

**Análisis integral de una cuba para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente**

**Luis Daniel Torres Pinzón**

**Mario Andrés Montaña Del Prado**

**Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico**

**Director**

**Yesid Javier Rueda Ordoñez**

**Maestría en Ing. Mecánica y Doctorado en Ing. Química**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingeniería Físico mecánicas**

**Escuela de Ingeniería Mecánica**

**Bucaramanga**

**2024**

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor incondicional y su constante apoyo en cada paso de mi vida. Su aliento me ha impulsado a perseguir mis sueños y a superar los desafíos que se presentan en el camino. A mis profesores, por su dedicación y por compartir su conocimiento, inspirándome a ser un mejor ingeniero. A mis compañeros, quienes hicieron este viaje más significativo con su amistad y colaboración, y sobre todo a mi esposa e hijo que me motivaron a ser Ingeniero.

### **Agradecimientos**

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis.

A mis profesores y tutores, al profesor Yesid Javier Rueda Ordoñez, por su guía, consejos y paciencia durante este proceso. Sus enseñanzas han sido fundamentales en mi formación.

A mis compañeros de clase, por su apoyo y colaboración. Cada discusión y cada momento compartido enriquecieron mi experiencia académica.

Por último, a mi familia, esposa hijo y amigos, por su constante motivación y comprensión en los momentos de desafío. Su amor ha sido mi mayor fortaleza.

LUIS DANIEL TORRES PINZÓN

### **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mis padres, que me han dado todo para que hoy pueda ser ingeniera y me han apoyado en cada etapa de mi vida. Sin ellos esto no sería posible. A mis hermanos que me han dado su amor incondicional. A mis profesores que han impartido su conocimiento para formarme como ingeniero, y finalmente, a mis amigos que me colaboraron todos estos años.

### **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, cuyos inquebrantables apoyo y amor me han dado la fuerza para superar cada desafío. Gracias por siempre estar a mi lado y por su fe en mí.

A mis profesores, especialmente al profesor Yesid Javier Rueda Ordoñez, por los consejos dados en la realización de este trabajo.

A mi compañero de tesis Luis Daniel Torres Pinzón que sin su ayuda esto no hubiera sido posible.

MARIO ANDRES MONTAÑO DEL PRADO

## Tabla de contenido

Introducción .....	12
1.Planteamiento del problema .....	14
2.Justificación.....	15
3. Objetivos .....	17
3.1 Objetivo general.....	17
3.2 Objetivos específicos.....	17
4. Marco teórico .....	18
4.1 Antecedentes de investigación .....	18
4.1.1 Nivel internacional.....	18
4.1.2 Nivel nacional.....	19
4.1.3 Nivel local .....	21
4.2 Referentes teóricos .....	22
4.2.1 Proceso de galvanizado por inmersión en caliente .....	22
4.2.2 Sector metalúrgico .....	23
4.2.3 Impacto socio ambiental y económico .....	23
4.2.3.1 Impacto Social .....	24
4.2.3.2 Impacto ambiental.....	24
4.2.3.3 Impacto económico.....	24
4.2.4 ANSYS .....	24
4.2.5 Quemadores de gas.....	25
5. Diseño metodológico.....	26
5.1 Estudio y análisis de antecedentes históricos.....	26
5.2 Análisis del comportamiento mecánico de la cuba mediante el software ANSYS. ....	26
5.3 Análisis del comportamiento mecánico de la cuba mediante el software ANSYS. ....	26
5.4 Análisis de costos de la cuba .....	26
6. Resultados .....	29
6.1 Estudio y análisis de antecedentes históricos para la selección del diseño de la cuba.....	29
6.1.1 Análisis de diseños .....	30

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

6.1.2 Selección de materiales.....	30
6.1.3 Propiedades del zinc .....	31
6.1.4 Factores térmicos.....	31
6.1.5 Diseño estructural .....	32
6.1.6 Consideraciones de seguridad.....	33
6.1.7 Mantenimiento y prevención de fallos.....	33
6.2 Análisis del comportamiento mecánico de la cuba mediante el software ANSYS. ....	34
6.2.1 Determinación de las dimensiones de la cuba .....	34
6.2.2. Selección de material de construcción.....	34
6.2.3 Aislamiento térmico .....	35
6.2.4 Exportación de geometría a ANSYS .....	35
6.2.5 Cálculo de la presión sobre las paredes de la cuba.....	35
6.2.6 Simulaciones en ANSYS.....	36
6.3 Análisis del comportamiento térmico por el método de transferencia de calor.....	42
6.3.1 Factores clave a analizar.....	43
6.3.2 Propiedades térmicas de los materiales utilizados.....	44
6.3.2.1 Acero (capa interna) .....	44
6.3.2.2 Concreto.....	44
6.3.2.3 Ladrillo .....	44
6.3.2.4 Fibra de vidrio (aislante térmico).....	44
6.3.2.5 Metal externo .....	45
6.3.3 Proceso de simulación .....	45
6.3.4 Distribución de la temperatura y eficiencia de las capas.....	48
6.3.5 Implicaciones en la integridad estructural .....	49
6.3.6 Consideraciones de seguridad y eficiencia energética.....	49
6.4 Análisis de costos de la cuba .....	50
6.4.1 Cálculos para hallar un costo aproximado.....	50
6.4.1.1 Energía (gas).....	50
6.4.1.2 Agua.....	51
6.4.1.3 Personal administrativo (Supervisión y gestión) .....	52

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

6.4.1.4 Transporte .....	52
6.1.4.5 Calculo Volumen Laminas de Concreto Refractario .....	53
6.4.1.6. Costos directos e indirectos .....	54
6.4.1.7. Rentabilidad de la inversión .....	55
7. Conclusiones .....	56
8. Recomendaciones .....	59
Referencias bibliográficas .....	61
Apéndices .....	65

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Parámetros e importancia relativa en la aplicación de cada revestimiento .....	30
<b>Tabla 2.</b> Espesores y masa mínimos del recubrimiento sobre muestras sin centrifugar .....	32
<b>Tabla 3.</b> Espesores y masa mínimos del recubrimiento sobre muestras centrifugadas .....	33
<b>Tabla 4.</b> Costos de tratamiento de agua residual .....	51
<b>Tabla 5.</b> Costos aproximados de personal administrativo .....	52
<b>Tabla 6.</b> Costos de transporte .....	53
<b>Tabla 7.</b> Compilación de costos directos e indirectos .....	54

### Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Simulación estática .....	37
<b>Figura 2.</b> Selección de materiales de la biblioteca de ANSYS .....	37
<b>Figura 3.</b> Importación de geometrías de Autodesk Inventor a ANSYS.....	38
<b>Figura 4.</b> Asignación de piezas en ANSYS .....	38
<b>Figura 5.</b> Conexiones en ANSYS .....	39
<b>Figura 6.</b> Detección de contactos para generación de la malla en ANSYS .....	39
<b>Figura 7.</b> Restricciones del movimiento en ANSYS.....	40
<b>Figura 8.</b> Distribución de presión en caras internas de la Tolva en ANSYS .....	40
<b>Figura 9.</b> Deformaciones en ANSYS.....	41
<b>Figura 10.</b> Resistencia estructural de la placa en ANSYS .....	41
<b>Figura 11.</b> Análisis de simulación térmica en ANSYS.....	46
<b>Figura 12.</b> Asignación de temperatura a las paredes internas de la Tolva en ANSYS .....	46
<b>Figura 13.</b> Parámetros de convección paredes internas de la Tolva en ANSYS.....	47
<b>Figura 14.</b> Parámetros de convección paredes externas de la Tolva en ANSYS.....	47
<b>Figura 15.</b> Transferencia de calor en ANSYS.....	48
<b>Figura 16.</b> Análisis de temperatura interna y externa en ANSYS.....	50
<b>Figura 17.</b> Láminas de concreto refractario .....	53

**Lista de Apéndices**

<b>Apéndice A.</b> Cotización de láminas de acero al carbono 9 mm.....	65
<b>Apéndice B.</b> Cotización de láminas de acero 9 mm.....	66
<b>Apéndice C.</b> Cotización de zinc .....	67
<b>Apéndice D.</b> Cotización de ladrillo altas temperaturas.....	68
<b>Apéndice E.</b> Cotización de quemador de gas .....	69
<b>Apéndice F.</b> Cotización de fibra de vidrio .....	70
<b>Apéndice G.</b> Cotización de mantenimiento preventivo de equipos .....	71
<b>Apéndice H.</b> Cotización de concreto refractario .....	72
<b>Apéndice I.</b> Ficha técnica concreto refractario.....	73
<b>Apéndice J.</b> Costo de gas industrial por metro cúbico .....	74
<b>Apéndice K.</b> Calculo rentabilidad de la cuba de galvanizado por inmersión en caliente .....	75

### Resumen

El presente proyecto se enfoca en el diseño, análisis estructural y evaluación económica de una cuba utilizada en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente. El objetivo principal es garantizar que la cuba cumpla con los requisitos de seguridad, eficiencia térmica y viabilidad económica, optimizando el proceso de recubrimiento de piezas metálicas con zinc para protegerlas de la corrosión.

Se realizaron simulaciones mecánicas y térmicas utilizando el software ANSYS para evaluar el comportamiento de la cuba bajo condiciones reales de operación. En el análisis estructural, se determinó que el diseño propuesto garantiza la integridad de la cuba ante las tensiones térmicas y mecánicas generadas por la inmersión en zinc fundido, así como ante la presión ejercida sobre las paredes. Las simulaciones revelaron que el factor de seguridad es superior a 1.2, esto asegura la resistencia de la cuba frente a las cargas esperadas. Con relación al análisis térmico, se evaluó la eficiencia de las capas que componen las paredes de la cuba, utilizando materiales como acero, concreto, ladrillo y fibra de vidrio. Los resultados demostraron que el aislamiento térmico reduce significativamente las pérdidas de calor, permitiendo mantener la temperatura adecuada del zinc y mejorando la eficiencia energética del proceso.

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de costos que incluyó tanto los gastos directos (materiales y construcción) como los indirectos (consumo de energía, agua y mantenimiento). Los resultados indican que el diseño propuesto es económicamente viable, dado que los costos operativos se reducen considerablemente mediante el uso de materiales eficientes y el diseño optimizado de la cuba.

**Palabras clave:** Galvanizado por inmersión en caliente, Análisis estructural, Eficiencia térmica, Simulaciones ANSYS, Viabilidad económica.

### Abstract

This project focuses on the design, structural analysis and economic evaluation of a tank used in the hot dip galvanizing process. The main objective is to ensure that the tank meets the requirements of safety, thermal efficiency and economic viability, optimizing the process of coating metal parts with zinc to protect them from corrosion.

Mechanical and thermal simulations were performed using ANSYS software to evaluate the behavior of the tank under real operating conditions. In the structural analysis, it was determined that the proposed design guarantees the integrity of the tank against thermal and mechanical stresses generated by the immersion in molten zinc, as well as against the pressure exerted on the walls. The simulations revealed that the safety factor is higher than 1.2, which ensures the tank's resistance to the expected loads. In relation to the thermal analysis, the efficiency of the layers that make up the walls of the tank was evaluated, using materials such as steel, concrete, brick and fiberglass. The results showed that thermal insulation significantly reduces heat losses, allowing to maintain the proper temperature of the zinc and improving the energy efficiency of the process.

In addition, a cost analysis was carried out that included both direct (materials and construction) and indirect (energy, water and maintenance consumption) costs. The results indicate that the proposed design is economically viable, since operating costs are significantly reduced through the use of efficient materials and the optimized design of the tank.

**Keywords:** *Hot dip galvanizing, Structural analysis, Thermal efficiency, ANSYS simulations, Economic feasibility.*

## Introducción

El diseño de la cuba es un factor determinante para el éxito del proceso de galvanizado, ya que debe resistir altas temperaturas y cargas mecánicas, además de garantizar una distribución uniforme del calor. La elección de los materiales adecuados y la correcta disposición de las capas aislantes son fundamentales para evitar fallos estructurales y pérdidas de calor, que no solo afectarían la calidad del recubrimiento, sino que también aumentarían los costos operativos.

Además, la cuba debe cumplir con exigencias normativas y estándares internacionales, que no solo abarcan los aspectos técnicos y de seguridad, sino también consideraciones ambientales. La eficiencia energética juega un papel crucial, ya que un diseño ineficiente podría derivar en un uso excesivo de energía, con consecuencias tanto económicas como ecológicas. Por ello, es necesario implementar soluciones que minimicen el impacto ambiental, reduciendo las emisiones de gases y el consumo de recursos durante la operación.

En este contexto, la presente investigación se centra en el diseño optimizado de una cuba para galvanizado por inmersión en caliente, con el fin de mejorar tanto su eficiencia térmica como su desempeño mecánico. Para lograrlo, se aplicarán simulaciones numéricas mediante el software ANSYS, que permitirán analizar el comportamiento de la cuba bajo condiciones reales de operación, evaluando aspectos como la resistencia a las deformaciones y el flujo de calor a través de sus componentes.

Asimismo, este estudio aborda la necesidad de mejorar la durabilidad de la cuba, explorando alternativas innovadoras en los materiales de fabricación que puedan aumentar su vida útil y reducir la frecuencia de mantenimientos. De esta manera, no solo se optimiza el proceso productivo, sino que también se disminuyen los tiempos de parada, mejorando la productividad global.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

El estudio además integra un análisis económico que contemple los costos asociados a la construcción y operación de la cuba, con el objetivo de garantizar que el diseño propuesto no solo sea funcional y eficiente, sino también rentable y sostenible a largo plazo. Este enfoque integral no solo mejora el rendimiento del equipo, sino que también aborda la competitividad empresarial, clave en un mercado cada vez más exigente.

Este trabajo contribuye a la optimización del proceso de galvanizado, proporcionando un diseño de cuba que mejore la calidad del recubrimiento y reduzca los costos energéticos, al tiempo que asegure la integridad estructural y seguridad operativa del equipo. Al final, la propuesta busca no solo mejorar la operación técnica, sino también aportar al crecimiento sostenible y la eficiencia económica del sector.

### **1. Planteamiento del problema**

El galvanizado en caliente, un proceso ampliamente utilizado en la industria para proteger el acero contra la corrosión depende en gran medida del rendimiento y la integridad estructural de la cuba de galvanizado, la cual proporciona el medio necesario para sumergir las piezas de acero en zinc fundido, y debe estar diseñada para soportar las cargas y tensiones generadas durante el proceso (American Galvanizers Association, 2012). A pesar de la importancia de estas cubas, surgen desafíos significativos, como la necesidad de resistir la inmersión continua en zinc fundido a altas temperaturas, lo que implica evitar deformaciones excesivas y fallas estructurales que podrían comprometer tanto la cuba como la calidad del galvanizado. Además, el rendimiento térmico de la cuba se convierte en un factor crítico, pues influye directamente en la eficacia del proceso y en la durabilidad de la estructura, haciendo indispensable un estudio detallado de estos aspectos para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro (Kancharla et al., 2022).

La distribución uniforme del calor y el control preciso de la temperatura son fundamentales para obtener un galvanizado de alta calidad, ya que la falta de un análisis detallado sobre la transferencia de calor y los perfiles de temperatura puede generar problemas como la solidificación prematura del zinc fundido o la aparición de puntos fríos, lo que impacta negativamente la eficiencia y los resultados del proceso. Es importante considerar el aspecto económico en el estudio de las cubas de galvanizado en caliente, pues el diseño, la construcción y el mantenimiento de estas cubas implican costos significativos que deben ser evaluados para garantizar la viabilidad del proceso. Por lo tanto, un enfoque integral que combine la optimización térmica y la gestión económica es necesario para maximizar la eficiencia y rentabilidad del galvanizado en caliente, asegurando al mismo tiempo la calidad del recubrimiento y la durabilidad de la infraestructura involucrada.

## 2. Justificación

Según un estudio realizado por Zou et al. (2016), el diseño adecuado de la cuba de galvanizado en caliente puede mejorar la calidad del recubrimiento galvanizado, reduciendo defectos como la formación de óxidos y la desigualdad en el espesor del recubrimiento. Esto se traduce en una mayor resistencia a la corrosión y una vida útil prolongada de los productos galvanizados. Investigaciones como la de Li et al. (2018) han demostrado que un análisis detallado del rendimiento térmico de la cuba de galvanizado en caliente puede llevar a una distribución más uniforme del calor, evitando problemas como la solidificación prematura del zinc fundido y mejorando la eficiencia del proceso.

En un informe publicado por la American Galvanizers Association (AGA, 2015), el análisis y la optimización de los costos operativos de la cuba de galvanizado en caliente pueden conducir a mejoras significativas en la eficiencia energética, reducción de desperdicios y una mayor rentabilidad económica del proceso. Los avances en software de simulación, como ANSYS, han permitido realizar análisis más precisos y detallados de la estructura y el comportamiento térmico de las cubas de galvanizado en caliente. Estas herramientas computacionales ofrecen la capacidad de modelar y evaluar diferentes escenarios de operación, lo que facilita la toma de decisiones informadas en el diseño y la optimización de las cubas.

Por lo tanto, es necesario evaluar y optimizar los costos asociados, tanto en términos de materiales utilizados, como en eficiencia energética y costos de operación y mantenimiento. Ante estos desafíos, es evidente la necesidad de un análisis integral de las cubas de galvanizado en caliente, que abarque aspectos mecánicos, térmicos y económicos. Un enfoque que permita comprender y solucionar las problemáticas asociadas a estas cubas será de gran valor para la industria, contribuyendo a la optimización del proceso de galvanizado y a la reducción de costos.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

A su vez, este proyecto de grado propone abordar estas problemáticas mediante la realización de un análisis integral de una cuba de galvanizado en caliente, utilizando herramientas de simulación y análisis numérico. Esto permite dar recomendaciones y soluciones que mejoren la estructura, el rendimiento térmico y la eficiencia económica de estas cubas, impulsando así la calidad y rentabilidad del proceso de galvanizado en caliente.

### **3. Objetivos**

#### ***3.1 Objetivo general***

Realizar un análisis del comportamiento mecánico y térmico y rentabilidad de una cuba de galvanizado por inmersión en caliente.

#### ***3.2 Objetivos específicos***

Analizar el comportamiento mecánico de la cuba mediante el software ANSYS.

Analizar el comportamiento térmico por el método de transferencia de calor.

Realizar el análisis de costos de la cuba.

## **4. Marco teórico**

### ***4.1 Antecedentes de investigación***

#### ***4.1.1 Nivel internacional***

El estudio realizado por Rico (2012) en Venezuela tiene como objetivo principal revisar las variables que afectan la estructura de los recubrimientos galvanizados sobre aceros y las técnicas utilizadas para caracterizar estos recubrimientos. La metodología del proyecto se basa en el análisis estructural de recubrimientos galvanizados en caliente mediante técnicas de caracterización. Las variables que influyen en la estructura de la capa galvanizada son variadas y complejas, incluyendo la composición química y la temperatura del acero, la temperatura y la composición química del baño, el tiempo de inmersión, y la velocidad de enfriamiento.

La investigación concluye que una de las variables más importantes es la composición química del baño. Cambios en esta composición pueden alterar significativamente la morfología y el espesor de la capa, afectando las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del recubrimiento. Este estudio permite comprender cómo las técnicas de galvanización influyen en la estructura y composición del recubrimiento, lo cual tiene un impacto directo en las propiedades físicas de los recubrimientos galvanizados en caliente (Rico, 2012).

De acuerdo con la Cámara Fedemetal y el Comité de Galvanizadores de la ANDI en España, se realizó una inspección detallada del proceso de galvanizado para identificar las etapas que generan un impacto ambiental negativo y buscar formas de mitigar dicho impacto. La metodología incluyó la evaluación de las etapas del proceso en términos de consumo de energía, control de emisiones, regeneración y reciclaje de los baños de proceso, y consumo de agua. Se concluyó que mejorar la eficiencia de los quemadores, aprovechar el calor residual para el precalentamiento de las piezas, y añadir ácidos clorhídricos a las aguas residuales para su

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

regeneración, puede reducir el impacto ambiental y hacer el proceso más sostenible económicamente (ANDI y Cámara Fedemetal, 2012).

Por otro lado, el estudio de Rico y Carrasquero (2017) en Venezuela analiza cómo las impurezas en el zinc fundido pueden mejorar las propiedades del recubrimiento. Componentes como el aluminio, estaño y níquel juegan un papel importante en este proceso. Se utilizaron diversos métodos para analizar las propiedades microestructurales de los metales y su comportamiento mecánico, incluyendo la prueba de flexión de tres puntos bajo la norma ASTM E-290 a temperaturas elevadas. Los resultados mostraron que el material es resistente y evita la laminación.

Sin embargo, el costo adicional en el proceso de elaboración debido a la aplicación de estos baños de inmersión puede aumentar el precio del producto final. En dicha investigación se destaca la necesidad de evaluar el impacto económico y la durabilidad del producto para ofrecer opciones óptimas a los clientes. Finalmente, se resalta la importancia de realizar inspecciones detalladas en el proceso de galvanizado para identificar y optimizar las etapas críticas, logrando así un recubrimiento óptimo frente al ambiente y asegurando la pureza y limpieza del zinc utilizado.

### ***4.1.2 Nivel nacional***

La investigación realizada por Valencia et al. (2017) en Atlántico tiene como objetivo principal aplicar un método de planificación energética para reducir el consumo de gas en un proceso de galvanizado en caliente en una empresa metalúrgica, basándose en las normas ISO 50001. El consumo de gas representa aproximadamente el 75% del consumo total de energía de la empresa, indicando un gran potencial de ahorro energético. Se tomaron tres variables de datos reales: consumo de gas, nivel de producción y tiempo. Estos datos se utilizaron para obtener

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

indicadores de desempeño energético como línea base, línea meta, relación de consumo respecto a los niveles de producción, indicadores de eficiencia base 1, y tendencia acumulada de consumo, con una tasa de producción promedio de 20,000 m<sup>2</sup> por día. Estos indicadores permitieron establecer objetivos para reducir el consumo de gas mediante la implementación de buenas prácticas de manufactura y planificación de la producción.

Para llevar a cabo la investigación, se propuso un modelo en cuatro etapas: política energética, planificación energética, implementación y verificación insertas en el ciclo de mejora continua, donde la planificación energética con sus principales elementos constitutivos son la base de las estrategias para mejorar el desempeño energético. Finalmente, se concluyó que la aplicación de un procedimiento de planificación energética en una planta de galvanizado en caliente permite identificar las causas del deterioro del indicador de consumo de energía eléctrica y las diferentes fuentes de ineficiencias en el proceso, debido en gran parte al sobredimensionamiento de los equipos. Este estudio aporta un modelo de planificación energética que puede ser mejorado para optimizar el desempeño energético (Valencia et al., 2017).

En el proyecto de Hernández (2018) en Medellín, se busca incorporar los pilares medioambientales, sociales y económicos para el desarrollo sostenible de los procesos de galvanizado por inmersión en caliente. La metodología utilizada en este proyecto fue GREENSCOPE, diseñada para evaluar la sostenibilidad de procesos que utilizan diversas tecnologías y químicos. GREENSCOPE se basa en un grupo de 140 indicadores de sostenibilidad que evalúan todo el proceso desde el inicio hasta su finalización. Los indicadores se clasificaron en cuatro categorías: medio ambiente, eficiencia, energía y economía, considerados como los pilares fundamentales para analizar la sostenibilidad del proyecto.

Hernández (2018) concluyó que la metodología implementada permite detectar los procesos críticos y los fenómenos físicos esenciales para realizar el galvanizado por inmersión en caliente, demostrando ser lo suficientemente flexible para ser aplicada en otros procesos de galvanizado e incorporar nuevos indicadores de sostenibilidad según sea necesario. Este proyecto aporta la metodología GREENSCOPE, una herramienta valiosa para evaluar y desarrollar procesos de manera sostenible, basada en indicadores medioambientales, de eficiencia y económicos.

#### ***4.1.3 Nivel local***

La investigación realizada por Velásquez y Rivera (1993) en Bucaramanga tiene como objetivo principal estudiar las principales variables que influyen en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente. En este estudio, se llevó a cabo un montaje a nivel de laboratorio del proceso de galvanizado por inmersión en caliente, obteniendo un recubrimiento cuyo espesor y características metalúrgicas dependieron del tiempo que la pieza estuvo sumergida y la velocidad con la que fue extraída, a una temperatura de zinc de 450°C. Para la observación de las variables mencionadas, el recubrimiento se evaluó según las normas ASTM A90, A153, A123, A239 y B117.

La metodología empleada en esta investigación presentó un diseño experimental con el objetivo de identificar cuál variable tiene mayor incidencia en el proceso, para que al momento de realizar mejoras se invierta trabajo y tiempo en la variable más importante. Finalmente, se concluyó que el espesor de la capa de zinc aplicada a la pieza depende de la velocidad y del tiempo que la pieza es sumergida, sugiriendo velocidades lentas para permitir un mejor escurrido del zinc sobrante. Además, se recomendó una óptima preparación de la pieza antes de realizar el proceso para garantizar la máxima adherencia del zinc (Velásquez y Rivera, 1993). Esta investigación

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

contribuye al proyecto con los resultados obtenidos en el laboratorio, donde se analizaron las variables que deben ser controladas para obtener espesores específicos de zinc en las piezas.

### ***4.2 Referentes teóricos***

Para entender claramente el proceso que se realiza en la solución del proyecto es importante definir algunos conceptos los cuales son fundamentales para su desarrollo.

#### ***4.2.1 Proceso de galvanizado por inmersión en caliente***

El proceso de galvanizado es el método en cual se recubre un metal con una leve capa de otro con el fin de evitar la corrosión, para lograr esto se bañan los metales con zinc que se encuentra a una temperatura de 450°C dando lugar a la aleación del zinc, con este proceso de garantiza una mayor vida útil a los metales, la vida de los productos está sujeta de acuerdo con las condiciones ambientales en las que estos se hallen (Díaz 2001; Sánchez et al., 2008). El proceso de adherencia del zinc al metal sumergido se lleva a cabo dentro de la cuba la, la cual es el recipiente que contiene el zinc fundido, es importante que la cuba cuente con unas características especiales porque es un elemento crítico en el proceso y su diseño debe garantizar que las altas temperaturas a las que esté expuesta no generen fallas que puedan afectar la producción.

La energía necesaria para fundir el zinc es proporcionada por la combustión de gas natural, resistencias eléctricas o de inducción, en cualquiera de estos casos hay que controlar el flujo de la misma ya que es importante que la temperatura del zinc se mantenga constante, es por eso que se debe implementar un sistema de control automático para que este regule la cantidad de energía suministrada en función de la temperatura del zinc, es decir en los momentos de inmersión de las piezas la temperatura disminuye levemente y hay que suministrar más energía para

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

aumentarla hasta la temperatura de operación (American Galvanizers Association, 2012). Un parámetro importante en el proceso del galvanizado es la optimización energética y un elemento importante para llevarlo a cabo es disminuir al máximo la pérdida de calor a través de las paredes de la cuba, para eso se instala un material aislante que no permita que la energía sea liberada al ambiente, a pesar de que existen muchos materiales aislantes la fibra de vidrio es uno de los más usados (EE METAL, 2016; Sheiman, 2022).

### ***4.2.2 Sector metalúrgico***

La industria metalúrgica incluye la producción de una gran variedad de artículos, desde simples estructuras metálicas hasta maquinaria compleja como, la producción de barcos, equipos ferroviarios, equipos eléctricos. Con esto en cuenta el sector metalúrgico es fundamental en la estructura productiva del país, dada su gran variedad de productor y a la vinculación de numerosas industrias dedicadas a todo lo relacionado con el metal. Esto requiere la integración de la cadena de valor para difundir el conocimiento entre universidades e instituciones públicas. La integración nacional de la producción metalúrgica suele ser muy grande, como consecuencia, la industria juega un papel importante en la producción material de la economía. Así, su actividad determina no sólo la senda del crecimiento, sino también la sostenibilidad a largo plazo y crea sectores estratégicos para el desarrollo (Mateos, 2012).

### ***4.2.3 Impacto socio ambiental y económico***

Es evidente que implementar un proyecto o empresa influye en varios aspectos de la comunidad donde pretenda ejercer sus servicios y promocionar artículos o productos. Entre ellos se encuentran los recursos que más impactan generalmente.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

### *4.2.3.1 Impacto Social*

La Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos – IAIA (2015) indica algunos lineamientos para la evaluación y la gestión de impactos sociales de proyectos los cuales se relacionan a los cambios de: La forma de vida de las personas de una comunidad, sus sistemas políticos, El entorno, la salud y el bienestar, la seguridad, etc.

### *4.2.3.2 Impacto ambiental*

El impacto ambiental es la alteración o cambio inducido por la acción humana en el medio ambiente. Pueden producirse diversos efectos ambientales; según cómo se produzcan, pueden ser causados por la explotación de los recursos naturales, la cual influye directamente la contaminación por los residuos de la producción y la alteración del terreno (Sánchez, et al., 2019).

### *4.2.3.3 Impacto económico*

Este es el posible efecto que rige todo el sistema dentro del sistema económico de la empresa o proyecto que viene dado por una acción. Estos pueden ser: la creación de empleo, el crecimiento de la región, la interacción entre competidores, influencia en la recuperación económica (CEPAL – NACIONES UNIDAS, 2014).

## **4.2.4 ANSYS**

ANSYS es una herramienta para ingenieros, el mayor uso de la herramienta se encuentra en el diseño y análisis estructural y térmico, este software hace simulaciones por el método de elementos finitos, este es un método que por medio de funciones genera mallas que representan matemáticamente el comportamiento del problema a solucionar (Palma, 2022).

#### ***4.2.5 Quemadores de gas***

Los quemadores de gas son equipos de uso industrial y personal, que mejoran el rendimiento del combustible para determinadas operaciones, como calentar agua, producir aire o vapor. Combinado con un sistema de control digital que informa variables clave de las condiciones de combustión y gestiona la operación continua del proceso mediante la evaluación de varios parámetros (Lawrence, 2000).

Para lograr la combustión los quemadores de gas utilizan combustible y aire. Ambos vienen por separado y se ajustan las cantidades y se mezclan perfectamente para iniciar el proceso, además, permite regular la cantidad de aire y gas, mantener la estabilidad de la llama y darle el tamaño adecuado a la llama según sea necesario, hasta el punto en que se produzca la combustión, se debe dotar a la llama de la potencia radiante suficiente en función de la cantidad de calor o carga térmica (Lawrence, 2000).

## **5. Diseño metodológico**

Para el desarrollo del proyecto se plantea una metodología que consta de cuatro (4) capítulos los cuales se relacionan de manera directa e indirecta con los objetivos específicos planteados.

### ***5.1 Estudio y análisis de antecedentes históricos***

El primer paso en el desarrollo del proyecto consistió en la revisión y análisis de antecedentes históricos que aportan conocimientos relevantes para el diseño óptimo de la cuba de galvanizado. En esta fase se exploraron investigaciones previas y estudios relacionados a nivel internacional, nacional y local, lo que permitió identificar los diseños más adecuados y los materiales que mejor se ajustan a las exigencias del proceso de galvanizado. Se analizaron diferentes tipos de cubas (rectangulares y cilíndricas), evaluando su comportamiento térmico y estructural, con el fin de seleccionar la opción que ofrezca mayor eficiencia en la distribución del calor y resistencia mecánica.

### ***5.2 Análisis del comportamiento mecánico de la cuba mediante el software ANSYS.***

En esta etapa se utilizó el software ANSYS para realizar simulaciones estructurales que permitan evaluar el comportamiento mecánico de la cuba bajo condiciones reales de operación. Se simularon diferentes escenarios de carga y se analizan factores como la presión ejercida por el zinc fundido sobre las paredes de la cuba, las tensiones térmicas y mecánicas, y las posibles deformaciones. El análisis de esfuerzos y deformaciones se realiza con el objetivo de garantizar la integridad estructural de la cuba y evitar fallas que puedan comprometer la seguridad del proceso. A través de este análisis, también se identificaron áreas críticas en las que pueden ser necesarios refuerzos estructurales o ajustes en el diseño.

### ***5.3 Análisis del comportamiento mecánico de la cuba mediante el software ANSYS.***

En esta etapa se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la transferencia de calor dentro de la cuba, aplicando las leyes fundamentales de conducción, convección y radiación. El objetivo era asegurar una distribución uniforme del calor, lo cual es fundamental para obtener un recubrimiento de zinc de alta calidad. Se simuló el flujo de calor a través de las diferentes capas que componen la cuba (acero, concreto, ladrillo, fibra de vidrio y metal externo), evaluando las pérdidas de calor y la eficiencia térmica de los materiales. Asimismo, se analizó las implicaciones del diseño térmico en la durabilidad de la cuba y se estudian posibles mejoras en el aislamiento térmico para reducir el consumo energético y maximizar la eficiencia del proceso.

### ***5.4 Análisis de costos de la cuba.***

En esta fase se realiza un análisis de costos detallado que abarca tanto los costos directos como indirectos asociados a la construcción, operación y mantenimiento de la cuba de galvanizado. Este análisis incluye:

- *Costos directos:* Materiales utilizados en la construcción (acero, zinc, ladrillos refractarios, quemadores de gas, fibra de vidrio, etc.), mano de obra (soldadores y personal técnico) y los insumos necesarios para el proceso.
- *Costos indirectos:* Consumo energético (gas para los quemadores), agua utilizada en el enfriamiento y limpieza, tratamiento de residuos, personal administrativo (supervisión y gestión), transporte y otros gastos operativos.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

Se buscó determinar la viabilidad económica del proyecto, evaluando la relación entre los costos de inversión y los beneficios en términos de eficiencia energética, longevidad de la cuba y reducción de costos de mantenimiento.

## 6. Resultados

### *6.1 Estudio y análisis de antecedentes históricos para la selección*

#### *del diseño de la cuba.*

La cuba en la industria del galvanizado es otro componente elemental, cuya concepción y construcción apropiadas deben optimizar el proceso y garantizar su éxito. Este elemento primordial consta de un crisol de acero que puede tener una forma rectangular o cilíndrica, según los requisitos del proceso. Este crisol se calienta con quemadores a gas y forrado con materiales refractarios que mantienen un calor interno constante y adecuado para el galvanizado. El análisis mecánico-térmico de la cuba se basa en el diseño previamente seleccionado, que se requiere por el trabajo eficaz y seguro del dispositivo. Algunos de los parámetros significativos de diseño de la cuba son el volumen en unidad de masa del crisol, que es la cantidad de material que se mantiene en ella durante un ciclo. Debido a que primariamente la cuba procesa zinc, su densidad, calor específico y conductividad térmica, por ejemplo, son factores también significativos.

Sin embargo, otros factores ambientales y de diseño también influyen en estas variables, como el punto de fusión del zinc, la conductividad térmica de los materiales utilizados y la capacidad calorífica. Estos factores también deben tenerse en cuenta en el diseño del sistema de calentamiento y la selección de los materiales refractarios. Además, la temperatura en la cuba debe mantenerse a un nivel especificado, lo que asegura la formación adecuada de zinc en las partes a galvanizar. Esto es crítico para la calidad final del producto. En consecuencia, la planificación y ejecución del diseño de la cuba deben ser realizadas de manera oportuna y precisa, incluida una variedad de factores, como los operativos y de mantenimiento. Esto aumenta la eficiencia del proceso de galvanizado y la vida útil de la inversión durante años, lo que optimiza los recursos.

**Tabla 1.***Parámetros e importancia relativa en la aplicación de cada revestimiento*

Parámetro	Importancia	
	Relativa (IrR)	Relativa (IrR)
Condición de la superficie	Pintura	galvanizado
Condición de la superficie	4	8
Preparación de la superficie	8	0.125
Humedad / punto de rocío	8	1
Composición del revestimiento	8	0.25
Habilidad del operador	4	0.125
Condiciones de curado	1	1
Transporte y manejo	8	10.5
Confiabilidad total (FT)	41	10.5

*Fuente:* ANDI e INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - IDU. (2014, p.20).

### 6.1.1 Análisis de diseños

**Cubas rectangulares:** Son ideales para el galvanizado de piezas largas y planas, como láminas de acero. Ofrecen una distribución uniforme del calor y son relativamente fáciles de fabricar y mantener (Fagor Profesional, 2021).

**Cubas cilíndricas:** Son más adecuadas para piezas pequeñas o de formas irregulares. La forma cilíndrica permite una mejor circulación del zinc fundido, lo que puede resultar en un recubrimiento más uniforme ((Fagor Profesional, 2021).

### 6.1.2 Selección de materiales

El material principal para la construcción de la cuba es el acero, debido a su alta resistencia y capacidad para soportar altas temperaturas. Sin embargo, el tipo específico de acero y los revestimientos refractarios utilizados pueden variar dependiendo de las necesidades específicas de la planta de galvanizado.

**Acero inoxidable:** Ofrece una excelente resistencia a la corrosión y al desgaste, pero puede ser más costoso que otros tipos de acero.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

**Acero al carbono:** Es más económico y ofrece buena resistencia, pero requiere un revestimiento adecuado para protegerlo de la corrosión y el desgaste.

### 6.1.3 Propiedades del zinc

El zinc es el material principal utilizado en el proceso de galvanizado. Sus propiedades físicas y químicas son esenciales para el diseño de la cuba. Algunas de las propiedades importantes a considerar incluyen:

**Punto de fusión:** El zinc tiene un punto de fusión de 419.5 °C, lo que significa que la cuba debe ser capaz de mantener temperaturas superiores a este valor de manera constante.

**Conductividad térmica:** El zinc tiene una alta conductividad térmica, lo que permite una distribución uniforme del calor durante el proceso de galvanizado.

**Reactividad química:** El zinc reacciona con el aire y la humedad, formando una capa protectora de óxido de zinc. Es importante considerar esta reactividad al diseñar la cuba para evitar la acumulación de residuos.

### 6.1.4 Factores térmicos

La temperatura de operación es uno de los factores más críticos en el diseño de la cuba. Mantener una temperatura constante y controlada es esencial para asegurar la calidad del recubrimiento de zinc. Los sistemas de calefacción deben ser diseñados para proporcionar calor de manera uniforme y eficiente.

**Quemadores de gas:** Son comúnmente utilizados debido a su capacidad para proporcionar calor constante y controlado. Es importante seleccionar quemadores de alta eficiencia para minimizar el consumo de energía.

**Materiales refractarios:** Se utilizan para revestir el interior de la cuba y asegurar que el calor se mantenga dentro del crisol. Los materiales refractarios deben ser seleccionados en función de su capacidad para soportar altas temperaturas y su durabilidad.

### 6.1.5 Diseño estructural

El diseño estructural de la cuba debe tener en cuenta tanto las cargas térmicas como las mecánicas. Las paredes de la cuba deben ser lo suficientemente gruesas para soportar la presión del zinc fundido, así como las tensiones térmicas generadas durante el calentamiento y enfriamiento.

**Espesor de las paredes:** Determinar el espesor adecuado de las paredes es primordial para evitar deformaciones y garantizar la integridad estructural de la cuba.

La norma de referencia para el proceso de galvanizado en caliente es la UNE-EN ISO 1461 (Comité Técnico CTN-UNE 112 – AIDIMME, 2023). Según la misma, las piezas galvanizadas deben tener los siguientes espesores de Zinc:

**Tabla 2.**

*Espesores y masa mínimos del recubrimiento sobre muestras sin centrifugar*

Espesor de piezas	Espesor mínimo local		Espesor medio	
	$\mu m$	$g/m^2$	$\mu m$	$g/m^2$
Acero > 6 mm	70	505	85	610
Acero > 3 mm hasta $\leq 3$ mm	55	395	70	505
Acero > 1,5 mm hasta $\leq 3$ mm	45	325	55	395
Acero > 1,5 mm	35	250	45	325
Fundición $\geq 6$ mm	70	505	80	575
Fundición < 6 mm	60	430	70	505

*Fuente:* Metalesa. (2024). Tomado de la Norma ISO-EN 1461. Tabla 3.

**Tabla 3.***Espesores y masa mínimos del recubrimiento sobre muestras centrifugadas*

Espesor de piezas	Espesor mínimo local		Espesor medio	
	$\mu\text{m}$	$\text{g}/\text{m}^2$	$\mu\text{m}$	$\text{g}/\text{m}^2$
<b><i>Piezas roscadas</i></b>				
Diámetro 6mm	40	285	50	360
Diámetro $\leq 6$ mm	20	145	25	180
<b><i>Otras piezas (incluidas moldeadas)</i></b>				
$\geq 3$ mm	45	325	55	395
$< 3$ mm	35	250	45	325

Fuente: Metalesa. (2024). Tomado de la Norma ISO-EN 1461. Tabla 3.

**Refuerzos estructurales:** Pueden ser necesarios para proporcionar soporte adicional y evitar deformaciones durante el uso.

### 6.1.6 Consideraciones de seguridad

La seguridad es un aspecto fundamental en el diseño de la cuba. Es importante considerar medidas de seguridad para proteger a los operarios y minimizar el riesgo de accidentes.

Sistemas de control de temperatura: Deben ser implementados para evitar sobrecalentamientos y garantizar una operación segura.

Protecciones contra salpicaduras: Deben ser instaladas para evitar quemaduras y lesiones causadas por salpicaduras de zinc fundido.

### 6.1.7 Mantenimiento y prevención de fallos

Para asegurar la longevidad y el buen funcionamiento de la cuba de galvanizado, es fundamental implementar un plan de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones regulares. Estas inspecciones permiten detectar a tiempo signos de desgaste o daño en la cuba, lo que facilita la identificación de problemas potenciales antes de que se conviertan en fallos graves. Además, un plan de mantenimiento preventivo bien estructurado ayuda a prolongar la

## ANÁLISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

vida útil de la cuba, minimizando el riesgo de fallos imprevistos y asegurando que el proceso de galvanizado se mantenga eficiente y seguro.

### ***6.2 Análisis del comportamiento mecánico de la cuba mediante el software ANSYS.***

El análisis estructural de la cuba de galvanizado es fundamental para garantizar la eficiencia y la seguridad del proceso de galvanizado por inmersión en caliente. A continuación, se detallan los criterios y pasos principales para realizar este análisis, que permiten evaluar las deformaciones, esfuerzos y fatiga de la estructura mediante el uso del software ANSYS.

#### ***6.2.1 Determinación de las dimensiones de la cuba***

El diseño de la cuba debe permitir sumergir completamente las piezas que se van a galvanizar, manteniendo un margen de seguridad adicional. Para ello, las dimensiones deben ser adecuadas para las piezas de mayor tamaño, evitando deformaciones por el contacto inapropiado entre las piezas y las paredes de la cuba. Las dimensiones internas propuestas para este diseño son las siguientes:

Alto: 520 mm | Largo: 2484 mm | Ancho: 496 mm

El volumen total de la cuba se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = \text{Alto} \times \text{Ancho} \times \text{Largo} = 0.52m \times 0.496m \times 2.484m = 0.639m^3$$

#### ***6.2.2. Selección de material de construcción***

El material de la cuba debe ser capaz de resistir tanto las altas temperaturas como la corrosión causada por el contacto constante con el zinc fundido. Se propone el uso de acero al carbono o acero inoxidable, ambos con resistencia a la corrosión y buena capacidad de carga térmica. Además, se sugiere un revestimiento de hierro fundido con alúmina para proteger las paredes internas del contacto directo con el zinc fundido.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

### **6.2.3 Aislamiento térmico**

Es crucial mantener la temperatura del zinc dentro de los rangos óptimos de operación para garantizar la calidad del galvanizado. Para ello, la cuba debe estar adecuadamente aislada con materiales refractarios y ladrillos térmicos, con el fin de reducir las pérdidas de calor y mantener la eficiencia energética del proceso.

### **6.2.4 Exportación de geometría a ANSYS**

Una vez definida la geometría en Autodesk Inventor, se exporta a ANSYS para proceder con las simulaciones estructurales y térmicas. Estas simulaciones conllevan a analizar en detalle los siguientes aspectos:

- *Análisis de transferencia de calor:* En este punto se evalúa cómo se distribuye el calor dentro de la cuba, garantizando que las temperaturas en sus diferentes partes se mantengan dentro de los rangos necesarios para un galvanizado uniforme.
- *Análisis de esfuerzos y deformaciones:* Se realiza un análisis estructural que determine cómo responde la cuba a las cargas térmicas y mecánicas durante el proceso. Este análisis incluye la evaluación de deformaciones por expansión térmica y las tensiones generadas durante la inmersión de las piezas.
- *Análisis de fatiga:* Se genera un estudio de la durabilidad estructural, tomando en cuenta el uso continuo de la cuba en condiciones de alta exigencia térmica y mecánica. Esto permite prever posibles fallos prematuros.

### **6.2.5 Cálculo de la presión sobre las paredes de la cuba**

Para determinar la resistencia de la cuba bajo las condiciones de operación, se realiza el siguiente cálculo de presión ejercida por el zinc fundido en las paredes de la tolva:

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

- Se establece un nivel de llenado del 55% del volumen total de la cuba, es decir, 0.286 m de altura.

$$V_{llenado} = 0.286m \times 0.496m \times 2.484m = 0.353m^3$$

La presión ejercida por el zinc sobre las paredes de la cuba se calcula utilizando la fórmula:

$$P = h \times \rho \times g$$

Donde:

$$h = 0.2856m \text{ (altura del zinc),}$$

$$\rho = 7135 \frac{Kg}{m^3} \text{ (densidad del zinc),}$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2} \text{ (aceleración gravitacional).}$$

$$P = 0.2856m \times 7135Kg/m^3 \times 9.81m/s^2 = 2,000,000Pa = 2MPa$$

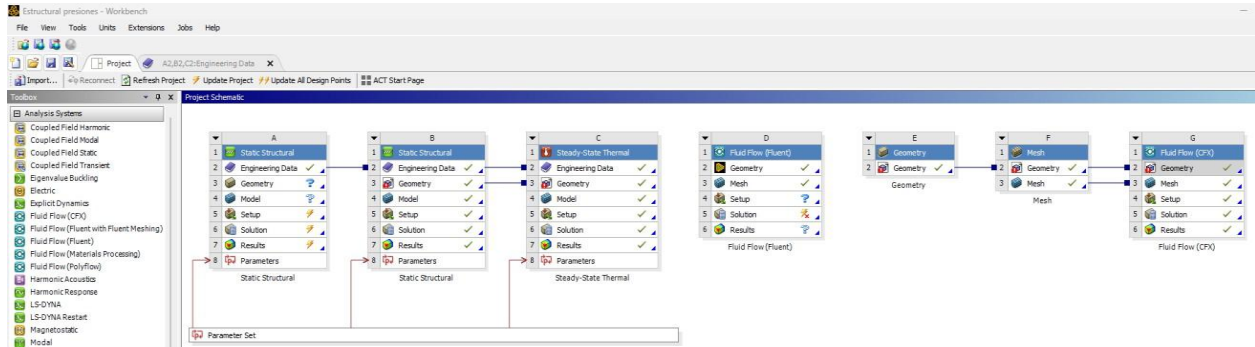
Este valor de presión es fundamental para la simulación estática en ANSYS, permitiendo evaluar cómo las paredes de la cuba responden a las cargas mecánicas y térmicas durante el proceso de galvanizado.

### 6.2.6 Simulaciones en ANSYS

Con los datos obtenidos y las propiedades del material, se llevaron a cabo simulaciones para ajustar y optimizar el diseño de la cuba, asegurando la resistencia estructural, la distribución de calor y la durabilidad del sistema en las condiciones de operación esperadas, en primer lugar, se realiza la simulación estática.

ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

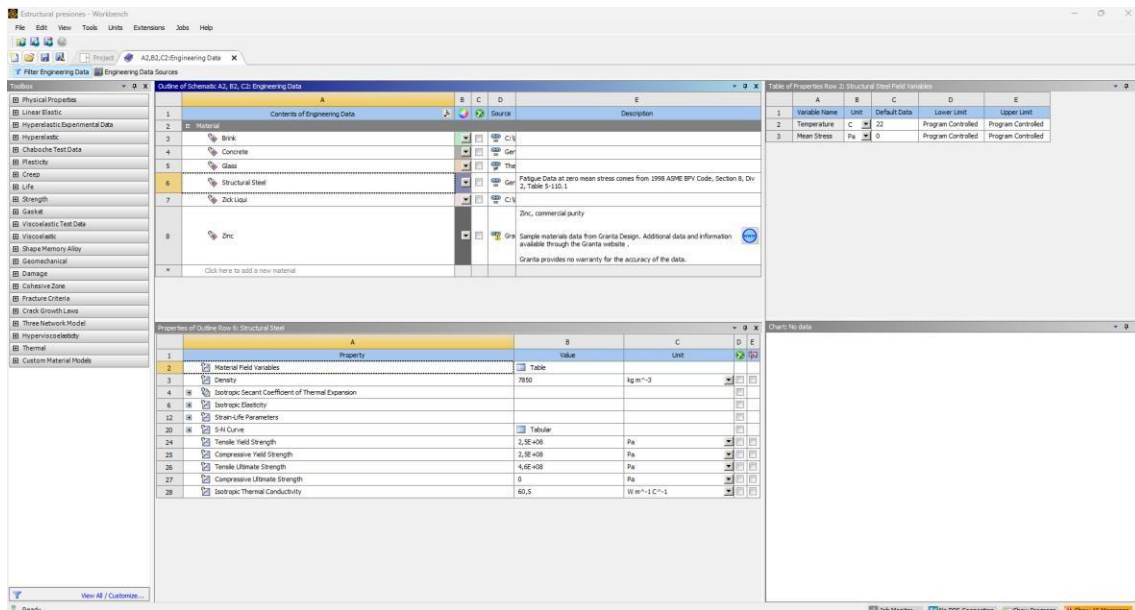
**Figura 1.**  
*Simulación estática*



**Fuente:** Simulación en ANSYS

Luego de estos se agregan o se buscan los materiales en la biblioteca de ANSYS:

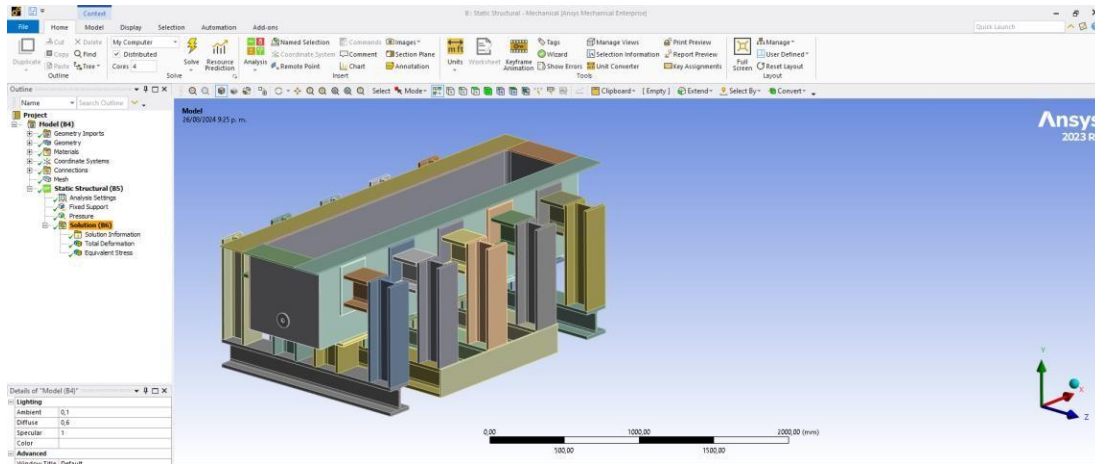
**Figura 2.**  
*Selección de materiales de la biblioteca de ANSYS*



**Fuente:** Biblioteca de ANSYS

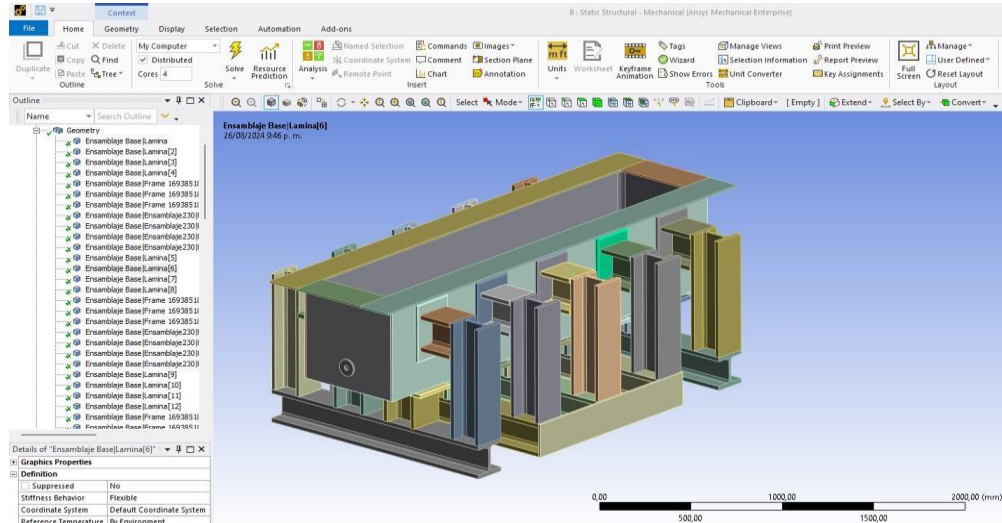
El paso por seguir fue importar la geometría generada en Autodesk Inventor:

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

**Figura 3.***Importación de geometrías de Autodesk Inventor a ANSYS*

Fuente: Importación de geometrías a ANSYS

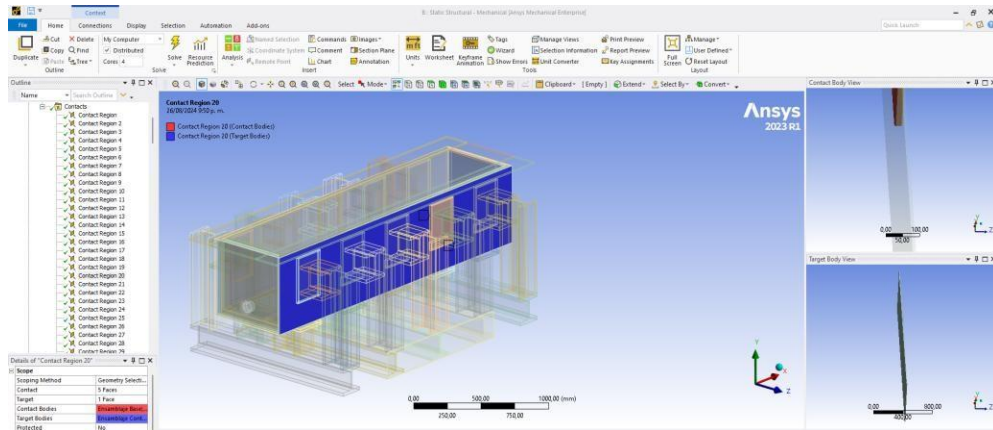
Seguidamente, se asignó a cada a pieza el material correspondiente.

**Figura 4.***Asignación de piezas en ANSYS*

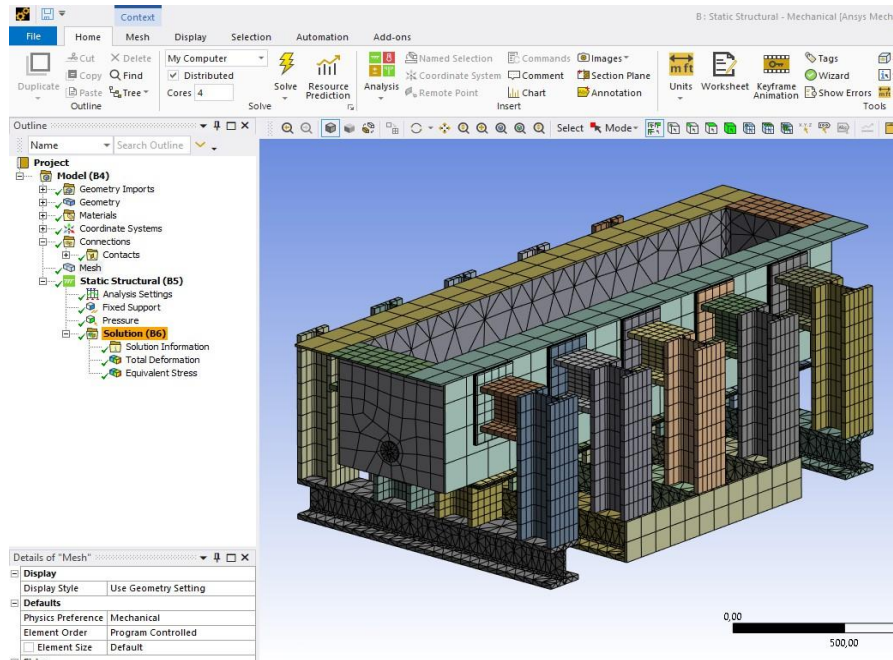
Fuente: Ensamblaje base en ANSYS

A continuación, se genera conexiones.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

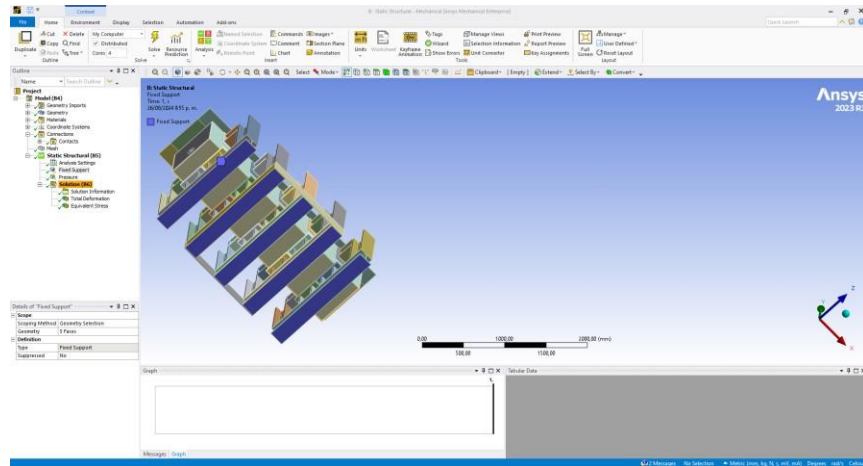
**Figura 5.***Conexiones en ANSYS**Fuente: Conexiones ANSYS*

Se procede a detectar los contactos para generar la malla en ANSYS.

**Figura 6.***Detección de contactos para generación de la malla en ANSYS**Fuente: Contactos para creación de la malla en ANSYS*

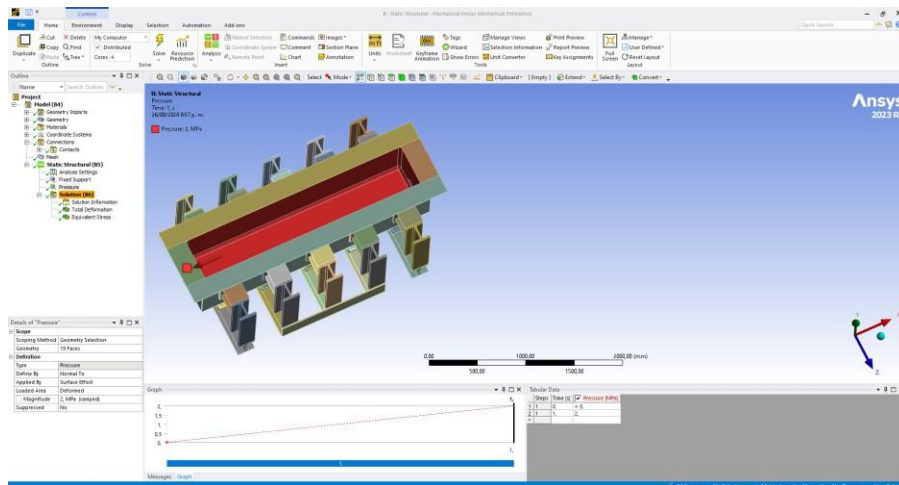
El siguiente paso fue establecer las condiciones de contorno relacionadas a las restricciones del movimiento.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

**Figura 7.***Restricciones del movimiento en ANSYS*

Fuente: Restricciones del movimiento en ANSYS

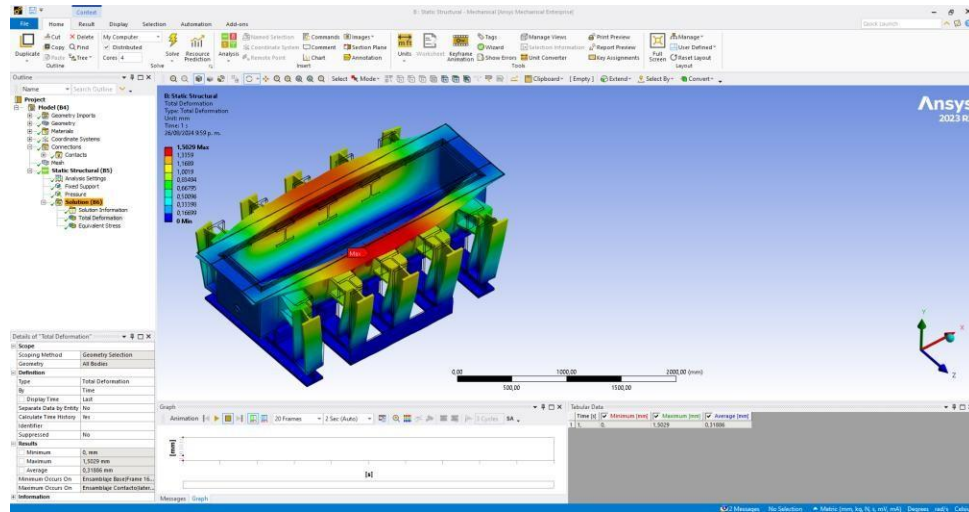
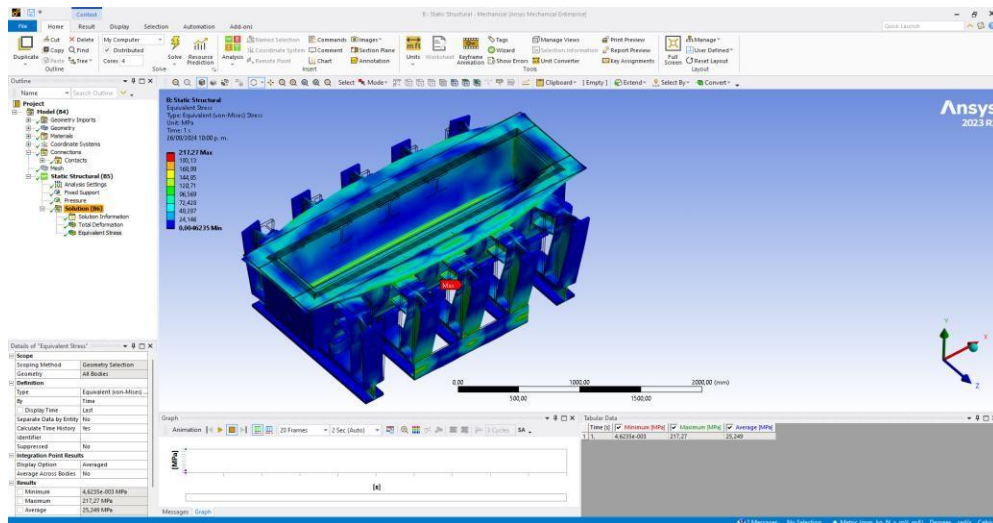
Por último, se asigna la presión estática en las caras internas de la Tolva:

**Figura 8.***Distribución de presión en caras internas de la Tolva en ANSYS*

Fuente: Distribución de presión en ANSYS

Teniendo ya completo los parámetros se plantea la deformación y resistencia estructural de la placa.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

**Figura 9.***Deformaciones en ANSYS**Fuente: Deformaciones en ANSYS***Figura 10.***Resistencia estructural de la placa en ANSYS**Fuente: Requisitos de resistencia en ANSYS*

Definidos los valores se procede a encontrar el valor de seguridad el cual se define con el módulo de Young del material de la estructura que es de 250 MPa y el valor máximo que arroja la simulación; es decir 217, 27 MPa

$$\text{Factor de Seguridad: } \frac{217,27}{250} = 1.2$$

El valor que se genera es un punto de curva de IPE, el resto de la estructura presenta un valor superior al 1,7%, en un principio el valor daba muy superior por ellos se crearon refuerzos como pie de amigos. La máxima deformación es de 1,7 mm lo cual es un valor muy bajo el cual se percibe y no afecta la estructura.

### ***6.3 Análisis del comportamiento térmico por el método de transferencia de calor***

Para el análisis térmico de la cuba, se tuvieron en cuenta las condiciones determinadas anteriormente y en base a estas se realizó el análisis del comportamiento térmico de la cuba por medio del método de transferencia de calor, para realizar el análisis adecuado se tendrán en cuenta las leyes fundamentales de la transferencia de calor como la ley de Fourier, la transferencia de calor por conducción, convección y radiación, la ley de enfriamiento de Newton y la ley de Stefan-Boltzmann. Se lleva a cabo un análisis térmico detallado de la tolva diseñada para contener zinc fundido a una temperatura operativa de 460°C, lo que corresponde a la temperatura de fusión del zinc. Durante el proceso de galvanizado, las piezas a tratar se sumergen en este baño de zinc, esto indica que se someten las paredes de la tolva a condiciones térmicas extremas.

La tolva está construida con un sistema multicapa que incluye diferentes materiales seleccionados específicamente para manejar las altas temperaturas y minimizar las pérdidas de calor. El espesor total de las paredes es de 10 mm, distribuidos entre acero, concreto, ladrillo, fibra de vidrio y un metal protector en el exterior.

### 6.3.1 Factores clave a analizar

- *Distribución de temperatura:* Es esencial evaluar cómo se distribuye el calor en las distintas capas durante la operación. La capa interna, en contacto directo con el zinc, está sometida a las mayores temperaturas, mientras que las capas exteriores deben mantener niveles térmicos seguros.
- *Flujo de calor:* Se analiza el flujo de calor a través de las paredes, desde el zinc fundido hasta el exterior, pasando por cada capa de material.
- *Pérdidas de calor:* Se estiman las pérdidas térmicas por conducción y convección hacia el entorno, con el objetivo de mantener la eficiencia energética del sistema.
- *Temperaturas máximas permitidas:* Se evaluarán que las temperaturas en cada capa no superen los límites de diseño, para evitar la degradación de los materiales y posibles fallas estructurales o térmicas.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

**6.3.2 Propiedades térmicas de los materiales utilizados****6.3.2.1 Acero (capa interna)**

Coeficiente de expansión térmica:

$$11.7 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Conductividad térmica:

$$50 \frac{W}{mK}$$

Módulo de elasticidad:

$$250GPa$$

**6.3.2.2 Concreto**

Coeficiente de expansión térmica:

$$12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Conductividad térmica:

$$1.7 \frac{W}{mK}$$

Módulo de elasticidad:

$$250GPa$$

**6.3.2.3 Ladrillo**

Coeficiente de expansión térmica:

$$7.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Conductividad térmica:

$$0.72 \frac{W}{mK}$$

**6.3.2.4 Fibra de vidrio (aislante térmico)**

Conductividad térmica:

$$0.72 \frac{W}{mK}$$

### **6.3.2.5 Metal externo**

Alta conductividad térmica que actúa como la última capa de protección frente a las condiciones externas.

### **6.3.3 Proceso de simulación**

Se utilizó el software ANSYS para generar el módulo de simulación térmica con el fin de evaluar el comportamiento del calor a través de las distintas capas de la tolva.

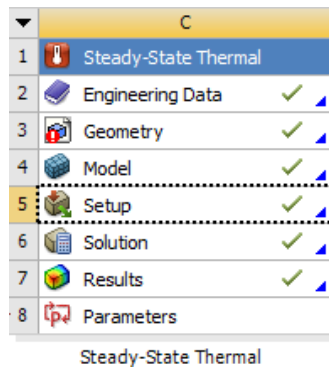
- *Condiciones del entorno:* Se aplicaron las condiciones de temperatura de 460°C en la superficie interna (acero) en contacto con el zinc fundido. Las capas externas fueron sometidas a condiciones ambientales de convección y radiación, simulando el intercambio de calor con el entorno.
- *Evaluación de resultados:* La simulación proporcionó una visión clara de la distribución térmica en cada material, el flujo de calor entre las capas, y las pérdidas hacia el exterior. Se verificaron que los materiales mantengan temperaturas dentro de los límites de diseño, evitando cualquier posible riesgo de fallas estructurales o degradación por sobrecalentamiento.

Al finalizar este análisis, los resultados permitieron ajustar el diseño de la tolva, asegurando su eficiencia térmica y estructural, garantizando una operación segura y económica durante el proceso de galvanizado. Se creó el módulo de simulación térmica.

## ANÁLISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

Figura 11.

*Análisis de simulación térmica en Ansys*

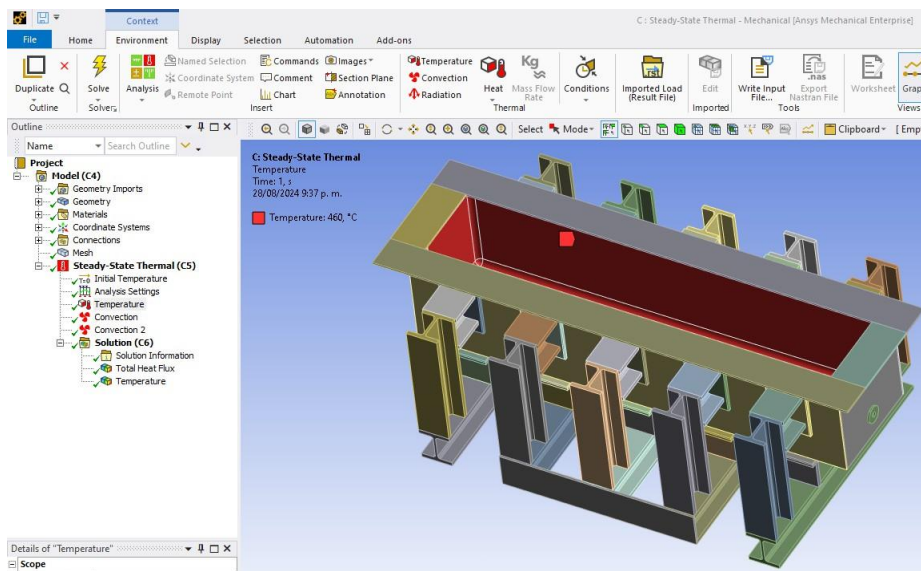


*Fuente: Análisis de simulación térmica en ANSYS*

Posteriormente, se asigna la temperatura de  $460^{\circ}\text{C}$  a las paredes internas de la Tolva.

Figura 12.

*Asignación de temperatura a las paredes internas de la Tolva en Ansys*



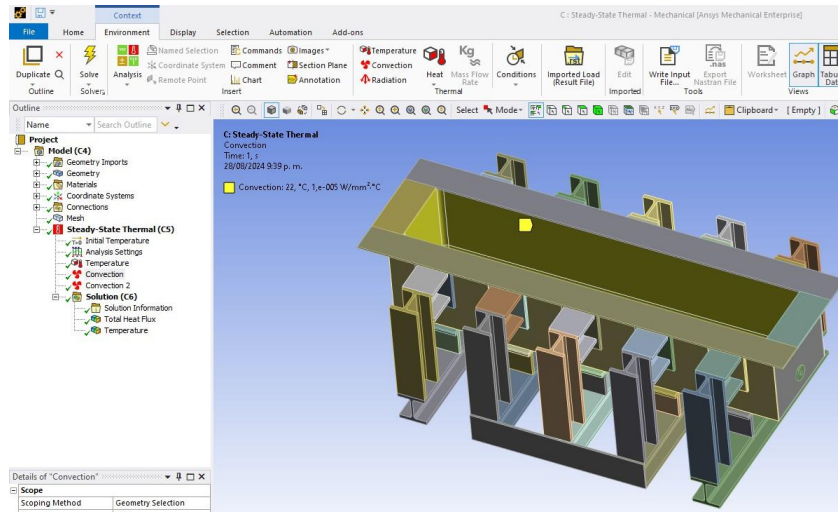
*Fuente: Asignación de temperatura en ANSYS*

A partir de la simulación térmica y asignación de temperatura se establecen dos parámetros de convección, uno con las paredes internas y otros con las paredes externas.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

Figura 13.

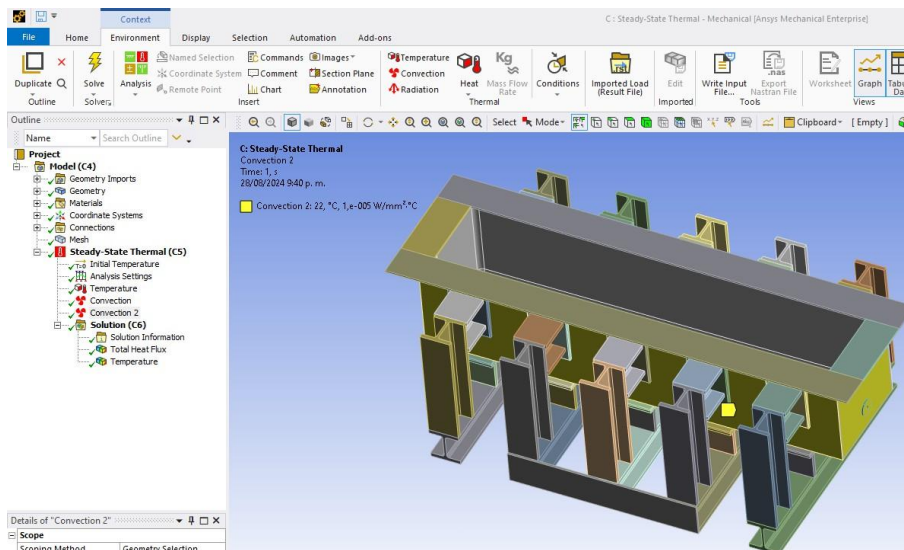
*Parámetros de convección paredes internas de la Tolva en Ansys*



*Fuente: Parámetros de convección en ANSYS*

Figura 14.

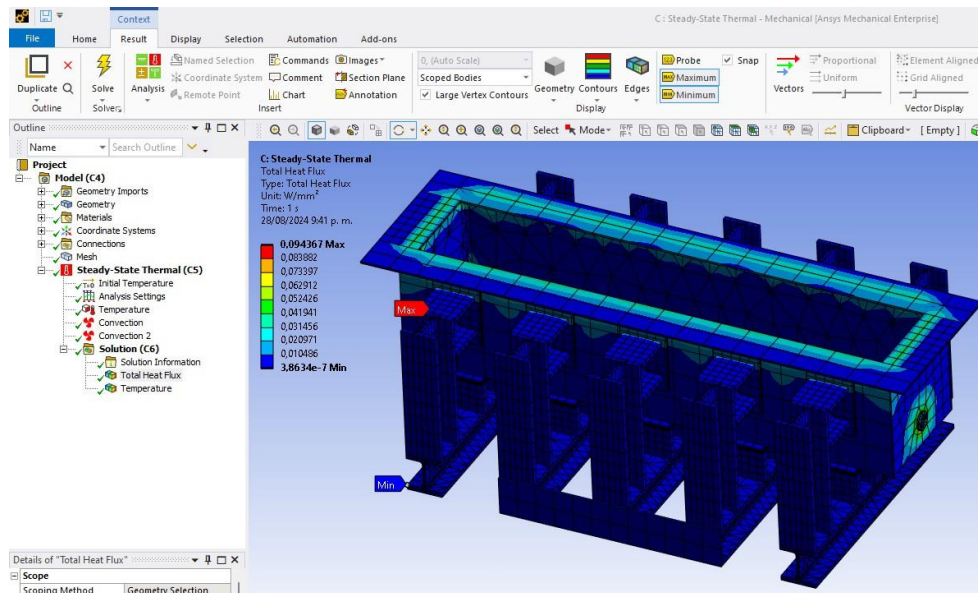
*Parámetros de convección paredes externas de la Tolva en Ansys*



*Fuente: Parámetros de convección en ANSYS*

La primera simulación realizada corresponde a la transferencia de calor. Se observa que el valor de transferencia de calor es mínimo y se concentra en las partes laterales de la tolva. Esto se debe a que estas áreas tienen una mayor superficie expuesta.

Figura 15.

*Transferencia de calor en Ansys*

*Fuente:* Transferencia de calor en ANSYS

En el análisis térmico final, se observa que la mayor temperatura se concentra en el interior de la tolva, alcanzando un valor de  $467.76^{\circ}\text{C}$ , mientras que la temperatura más baja se encuentra en el exterior, registrando  $271.27^{\circ}\text{C}$ . Este descenso en la temperatura representa una reducción de más del 42%, lo cual demuestra la efectividad de las capas aislantes que conforman la tolva.

#### **6.3.4 Distribución de la temperatura y eficiencia de las capas**

La diferencia significativa entre la temperatura interna y externa confirma que los materiales utilizados en la construcción de la tolva, como el concreto, el ladrillo, la fibra de vidrio y el acero, están cumpliendo su función de aislamiento térmico. De manera particular, la fibra de vidrio está jugando un papel esencial al reducir la transferencia de calor hacia el exterior. Este material, con su baja conductividad térmica, contribuye a mantener el calor en el interior de la cuba, lo que favorece la estabilidad térmica del zinc fundido.

### ***6.3.5 Implicaciones en la integridad estructural***

La reducción de la temperatura externa a 271.27°C tiene un impacto positivo en la integridad estructural de la cuba. A temperaturas más bajas, los materiales, especialmente el acero de la capa externa, están mejor preservados, lo que disminuye el riesgo de deformaciones térmicas y fallos mecánicos. La preservación de la estructura bajo estas condiciones térmicas más controladas contribuye a prolongar la vida útil de la cuba y reducir los costos asociados al mantenimiento y reparaciones.

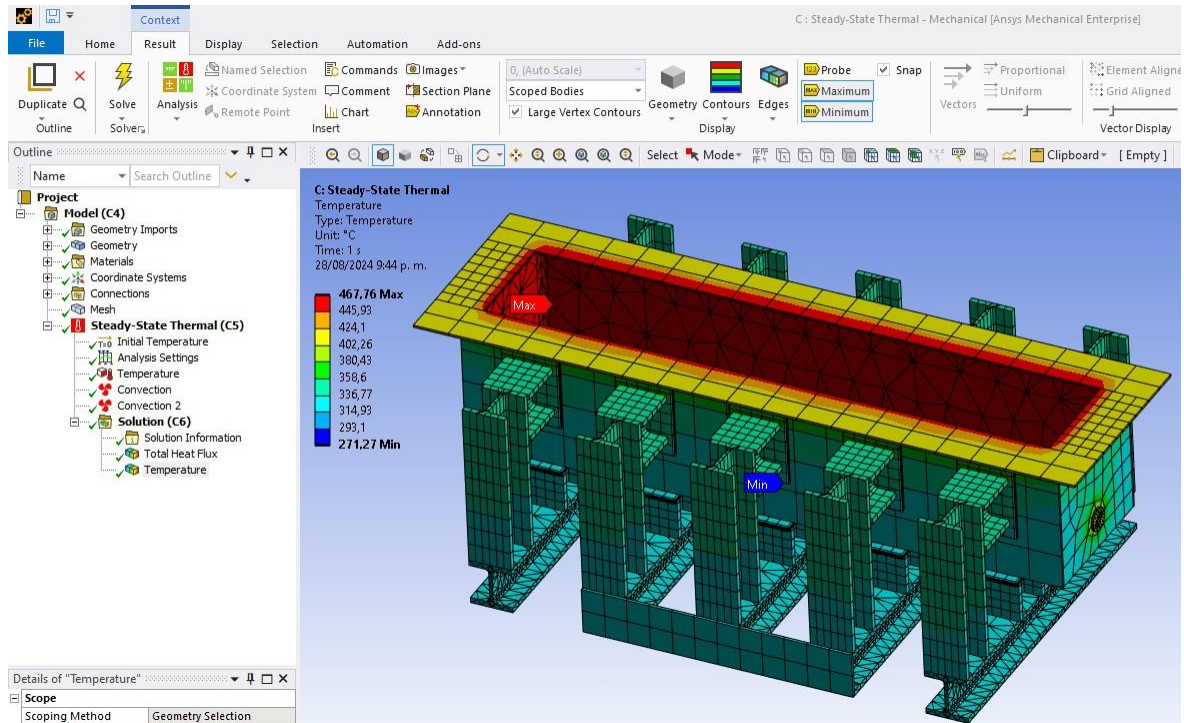
### ***6.3.6 Consideraciones de seguridad y eficiencia energética***

Desde el punto de vista de seguridad, la disminución de la temperatura en la superficie externa de la cuba, aunque aún elevada, es significativamente más segura para cualquier interacción externa, como labores de mantenimiento o inspección. El aislamiento térmico efectivo asegura que las temperaturas exteriores no representen un riesgo grave para los operarios. En términos de eficiencia energética, la menor temperatura externa implica una reducción en la pérdida de calor hacia el ambiente, lo que mejora la retención del calor dentro de la tolva. Esto, a su vez, permite mantener el zinc fundido a la temperatura adecuada con un menor consumo de energía, optimizando los recursos y reduciendo los costos operativos para el mantenimiento térmico continuo del proceso de galvanizado.

## ANÁLISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

Figura 16.

### Análisis de temperatura interna y externa en Ansys



Fuente: Análisis de temperatura en ANSYS

## 6.4 Análisis de costos de la cuba

En este apartado se realiza un análisis de costos con el objetivo de evaluar la rentabilidad de la cuba de galvanizado. El análisis se divide en dos partes: los costos directos, que incluyen todos los gastos relacionados directamente con la cuba, como los materiales utilizados y la mano de obra; y los costos indirectos, que abarcan aquellos gastos que no se pueden atribuir de manera directa a la cuba, como su mantenimiento.

### 6.4.1 Cálculos para hallar un costo aproximado

#### 6.4.1.1 Energía (gas)

El precio del gas natural industrial en Colombia varía, pero generalmente se encuentra entre \$1,200 y \$1,800 COP por metro cúbico ( $m^3$ ).

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

$$5 \text{ m}^3/\text{h} \times 8 \text{ h} = 40\text{m}^3/\text{dia}$$

$$40\text{m}^3 \times 2.221,46 \text{ cop } \text{m}^3 = \$ 88.858 \text{ dia}$$

$$25 \text{ dias} \times \$ 88.858 \text{ dia} = \$ 2.221.460 \text{ cop } /\text{mes}$$

**6.4.1.2 Agua**

El consumo promedio de agua para una instalación de galvanizado requiere entre 500 y 1.000 litros por día (0,5 a 1 m<sup>3</sup>/día). La tarifa del agua industrial en Colombia varía entre \$3.500 y \$4.500 COP por m<sup>3</sup>, dependiendo de la región y del proveedor de servicios.

Para el consumo de agua, se estima un promedio de 750 litros por día (0,75 m<sup>3</sup>/día). El costo diario del agua se calcula de la siguiente manera:

$$0,75 \text{ m}^3/\text{día} \times \$4.000 \text{ COP}/\text{m}^3 \text{ (promedio)} = \$3.000 \text{ COP}/\text{día}$$

En el caso de que el proceso opere 25 días al mes, el costo mensual del agua es el siguiente:

$$25 \text{ días} \times \$3.000 \text{ COP}/\text{día} = \$75.000 \text{ COP}/\text{mes}.$$

Con relación a los costos para el tratamiento de agua residual se contempló la Resolución 631 de 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

*Tabla 4.*

*Costos de tratamiento de agua residual*

<b>Descripción</b>	<b>Valor aproximado</b>
Tratamiento Primario:	\$ 50.000
Tratamiento Químico	\$ 100.000
Tratamiento Biológico	\$ 60.000
Filtración y Purificación Final:	\$ 40.000
Disposición de Residuos (lodos):	\$ 50.000
<b>Total</b>	<b>\$ 300.000 COP/mes</b>

*Fuente:* Elaboración propia

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

Por consiguiente, el costo mensual del agua para enfriamiento y limpieza es de \$75.000 COP/mes y para el tratamiento de agua residual de \$300.000 COP adicionales, lo que conlleva a un costo total de \$375.000 COP.

#### **6.4.1.3 Personal administrativo (Supervisión y gestión)**

A continuación, se relacionan los salarios promedio en Colombia del personal operativo.

*Personal de gestión de calidad o logística:* Entre \$2.000.000 y \$3.000.000 COP/mes.

Conforme a lo anterior el costo mensual para el operador totaliza \$2.500.000 COP.

*Tabla 5.*

*Costos aproximado de personal administrativo*

<b>Cargo</b>	<b>Salario Mensual (COP)</b>
Personal de gestión de calidad	\$2,500,000
<b>Total</b>	<b>\$2.500.000 COP/mes</b>

*Fuente:* Elaboración propia

Se deben contemplar otros costos asociados como son las prestaciones sociales equivalente al 35% aproximadamente, es decir que corresponde a \$875.000 COP, dando un total de \$3.375.000 COP/mes.

#### **6.4.1.4 Transporte**

Los costos de transporte que se ven reflejados a continuación son aproximaciones.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

Tabla 6.

## Costos de transporte

Descripción	Valor aproximado
Transporte de insumos	\$ 700.000
Transporte interno en planta	\$ 200.000
Seguros y gestión logística	\$ 200.000
<b>Total</b>	<b>\$1.100.000 COP/mes</b>

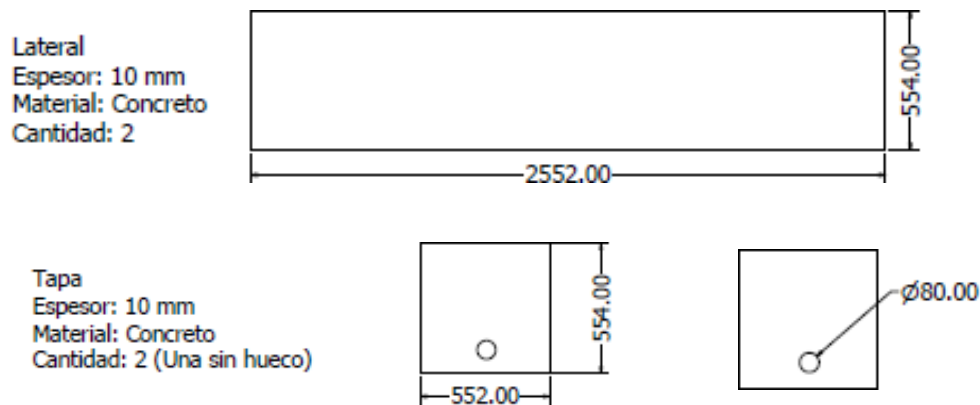
Fuente: Elaboración propia

Los costos de transporte pueden variar dependiendo de la distancia a los proveedores, a los clientes, al tipo de vehículo usado, así como a la cantidad de insumos y productos movidos en un mes.

#### 6.1.4.5 Calculo Volumen Laminas de Concreto Refractario

Figura 17.

## Medidas Laminas de concreto refractario



Fuente: Elaboración propia.

$$V_{\text{lateral}} = L * L * L * \# \text{laminas}$$

$$V_{\text{lateral}} = 2,552 \text{ m} * 0,554 \text{ m} * 0,01 \text{ m} * 2$$

$$V_{\text{lateral}} = 0,02828 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tapa}} = 0,552 * 0,554 * 0,01 * 2$$

$$V_{\text{tapa}} = 0,00612 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{hueco}} = \pi * r^2 * h$$

$$V_{\text{hueco}} = \pi * 0,08^2 * 0,01$$

$$V_{\text{hueco}} = 0,0002 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{total}} = V_{\text{lado}} + V_{\text{tapa}} - V_{\text{hueco}}$$

$$V_{\text{total}} = 0,02828 + 0,00612 - 0,0002$$

$$V_{\text{total}} = 0,0342 \text{ [m}^3\text{]}$$

#### 6.4.1.6. Costos directos e indirectos

Tabla 7.

Compilación de costos directos e indirectos

Costos Directos				
Cantidad	Empresa	Descripción	Valor unitario	Valor total
14	Agofer <a href="https://www.agofer.com.co/">https://www.agofer.com.co/</a>	Lámina de carbón 9mm x 1.00m x 2.00 m	\$ 441.562	\$ 6.181.868
14	Metal perfiles <a href="https://metalperfiles.com/">https://metalperfiles.com/</a>	Lámina de acero 9 mm x 1000x1000 mm	\$ 400.519	\$ 5.607.270
100	Evek GmbH. <a href="https://evек.red/metales-raros/457-37445-zinc-zn-pureza-9999-zinc-puro-elemento-met-lico-puro-30-pir-mides-10gr-5kg.html#/310-peso-10gr_001kg">https://evек.red/metales-raros/457-37445-zinc-zn-pureza-9999-zinc-puro-elemento-met-lico-puro-30-pir-mides-10gr-5kg.html#/310-peso-10gr_001kg</a>	Zinc 1 Kg	\$ 116.564	\$ 11.656.400
300	Arcillas Amaya <a href="https://www.arcillasamaya.com/">https://www.arcillasamaya.com/</a>	Ladrillo térmico	\$ 6.900	\$ 2.070.000
1	Exhibir <a href="https://exhibirequipos.com/">https://exhibirequipos.com/</a>	Quemadores de gas	\$ 3.941.800	\$ 3.941.800
2	Refractarios de Colombia <a href="https://www.refractariosdecolombia.com/product-page/concreto-refractario-www-refractariosdecolombia-mercadoshops-com-co">https://www.refractariosdecolombia.com/product-page/concreto-refractario-www-refractariosdecolombia-mercadoshops-com-co</a>	Concreto Refractario 25 Kg	\$ 68.000	\$ 136.000
10	FVS <a href="https://www.fibradevidrio.com.co/">https://www.fibradevidrio.com.co/</a>	Fibra de vidrio 10 mm	\$ 580.000	\$ 6.902.000
Costos Indirectos				
Nombre	Descripción	Tiempos	Costos aproximados	

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

Mantenimiento	Reparación y reposición de equipos	6 meses	\$ 8.330.000
Energía (gas)	Alimentación energética de los quemadores	Mensual	\$ 2.221.460
Agua	Enfriamiento y limpieza	Mensual	\$ 375.000
Personal administrativo	Supervisión y gestión	Mensual	\$ 3.375.000
<b>Otros Costos</b>			
Transporte	Movimiento de insumos y productor	Variable	\$ 1.100.000

*Fuente:* Elaboración propia a partir de los apéndices de las cotizaciones.

#### **6.4.1.7. Rentabilidad de la inversión**

Para la rentabilidad se calcula el valor presente neto, valor futuro neto, la relación beneficio costo y el tiempo de recuperación.

Se tomó en cuenta el IPC actual de Colombia que tiene un valor del 6,1% mensual, la lista de precios de Proalco Distribución actualizada hasta Julio del 2024 y una producción de 2200 Toneladas/mes con un rendimiento de 50 Kg zinc/Toneladas. Se realizan los cálculos en el software Excel:

$$VPN = \$ 5.521.095$$

$$VFN = \$ 192.729.533$$

$$Rb/c = 1,18404$$

$$Tiempo de Retorno = 29 Meses$$

## 7. Conclusiones

A lo largo del desarrollo de este proyecto, se ha logrado llevar a cabo un análisis integral del diseño, comportamiento mecánico y térmico, y la viabilidad económica de una cuba para galvanizado por inmersión en caliente. Las conclusiones más relevantes que se extraen de este estudio son las siguientes:

- Se confirmó que el diseño óptimo de la cuba debe incorporar materiales con alta resistencia a las tensiones térmicas y mecánicas, como el acero al carbono y los revestimientos refractarios. El uso de acero inoxidable, aunque más costoso, podría aumentar la durabilidad de la cuba y reducir la necesidad de mantenimientos frecuentes.
- El análisis estructural realizado mediante el software ANSYS permitió identificar las dimensiones y espesores adecuados de las paredes de la cuba para garantizar su estabilidad y resistencia ante la presión ejercida por el zinc fundido. Se concluye que el refuerzo en puntos críticos evita deformaciones significativas y prolonga la vida útil de la cuba.
- Las simulaciones realizadas en ANSYS revelaron que la cuba puede soportar las cargas mecánicas impuestas por el proceso de galvanizado sin riesgo de fallos estructurales. El análisis de los esfuerzos y las deformaciones permitió validar el diseño propuesto y aseguró que las tensiones se mantuvieran dentro de los límites seguros.
- El factor de seguridad obtenido en las simulaciones (superior a 1.2) indica que la estructura de la cuba es robusta y capaz de resistir las condiciones operativas extremas a las que estará sometida durante su vida útil.
- El análisis térmico mostró que la cuba, al estar revestida con materiales aislantes como fibra de vidrio y ladrillo refractario, logra mantener una temperatura interna adecuada

## ANÁLISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

para el proceso de galvanizado, mientras que minimiza las pérdidas de calor hacia el ambiente. Esto permite una mayor eficiencia energética, reduciendo el consumo de gas y, por lo tanto, los costos operativos.

- La distribución térmica en las capas de la cuba fue homogénea, garantizando una transferencia de calor eficiente hacia las piezas sumergidas en el zinc fundido. Este factor es crucial para la obtención de un recubrimiento uniforme y de alta calidad en las piezas tratadas.
- El análisis de costos reveló que los principales gastos asociados a la operación de la cuba están relacionados con el consumo energético y el mantenimiento preventivo. Sin embargo, las mejoras en el aislamiento térmico y la optimización del diseño estructural permiten reducir estos costos de manera significativa a largo plazo.
- El análisis de viabilidad económica muestra que la inversión inicial en materiales de alta calidad y sistemas de aislamiento térmico eficientes se recupera a través de la reducción en los costos operativos, demostrando que el diseño propuesto es rentable y sostenible.
- La implementación de un diseño optimizado para la cuba de galvanizado contribuirá a la mejora en la eficiencia del proceso, reduciendo tiempos de operación y optimizando el consumo energético. Además, la calidad del recubrimiento de zinc sobre las piezas metálicas se verá mejorada, incrementando la durabilidad y resistencia a la corrosión de los productos galvanizados.

Finalmente, se concluye que este diseño puede ser una referencia valiosa para futuras mejoras en las plantas de galvanizado en caliente, con un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia energética. Mediante la investigación, se pudo demostrar que el diseño estructural, térmico y económico de la cuba propuesto en este trabajo cumple con los requerimientos necesarios para

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

optimizar el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, garantizando seguridad, eficiencia y viabilidad a largo plazo.

## 8. Recomendaciones

Durante el desarrollo del proyecto, se logró identificar que el diseño óptimo de la cuba requiere materiales con alta resistencia a las tensiones térmicas y mecánicas. Sin embargo, sería recomendable explorar el uso de materiales alternativos, como el acero inoxidable o recubrimientos avanzados, que podrían incrementar aún más la durabilidad de la cuba y reducir los costos de mantenimiento a largo plazo. Además, se sugiere realizar ajustes en el diseño estructural para optimizar los puntos críticos que fueron identificados en las simulaciones.

De otra parte, los resultados obtenidos muestran que el sistema de aislamiento térmico implementado en la cuba es eficiente. No obstante, es recomendable considerar nuevas tecnologías de aislamiento o materiales con menor conductividad térmica, que podrían mejorar aún más la retención de calor y reducir el consumo de energía en el proceso de galvanizado. Al implementar estas mejoras permitiría un ahorro energético significativo, traduciéndose en una operación más sostenible y rentable.

Ahora bien, para garantizar un control más preciso sobre el proceso de galvanizado y minimizar las variaciones en la calidad del recubrimiento, se recomienda incorporar tecnologías de automatización y sensores de control en tiempo real. Estos dispositivos contribuyen a monitorear continuamente parámetros críticos, como la temperatura y la presión dentro de la cuba, permitiendo optimizar el proceso y reducir las posibles fallas operativas.

En relación al análisis de costos realizado se mostró que el proyecto es económicamente viable, se recomienda realizar evaluaciones periódicas de los costos operativos y del mantenimiento de la cuba. Esto con el fin de identificar oportunidades de ahorro en el uso de recursos como energía y mano de obra, además de optimizar las estrategias de mantenimiento preventivo para evitar paradas no planificadas.

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

En relación con obtener la mayor sostenibilidad en los procesos industriales se considera importante recomendar implementar un sistema de gestión ambiental que minimice los desechos y las emisiones asociadas al proceso de galvanizado. Además, es necesario considerar la reutilización del calor residual y de otros recursos, lo cual podría reducir el impacto ambiental y aumentar la eficiencia global del proceso.

Finalmente, se recomienda invertir en la capacitación continua del personal encargado de operar la cuba y llevar a cabo el proceso de galvanizado. Para asegurar la optimización del proceso, la seguridad operativa y el éxito a largo plazo del proyecto, es fundamental mantener al equipo de trabajo actualizado en las últimas tecnologías y mejores prácticas industriales.

**Referencias bibliográficas**

- American Galvanizers Association. (2012). Hot-dip galvanizing process. (2012).  
[https://galvanizeit.org/uploads/publications/Galvanized\\_Steel\\_Specifiers\\_Guide.pdf](https://galvanizeit.org/uploads/publications/Galvanized_Steel_Specifiers_Guide.pdf)
- ANDI y Cámara Fedemetal. (2013). Guía práctica de galvanizado por inmersión en caliente.  
<https://acortar.link/vi7B3d>
- ANDI e INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - IDU. (2014). Guía práctica de galvanizado por inmersión en caliente. <https://acortar.link/oK0gRt>
- Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos - IAIA. (2015). Evaluación de Impacto Social: Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos. Frank Vanclay, Universidad de Groningen. <https://acortar.link/fcYhzb>
- CEPAL – NACIONES UNIDAS. (2014). Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2014: desafíos para la sostenibilidad del crecimiento en un nuevo contexto externo.  
<https://acortar.link/aaION4>
- Comité Técnico CTN-UNE 112 - AIDIMME (2023). 1461-Recubrimientos de galvanización en caliente sobre piezas de hierro y acero, especificaciones y métodos de ensayo. Norma Española UNE-EN ISO 1461. <https://acortar.link/B4D6e0>
- Díaz Rodríguez, F. M. (2001). Estudio de la corrosión atmosférica del cinc y el acero galvanizado [Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna (Canary Islands, España.)].  
<https://acortar.link/Uc45zn>
- EE METAL. (2016). Aplicación de medidas de eficiencia energética para las PYME y la industria metalúrgica y metalúrgica (EE-METAL) Número GA 694638. Entregable D2.6 Base de datos de Mejores Técnicas Disponibles (MTD) aplicable en el sector del metal Versión Final. <https://acortar.link/FPZFDW>

## ANÁLISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

Fagor Profesional. (2021). Maquinaria específica para colectividades. Equipos de gran producción.

<https://acortar.link/N8lrpZ>

Hernández Betancur, J. H. (2018). *Detección de los puntos críticos del proceso de galvanizado por inmersión en caliente: un enfoque hacia la sostenibilidad y el desarrollo sostenible*.

[Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.]. Biblioteca Digital UN Colombia. <https://acortar.link/yMFuTM>

Kancharla, H., Mandal, G. K., Singh, S. S., & Mondal, K. (2022). Effect of strip entry temperature on the interfacial layer and corrosion behavior of galvanized steel. *Surface and Coatings Technology*, 433, 128071. <https://acortar.link/bSjFz0>

Lawrence Kohan, A. (2000). Capítulo 11. Combustión, quemadores, controles y sistemas de seguridad de llama. Proceso básico de combustión. En Lawrence Kohan, A. *Manual de Calderas: principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas*. Mc. Graw Hill Interamericana de España, S.A.U.. <https://acortar.link/cxy9cV>

Mateos Torres, C. (2012). La competitividad de las industrias metalúrgica y de productos metálicos en España. *Economía industrial*, (385), 47-58. Observatorio Industrial del Sector del Metal. Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España.

<https://acortar.link/OVG5Ub>

Metalesa. (4 de julio, 2024). *El galvanizado en caliente* - Metalesa.

<https://metalesa.com/galvanizado-en-caliente/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

- puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. <https://n9.cl/jbv62t>
- Palma Muñoz, J. M. (2022). Diseño de un Módulo de Aprendizaje Básico sobre el Software ANSYS para Promover el Desarrollo de Habilidades en el Uso de Herramientas CAD CAE en los Estudiantes de Ingeniería Metalúrgica de la UIS. <https://acortar.link/RKBGEN>
- ProCordoba (2013). Sector Metalúrgico. ProCordoba Agencia para la promoción de exportaciones. <https://www.procordoba.org/sector-metalurgico-5291.html>.
- Rico Oviedo, Y. y Carrasquero, E. (2017). Efecto de la composición química en el comportamiento mecánico de recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente: una revisión. *Revista de Ciencia y Tecnología* 18, 30-39. <https://acortar.link/VoXUzJ>
- Rico Oviedo, Y. (2012). Estructura y caracterización de los recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente, sobre Aceros. *Revista Digital de Investigación y Postgrado*, 2(5), 368–378. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4210066>.
- Sánchez, M., Contreras, R., De Rincón, O., Pérez, O., Rincón, Á. y Campos, W. (2008). Comportamiento del acero galvanizado por inmersión en caliente en medio atmosférico. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad. Patología y recuperación de las construcciones. ALCONPAT. Venezuela. <https://acortar.link/dgovcE>
- Sánchez, J., Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., & Sunkel, O. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL. Cepal. <https://acortar.link/Ukvezr>
- Schmein (2022). Aislante térmico para hornos: ¿Qué material se usa para aislar el calor? <https://scheminperu.com/blog/aislante-termico-para-hornos-que-material-se-usa-para-aislar-el-calor/>.

## ANÁLISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

Valencia-Ochoa, G., Ramos, E., & Meriño, L. (2017). Energy planning for gas consumption reduction in a hot dip galvanizing plant. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 697-702.

<https://acortar.link/223gE3>

Velásquez Gómez, Yaneth y Rivera, José M. (1993). Estudio de las principales variables que influyen en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente. [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.]. Facultad Ingenierías Físico-Químicas.

## Apéndices

## Apéndice A. Cotización de láminas de acero al carbono 9 mm

Cotización: OV410688

CC:



Peso Total

1,905.50

Fecha

20-09-2024

Vigencia 1 día



Descripción	Cantidad	Medida	Peso	Precio Unitario	Precio Total
Lámina HR A36 9.0mm x 1.00m x 2.00m	1.00	Unidades	141.30	441,562.99	441,563.00
Lámina HR A36 9.0mm x 1.20m x 2.40m	1.00	Unidades	203.50	635,938.01	635,938.00
Lámina HR A36 9.0mm x 1.20m x 6.00m	1.00	Unidades	508.70	1,589,688.01	1,589,688.00
Lámina HR A36 9.0mm x 2.44m x 6.10m	1.00	Unidades	1,052.00	3,451,875.00	3,451,875.00

Observaciones:

<b>Base:</b>	\$ 6,119,064.00
<b>Impuestos:</b>	\$ 1,162,622.00
<b>Total:</b>	\$ 7,281,686.00

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

## Apéndice B. Cotización de láminas de acero 9 mm

VENDEDOR: JOSE ARIZA

**CLIENTE** [REDACTED]

LUIS PINZON

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO ANTES DE IVA [\$COP/UND]	CANTIDAD [und]	PRECIO TOTAL [\$COP]
1	PLATINA HR 9x1000x1000mm	\$ 400.519	14	\$ 5.607.270
2	PLATINA HR 12X1000x1000mm	\$ 493.313	14	\$ 6.906.375
<b>Subtotal</b>				\$ 12.513.645
<b>IVA</b>				\$ 2.377.593
<b>TOTAL</b>				\$ 14.891.238

**Condiciones Comerciales:**  
 Forma de pago contado  
 Tiempo de entrega: A convenir  
 Mercancía sujeta a disponibilidad.

NUMERO DE CUENTA AHORROS BANCOLOMBIA  
 29800002698

## Apéndice C. Cotización de Zinc

**Zinc Zn pureza 99,99% zinc bruto  
puro metal elemento 30 pirámides  
10gr-5kg**

✓ 47 Product Sales

Zinc Zn pureza 99,99% zinc puro elemento metálico puro 30  
pirámides 10gr-5kg

Peso

10gr (0.01kg) ▼

**6,00 €** Impuestos incluidos  
(600,00 €/kg)

Cantidad

1

🛒 AÑADIR AL CARRITO

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

**Apéndice D. Cotización de Ladrillo de alta temperatura**

NIT: 901.195.940 – 3

**COTIZACION No 200924**

Bogotá, 20 de Septiembre del 2024

Señores:

**LUIS DANIEL TORRES PINZON**

Ciudad

Estamos cotizando el siguiente material de construcción.

CANTIDAD	DESCRIPCION	MEDIDA	VR.UNITARIO	VR.TOTAL
300 UNDS	LADRILLO DE ALTA TEMPERATURA	24X12X6	6.900	2.070.000
<b>TOTAL</b>				<b>2.070.000</b>

**NOTA:**

1. El precio del material es puesto en obra e incluye transporte.
2. El precio de la materia no incluye descargue en obra.

Bancolombia cuenta de ahorros N° 62700000226 a Nombre de Arcillas Amaya.

**FORMA DE PAGO:** Contado anticipado 100%**SITIO DE ENTREGA:** Pamplona (Norte de Santander)**OFERTA VALIDA:** 3 Días.

\_\_\_\_\_  
**CRISTIAN AMAYA**  
 Representante Legal  
**ARCILLAS AMAYA SAS**

## ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

## Apéndice E. Cotización de Quemador a gas



## COTIZACIÓN


NIT 901167273-1  
Cra 68H # 78 - 95  
(571) 7511028 - 3119784  
[www.exhibirequipos.com](http://www.exhibirequipos.com)  
Bogota, Colombia

bucaramanga, 2024-09-21

Información general	
Cliente:	luis daniel torres pinzon NIT: #####
Contacto:	Teléfono:
Dirección:	Correo:

Número de cotización
COT10873

Fecha de validez
2024-09-28

Item	Producto	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Descuento	Valor TOTAL
1	Quemador a Gas Beckett 250.000 BTU CG4	 <p>Quemador a gas para uso industrial marca Beckett con potencia calorífica entre 80.000 y 250.000 BTU/hora; para uso en hornos industriales, hornos para pizza, para secado de ladrillo, calderas y deshidratadores, entre otros.</p> <p>In StockCG4 Especificaciones técnicas MarcaBeckett ReferenciaCG4 Potencia80.000 - 250.000 BTU/hr Modo de encendidoOn-Off CombustibleGas Natural - Gas Propano Presión de suministro de gasEntre 4.5" WC - 14" WC máximo Voltaje120v - 60Hz Valvula de gas24 Voltios AC Control del quemadorBeckett 7474001 Detección de llamaRectificación de llama EncendedorBeckett 7474001 encendido a gas Motor1/7 Hp Prueba de aire de combustiónPresostato diferencial Peso55 lbs. Dimensiones10.3" x 13.1" x 15.8"</p>	1	\$ 3,312,437.00	\$ 0.00	\$ 3,312,437.00

EXHIBIR EQUIPOS INDUSTRIALES S.A.S (571) 7511028 - 3119784

[www.exhibirequipos.com](http://www.exhibirequipos.com)

Cra 68H # 78 - 95

Pág 1 de 2



(571) 7511028 - 3119784  
[www.exhibirequipos.com](http://www.exhibirequipos.com)  
Bogota, Colombia

Subtotal:	\$ 3,312,437.00
Descuento:	\$ 0.00
IVA (19.00 %)	\$ 629,363.03
Valor TOTAL:	\$ 3,941,800.03

Contacto Comercial  
Lina Daniela Gonzalez







**Concreto Refractario.**  
<https://refractariosdecolombia.mercadoshops.com.co>

\$68.000,00

**CONCRETO REFRACTARIO**

Es una mezcla seca para hacer concreto desarrollada con alto porcentaje de alúmina. Ideal para aplicaciones en zonas donde la temperatura no exceda 1500°C. Conserva sus propiedades mecánicas a altas temperaturas, posee alta refractariedad, resistente a la abrasión y corrosión química. Listo para solo adicionar agua. <https://refractariosdecolombia.mercadoshops.com.co>

## CONCRETO REFRACTARIO

### Descripción

Es una mezcla de materiales refractarios (sílice y alúmina en su mayoría) en diferentes proporciones y granulometrías resultando un material muy similar al cemento común, pero con propiedades de aislamiento y resistencia al calor, ideal para las altas temperaturas, donde se recomienda utilizar sílice de alta calidad.

### Aplicaciones Típicas

- Paredes, pisos y Techos de hornos (industriales y domésticos).
- "Cubo" de los quemadores.
- Canales de Sangrado.

		Al 48	Al 60	Al 90
Análisis Químico (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	> 48%	> 60%	86 - 90%
	SiO <sub>2</sub>	< 45%	> 35%	5 - 6%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 2.5%	< 1.8%	1.0 - 1.5%
	CaO	< 6%	< 5%	1.5 - 2%
Máxima Temp. de trabajo	(°C)	1.400	1.500	1.750
Densidad Aparente	g/cm <sup>3</sup>	> 2.15	> 2.3	2.9 - 3.0
Resistencia a la compresión (Mpa)	110°C	> 45 Mpa	> 65 Mpa	> 70 Mpa
	1100°C	> 40 Mpa	> 60 Mpa	> 85 Mpa
Módulo de Ruptura (Mpa)	110°C	> 7 Mpa	> 11 Mpa	> 12 Mpa
	1100°C	> 6 Mpa	> 9Mpa	> 12 Mpa
Forma de instalación		Con agua / Vibrado		

## ANÁLISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

## Apéndice J. Costo de gas natural industrial por metro cubico

**EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN**  
**APLICACIÓN TARIFAS GAS NATURAL**  
**Valle de Aburrá**

Consumos septiembre de 2024

Facturación octubre de 2024

SECTOR/ESTRATO	CARGO FIJO \$/Usuario	RANGOS DE CONSUMO	
		0 - 20 m <sup>3</sup> \$/m <sup>3</sup>	más de 20 m <sup>3</sup> \$/m <sup>3</sup>
Residencial			
Estrato 1		1,331.50	2,399.88
Estrato 2		1,656.06	2,399.88
Estrato 3	4,051.54	2,399.88	2,399.88
Estrato 4	4,051.54	2,399.88	2,399.88
Estrato 5	4,861.85	2,879.86	2,879.86
Estrato 6	4,861.85	2,879.86	2,879.86
<b>No Residencial</b>			
Rango 1 Cogeneración, Autogeneración, oficiales y exentos	4,051.54	2,039.91	2,039.91
Rango 1 Industrial, comercial y otros con contribución	4,412.13	2,221.46	2,221.46

*El rango 1 Industrial, Cogeneración y Autogeneración comprende consumos 0 - 85.000*

*El rango 1 comercial, oficiales, exentos y otros comprende consumos > 0*



ANALISIS INTEGRAL DE UNA CUBA

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460
-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400
-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000
-\$ 8.330.000							-\$ 8.330.000			
\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000
-\$ 5.057.860	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	-\$ 5.057.860	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140
-\$ 446.309	\$ 272.136	\$ 256.490	\$ 241.744	\$ 227.845	\$ 214.746	\$ 202.399	-\$ 294.868	\$ 179.795	\$ 169.458	\$ 159.716
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
-\$ 5.057.860	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	-\$ 5.057.860	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140
\$ 40.538.730,6	\$ 37.645.203,7	\$ 43.413.301,7	\$ 49.533.253,6	\$ 56.026.522,7	\$ 62.915.881,1	\$ 70.225.490,4	\$ 77.980.985,8	\$ 77.371.436,5	\$ 85.562.834,7	\$ 94.253.908,1
\$ 35.480.871	\$ 40.917.344	\$ 46.685.442	\$ 52.805.394	\$ 59.298.663	\$ 66.188.021	\$ 73.497.630	\$ 72.923.126	\$ 80.643.576	\$ 88.834.975	\$ 97.526.048

52	53	54	55	56	57	58	59	60
-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460	-\$ 5.971.460
-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400	-\$ 11.656.400
-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000	-\$ 1.100.000
			-\$ 8.330.000					
\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000	\$ 22.000.000
\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	-\$ 5.057.860	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140
\$ 150.533	\$ 141.878	\$ 133.721	-\$ 194.814	\$ 118.787	\$ 111.958	\$ 105.521	\$ 99.454	\$ 93.737
52	53	54	55	56	57	58	59	60
\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	-\$ 5.057.860	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140	\$ 3.272.140
\$ 103.475.137,0	\$ 113.258.860,9	\$ 123.639.392,0	\$ 134.653.135,5	\$ 137.500.587,3	\$ 149.359.863,6	\$ 161.942.555,8	\$ 175.292.792,3	\$ 189.457.393,2
\$ 106.747.277	\$ 116.531.001	\$ 126.911.532	\$ 129.595.275	\$ 140.772.727	\$ 152.632.004	\$ 165.214.696	\$ 178.564.932	\$ 192.729.533