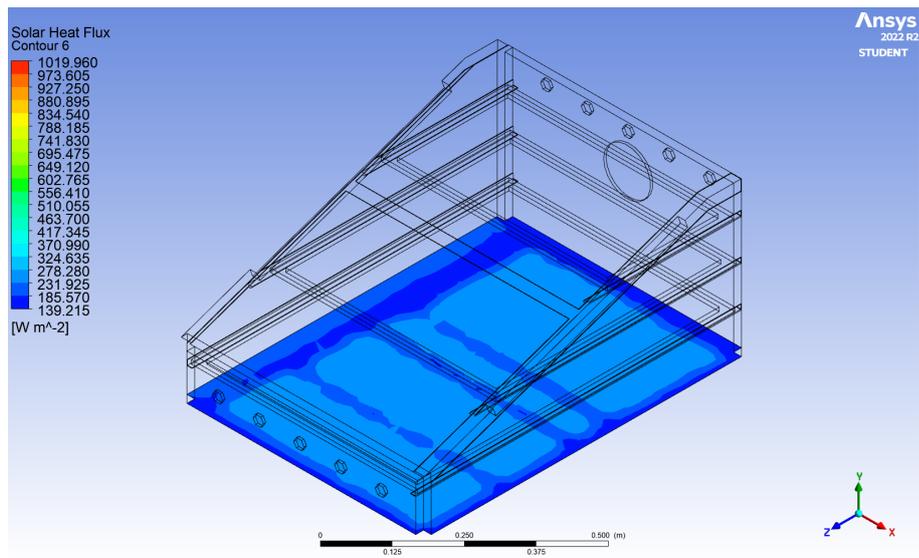


Figura 4.1: Vista isométrica irradiancia en el interior del deshidratador

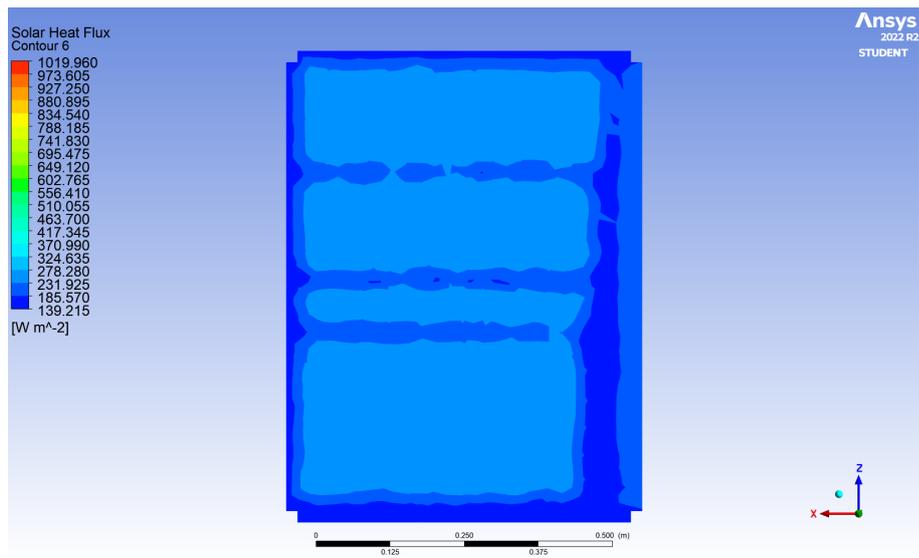


Figura 4.2: Vista superior irradiancia en el interior del deshidratador

4.1.2 Temperatura interior

Mediante el uso de la herramienta ANSYS FLUENTE CFD-Post, se pueden generar una variedad de planos en diferentes zonas de interés, para visualizar los resultados sobre el comportamiento de la temperatura en el interior del deshidratador de una manera mas clara. Debido a que la distribución de la temperatura al interior del deshidratador puede ser variable, para la evaluación del deshidratador se seleccionaron 5 zonas de interés, las cuales son: la base interior, la base de cada una de las tres charolas y el plano medio del interior del deshidratador.

Conocer la temperatura en el interior del deshidratador nos permite saber si el proceso de deshidratación se realizara de forma óptima y de manera homogénea. Aunque, mediante el uso de cámaras termográficas es posible visualizar la distribución de temperaturas en una superficie; en nuestro caso resultaría complicado evaluar la distribución de temperatura en la masa de aire contenida al interior y ubicar zonas de estancamiento de temperatura en el deshidratador, debido a que la cámara solo registraría los valores de temperatura de la coraza del deshidratador y no de su interior.

La importancia de evaluar la distribución de la temperatura al interior del deshidratador y analizar su comportamiento permite realizar modificaciones a su geometría para optimizar su desempeño, así como se puede prescindir de costosos sistemas de controlar de temperatura tales como resistencias, PLC, o mecanismos de apertura y cierre de esclusas.

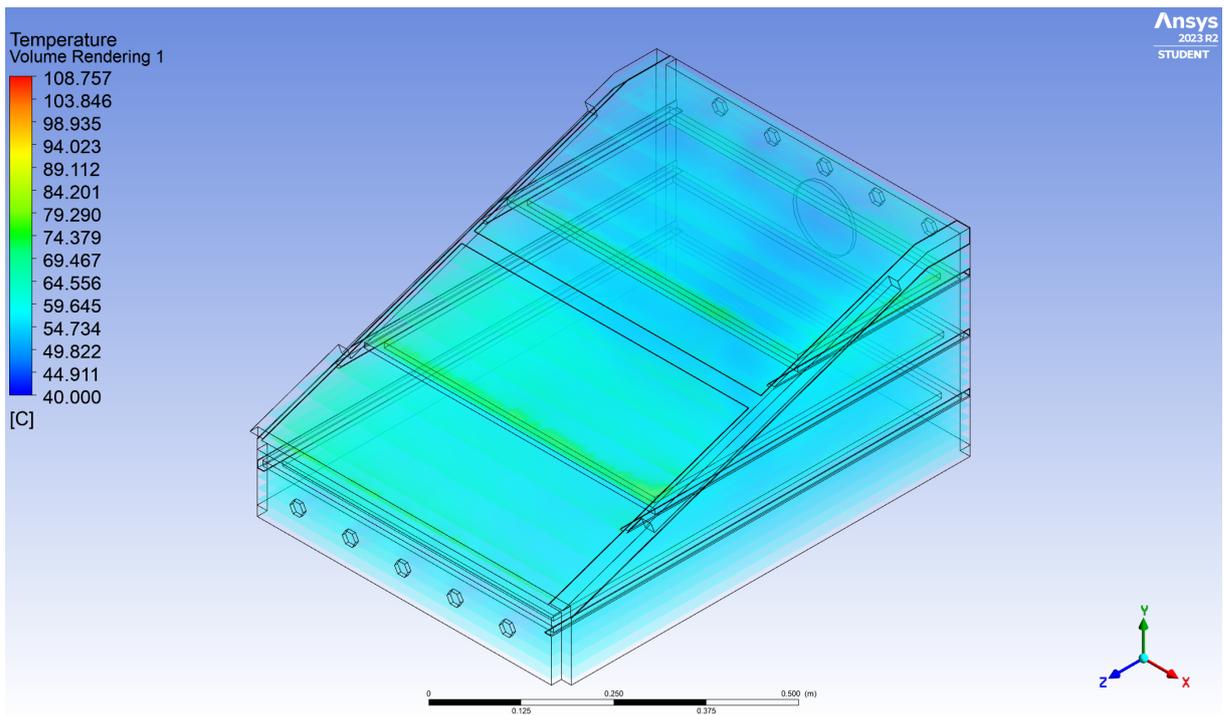


Figura 4.3: Vista isométrica de la temperatura en el deshidratador

En la figura 4.3 se muestra la distribución de temperatura del aire al interior del deshidratador solar, es por ello que si bien se presentan los contornos de la estructura del deshidratador, estos son meramente con fines de referencia para conocer la orientación de las áreas en el interior del propio deshidratador. Como se aprecia en la figura 4.3, la temperatura interna se mantiene alrededor de los 40°C. Los elementos con mayores temperaturas son la estructura metálica del deshidratador, alcanzando una temperatura máxima de 108.757°C. Si bien existen registro de estos valores es importante notar que estos valores no son predominantes, siendo en su lugar temperaturas entre los 54°C a 69°C. En esta figura también es bueno destacar que como también ocurre en el mundo real la simulación presenta temperaturas heterogéneas, con temperaturas mas altas en zonas de mayor proximidad a superficies metálicas y de menor temperatura en zonas de entrada y salida de aire.

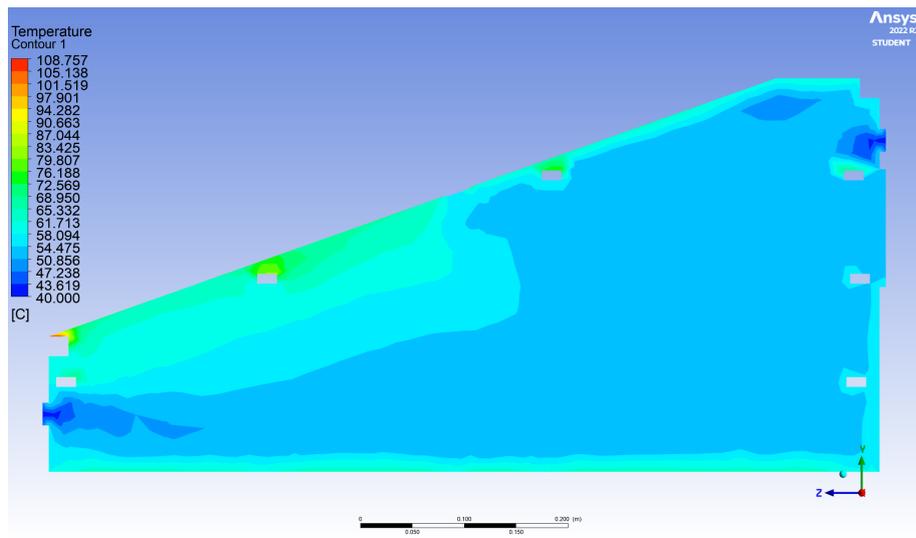


Figura 4.4: Vista lateral temperatura plano medio

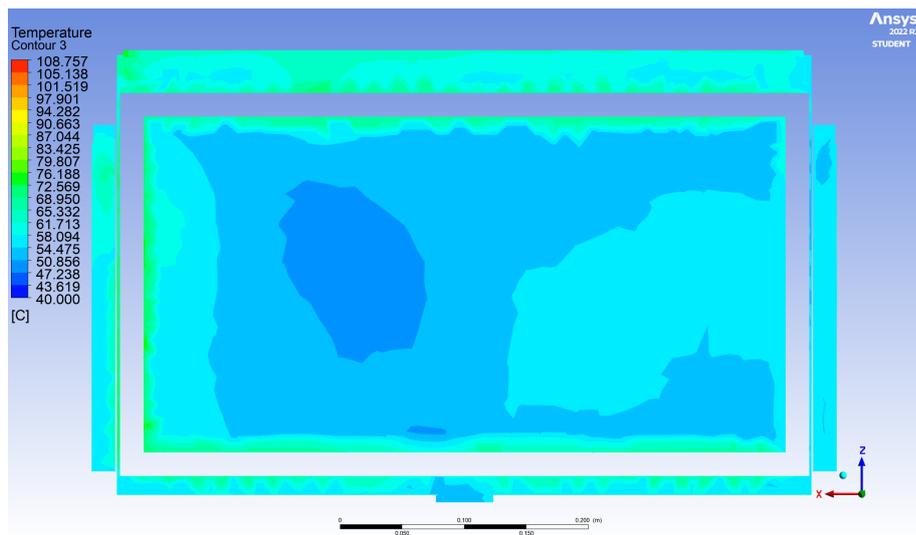


Figura 4.5: Vista superior 1er charola

En las figuras 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7 se aprecia como la temperatura es mayor en las zonas que colindan con la superficie del deshidratador. En la figura 4.4 se aprecia como entra el aire exterior a temperatura ambiente (40°C) por la zona frontal y posterior, al ingresar la temperatura del aire comienza a incrementar la conforme interactúa con las superficies del deshidratador alcanzando una temperatura máxima de 101.5°C en una reducida zona ubicada entre el perfil de aluminio y la lamina de policarbonato.

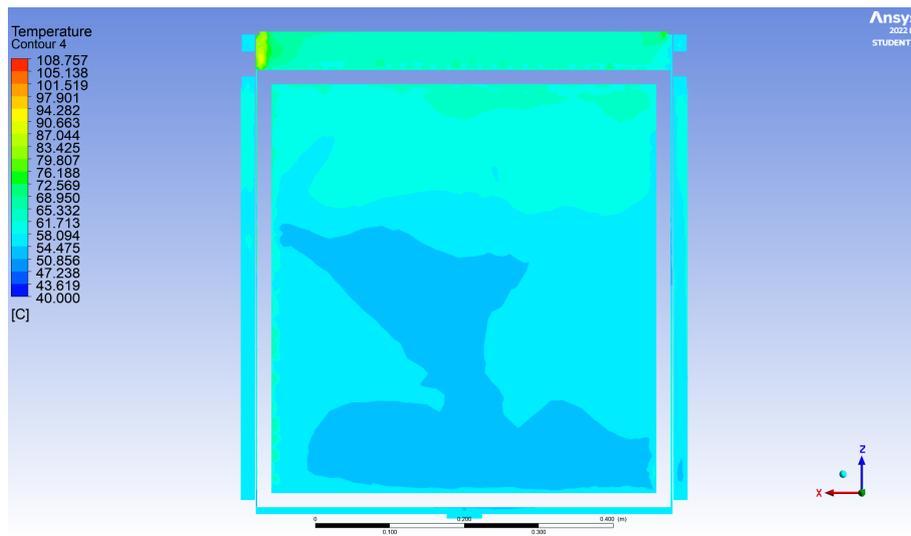


Figura 4.6: Vista superior 2da charola

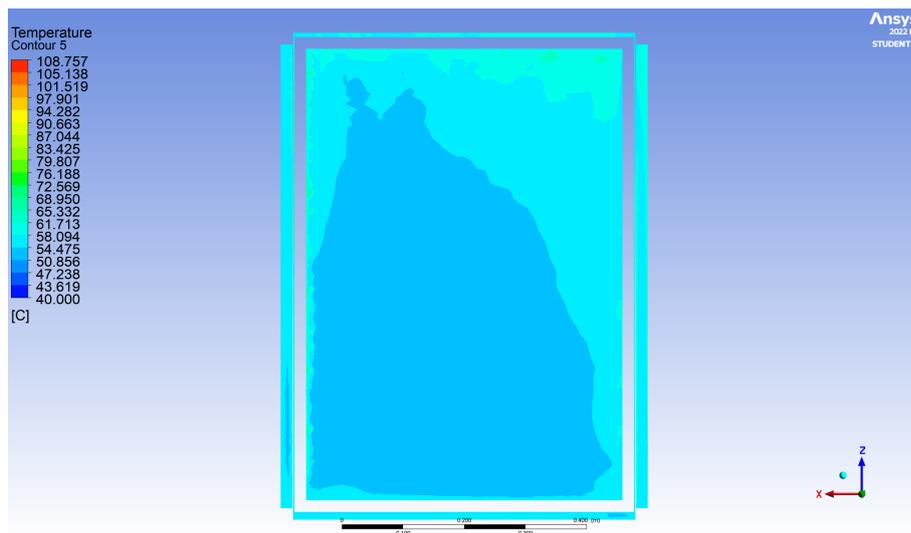


Figura 4.7: Vista superior 3er charola

En el área de las charolas que se ilustra en las figuras 4.5, 4.6 y 4.7, la temperatura promedio es de 50.85°C , la temperatura mínima registrada en las charolas es de 47.23°C misma se presentó en una reducida zona de la primer charola (Figura 4.5). La temperatura mas alta que se registro fue 68.95°C aunque se debe destacar que esta se presentó solo en la primer y segunda charola (Figura 4.6), en un margen muy reducido en el plano x,z en la esquina superior izquierda, una zona la cual por la hora que se asigno en el calculo tenia mayor irradiancia solar.

4.1.3 Flujo de aire interno

En la convección natural, el flujo es inducido por las fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido. En este calculo el fluido es aire, el cual entra a través de las 10 perforaciones de 25 mm que tiene el deshidratador las cuales están distribuidas en dos agrupaciones de 5 perforaciones, 5 se ubican en la zona frontal a nivel medio y los otros 5 en la zona posterior a nivel superior referente al extractor.

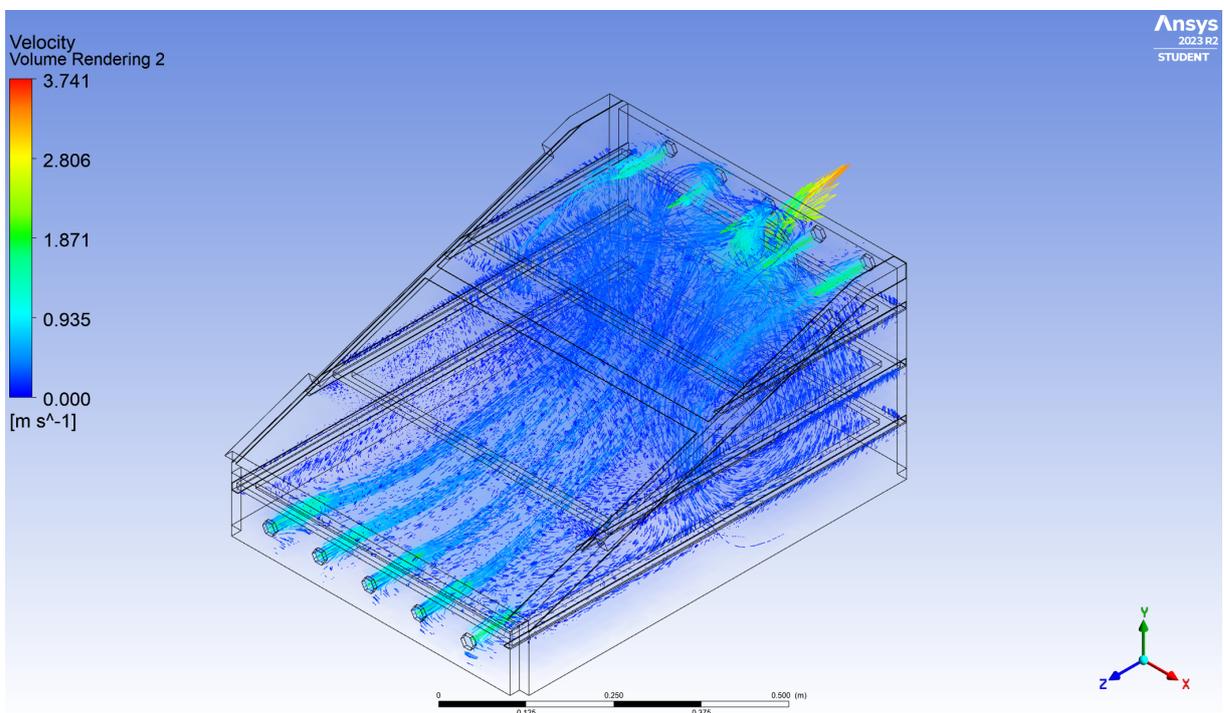


Figura 4.8: Vista isométrica flujo de aire en el deshidratador

En la figura 4.8 se aprecia como el aire ingresa a través de las perforaciones de a una velocidad de 2 m/s, y se distribuye a una velocidad promedio de 0.5 m/s en el interior, el flujo es heterogéneo y casi caótico.

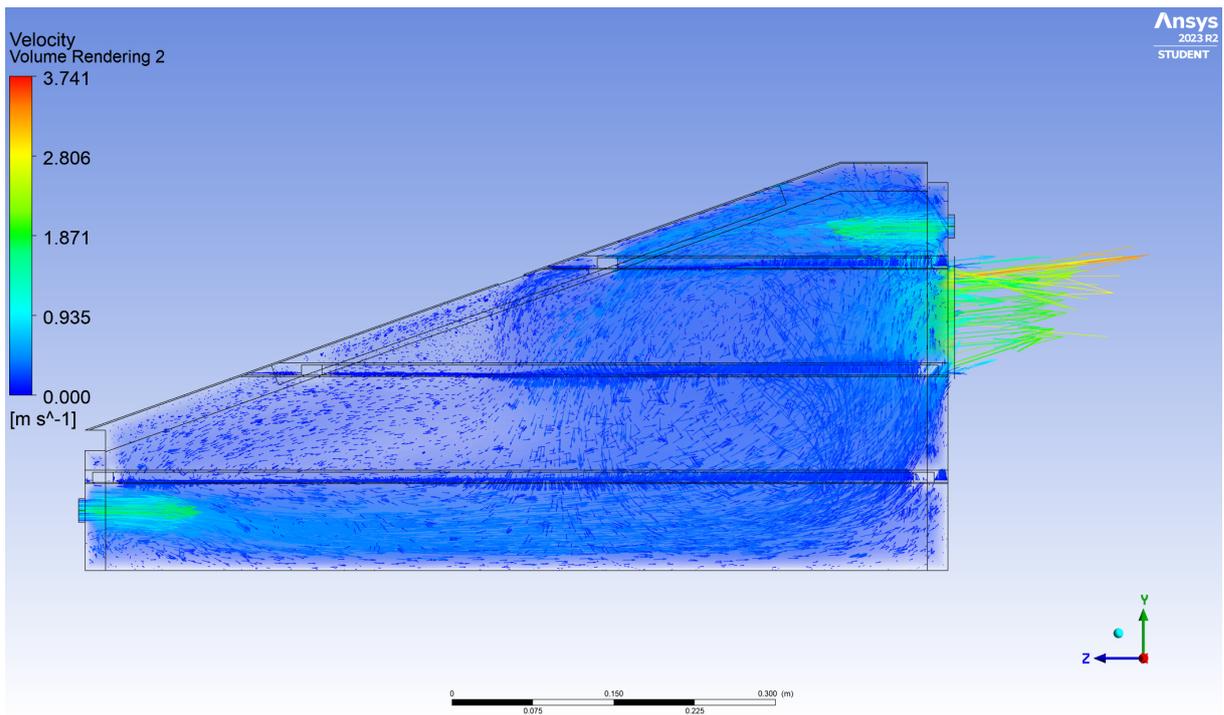


Figura 4.9: Vista lateral flujo de aire en el deshidratador

En la figura 4.9 se puede observar una vista lateral del plano medio del flujo de aire interno dentro del deshidratador, en el se ven flechas las cuales son una representación visual de la dirección y velocidad del fluido, en ella se aprecia con mas claridad como entra el aire, se desplaza a través de las tres charolas y es expulsado por el ventilador a una velocidad de 3.5 m/s.

4.1.4 Temperatura y humedad registradas en el deshidratador

Para validar los resultados de la simulación se realizó una campaña experimental para evaluar el desempeño del deshidratador solar el día 05 de Julio de 2023, en las mismas coordenadas geográficas, orientación y velocidad de operación del extractor que las definidas en el calculo de realizado en ANSYS FLUENT. Durante el experimento se colocaron 13 sensores de temperatura DS18B20 y un sensor de humedad DHT 22 dentro de la cabina de deshidratado. La ubicación y arreglo de los sensores es la misma que se describió en las figuras 3.36 y 3.37 del capítulo 3.



Figura 4.10: Sensor 5 en 1 AcuRite y deshidratador solar

En la figura 4.10, se aprecia como se encontraban ubicados respectivamente el sensor meteorológico que tomo lecturas de las variaciones climáticas durante el transcurso de la evaluación.

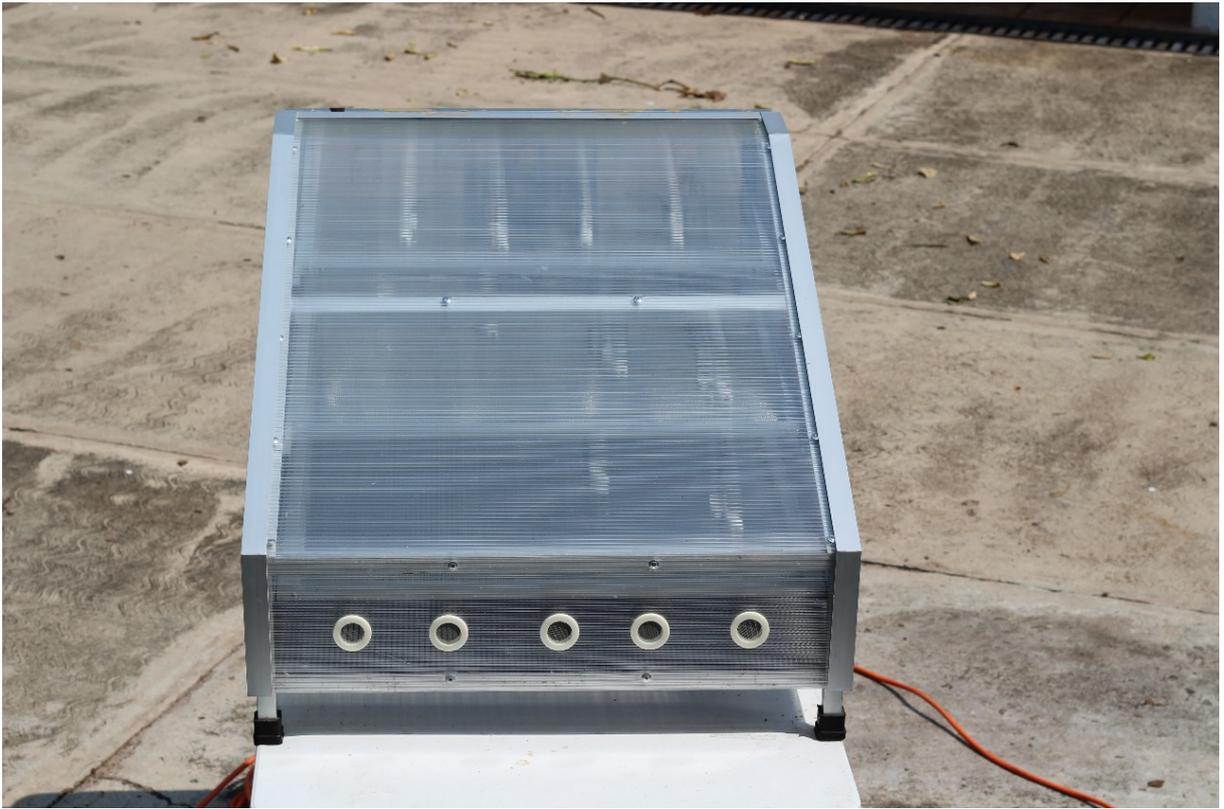


Figura 4.11: Frontal deshidratador en operación.

En la figura 4.11 se aprecian los sensores en el interior del deshidratador y como el deshidratador se encontraba en una mesa blanca sin nada más que obstruyera la irradiación solar.

Durante esta evaluación se obtuvo la figura 4.12, en ella se aprecia como se relaciona la temperatura con respecto a la humedad relativa en el interior del deshidratador, siendo estas proporcionalmente inversas entre si.

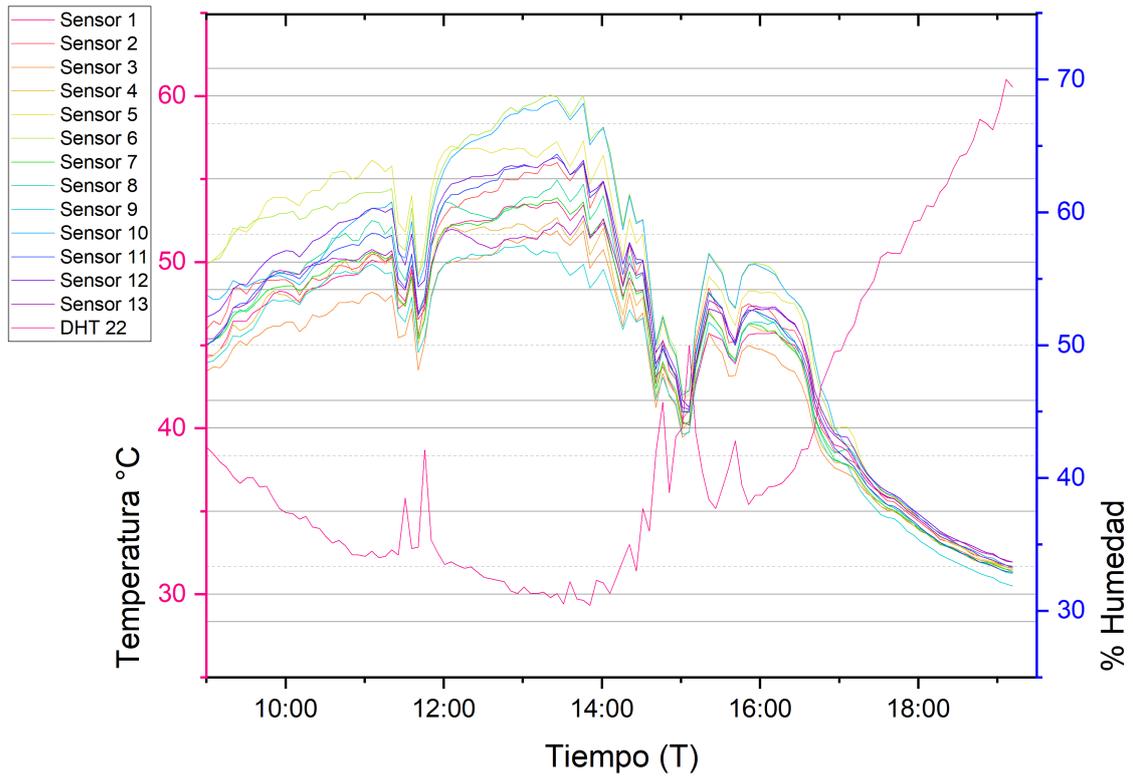


Figura 4.12: Comparativa sensores de temperatura y humedad

La evaluación se realizó desde las 9:00 hasta las 19:30 horas, los registros indican que la temperatura máxima alcanzada durante la evaluación fue de 60.06°C esta se registró a las 13:50 horas, la temperatura más baja registrada se obtuvo al finalizar el experimento siendo esta de 30.5°C en el sensor 9. En contraste con las mediciones obtenidas del sensor meteorológico (Figura 4.13) durante el transcurso del experimento se registró temperatura inferior a la censada dentro del deshidratador.

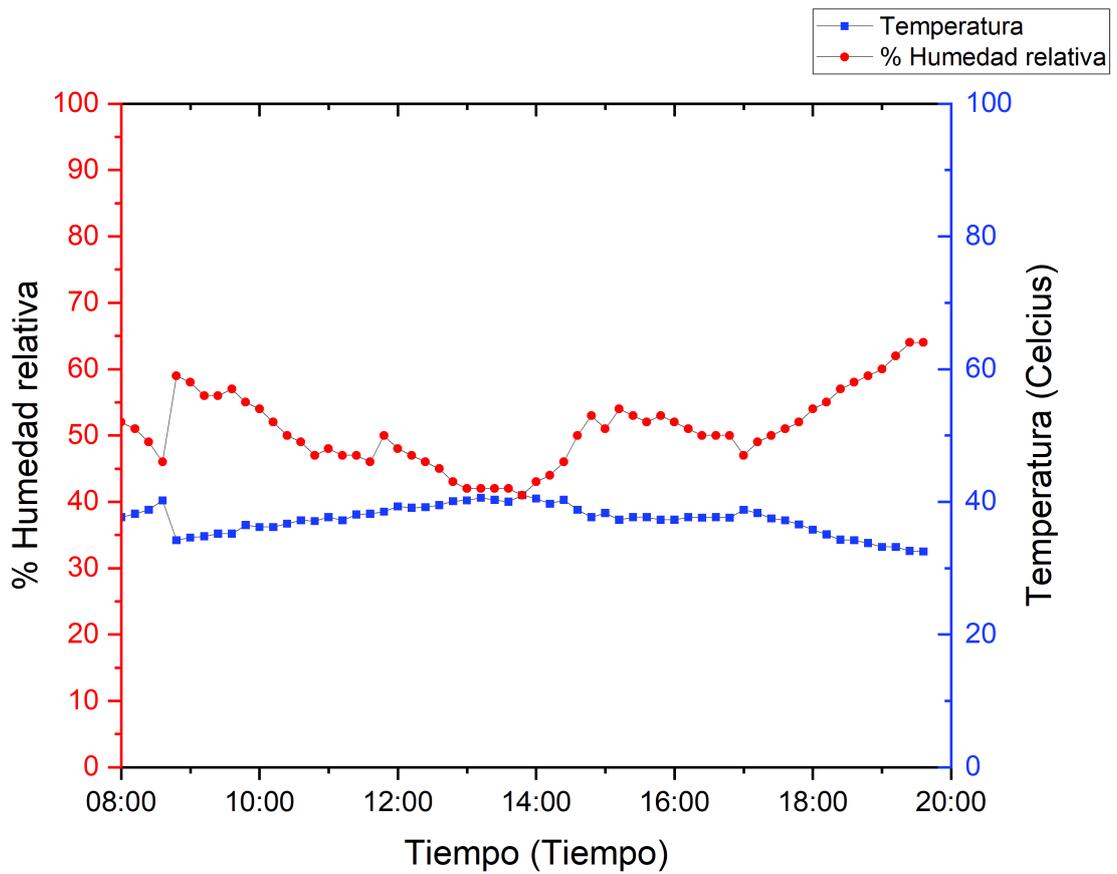


Figura 4.13: Comparativa temperatura y humedad 05-07-2023

4.1.5 Comparativa simulación experimental y evaluación del deshidratador

En base a los resultados obtenidos del calculo realizado en ANSYS FLUENT y los datos obtenidos de la evaluación con el sistema de adquisición de datos, como se observa en la siguiente figura la variación de temperatura en las zonas censadas no es mayor a 5°C, y como se analiza en el cuadro 4.1 registrando un porcentaje de error promedio de 2.92.

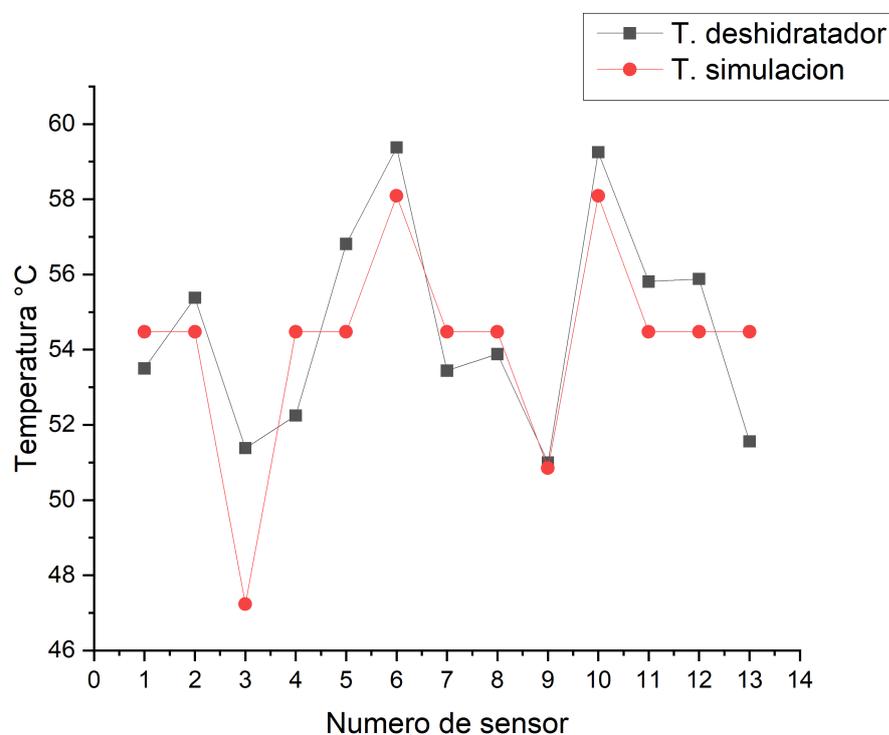


Figura 4.14: Comparativa temperatura deshidratador-simulación.

Además en base a la gráfica que se aprecia en la figura 4.12 que se presento en el capítulo 4, se determina que el periodo diario de funcionamiento en condiciones favorables (cielo despejado) del deshidratador es de 9:00 a 16:00.

Sensor	Temperatura deshidratador	Temperatura simulación	Porcentaje de error
1	53.5	54.47	1.81
2	55.38	54.47	1.64
3	51.38	47.43	8.08
4	52.25	54.47	4.25
5	56.81	54.47	4.12
6	59.38	58.09	2.17
7	53.44	54.47	1.93
8	53.88	54.47	1.10
9	51	50.85	0.29
10	59.25	58.09	1.96
11	55.81	54.47	2.40
12	55.88	54.47	2.52
13	51.53	54.47	5.64

Cuadro 4.1: Tabla comparativa temperatura deshidratador y simulación.

Características generales del deshidratador	
Capacidad máxima	10 Kg
Volumen interior	0.1279 m ³
Tiempo de renovación de aire interior	4.56 s
Periodo de uso recomendado	9:00 a 16:00
Alimentación	115 V
Corriente de consumo	0,17A

Cuadro 4.2: Características generales del deshidratador

Conclusión

Con técnicas de diseño asistido por ordenador (CAD) se modeló en el software SOLIDWORKS 2019. El deshidratador solar posee una capacidad máxima de 10 Kilogramos, un volumen interior de 0.1279 m^3 , los materiales con los que se fabricó el deshidratador fueron lámina de policarbonato traslucido en las paredes y gris humo en la base, contaba con una estructura interna y marcos de aluminio frío, dispone de un ventilador modelo VN6A-117M de 6", requiere de una alimentación de 115V y una corriente de consumo de 0.17A, extrae aire a una velocidad máxima de 3.5 m/s y tiene un tiempo de renovación de aire en el interior del deshidratador de 4.56 segundos.

Se realizó el cálculo de dinámica de fluidos computacional con el fin de simular las condiciones de operación y evaluar la irradiancia, las temperaturas internas y el flujo de aire interno del deshidratador solar. El cálculo se realizó con el software de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) ANSYS STUDENT FLUENT, en el cual se replicaron las condiciones a las cuales operaría el deshidratador. Para lo cual se utilizó un modelo que corresponde a la geometría interna del deshidratador a la cual se le generó un mallado en el cual se emplearon 57,060 nodos y 301,105 elementos, (lo cual fue la máxima resolución de maya permitida en la versión para estudiante).

Se declaró que se encontraría en las coordenadas geográficas longitud -105.0676 latitud 21.83356 GTM-7 con una orientación solar norte, a las 13:00 horas el día 05 de julio de 2023. Día en el cual se esperaban condiciones climáticas favorables. Se declaró que las entradas de aire tuvieran una entrada constante de 2.0 m/s y una salida de flujo de 0.028 kg/s . En este cálculo se obtuvo que la irradiancia mínima en el deshidratador es de 139.215 W/m^2 y máxima de 278.28 W/m^2 .

La temperatura máxima obtenida en el interior del deshidratador fue de 108.757°C siendo esta en la zona de aluminio frontal del deshidratador, tiene temperaturas predominantes de 54°C a 69°C . El aire ingresa a través de las perforaciones de a una velocidad de 2 m/s , y se distribuye a una velocidad promedio de 0.5 m/s en el interior, y sale a una velocidad máxima de 3.741

m/s.

El desempeño del deshidratador solar se evaluó haciendo uso del sistema de adquisición de datos y el sensor meteorológico, el día 05 de Julio de 2023, en las mismas coordenadas geográficas, orientación y velocidad de operación del extractor que las definidas en el calculo de realizado en ANSYS STUDENT FLUENT, registrando lecturas de temperatura del aire en el interior del deshidratador con 13 sensores de temperatura DS18B20, al mismo tiempo que se tomo lectura de la humedad relativa que se presentara en el interior del deshidratador con un sensor DHT22.

Con los datos obtenidos de esta evaluación se realizo una gráfica comparativa de los 14 sensores, en ella se muestran lecturas de datos recopilados desde las 9:00 a las 19:00 horas. La temperatura máxima alcanzada durante la evaluación fue de 60.06°C esta se registro a las 13:45 horas en el sensor 7, a las 13:50 horas se registro la humedad relativa mas baja siendo esta de 30.04, la temperatura mas baja registrada se obtuvo al finalizar el experimento siendo esta de 30.05°C en el sensor 9 a las 19:11 horas y registrándose una humedad relativa en ese momento de 69.4.

En base a la simulación CFD realizada al modelo CAD y a la evaluación del deshidratador solar se determina que el desempeño en ambos casos es semejante, presentando un porcentaje de error promedio de 2.92 por ciento. Con lo cual podemos corroborar el buen funcionamiento y desempeño del deshidratador solar, pues ese al incrementar la temperatura en su interior disminuye la humedad relativa.

Bibliografía

- ANSYS. (2009a, 1). Dynamic Mesh Update Methods.
- ANSYS. (2009b, 1). Natural Convection and Buoyancy-Driven Flows Theory.
- ANSYS. (2009c, 1). Solar Load Model.
- ANSYS. (2009d, 1). Surface-to-Surface (S2S) Radiation Model Theory.
- Bachfeld, V. D. (2018, 6). Neue Aufgaben für alte Smartphones. Heise Magazine.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Jr, Schmidt, S. J., y Labuza, T. P. (2020, 6). Water Activity in Foods. Desorption phenomena in food dehydration processes..
- Budynas, R. G., y Nisbett, J. K. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, novena edición.
- FAO, P. (2012). Desperdicio de alimentos en el mundo-alcance, causas y prevención. Roma: Interpack, 26(116), 7–17.
- Fito, P., Andres, A. M., Barat, J. M., y Albors, A. M. (2020). Introducción al secado de alimentos por aire caliente (1.ª ed.). Universitat Politècnica de Valencia.
- Foley, J. D. (1994). Introduction to Computer Graphics. Addison-Wesley Professional.
- García, O., Pilatowsky, I., y Cabanillas, R. E. (2017). Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial (1.ª ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Geankoplis, C. J. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias.
- Giesecke, F. E., y Murrieta, J. E. M. (2013). Dibujo técnico con gráficas de ingeniería.
- Messina, S., González, F., Saldaña, C., Peña-Sandoval, G. R., Tadeo-Ceniceros, H. E., Juárez-Rosete, C. R., y Nair, P. K. (2022, 12). Solar powered dryers in agricultural produce processing for sustainable rural development worldwide: A case study from Nayarit-Mexico. Cleaner and circular bioeconomy, 3, 100027.
Descargado de <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100027> doi: 10.1016/j.clcb.2022.100027

- Pharr, M., Humphreys, G., y Jakob, W. (2016). Physically based renderiNg. Morgan Kaufmann Publishers.
- Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., y Carreño, J. M. (2014). Sensores y actuadores. Grupo Editorial Patria.
- SIAP. (2022). Avance de Siembras y Cosechas. Descargado de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Sinha, N., Sidhu, J., Barta, J., Wu, J., y Cano, M. (2012). Handbook of Fruits and Fruit Processing. Wiley-Blackwell.
- Talens Oliag, P. (2017). Determinación de la isoterma de sorción de agua un alimento.

Anexos

4.2 Sketch arduino-Sistema de adquisición de datos

```
1 // Incluir librerias
2 #include <OneWire.h> //Cargamos la libreria OneWire
3 #include <DallasTemperature.h> //Cargamos la libreria Dallas
  Temperature
4 #include <DHT.h> //Cargamos la libreria DHT
5 //Definimos los sensores
6 #define ONE_WIRE_BUS 15 // Se declara el puerto de conexion de
  los ds18b20 como GPIO15
7 #define DHTTYPE DHT22 //Definimos el modelo del sensor DHT22
8 #define DHTPIN 4 // Se define el pin D4 del ESP32 para
  conectar el sensor DHT22
9
10 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
11
12 DallasTemperature sensors(&oneWire);
13
14 DeviceAddress sensor1 = { 0x28, 0x71, 0x1B, 0x48, 0xF6, 0x89, 0
  x3C, 0x9D };
15 DeviceAddress sensor2 = { 0x28, 0xBA, 0x42, 0x48, 0xF6, 0xB4, 0
  x3C, 0x38 };
16 DeviceAddress sensor3 = { 0x28, 0xF7, 0x5A, 0x48, 0xF6, 0x2, 0
  x3C, 0xED };
17 DeviceAddress sensor4 = { 0x28, 0x1B, 0x16, 0x57, 0x4, 0xC4, 0
  x3C, 0xF };;
```

```
18 DeviceAddress sensor5 = { 0x28, 0x21, 0x63, 0x57, 0x4, 0x48, 0
    x3C, 0xF0 };
19 DeviceAddress sensor6 = { 0x28, 0xBA, 0x1F, 0x57, 0x4, 0x25, 0
    x3C, 0x26 };
20 DeviceAddress sensor7 = { 0x28, 0xEB, 0xEB, 0x57, 0x4, 0x10, 0
    x3C, 0x54 };
21 DeviceAddress sensor8 = { 0x28, 0x7B, 0x2D, 0x57, 0x4, 0x11, 0
    x3C, 0x9F };
22 DeviceAddress sensor9 = { 0x28, 0xC9, 0x18, 0x94, 0x97, 0xA, 0
    x3, 0xED };
23 DeviceAddress sensor10 = { 0x28, 0xFA, 0x24, 0x57, 0x4, 0x29, 0
    x3C, 0xEA };
24 DeviceAddress sensor11 = { 0x28, 0x90, 0xBD, 0x57, 0x4, 0x3E, 0
    x3C, 0x20 };
25 DeviceAddress sensor12 = { 0x28, 0x14, 0x31, 0x57, 0x4, 0xC8, 0
    x3C, 0xCF };
26 DeviceAddress sensor13 = { 0x28, 0x70, 0xEB, 0x57, 0x4, 0xC5, 0
    x3C, 0xBA };
27
28 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE, 22);
29
30 void setup(void) {
31     Serial.begin(115200);
32     sensors.begin();
33     dht.begin();
34 }
35
```

```
36 void loop(void) {
37     sensors.requestTemperatures();
38     Serial.print(sensors.getTempC(sensor1));
39     Serial.print(sensors.getTempC(sensor2));
40     Serial.print(sensors.getTempC(sensor3));
41     Serial.print(sensors.getTempC(sensor4));
42     Serial.print(sensors.getTempC(sensor5));
43     Serial.print(sensors.getTempC(sensor6));
44     Serial.print(sensors.getTempC(sensor7));
45     Serial.print(sensors.getTempC(sensor8));
46     Serial.print(sensors.getTempC(sensor9));
47     Serial.print(sensors.getTempC(sensor10));
48     Serial.print(sensors.getTempC(sensor11));
49     Serial.print(sensors.getTempC(sensor12));
50     Serial.print(sensors.getTempC(sensor13));
51
52     float h = dht.readHumidity();
53 //Se lee la humedad y se asigna el valor a "h"
54 //Se imprimen las variables
55     Serial.println(h);
56     delay(300000);
57 }
```

4.3 Plano deshidratador solar domestico

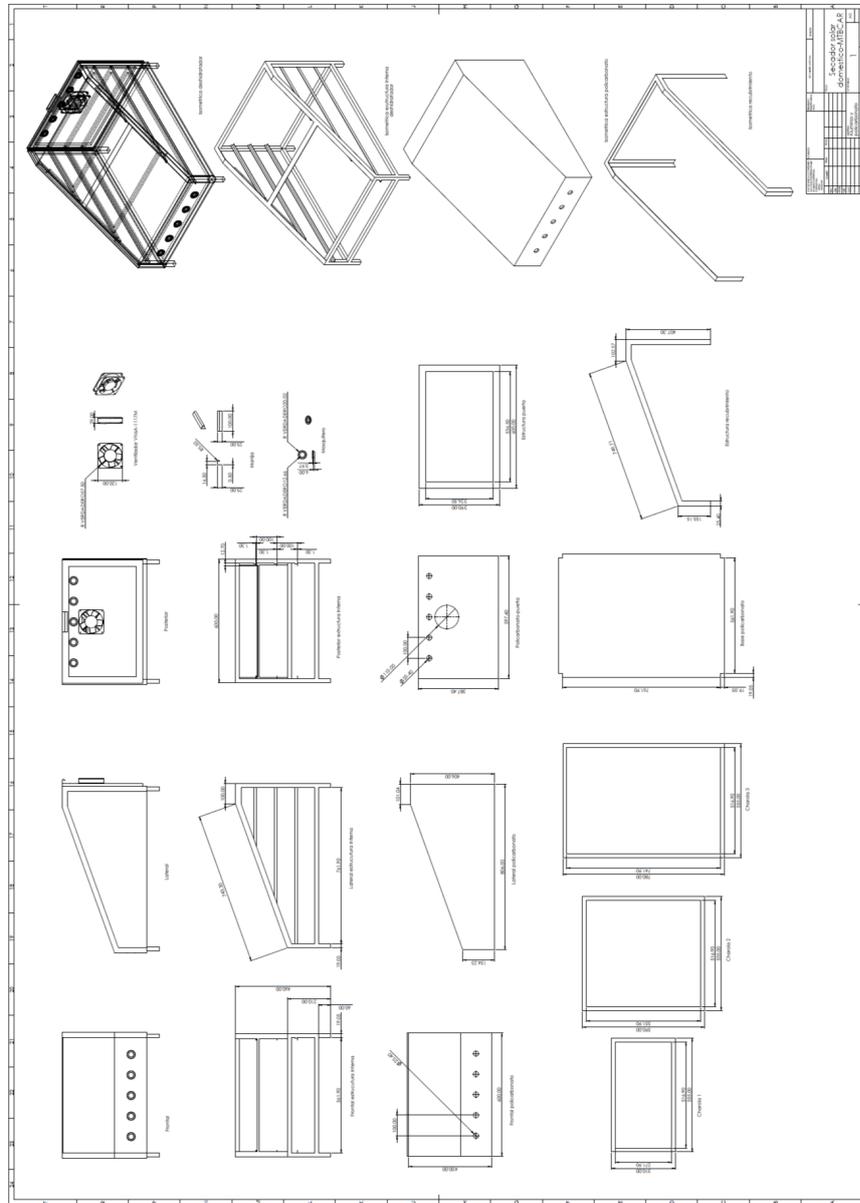


Figura 4.15: Plano deshidratador solar domestico