UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIRÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

TEMA:

” MODELADO PARAMÉTRICO DE MOLDES PARA BLOQUES SEGÚN INEN-3066 Y NORMATIVA DE CALIDAD INDUSTRIAL APLICANDO SOFTWARE DE DISEÑO Y SIMULACIÓN POR COMPUTADOR ”

AUTOR: Tatayo Tipantasi Erick Alexander
DIRECTOR: PhD. Valencia Chapi Robert Mauricio

Ibarra – Ecuador
2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	TATAYO TIPANTASI ERICK ALEXANDER

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MODELADO PARAMÉTRICO DE MOLDES PARA BLOQUES SEGÚN INEN-3066 Y NORMATIVA DE CALIDAD INDUSTRIAL APLICANDO SOFTWARE DE DISEÑO Y SIMULACIÓN POR COMPUTADOR
AUTOR (ES):	TATAYO TIPANTASI ERICK ALEXANDER
FECHA: DD/MM/AAAA	Ibarra, a los 25 días del mes de agosto de 2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ PREGRADO ☐ POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO INDUSTRIAL
DIRECTOR /ASESOR:	PHD. VALENCIA CHAPI ROBERT MAURICIO / ING. ERAZO ARTEAGA VICTOR ALFONSO

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de agosto de 2026

EL AUTOR:



Firma
Nombre Tatayo Tipantasi Erick Alexander

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, a los 25 días del mes de agosto de 2026

PhD. Valencia Chapi Robert Mauricio
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Firmado electrónicamente por VALENCIA CHAPI ROBERT MAURICIO - ***9849**.



PhD. Valencia Chapi Robert Mauricio

C.C: 1003134879

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ Modelado paramétrico de moldes para bloques según INEN-3066 y normativa de calidad industrial aplicando software de diseño y simulación por computador ” elaborado por Tatayo Tipantasi Erick Alexander , previo a la obtención del título del INGENIERO INDUSTRIAL , aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Firmado electrónicamente por VALENCIA CHAPI ROBERT MAURICIO - ***9849**.

PhD. Valencia Chapi Robert Mauricio

C.C: 1003134879

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
VICTOR ALFONSO ERAZO ARTEAGA

Ing. Erazo Arteaga Victor Alfonso

C.C: 1719188029

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios por brindarme sus bendiciones, fortaleza, sabiduría y resiliencia para culminar esta etapa de mi proceso de formación académica con exitos.

Una dedicatoria especial a mi madre que a sido la persona que incondicionalmente me a brindado todo su apoyo y siempre a confiado en mi.

A mi familia que han sido un pilar fundamental que son su aliento y motivación me han impulsado a seguir adelante superando las adversidades y momentos difíciles.

Tatayo Tipantasi Erick Alexander

AGRADECIMIENTO

Un agradecimientos a todas el equipo que conforma la carrera de Ingeniería Industrial, ya que me han brindado la oportunidad de formar parte de esta maravillosa carrera y me han compartido sus conocimientos y experiencias para el desarrollo de mi formación profesional.

A mi madre un agradecimiento profundo ya que desde el día que emprendí el viaje a otra ciudad a cumplir esta meta siempre confió en mi capacidad y potencial que tengo, el camino a sido largo y de mucho esfuerzo pero al final con mucha dedicación y disciplina se a logrado conseguir las metas planteadas, también agradezco a mi madre por formarme con un carácter fuerte y disciplinado ya que eso me ayudado a ser la persona que soy.

Un agradecimiento a mi tutor y asesor de tesis, que desde el primer día siempre me brindaron su apoyo, muy aparte de guiarme en mi trabajo de titulación siempre fueron personas que me compartieron sus conocimientos y experiencias en todo este proceso universitario.

Finalmente un agradecimiento a todas las personas que estuvieron a mi lado en este proceso universitario y confiaron en que lo iba a lograr.

Tatayo Tipantasi Erick Alexander

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA 6

AGRADECIMIENTO 7

ÍNDICE DE FIGURAS 10

ÍNDICE DE TABLAS 13

RESUMEN 15

ABSTRACT 16

CAPÍTULO I

1.1 Planteamiento del Problema 17

1.2 Objetivos 18

1.2.1 Objetivo General 18

1.2.2 Objetivos Específicos 18

1.3 Alcance y delimitación 18

1.4 Justificación 19

CAPÍTULO II

2.1 Antecedentes 20

2.2 Bases Teóricas 21

CAPÍTULO III

3.1 Enfoque y tipos de investigación 26

3.2 Diseño de la investigación 27
3.2.1 Fase 1: Revisión Documental 28
3.2.2 Fase 2: Identificación de requerimientos funcionales 28
3.2.3 Fase 3: Modelado paramétrico CAD. 33
3.2.4 Fase 4:Simulación estructural CAE 35
3.2.4.1 Calculo de fuerzas de compactacción 35
3.2.5 Fase 5: Simulación del llenado del molde mediante SolidWorks Plastics 39
3.2.5.1 Configuración del sistema de inyección y mallado:. 39
3.3 Población y muestra 44
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de información 45
CAPÍTULO IV
4.1 Especificaciones del sistema a analizar 46
4.2 Planteamiento de alternativas de solución 47
4.3 Selección de la mejor solución (Análisis de Resultados) 48
4.3.1 Análisis de la Parte Macho (Pisón) 48
4.3.2 Ánalisis de la Parte Hembra (Cavidad) 53
4.3.3 Análisis del llenado (Parte Hembra) 59
4.4 Evaluación del modelo y factibilidad 61
CONCLUSIONES 63
RECOMENDACIONES 65
BIBLIOGRAFÍA 66
ANEXOS 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fases del Diseño de la investigación 27

Figura 2 Relación Fuerza-Deformación Molde de 10 Parte Macho 50
Figura 3 Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 10 Parte Macho 50
Figura 4 Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 10 Parte Macho 51
Figura 5 **Relación Fuerza-Deformación Molde de 10 Parte Hembra.** La gráfica ilustra el rápido incremento del desplazamiento ante cargas crecientes. Al llegar a la fuerza extrema de 10,000 N, la deformación máxima asciende a 0,52 mm, demostrando una notable flexión estructural. 55
Figura 6 **Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 10 Parte Hembra.** La gráfica se ilustra el drástico aumento de la tensión de Von Mises frente a la carga que se aplicada. El esfuerzo se dispara superando los 390 MPa en el escenario más crítico, excediendo severamente el límite elástico. 55
Figura 7 **Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 10 Parte Hembra**. La tendencia decreciente esta confirmando la alta vulnerabilidad de la geométrica de esta pieza. La curva cae por debajo del valor seguro de 1 antes de alcanzar la fuerza de 4000 N, ratificando la falla inminente ante las sobrecargas. 56
Figura 8 **Deformación con fuerza 1960 N molde de 10 parte macho.** La simulación evidencia mediante un mapa de colores el desplazamiento de la geometría bajo carga. Se observa que la deformación máxima es de 0,12 mm se concentra en los bordes exteriores, manteniéndose firmemente dentro de la tolerancias permitidas. 70
Figura 9 **Esfuerzos mecánicos con fuerza 1960 N molde de 10 parte macho.** El análisis visualiza la distribución de la tensión equivalente. Se identifica que los esfuerzos máximos alcanzan los 17,66 MPa, concentrándose en puntos específicos sin superar el limite elástico del material. 70
Figura 10 **Factor seguridad con fuerza 1960 N molde de 10 parte macho**. Este mapa identifica las areas de integridad estructural bajo la carga base. Toda la geometria se mantiene en un rango altamente seguro, confirmando un factor minimo de 8,21 que garantiza que la pieza no fallará. 71
Figura 11 **Deformación con fuerza 10000 N molde de 10 parte macho.** El mapa de colores evidencia el desplazamiento máximo de 0,61 mm bajo la carga extrema. Aunque la deformación aumenta significativamente, la pieza mantiene su forma general sin colapsar. 71
Figura 12 **Esfuerzos mecánicos con fuerza 10000 N molde de 10 parte macho**. Se observa la concentración de la tensión de Von Mises alcanzando los 90,14 MPa. Las zonas rojas indican los puntos críticos donde el material absorbe la mayor carga durante la compactación máxima. 72
Figura 13 **Factor seguridad con fuerza 10000 N molde de 10 parte macho**. El mapa identifica las áreas de riesgo al aplicar la carga máxima. Las zonas naranjas muestran que el factor mínimo es 1,61, indicando que la pieza entra en zona de fluencia en esos puntos específicos. 72

Figura 14 **Relación Fuerza-Deformación Molde de 15 Parte Macho.** En la gráfica se ilustra el incremento progresivo del desplazamiento ante las cargas aplicadas, se evidencia que incluso a la fuerza máxima de 10,000 N la deformación alcanza apenas 0,53 mm manteniendo la estabilidad. 73
Figura 15 Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 15 Parte Macho. En la gráfica demuestra el aumento proporcional de la tensión de Von Mises, el esfuerzo máximo llega a 70,55 MPa en el escenario crítico lo que confirma que el material soporta la exigencia sin fallar. 73
Figura 16 **Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 15 Parte Macho.** En la tendencia decreciente advierte la reducción del margen de seguridad estructural, sin embargo pese a la sobrecarga extrema la pieza conserva un factor mínimo de 2,05 garantizando su viabilidad operativa. 74
Figura 17 **Relación Fuerza-Deformación Molde de 20 Parte Macho.** En la gráfica ilustra el incremento del desplazamiento estructural ante las diferentes cargas aplicadas, se evidencia que a la fuerza máxima de 10,000 N la deformación alcanza apenas 0,48 mm manteniendo la estabilidad. 74
Figura 18 **Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 20 Parte Macho**. En la gráfica demuestra el aumento proporcional de la tensión de Von Mises, El esfuerzo máximo llega a 53,40 MPa en el escenario crítico confirmando que el material soporta la exigencia con solvencia. 75
Figura 19 **Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 20 Parte Macho.** En la tendencia advierte la reducción del margen de seguridad al incrementar la compactación. Pese a la sobrecarga extrema de 10,000 N la pieza conserva un factor seguro de 2,71 descartando posibles fallos. 75
Figura 20 **Deformación con fuerza 2058 N molde de 10 parte hembra.** En la simulación muestra el desplazamiento del material bajo la carga mínima operativa, la deformación máxima alcanza apenas los 0,11 mm en las paredes laterales manteniéndose dentro de los límites dimensionales aceptables. 76
Figura 21 **Esfuerzos mecánicos con fuerza 2058 N molde de 10 parte hembra.** En la imagen se visualiza la distribución de tensiones de Von Mises con un pico máximo de 80,42 MPa, en las zonas de mayor esfuerzo se concentran en las esquinas internas de la cavidad pero no superan el límite elástico. 76
Figura 22 **Factor seguridad con fuerza 2058 N molde de 10 parte hembra.** El mapa de colores evalúa la integridad estructural de la pieza bajo la carga inicial. La geometría se mantiene estable, obteniendo un factor de seguridad mínimo de 1,80 en sus zonas críticas (color amarillo). 77
Figura 23 **Deformación con fuerza 3058 N molde de 10 parte hembra.** El análisis ilustra el desplazamiento estructural en el punto exacto de fallo. La deformación alcanza los 0,15 mm, mostrando cómo las paredes centrales ceden al incrementar la carga. 77
Figura 24 **Esfuerzos mecánicos con fuerza 3058 N molde de 10 parte hembra.** Se evidencia la concentración de tensiones en la pieza, alcanzando un pico máximo de 119,53 MPa. Las zonas rojas indican los puntos críticos donde el material sobrepasa su límite elástico y empieza a fallar. 78
Figura 25 **Factor seguridad con fuerza 4058 N molde de 10 parte hembra.** El mapa confirma visualmente que bajo esta carga la pieza entra en zona de riesgo. Las áreas críticas (color rojo) muestran un factor de 0,91, indicando fluencia estructural. 78
Figura 26 **Deformación con fuerza 2175,6 N molde de 15 parte hembra.** La simulación muestra el desplazamiento inicial bajo la carga operativa base. La deformación máxima es de 0,10 mm, concentrada en el centro de las caras laterales, manteniendo una excelente estabilidad geométrica. 79

Figura 27 **Esfuerzos mecánicos con fuerza 2175,6 N molde de 15 parte hembra.** El mapa de tensiones de Von Mises indica un pico máximo de 57,86 MPa. Las áreas de mayor fatiga se ubican en las aristas internas, pero operan de forma segura sin llegar al límite de fluencia. 79
Figura 28 **Factor seguridad con fuerza 2175,6 N molde de 15 parte hembra.** Se evalúa la integridad de la pieza bajo la fuerza inicial de compactación. La estructura resulta confiable, arrojando un factor mínimo seguro de 2,50 en sus zonas más críticas. 80
Figura 29 **Deformación con fuerza 4175,6 N molde de 15 parte hembra.** El análisis ilustra el comportamiento del molde justo al entrar en la zona de riesgo. La deformación máxima asciende a 0,19 mm, evidenciando una flexión pronunciada en el centro de las placas. 80
Figura 30 **Esfuerzos mecánicos con fuerza 4175,6 N molde de 15 parte hembra.** Se observa una peligrosa concentración de tensiones, alcanzando los 111,07 MPa. Las zonas rojas señalan los puntos críticos donde el material comienza a ceder ante la sobrecarga. 81
Figura 31 **Factor seguridad con fuerza 6175,6 N molde de 15 parte hembra.** El mapa confirma visualmente la inestabilidad estructural de la pieza. Las áreas críticas (color rojo) descienden a un factor de 0,88, indicando que el diseño no soporta esta magnitud de carga. 81
Figura 32 **Relación Fuerza-Deformación Molde de 15 Parte Hembra.** La gráfica ilustra el incremento del desplazamiento bajo carga progresiva. A la fuerza extrema de 10,000 N, la deformación máxima alcanza los 0,46 mm, evidenciando la flexión de las paredes. 82
Figura 33 **Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 15 Parte Hembra.** La gráfica demuestra el aumento de la tensión de Von Mises frente a la carga. El esfuerzo llega a aproximadamente 266 MPa en el escenario crítico, superando el límite elástico del material. 82
Figura 34 **Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 15 Parte Hembra.** La tendencia decreciente advierte la rápida pérdida de integridad estructural. La curva cae por debajo de 1 al superar los 5000 N, confirmando la falla de la pieza ante sobrecargas. 83
Figura 35 **Deformación con fuerza 2254 N molde de 20 parte hembra.** La simulación evidencia el desplazamiento inicial bajo la carga operativa base. La deformación máxima es de apenas 0,09 mm en las paredes laterales, demostrando gran estabilidad geométrica. 83
Figura 36 **Esfuerzos mecánicos con fuerza 2254 N molde de 20 parte hembra.** El mapa de tensiones de Von Mises señala un esfuerzo máximo de 38,38 MPa. Las áreas de fatiga se ubican en las aristas internas, pero operan de forma segura sin acercarse a la fluencia. 84
Figura 37 **Factor seguridad con fuerza 2254 N molde de 20 parte hembra**. Se evalúa la integridad estructural bajo la fuerza inicial de compactación. La pieza resulta altamente confiable, arrojando un factor de seguridad mínimo de 3,78 en sus zonas críticas. 84
Figura 38 **Deformación con fuerza 5254 N molde de 20 parte hembra.** El análisis ilustra el comportamiento de la pieza al alcanzar la zona de riesgo estructural. La deformación máxima asciende a 0,21 mm, evidenciando una flexión visible en el centro de las caras. 85
Figura 39 **Esfuerzos mecánicos con fuerza 5254 N molde de 20 parte hembra.** Se observa una fuerte concentración de tensiones, alcanzando los 89,46 MPa. Las zonas rojas señalan los puntos críticos en las esquinas donde el material comienza a ceder ante la sobrecarga. 85

Figura 40 **Factor seguridad con fuerza 9254 N molde de 20 parte hembra.** El mapa confirma visualmente el inicio de la inestabilidad en la estructura. Las áreas críticas (color rojo) descienden a un factor de 0,92, indicando fluencia en el material. 86
Figura 41 **Relación Fuerza-Deformación Molde de 20 Parte Hembra.** La gráfica ilustra el incremento del desplazamiento ante la aplicación de carga progresiva. En el escenario extremo de 10,000 N, la deformación máxima alcanza aproximadamente los 0,42 mm, evidenciando la flexión de la pieza. . . 86
Figura 42 **Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 20 Parte Hembra.** La gráfica ilustra el incremento de la tensión de Von Mises frente a la carga aplicada. En el escenario crítico de 10,000 N, el esfuerzo supera los 170 MPa, excediendo el límite elástico del material. 87
Figura 43 **Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 20 Parte Hembra.** La tendencia decreciente confirma la rápida pérdida de integridad estructural. La curva cae por debajo de 1 al superar los 8000 N, alertando sobre la inminente fluencia y falla de la pieza. 87
Figura 44 **Simulación de Inyección al Molde de 10 Parte Hembra.** El análisis de fluidos visualiza el avance del frente de flujo del material. Se evidencia que la cavidad se llena en su totalidad en un tiempo máximo de 0,0985 segundos, garantizando una distribución uniforme sin atrapamientos de aire. 88
Figura 45 **Simulación de Inyección al Molde de 15 Parte Hembra.** El análisis de fluidos visualiza el avance del material dentro de la cavidad geométrica. Se comprueba que el llenado total se logra en un tiempo máximo de 0,1001 segundos, asegurando una inyección continua y sin defectos. 89
Figura 46 **Simulación de Inyección al Molde de 20 Parte Hembra**. El análisis de fluidos muestra el avance continuo del material dentro de la cavidad geométrica. Se verifica que el llenado total se alcanza en un tiempo máximo de 0,0992 segundos, asegurando una distribución uniforme y sin defectos. 90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación entre NTE INEN 3066 y ASTM C90 28
Tabla 2 Voz del Cliente 29
Tabla 3 Critico para la calidad 30
Tabla 4 Relación VOC → Parámetros CTQ 31
Tabla 5 Casa de la Calidad 32
Tabla 6 Prioridades obtenidas a partir de la matriz QFD 33
Tabla 7 Parámetros del modelado CAD 34
Tabla 8 Variables para el modelado CAD 34
Tabla 9 Resultados principales del análisis CAE 35
Tabla 10 Propiedades del concreto - Elaboración propia de la librería de materiales del software ANSYS 39
Tabla 11 Técnica e instrumentos de recolección de información 45
Tabla 12 Resumen de Fuerzas Aplicadas por Tamaño de Molde 46
Tabla 13 Presiones de inyección referenciales para moldes hembra según tamaño . 47
Tabla 14 Resultados de simulación para molde de 10 49
Tabla 15 Resultados de simulación para molde de 15 52
Tabla 16 Resultados de simulación para molde de 20 53
Tabla 17 Resultados de simulación para molde de 10 54
Tabla 18 Resultados de simulación para molde de 15 57
Tabla 19 Resultados de simulación para molde de 20 58
Tabla 20 Parámetros de llenado e inyección para molde de 10 59
Tabla 21 Parámetros de llenado e inyección para molde de 15 60
Tabla 22 Parámetros de llenado e inyección para molde de 20 61

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar una propuesta de modelado paramétrico de moldes para bloques de hormigón que garantice el cumplimiento de las especificaciones de la normativa INEN-3066 y los criterios de calidad industrial requeridos por la empresa FAMEY BLOG, Ante los desafíos de estandarización, altos tiempos de rediseño y la falta de validación estructural en la manufactura tradicional, se implementó una metodología de enfoque mixto basada en herramientas de diseño y simulación asistida por computador (CAD-CAE). Mediante la aplicación de las matrices VOC y QFD, se tradujeron los requerimientos operativos en parámetros de diseño controlables, estableciendo las dimensiones y los espesores como elementos críticos, el modelado tridimensional paramétrico se ejecutó en SolidWorks, evaluando tres configuraciones comerciales (moldes de 10, 15 y 20 cm), posteriormente, se sometió el modelo a un Análisis de Elementos Finitos (FEA) en ANSYS bajo cargas iterativas de hasta 10,000 N, y a un estudio de llenado en SolidWorks Plastics. Los resultados estructurales evidenciaron que el componente ”Macho”posee una rigidez sobresaliente (factor de seguridad fatige $\geq 1{,}22$), mientras que la matriz ”Hembrarepresenta la parte mas crítica, alcanzando el límite de fluencia a partir de los 4058 N en la configuración de 10 cm. Adicionalmente la simulación de llenado comprobó la viabilidad de un ciclo de inyección inferior a 0.11 segundos, demandando presiones proporcionales al volumen de la cavidad de 6.1 a 12.9 MPa y se concluye que la implementación del modelo paramétrico esto es altamente factible, previniendo las fallas antes de la fabricación física y asegurando las tolerancias dimensionales estrictas, esto optimiza significativamente la eficiencia técnica y productiva de la industria metal mecánica con un enfoque al ahorro de tiempo y de dinero.

Palabras clave: Modelado paramétrico, diseño CAD-CAE, método de elementos finitos, simulación reológica, moldes industriales, bloques de hormigón, norma INEN-3066.

ABSTRACT

The present research aims to develop a parametric modeling proposal for concrete block molds that guarantees compliance with the specifications of the INEN-3066 standard and the industrial quality criteria required by the FAMEY BLOG company. Faced with the challenges of standardization, high redesign times, and the lack of structural validation in traditional manufacturing, a mixed-approach methodology based on computer-aided design and simulation tools (CAD-CAE) was implemented. Through the application of VOC and QFD matrices, operational requirements were translated into controllable design parameters, establishing dimensions and thicknesses as critical elements. The three-dimensional parametric modeling was executed in SolidWorks, evaluating three commercial configurations (10, 15, and 20 cm molds). Subsequently, the model was subjected to a Finite Element Analysis (FEA) in ANSYS under iterative loads of up to 10,000 N, and a filling study in SolidWorks Plastics. Structural results showed that the ”Macho”(punch) component possesses outstanding rigidity (safety factor fatige $\geq$ 1,22), while the ”Hembra”(cavity) matrix represents the most critical part, reaching the yield point from 4058 N in the 10 cm configuration. Additionally, the filling simulation verified the feasibility of an injection cycle of less than 0.11 seconds, demanding pressures proportional to the cavity volume (from 6.1 to 12.9 MPa). It is concluded that the implementation of the parametric model is highly feasible, preventing failures prior to physical manufacturing and ensuring strict dimensional tolerances, which significantly optimizes the technical and productive efficiency of the metal-mechanic industry, with a focus on saving time and money.

Keywords: Parametric modeling, CAD-CAE design, finite element method, rheological simulation, industrial molds, concrete blocks, INEN-3066 standard.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

La empresa FAMEY BLOG, dedicada a la fabricación de moldes para bloques en el sector de la mecánica industrial, enfrenta desafíos relacionados con la estandarización y eficiencia en el diseño de sus moldes, actualmente el diseño se sus matrices. Actualmente este proceso se realiza de forma tradicional y no paramétrica, lo que limita la capacidad de modificar dimensiones ágilmente, dificulta la reutilización de modelos previos y genera un riesgo latente de incumplimientos con la normativa técnica INEN-3066.

La causa principal de esta problemática radica en la falta de integración de herramientas avanzadas de ingeniería. La ausencia de un modelado paramétrico asistido por computador (CAD/CAM/CAE) impide controlar parámetros clave del diseño y validar de manera automatizada la calidad estructural del producto final.En consecuencia , se obstaculiza la estandarización del proceso productivo, se prolongan los tiempos de desarrollo y aumenta significativamente la probabilidad de errores de manufactura, factores que se traducen en costos adicionales por retrabajos y una disminución general de la productividad.

Por lo tanto plantear una propuesta de modelado paramétrico de moldes para bloques que garantice el cumplimiento de la norma INEN-3066 y otros criterios de calidad que se maneja a nivel industrial es factible. Mediante el uso estratégico de herramientas de diseño asistido por computador (CAD), manufactura asistida (CAM) y simulación por computador (CAE), esta solución ayudara ha optimizar la eficiencia técnica, asegurar la calidad del molde y de los bloques, facilitando una rápida adaptabilidad geométrica ante las futuras exigencias de nuevas regulaciones.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una propuesta de modelado paramétrico de moldes de bloques de hormigón, para cumplir las especificaciones y requisitos técnicos según la normativa INEN-3066 y criterios de calidad industrial, mediante software CAD-CAM-CAE.

1.2.2 Objetivos Específicos

- • Analizar los requisitos técnicos establecidos en la normativa INEN-3066 y los criterios de calidad industrial aplicables al diseño de bloques de hormigón mediante la revisión documental técnica y normativa.

  • Modelar moldes paramétricos para bloques de distintos tamaños utilizando software CAD-CAM-CAE y evaluar su comportamiento estructural mediante simulaciones en ANSYS con el fin de identificar el modelo estandarizado que cumpla con los requisitos definidos en la normativa técnica.

  • Evaluar la adaptabilidad y precisión del sistema de modelado paramétrico en relación con los estándares establecidos en la norma INEN–3066 y requerimientos de otra normativa de calidad industrial.

1.3 Alcance y delimitación

La presente investigación se realizará en la empresa FAMEY BLOG y estará enfocada en el desarrollo de un modelo paramétrico de moldes para bloques de hormigón, conforme a los lineamientos de la norma INEN-3066 y criterios de calidad industrial. Se utilizará herramientas

CAD, CAM y CAE para diseñar, simular y validar digitalmente moldes ajustables en sus dimensiones clave, optimizado el proceso de diseño y reduciendo errores. El alcance se limita a la fase digital sin incluir la fabricaciones físicas ni pruebas en planta de producción de bloques.

1.4 Justificación

En la industria de la construcción los bloques de hormigón son componentes esenciales gracias a su resistencia, durabilidad y facilidad de fabricación. Sin embargo, la calidad de los bloques depende directamente de la precisión dimensional con la que se lo elabora y también de la parte estructural de los moldes con los que son fabricados. En este contexto la empresa FAMEY BLOG dedicada a la fabricación de los moles metálicos para bloques, enfrenta diferentes desafíos significativos relacionados con la estandarización, la eficiencia y el control de calidad en el proceso de diseño.

Para superar estas limitantes aportar con la aplicación de un modelado paramétrico mediante software CAD permite generar los diseños más versátiles, rápidos de modificar y con menor presencia de errores, lo cual mejora significativamente la productividad del área técnica [1]. Además, el uso de las herramientas CAM y CAE permite validar digitalmente los aspectos críticos como manufacturabilidad y la resistencia de la estructura de los moldes antes de realizar su fabricación física, esto se traduce en una reduciendo de los costos por retrabajos y garantizar el cumplimiento de normativas industriales [2].

En consecuencia, implementar una propuesta basada en diseño y simulación asistidos por computador permitirá a FAMEY BLOG optimizar sus procesos de ingeniería, asegurar el cumplimiento de la norma INEN-3066 y fortalecer su posición competitiva en un mercado que exige productos de alta calidad y tiempos de entrega reducidos. Finalmente, este proyecto también contribuye académicamente al demostrar cómo la digitalización del diseño industrial puede ser aplicada eficazmente en pequeñas y medianas empresas del sector mecánico-industrial.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En los últimos años, diversas investigaciones realizadas han abordado lo importancia que es la digitalización en la industria metalmecánica. En el estudio desarrollado por Pérez (2020), se diseñó un molde de inyección para los botones de aleación de zinc utilizando las herramientas CAD, CAM y CAE. Se implementaron softwares como SolidWorks para el modelado tridimensional del molde, el análisis de elementos finitos también para evaluar el flujo del material y simulaciones del mecanizado con herramientas CAM. Como resultado, se logró un diseño más optimizado, reduciendo los defectos como las rebadas y burbujas, lo que mejoró considerablemente la calidad del producto final [3].

Por su parte, Muñoz Escudero y Canzadilla Urriola (2024) llevaron a cabo una investigación en Panamá sobre la implementación de tecnologías CAD, CAM y CAE en el contexto de la industria 4.0. Se utilizó una metodología analítica para evaluar el impacto de estas herramientas en empresas industriales, se concluyó que su integración mejora la eficiencia, reduce errores de la fabricación y aumenta la precisión en los distintos procesos industriales, siendo clave para la transición tecnológica [4].

Asimismo, Solís Santamaría (2020) analizó el uso de sistemas CAD-CAM en el desarrollo de proyectos de moldeo para envases plásticos. Mediante un enfoque documental y bibliográfico, el autor describió las características del moldeo plástico y cómo la vinculación con sistemas CAD-CAM permite optimizar el diseño y la fabricación. Como resultado, se evidenció que estas herramientas son fundamentales para lograr productos de alta calidad, eficientes en tiempo y recursos [5].

En el ámbito nacional Sánchez (2019), en su tesis desarrollada en la Universidad Politécnica Salesiana (Ecuador), diseñó y simuló un molde de inyección para la fabricación de cuerpos dispensadores de agua utilizados en refrigeradoras. La utilización de software de diseño asistido por computadora, simulaciones estructurales con CAE y planificación de mecanizado, que redujo tiempos de fabricación y mejoró la repetibilidad del producto [6].

De igual manera, Gómez, Torre y Pérez (2024) aplicaron las herramientas de CAD/CAM para diseñar y fabricar prototipos de moldes de inyección para plásticos, emplearon software CAD para el diseño 3D, impresión 3D para el prototipado y tecnologías CAM para realizar la simulación del proceso de maquinado. El proyecto demostró que el uso de las herramientas de CAD/CAM permite un desarrollo más ágil y preciso, siendo ideal para las pequeñas y medianas industrias que buscan innovar en la manufactura de moldes [2].

Finalmente, Aigaje y Chalco (2021), realizaron un estudio en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) evaluando cómo la situación parcial del cemento por ceniza de cascarilla de arroz afecta el tiempo de fraguado y las propiedades físico-mecánicas de bloques huecos de hormigón. Dentro de los resultados del estudio se observaron mejoras en la resistencia a la compresión y absorción, cumpliendo con la norma INEN-3066 [7].

2.2 Bases Teóricas

Modelado Paramétrico

El modelado paramétrico nos permite generar geometrías que sean ajustables a través de variables o parámetros, facilitándonos la modificación y la optimización de los diseños sin alterar la estructura del como modelo base. Esta técnica es ampliamente utilizada en ingeniería mecánica para generar modelos reutilizables y adaptables a los diferentes requisitos dimensionales [8].

Norma INEN-3066

La norma INEN-3066 establece las características físicas y mecánicas de los bloques de hormigon en Ecuador, la misma define dimensiones, resistencia mínima a compresión,absorción de

agua y tolerancias permisibles [9]. Esta normativa es clave en el diseño de moldes que aseguren el cumplimento estructural del producto final.

Norma ASTM C90

La norma ASTM C90 es una especificación estándar internacional aplicable a las unidades de mampostería de concreto prefabricadas destinadas a soportar cargas estructurales. Esta normativa establece los requisitos dimensionales mínimos para el espesor de las paredes y tabiques internos (nervaduras) del bloque, así como las características físicas de resistencia a la compresión máxima, absorción de agua y clasificación por densidad del material. En el contexto del diseño y fabricación, la ASTM C90 actúa como un referente técnico de calidad industrial complementario a la normativa local, asegurando que las configuraciones paramétricas de los moldes generen cavidades exactas que garanticen la viabilidad mecánica, tolerancias precisas y la seguridad estructural del bloque final [10], [11].

Diseño Asistido por Computadora (CAD)

El Diseño Asistido por Computadora (CAD) es una tecnología que permite crear representaciones digitales de objetos físicos mediante modelos bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D). Esta herramienta facilita el desarrollo de productos, mejora la precisión en el diseño y reduce los errores asociados a los métodos manuales. Los sistemas CAD permiten establecer relaciones paramétricas entre las partes del diseño, haciendo que los cambios sean más rápidos y controlados [12].

Manufactura Asistida por Computadora (CAM)

La Manufactura Asistida por Computadora (CAM) es el proceso de utilizar software y maquinaria controlada por computadora para automatizar la fabricación de piezas. CAM convierte los modelos generados en CAD en instrucciones específicas para máquinas como tornos, fresadoras o impresoras 3D. Este sistema permite una producción más precisa, eficiente y repetible, además de minimizar el desperdicio de material y el tiempo de producción [13].

Ingeniería Asistida por Computadora (CAE)

La Ingeniería Asistida por Computadora(CAE) incluye el uso de software para simular el com-

portamiento físico de un diseño bajo condiciones reales, como esfuerzos mecánicos, deformaciones, análisis térmicos, entre otros. CAE permite la evaluación del rendimiento del producto antes de realizar su fabricación, identificando puntos críticos, reduciendo riesgos de fallas y la optimización el diseño, herramientas como ANSYS son ampliamente utilizadas para este fin **CAE**.

Calidad Industrial

La calidad industrial hace refencia al cumplimiento de productos o servicios con los requisitos específicos de funcionalidad, durabilidad, confiabilidad y de normativas técnicas. En la industria se utilizan sistemas de control de calidad, normativas nacionales e internacionales y procesos estandarizados para así garantizar que los productos cumplan con las expectativas del cliente y de regulaciones legales. El aseguramiento de la calidad involucra herramientas como el control estadístico de procesos, la inspección técnica y la validación del diseño [14].

Método de Elementos Finitos (FEM)

El Método de Elementos Finitos (FEME, por sus siglas en ingles) es un método utilizado para resolver problemas complejos de ingeniería y física matemática, tales como el análisis estructural, la transferencia de calor y el comportamiento de materiales. El principio fundamental del FEM consiste en las discretización de un dominio continuo en numero finito de subdominios geométricos mas pequeñas llamados .[el]ementos", los cuales están conectados por nodos. Al aplicar las ecuaciones de la mecánica de sólidos a cada elemento y ensamblarlas en un sistema global de matrices, es posible calcular de manera aproximada pero altamente precisa las tensiones, deformaciones y factores de seguridad de una pieza sometida a cargas externas [15].

Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD)

La Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD) es una rama de la mecánica de fluidos que utiliza algoritmos y métodos numérico para analizar y resolver problemas que involucran el flujo de fluidos, presiones y tiempos de llenado. En el contexto de la manufactura y moldeo, la CFD se apoya en los principios de la reología para simular el comportamiento viscoelástico de mezclas en estado fresco al ingresar a la cavidad cerrada. Estas simulaciones computacionales resuelven iterativamente las ecuaciones de Navier-Stokes para predecir variables criticas como la presión

de inyección necesaria, las lineas de soldadura, los tiempos de ciclo y la prevención de rapamientos de aire, permitiendo optimizar el diseño del sistema de colada antes de la manufactura [16].

Moldes para Bloques de Hormigón

Los moldes para bloques de hormigón son herramientas de conformación mecánica diseñadas para soportar altas cargas de vibración y compresión. Estructuralmente, están compuestos por una cada exterior y un conjuntos de pisones que actúan en sincronía mediante sistemas hidráulicos o mecánicos en la maquina bloquera. La rigidez y el limite elástico del acero utilizado en estos moldes son de vital importancia, ya que cualquier flexión geométrica o deformación plástica durante el ciclo de trabajo alterara directamente la tolerancia dimensional del bloque final , incumpliendo normativas de calidad industrial [17].

Herramienta de Calidad en el Diseño (QFD y VOC)

El Despliegue de la Función de Calidad (QFD, por sus siglas en inglés) es una metodología sistemática utilizada en la ingeniería y el diseño industrial para transformar las necesidades y expectativas cualitativas de los usuarios, conocidas como la Voz del Cliente (VOC), en especificaciones técnicas de diseño cuantificables. A través de herramientas matriciales como la Çasa de la Calidad", el QFD permite jerarquizar los parámetros críticos y se alinee estrictamente con los requerimientos operativos y normativos antes de iniciar su fase de manufactura o simulación [18].

Factor de Seguridad por Fatiga (Fatige)

A diferencia del factor seguridad estático, que evalua el riesgo de la falla inmediata comprando el esfuerzo máximo con el limite de fluencia de material, el factor de seguridad por fatiga evalua la vida útil un componente sometido a cargas cíclicas o repetitivas. La fatiga es el proceso de degradación estructural progresiva y localizada que ocurre cuando un material esta sujeto a tensiones dinámicas fluctuantes las cuales pueden provocar la falla geométrica incluso si los esfuerzo nominales máximos se encuentran muy por debajo del limite elástico del material. El factor de seguridad por fatiga se calcula relacionando los esfuerzo alterantes y medios aplicados con el limite de resistencia a la fatiga del material [19].

Teoría de Tensión Media de Goodman

En los componentes industriales sujetos a vibración y compactación, los esfuerzos fluctúan alrededor de un valor medio distinto de cero. Para evaluar la viabilidad de la pieza en estas condiciones, se emplea el criterio de falla por fatiga de Goodman modificado. Esta teoría establece una envolvente de falla trazando una línea recta en un diagrama de esfuerzos que conecta el límite de resistencia a la fatiga (S_e) en el eje de los esfuerzos alternantes, con el esfuerzo último a la tensión (S_{ut}) en el eje de los esfuerzos medios. Si la coordenada del estado de esfuerzos de la pieza analizada cae por debajo de la línea de Goodman, el diseño tiene un factor de seguridad por fatiga mayor a 1, garantizando una vida útil infinita o equivalente a los ciclos de diseño establecidos [19].

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque y tipos de investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos, debido a la naturaleza técnica del diseño paramétrico y al análisis documental del marco normativo. El enfoque cualitativo se aplica en la interpretación de los requisitos establecidos en la normativa INEN-3066 y en la norma ASTM C90; mientras que el enfoque cuantitativo se emplea en el modelado paramétrico, las simulaciones estructurales, las simulaciones de inyección en moldes y el análisis dimensional del molde.

Tipos de investigaciones aplicados

Investigación aplicada:

La presente investigación es de carácter aplicado, ya que se orienta a la solución de un problema real y tangible dentro de la empresa FAMEY BLOG, el estudio no busca generar nuevas teorías, sino emplear los conocimientos de la ingeniería y la implementación de herramientas CAD-CAM-CAE para optimizar directamente el proceso de fabricación de moldes [20].

Investigación experimental (simulación digital):

Se aplica un diseño de investigación experimental mediante simulación digital. Utilizando herramientas de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), específicamente ANSYS y SolidWorks Plastics, se manipulan intencionalmente las cargas de compresión y las presiones de inyección sobre el modelo paramétrico para analizar su comportamiento estructural bajo diferentes esfuerzos, sin incurrir en los costos de manufactura de prototipos físicos [21] [22].

Investigación de desarrollo tecnológico:

El estudio se enmarca también dentro de la investigación de desarrollo tecnológico, ya que aborda la creación e implementación de un sistema de modelado paramétrico estandarizado. Esta innovación tecnológica mejora de forma sustancial el proceso tradicional de diseño de moldes para bloques, introduciendo un control normativo automatizado que antes no existía en la empresa [23].

3.2 Diseño de la investigación

Para llevar a cabo la presente investigación de manera estructurada, se ha establecido un diseño metodológico compuesto por cinco fases operativa. Como se detalla en la Figura 1, en el proceso inicia con una revisión documental de la normativa vigente, seguida por la traducción de las necesidades operativas en requerimientos funcionales medibles. Posteriormente, la metodología avanza hacia la etapa de de ingeniería asistida por computador, donde se ejecuta el modelado paramétrico (CAD) y se culmina con la validación del diseño mediante simulaciones de elementos finitos (FEM) y dinámica de fluidos computacional (CFD) para garantizar su viabilidad estructural y de manufactura.

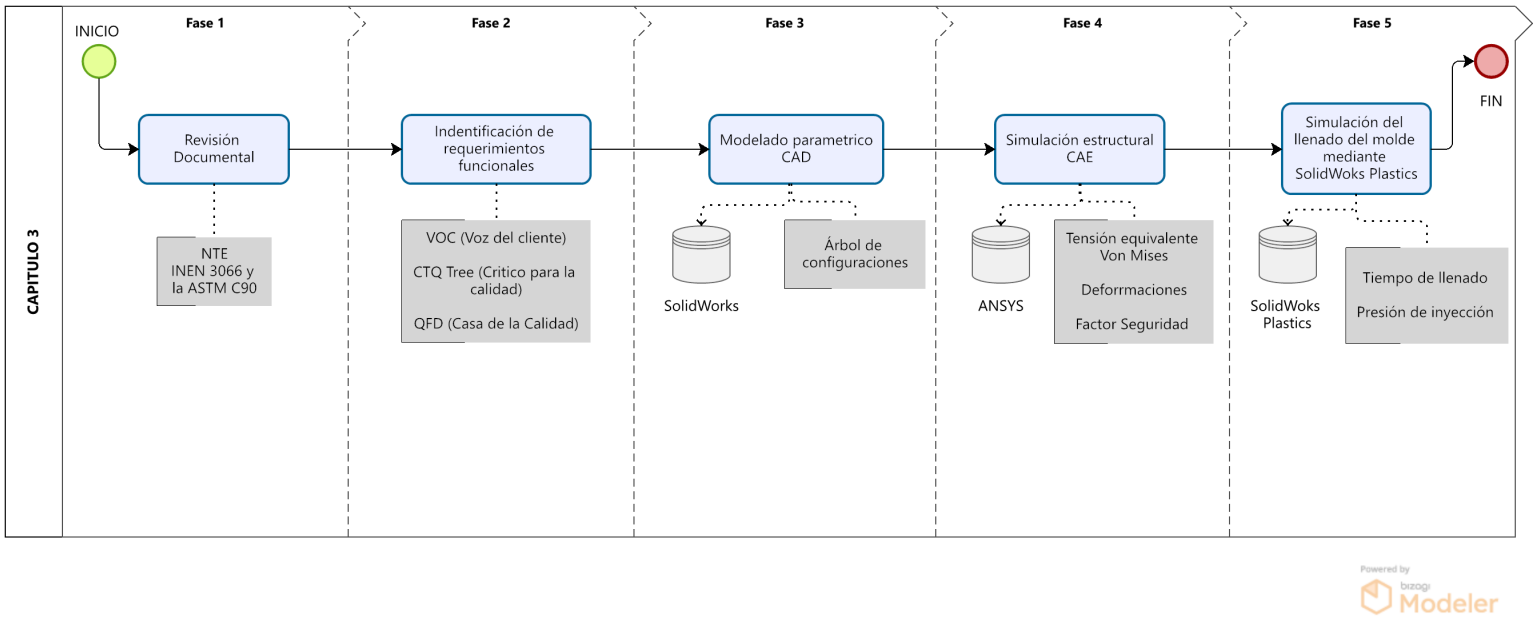


Figura 1. Fases del Diseño de la investigación

3.2.1 Fase 1: Revisión Documental

Objetivo de la fase 1 : El propósito principal de esta etapa es analizar y extraer los requisitos técnicos, definiciones, clasificaciones, dimensiones y tolerancias que establece la NTE INEN 3066 y la ASTM C90. Como se resume en la Tabla 1, este análisis comparativo permite definir los parámetros críticos que deben cumplir los bloques bajo estas normativas

Parámetro	NTE INEN 3066	ASTM C90
Objeto	Requisitos y métodos de ensayos para bloques de hormigón.	Especificación para unidades de mampostería de hormigón
Clasificación	Por uso: Clase A (estructural), B (no estructural), C (aligeramientos).	Por densidad: Lightweigth, Medium, Normal
Densidad kg/m^3	Liviano <1680; Mediano 1680–2000; Normal >2000.	Lightweigth <1680; Medium 1680-2000; Normal≥2000
Dimensión/Espesor	Espesor mínimo 13 mm en paredes/tabiques para Clases B y C; tabla específica para Clase A (mínimo 19 mm).	Espesores mínimos 3/4 in (≈19mm) para 3¨ y 4¨; 1 in (≈25mm) para 6¨; 1 1/4 in (≈32 mm) para 8¨+
Tolerancias	±3 para largo, ancho y altura (tolerancia máxima indicada).	La tolerancia para largo, ancho y altura ±1/8 (±3,2 mm).
Resistencia a compresión	Clase A: promedio 13,8 MPa; unidad mínima 12,4 MPa. Clase B: 4,0 MPa. Clase C: 1,7 MPa; unidad mínima 1,4 MPa.	Promedio (3 unidades) 2000psi ≈ 13.8 MPa; unidad individual mínima: 1800 psi ≈ 12.4 MPa

Tabla 1. Comparación entre NTE INEN 3066 y ASTM C90

3.2.2 Fase 2: Identificación de requerimientos funcionales

Objetivo de la fase 2: El propósito de esta etapa es identificar,organizar y priorizar los requerimientos técnicos y funcionales que debe cumplir el molde para bloques, integrado las normativas INEN-3066 y ASTM C90, junto con las necesidades de la empresa FAMEY BLOG. Todo esto con el fin de definir los parámetros críticos que controlaran el molde paramétrico.

Metodología utilizada

Para transforma las necesidades del cliente y los requisitos normativos en parámetros técnicos cuantificables , se utilizaron las siguientes herramientas de Ingeniería Industrial:

- VOC (Voz del cliente) Para identificar las necesidades funcionales del usuario final.
- CTQ Tree (Critico para la calidad) Para convertir dichas necesidades en requisitos técnicos evaluables.
- QFD (Casa de la Calidad) Para relacionar los requerimientos del cliente con parámetros geométricos del diseño.

a) Identificación de necesidades FAMEY BLOG (VOC): Para alinear el desarrollo del modelo paramétrico con las exigencias reales del usuario final y asegurar la optimización del proceso de fabricación de los moldes, se aplicó la herramienta analítica Voz del Cliente (VOC). Como se detalla en la Tabla 2 se identifica y describen las principales expectativas requeridas por la empresa FAMEY BLOG para la modernización de su departamento de ingeniería.

Necesidad del cliente (VOC)	Descripción
Rapidez en las modificaciones	Cambiar las dimensiones sin rehacer el molde
Modelos que sean reutilizables	Plantillas paramétricas para nuevos diseños
Cumplimiento normativo vigente	Evitar los errores en bloque final
Reducción de los errores de manufactura	Minimizar ajustes posteriores
Resistencia de los moldes	Soportar la presión del hormigón y vibración

Tabla 2. Voz del Cliente

b) Parámetros crticos de calidad (CTQ): Una vez identificados los requerimientos del cliente, es indispensable traducir estas necesidades cualitativos en especificaciones técnicas y

medibles para el diseño , esto se lo realiza a través de la herramienta Crítico para la Calidad (CTQ), con la cual se definieron las variables geométricas y mecánicas que gobernarán el modelo CAD. Como se detalla en la Tabla 3, estos parámetros incluyen el control de tolerancias dimensionales, la configuración de espesores, los ángulos de desmoldeo y el factor de seguridad estructural; elementos esenciales para garantizar que el molde fabricado sea robusto, eficiente y cumpla rigurosamente con la norma INEN-3066.

Parámetro crítico de calidad (CTQ)	**Descripción**
Longitud, ancho y altura	Controladas mediante parámetros paramétricos en CAD
Espesor de paredes	Estandarizado para asegurar uniformidad y resistencia
Refuerzos estructurales	Configurables según tipo de bloque y carga
Ángulos de desmoldeo	Parametrizados para facilitar extracción sin dañar el bloque
Cumplimiento de tolerancias	Verificación de dimensiones según INEN-3066 y ASTM C90
Factor de seguridad estructural	Garantiza que el molde soporte cargas durante la producción

Tabla 3. Critico para la calidad

Relación VOC → Parámetros CTQ

Como se indica en la siguiente Tabla 4, cada necesidad operativa extraída de la Voz del Cliente (VOC) se ha emparejado estratégicamente con su respectivo Parámetro Crítico de Calidad (CTQ), la matriz de relación demuestra de manera estructurada cómo los requerimientos de la empresa, tales como la reducción de errores de manufactura o la facilidad de extracción del bloque, serán resueltos y controlados específicamente a través de las herramientas de parame-

trización en el entorno CAD.

VOC (Necesidad del Cliente)	Parámetro CTQ	Descripción
Rapidez en modificaciones	Longitud, ancho y altura	Controladas mediante parámetros paramétricos en CAD
Modelos reutilizables	Configuraciones estándar	Plantillas base que permiten nuevos diseños
Cumplimiento normativo	Cumplimiento de tolerancias	Verificación de dimensiones según INEN-3066 y ASTM C90
Reducción de errores de manufactura	Espesor de paredes	Estandarizado y parametrizado para uniformidad
Resistencia del molde	Refuerzos estructurales y factor de seguridad	Configurables según tipo de bloque y cargas, garantizando seguridad
Facilidad de extracción	Ángulos de desmoldeo	Parametrizados para evitar daños al bloque y facilitar el desmoldeo

Tabla 4. Relación VOC → Parámetros CTQ

c) Relación entre necesidades y párametros (QFD): Se elaboró una matriz QFD que relaciono los requerimientos normativos y funcionales con los parámetros de diseño del molde, determinando los elementos de mayor impacto.

Requisitos del cliente (VOC) vs. Características técnicas del diseño

Para cuantificar la relación entre las necesidades del cliente (VOC) y las especificaciones de ingeniería, se elaboró la matriz denomida Casa de la Calidad (QFD). En la Tabla 5 se presenta esta evaluación cruzada, asignando un valor numérico al impacto que tiene cada característica

técnica sobre los requerimientos operativos, esto permite transformar expectativas cualitativas en parámetros de diseño controlables.

Requisitos del cliente (VOC)	**Dimensiones normati-vas**	**Tolerancias INEN-3066 / ASTM C90**	**Espesores estructu-rales del molde**	**Refuerzos y rigidez**	**Parámetros para modificar dimensio-nes**
Cumplimiento normativo	2	2	1	0	1
Reducción de errores de fabricación	1	3	3	2	1
Rapidez en modificacio-nes del diseño	0	1	0	0	3
Reutilización de modelos	1	1	0	1	2
Resistencia y durabilidad del molde	1	1	3	3	1
Diseño estandarizado del molde	3	1	3	2	1

Tabla 5. Casa de la Calidad

A partir de los resultados obtenidos en la matriz QFD, se jerarquizaron las variables con mayor peso para las simulaciones digitales. La Tabla 6 resume los puntajes totales que define las prioridades del diseño, el control de los espesores estructurales resulta ser el factor técnico más crítico (10 puntos), la reducción de errores y la estandarización se consolidan como los

requisitos operativos más principales. Esta priorización justifica un enfoque a los esfuerzos del análisis estructural (CAE) en optimizar la resistencia de las paredes del molde para bloques.

Elemento evaluado	**Puntaje total**
Características técnicas más importantes	
Espesores estructurales del molde	10
Tolerancias normativas (INEN-3066 / ASTM C90)	9
Parámetros para modificar dimensiones	9
Requisitos del cliente más influyentes	
Reducción de errores de fabricación	10
Diseño estandarizado del molde	10

Tabla 6. Prioridades obtenidas a partir de la matriz QFD

3.2.3 Fase 3: Modelado paramétrico CAD

Para la construcción del modelo, se seleccionaron herramientas tecnológicas específicas que permiten la automatización y flexibilidad del diseño, La Tabla 7 detalla los componentes del software CAD utilizado (SolidWorks) y justifica técnicamente el uso de sus módulos integrados, como las ecuaciones y las tablas de diseño. Estas herramientas son el motor informático que hace posible crear una geometría completamente paramétrica evitando el rediseño manual ante cada cambio dimensional.

Software	Función principal	Justificación técnica
SolidWorks	Modelado 3D paramétrico	Permite creación de árboles paramétricos, ecuaciones y tablas de diseño
Módulo de ecuaciones	Control geométrico	Relación matemática entre dimensiones del molde
Tablas de diseño	Variación automática	Permite generar múltiples configuraciones del molde

Tabla 7. Parámetros del modelado CAD

Las variables que se indican en la Tabla 8 representan los datos de entrada (ïnputs") que se vincularán al módulo de ecuaciones del software para generar las diferentes configuraciones del diseño.

Variable	Símbolo	Unidad
Longitud del bloque	L	mm
Ancho del bloque	H	mm
Espesor de paredes	Ep	mm
Espesor de tabiques	Et	mm
Espesor del molde	Em	mm

Tabla 8. Variables para el modelado CAD

3.2.4 Fase 4:Simulación estructural CAE

El objetivo de esta fase es validar digitalmente la integridad mecánica del modelo paramétrico frente a las cargas operativas de la máquina bloquera. Mediante un Análisis de Elementos Finitos (FEA) en el software ANSYS, se simuló el comportamiento estructural para evaluar la viabilidad del diseño, la Tabla 9 establece los tres parámetros analizados en la simulación: la tensión equivalente de Von Mises (para medir esfuerzos internos), la deformación máxima (para asegurar las tolerancias de la norma INEN-3066) y el factor de seguridad (fatige), el cual debe ser ≥ 1 para garantizar que el molde no sufrirá deformaciones permanentes durante su ciclo de trabajo.

Parámetro	**Unidad**
Tensión equivalente Von Mises	MPa
Deformación máxima	mm
Factor de seguridad (fatige)	≥ 1

Tabla 9. Resultados principales del análisis CAE

3.2.4.1 Calculo de fuerzas de compactacción

Ley de la palanca

Para determinar las cargas reales a las que están sometidos los moldes durante el proceso de vibrado y compactación en la máquina bloquera, se procedió a realizar un análisis aplicando el principio de la ley de la palanca. Este principio físico relaciona las fuerzas de una palanca en equilibrio [24], y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 \tag{3.1}$$

Donde:

F_1: Fuerza aplicada por el operario/pistón (N).

d_1: Brazo de palanca de la fuerza aplicada (mm).

F_2: Fuerza resultante transmitida al molde (N).

d_2: Brazo de palanca de la resistencia (mm).

Equilibrio del momento

El equilibrio de momentos ocurre cuando la suma de todos los momentos de fuerza que actúan sobre un cuerpo rígido es igual a cero [25] .

$$\sum M = 0 \tag{3.2}$$

Segunda ley de Newton

Esta ley establece que la aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa ($F = m \cdot a$). En aplicaciones mecánicas estáticas y dinámicas, este principio demuestra cómo la masa de un componente se traduce en una fuerza medible y real cuando está sometida a la aceleración de la gravedad o a la aceleración de un impacto [26].

Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$F = m * g \tag{3.3}$$

- **Ejemplo de cálculo para el Molde de 10 - parte hembra**

Para el calculo se recolecto in situ los siguientes datos:

Peso del operador = 75 kg

d_1: 1,4 m

d_2: 0,6 m

$$F = m * g \tag{3.4}$$

$$F_1 = 75 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 735 \text{ N} \tag{3.5}$$

F_2: ?

Procedimiento

De la formula de la ley de la palanca se despeja F_2:

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot d_1}{d_2} \tag{3.6}$$

Se sustituye lo valores

$$F_2 = \frac{735N \cdot 1,4m}{0,6m} \tag{3.7}$$

$$F_2 = 1715N \tag{3.8}$$

Se calcula la fuerza en Newtons con el peso del molde

Peso del molde de 10 = 35 kg

$$F = m * g \tag{3.9}$$

$$F : 35 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 343 \text{ N} \tag{3.10}$$

$$F = 343N \tag{3.11}$$

Se aplica el equilibrio del momento

$$\sum F = 0 \tag{3.12}$$

Se sustituye los valores

$$\sum F = (1715 \text{ N}) + (343 \text{ N}) \tag{3.13}$$

$$\sum F = 1715 \text{ N} + 343 \text{ N} = 2058 \text{ N} \tag{3.14}$$

Fuerza total que se aplica en el molde

$$\sum F = 2058N \tag{3.15}$$

La carga calculada para el molde de 10 - parte hembra es de 2058 N, representa el escenario mínimo de operación y se utilizó como el valor base para iniciar la simulación en ANSYS.

3.2.5 Fase 5: Simulación del llenado del molde mediante SolidWorks Plastics

En esta fase se valida el comportamiento del llenado de la cavidad del molde utilizando el modulo de simulación de SolidWorks Plastics. Para esta simulación se analizó el tiempo de llenado y la presión necesaria para distribuir la mezcla de manera uniforme tomando en cuenta las propiedades del material obtenidas de la librería de materiales de ANSYS [27], las cuales se resumen en la Tabla 10.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	2300	$kg\ m^{-3}$
Coeficiente de expansión térmica	1,4E-05	C^{-1}
Módulo de Young	3E+10	Pa
Coeficiente de Poisson	0,18	
Módulo de compresibilidad	1,5625E+10	Pa
Módulo de corte	1,2712E+10	Pa
Límite elástico a tracción	0	Pa
Límite elástico a compresión	0	Pa
Resistencia última a tracción	5E+06	Pa
Resistencia última a compresión	4,1E+07	Pa

Tabla 10. Propiedades del concreto - Elaboración propia de la librería de materiales del software ANSYS

3.2.5.1 Configuración del sistema de inyección y mallado:

- **Sistema de colada y entrada:** Es el conjunto de canales diseñados para transportar el material fundido (o en estado fresco, en el caso del hormigón) desde la boquilla de la má-

quina de inyección hasta la herramienta o molde. Un diseño correcto del sistema de colada es esencial para controlar térmicamente la masa y asegurar que alimente las cavidades de forma continua y uniforme [28].

- **Punto de inyección:**Es el orificio o restricción específica que define el lugar exacto por donde penetra el material a la cavidad del molde. La literatura técnica establece que el punto de inyección debe situarse idealmente cerca del centro geométrico o en las zonas más gruesas de la pieza. Esto garantiza un llenado equilibrado en términos de presión y tiempo a lo largo de todas las zonas de la cavidad [29].

- **Mallado:** En el Método de Elementos Finitos (MEF), el mallado consiste en la discretización o división de una geometría tridimensional continua en múltiples elementos finitos más pequeños. La calidad y la cantidad de estos elementos finitos son críticos, ya que a través de ellos el software de simulación resuelve los modelos matemáticos complejos para analizar parámetros como desplazamientos, deformaciones y esfuerzos cortantes bajo cargas específicas [30].

Parámetros de simulación y variables de salida:

- **Tiempo de llenado:** Se refiere al proceso e intervalo de tiempo cronológico que transcurre desde el instante en que el material comienza a ser inyectado por la boquilla hasta que ocupa y llena casi en su totalidad la cavidad del molde. El control de este parámetro es fundamental, ya que un tiempo excesivo puede provocar un enfriamiento desigual o fraguado prematuro, mientras que un tiempo demasiado rápido puede atrapar gases y generar defectos superficiales en la pieza final [31].

- **Presión de llenado (MPa):** Es la fuerza por unidad de área que la máquina debe aplicar para introducir el material en el molde y vencer la resistencia al flujo provocada por la viscosidad del fluido y la fricción con las paredes, esta presión asegura que el material

se introduzca con la fuerza suficiente para así llenar completamente la cavidad del molde incluso en geometrías complejas con tabiques o espesores delgados. En simulaciones, es vital monitorear las magnitudes de esta presión máxima ya que longitudes de flujo más extensas requieren presiones mayores y sobrepasar los límites admisibles del molde puede causar rebabas u obligar a rediseñar el equipo de cierre [32].

- **Presión de inyección (MPa):** La presión de inyección es la fuerza por unidad de área máxima requerida para vencer la resistencia al flujo generada por la viscosidad del material fresco al entrar en contacto con las paredes del sistema de colada y la cavidad del molde. En la simulaciones, este valor representa la demanda energética que el sistema debe aplicar desde el punto de inyección para asegurar que la masa llene el completamente la geometría de forma compacta antes de que ocurra un fraguado o enfriamiento prematuro [33].

- **Fórmula de la presión de inyección**

$$P = \frac{F}{A} \tag{3.16}$$

Donde:

P: Presión de inyección (MPa o N/mm^2).

F: Fuerza de empuje o inyección ejercida por el pistón/tornillo (N).

A: Área transversal del punto de inyección o canal de entrada (mm^2).

- **Área de un circulo:** Geométricamente, el área de un círculo es la medida de la superficie bidimensional que queda delimitada por su circunferencia, en el diseño de moldes y la simulación de flujo, este concepto define la sección transversal del canal de colada y del punto de inyección [34].

- **Fórmula para calcular el área de un circulo**

1. En función del radio:

$$A = \pi \cdot r^2 \tag{3.17}$$

2. En función del diámetro:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{3.18}$$

Donde:

A: Área de la sección transversal circular (mm^2 o m^2).

π: Constante matemática (aprox. 3.14159).

r: Radio de la circunferencia (mm).

d: Diámetro de la circunferencia (mm).

- **Ejemplo de cálculo de la presión de inyección de llenado del Molde de 10 - parte hembra**

Para el calculo se recolecto in situ los siguientes datos:

d: 19 mm

π: 3.14159

Se calcula el área:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{3.19}$$

Se convierte el diámetro de mm a m

$$d = 19 \text{ mm} = 0{,}019 \text{ m} \tag{3.20}$$

Sustitución de valores

$$A = \frac{\pi \cdot (0{,}019 \text{ m})^2}{4} \tag{3.21}$$

$$A \approx 2{,}8353 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \tag{3.22}$$

Se calcula la presión de inyección

$$P = \frac{F}{A} \tag{3.23}$$

Sustitución de valores

$$P = \frac{2058 \text{ N}}{2{,}8353 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \tag{3.24}$$

Resultado en Pascales

$$P \approx 7258491{,}16 \text{ Pa} \tag{3.25}$$

Se convierte de Pascales a Megapascales

$$1 \text{ MPa} = 1,000,000 \text{ Pa} = 10^6 \text{ Pa} \tag{3.26}$$

$$P_{\text{MPa}} = \frac{7258491{,}16}{1000000} \tag{3.27}$$

$$P \approx 7{,}258491 \text{ MPa} \tag{3.28}$$

$$P \approx 7{,}26 \text{ MPa} \tag{3.29}$$

La presión de inyección calculada es de 7,26 MPa para el llenado del molde de 10 parte hembra.

3.3 Población y muestra

Población:

La población está conformada por todos los moldes fabricados por la empresa FAMEY BLOG para la elaboración de bloques.

Muestra seleccionada:

La muestra considerada para el presente estudio está constituida por los siguientes tres moldes:

- Molde para bloque de $20 \times 20 \times 40$ cm.
- Molde para bloque de $15 \times 20 \times 40$ cm.

- Molde para bloque de $10 \times 20 \times 40$ cm.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de información

La Tabla 11 resume las técnicas e instrumentos aplicados durante el proyecto, los cuales abarcan desde el análisis documental de normativas y recopilación de requerimientos en planta hasta el uso de plataformas de ingeniería de software (CAD y CAE) para la construcción del diseño paramétrico y sus respectivas validaciones estructurales.

Técnica	**Instrumento**	**Descripción**
Análisis documental	Normas INEN-3066, ASTM C90	Obtención de parámetros técnicos
Observación directa	Checklist de revisión de moldes actuales	Identificación de problemas en el proceso
Entrevista técnica	Guía semiestructurada	Requisitos del cliente interno
Modelado 3D	Software CAD	Construcción del modelo paramétrico
Simulación CAE	ANSYS	Análisis mecánico del molde

Tabla 11. Técnica e instrumentos de recolección de información

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Especificaciones del sistema a analizar

Para la validación integral de la propuesta, el análisis se dividió en dos componentes del molde: la parte hembra (cavidad principal que da forma al bloque) y la parte macho (pisón o compactador). Se evaluaron tres configuraciones geométricas estándar correspondientes a los bloques mas comerciales que fueron los moldes de 10, 15 y 20 cm.

El mallado generado en ANSYS mantuvo un estándar de alta calidad para asegurar la convergencia de los resultados , promediando los 96,000 elementos siendo mallas muy finas. Se aplicaron cargas incrementales desde aproximadamente 2000 N hasta llegar a un escenario crítico de 10,000 N Evaluando la deformación maxima, los esfuerzos mecánicos(Von Mises) y el factor de seguridad. Previo a la ejecución del Análisis de Elementos Finitos (FEA) en ANSYS, se tabularon las fuerzas resultantes obtenidas mediante el cálculo analítico del mecanismo de palanca de la máquina bloquera. Las fuerzas que se presentan en la Tabla 12 representan el límite inferior o carga nominal de trabajo para cada configuración y las mismas se establecieron como la fuerza base para iniciar las iteraciones de la simulación:

Tamaño del Molde	Parte Macho (N)	Parte Hembra (N)
Molde de 10 cm	1960	2058
Molde de 15 cm	1999,2	2175,6
Molde de 20 cm	2038,4	2254

Tabla 12. Resumen de Fuerzas Aplicadas por Tamaño de Molde

El llenado del molde se lo realizó exclusivamente en la parte hembra. En la simulación se obtuvo el tiempo de llenado máximo y mínimo que se necesita, de manera complementaria, para configurar las condiciones de la simulación del llenado (SolidWorks Plastics) en las partes Hembra, se requirió establecer calcular la presión teórica de inyección inicial que se resume en la Tabla 13, la cual se usó para la simulación:

Tamaño del Molde (Hembra)	Presión de Inyección Referencial (MPa)
10 cm	7,26
15 cm	11,20
20 cm	15,00

Tabla 13. Presiones de inyección referenciales para moldes hembra según tamaño

La simulación de llenado, específicamente en cuanto a la presión de inyección, proporciona datos más reales, ya que toma en consideración las propiedades del material que se va a inyectar y con base en ello realiza el análisis numérico.

4.2 Planteamiento de alternativas de solución

A partir de la parametrización del diseño, el sistema permite modificar directamente las dimensiones del molde. Sin embargo, antes de modificar la geometría base, se plantearon alternativas operativas y de validación basadas en los límites elásticos del material frente a la compactación mecánica de la bloquera, las alternativas se evaluaron bajo la premisa de mantener el factor de seguridad ≥ 1.

- **Alternativa 1 (Operación rango seguro):** Mantener la geometría paramétrica actual, pero restringir mecánicamente la fuerza de compactación y vibrado de la máquina bloquera a los límites máximos permitidos antes de la deformación del material.

- **Alternativa 2 (Optimización paramétrico):** Modificar los parámetros del espesor en las zonas más críticas específicamente en las partes hembra del molde para así pueda soportar el escenario más exigente de 10,000 N de fuerza sin presentar las deformación.

- **Alternativa 3 (Llenado completo):** Fabricar un sistema de llenado que tenga un punto de inyección y aplicar la presión de inyección simulada para obtener un llenado completo de la cavidad del molde de la parte hembra.

4.3 Selección de la mejor solución (Análisis de Resultados)

Para determinar la viabilidad del diseño, se analizaron los resultados arrojados por las simulaciones de las tres configuraciones de molde.

4.3.1 Análisis de la Parte Macho (Pisón)

Los resultados demuestran que las partes macho del diseño paramétrico poseen una alta rigidez estructural y un buen comportamiento mecánico en todos los tamaños.

- **Molde de 10 (Macho):** Aplicando la ley de la palanca se calculó una carga 1960 N. Con esta carga base, se obtuvieron los siguientes resultados una deformación de 0,12 mm, esfuerzos mecánicos de 17,66 MPa y con un factor de seguridad de 8,21 el comportamiento de esta simulación en ANSYS se detalla desde Anexo 8 al Anexo 10, donde se ilustra mediante mapas de color las zonas de mayor desplazamiento , los puntos de concentración de esfuerzos y áreas críticas del factor seguridad (fatige). Para obtener datos con diferentes cargas, se incremento la fuerza progresivamente en tramos de 1000 N. Como último escenario, se aplico una carga máxima de 10,000 N dando como resultado una deformación de 0,61 mm, esfuerzos mecánicos de 90,14 MPa y un factor seguridad de 1,61. Con todos los escenarios simulados, se evidenció que esta pieza soporta cargas de hasta 10000 N manteniendo un factor de seguridad de 1,61. Solo entra en zona de riesgo al alcanzar los

10,000 N, con una deformación de 0,61 mm desde el Anexo 11 al Anexo 13 se observa el comportamiento de la simulación en ANSYS, en la Tabla se 14 se observa que lo de color verde son los valores del factor de seguridad que si cumplen y en color rojo son los valores que no cumplen con el parámetro establecido de fs (>=1). Asimismo, desde la Figura 2 a la Figura 4 se ilustra gráficamente la relación de la fuerza aplicada con la deformación, los esfuerzos mecánicos y el factor de seguridad (fatige), demostrando mediante curvas de tendencia el comportamiento predecible del material ante cargas incrementales.

MOLDE DE 10 (PARTE MACHO)				
Malla Generada	**Deformacion (mm)**	**Fuerza aplica (Newtons)**	**Esfuerzos mecanicos(MPa)**	**Factor de seguridad (>=1)**
98975	0,12053	1960	17,667	8,2181
	0,18203	2960	26,681	5,4417
	0,24353	3960	35,695	4,0675
	0,30502	4960	44,709	3,2475
	0,36652	5960	53,723	2,7026
	0,42803	6960	62,737	2,3143
	0,48951	7960	71,751	2,0236
	0,55101	8960	80,765	1,7977
	0,61496	10000	90,14	1,6107

Tabla 14. Resultados de simulación para molde de 10

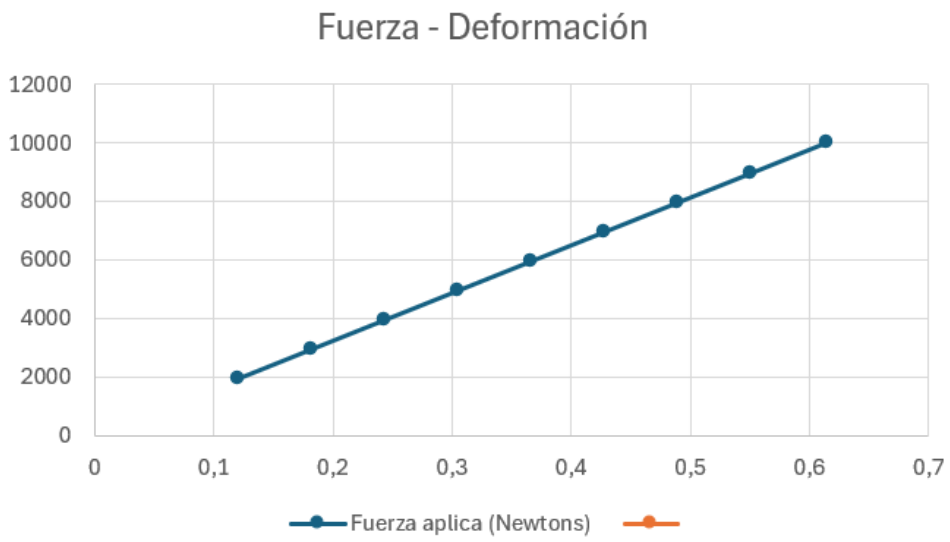


Figura 2. Relación Fuerza-Deformación Molde de 10 Parte Macho

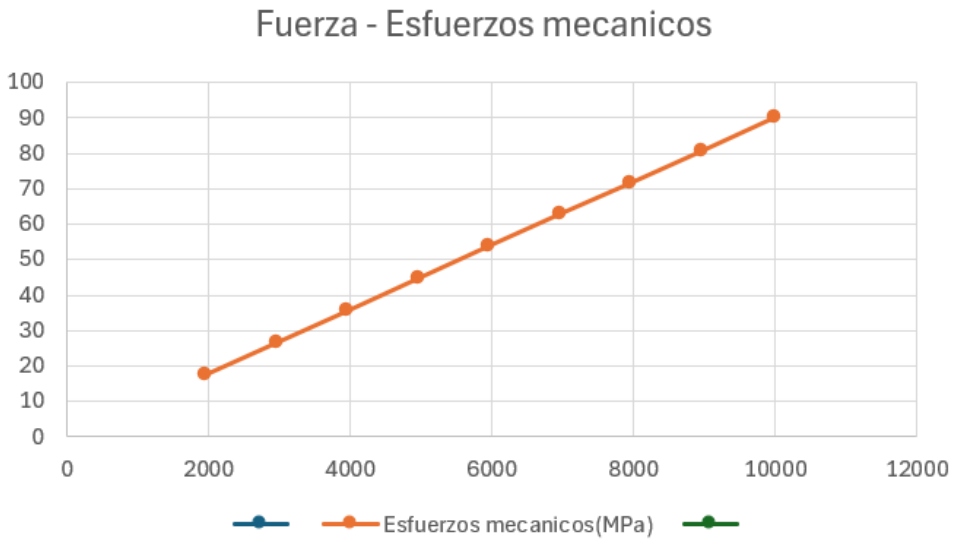


Figura 3. Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 10 Parte Macho

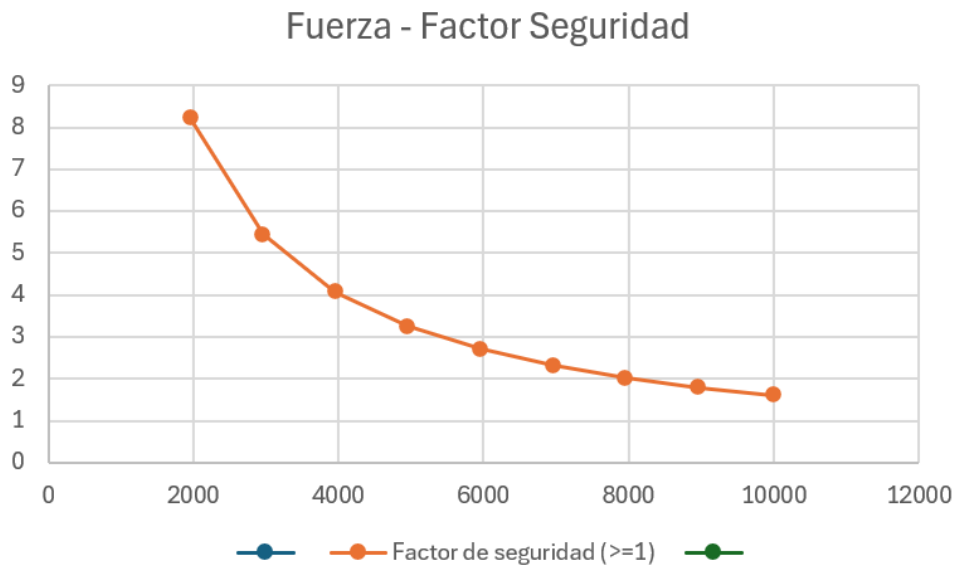


Figura 4. Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 10 Parte Macho

- **Molde de 15 (Macho):** Aplicando la ley de la palanca se calculó una carga de 1999,2 N, la cual fue tomada como carga mínima para empezar la simulación. Con esta carga base se obtuvieron los siguientes resultados una deformación de 0,11 mm, esfuerzos mecánicos de 14,11 MPa y con un factor de seguridad de 10,294. Para obtener datos con diferentes cargas, se incremento la fuerza progresivamente en tramos de 1000 N hasta. Como ultimo escenario, se aplicó carga máxima de 10,000 N dando como resultado una deformación de 0,53 mm, esfuerzos mecánicos de 70,55 MPa y un factor seguridad de 2,05. Con todos los escenarios simulados, se evidencio que la pieza estructural es altamente resistente, ya que soporta de manera segura todas las cargas ensayadas. Incluso al alcanzar la carga máxima de 10,000 N, mantiene un factor de seguridad de 2,05 al alcanzar la carga máxima de los 10,000 N, sin entrar en zona de riesgo en ningún momento de la prueba. Finalmente en la Tabla 15 se identifica de color verde los valores del factor de seguridad que si cumplen y en color rojo los valores que no cumplen con el parámetro establecido de fs(>=1). Cabe destacar que, para el caso de este molde 15 parte macho, todos están dentro del rango seguro, desde Anexo 14 al Anexo 16 se ilustra gráficamente la relación de la fuerza aplicada con la deformación, esfuerzos mecánicos y el factor de seguridad, demostrando mediante curvas de tendencia el comportamiento predecible del material ante cargas incrementales.

MOLDE DE 15 (PARTE MACHO)				
Malla Generada	**Deformacion (mm)**	**Fuerza aplica (Newtons)**	**Esfuerzos mecanicos(MPa)**	**Factor de seguridad (>=1)**
99228	0,10641	1999,2	14,105	10,294
	0,15963	2999,2	21,16	6,8615
	0,21286	3999,2	28,216	5,1458
	0,26608	4999,2	35,271	4,1165
	0,31931	5999,2	42,327	3,4303
	0,37253	6999,2	49,382	2,9402
	0,42576	7999,2	56,437	2,5726
	0,47898	8999,2	63,493	2,2868
	0,53225	10000	70,554	2,0579

Tabla 15. Resultados de simulación para molde de 15

- **Molde de 20 (Macho):** Aplicando la ley de la palanca se calculó una carga de 2038,4 N, la cual fue tomada como carga mínima para empezar la simulación. Con esta carga base, se obtuvieron los siguientes resultados una deformación de 0,10 mm, esfuerzos mecánicos de 10,89 MPa y con un factor de seguridad de 13,33. Para obtener datos con diferentes cargas, se incremento la fuerza progresivamente en tramos de 1000 N. Como último escenario, se aplicó una carga máxima de 10,000 N dando como resultado una deformación de 0,48 mm, esfuerzos mecánicos de 53,40 MPa y un factor de seguridad de 2,71. Con todos los escenarios simulados se evidencio que esta configuración es la más robusta de los machos, soportando de manera segura todas las cargas y manteniendo un factor de seguridad de 2,71 al alcanzar los 10,000 N, demostrando no entrar en zona de riesgo en ningún momento de la prueba, en la Tabla 16 se identifica en color verde los valores del factor de seguridad que si cumplen y en color rojo los valores que no cumplen con el parámetro establecido de fs (>=1). Cabe destacar que, para el caso de este molde de 20 parte macho todos están dentro del rango seguro. Asimismo, desde el Anexo 17 al Anexo 19 se ilustra gráficamente la relación de la fuerza aplicada con la deformación, esfuerzos mecánicos y el factor de

seguridad, demostrando mediante curvas de tendencia el comportamiento predecible del material ante cargas incrementales.

MOLDE DE 20 (PARTE MACHO)				
Malla Generada	**Deformacion (mm)**	**Fuerza aplica (Newtons)**	**Esfuerzos mecanicos(MPa)**	**Factor de seguridad (>=1)**
99034	0,097492	2038,4	10,887	13,337
	0,14532	3038,4	16,227	8,9474
	0,19315	4038,4	21,568	6,7318
	0,24098	5038,4	26,909	5,3957
	0,2888	6038,4	32,25	4,5021
	0,33663	7038,4	37,59	3,8625
	0,38446	8038,4	42,931	3,382
	0,43229	9038,4	48,272	3,0078
	0,47828	10000	53,4	2,7186

Tabla 16. Resultados de simulación para molde de 20

4.3.2 Ánalisis de la Parte Hembra (Cavidad)

A diferencia del pison, la parte Hembra concentra mayores esfuerzos y son mas vulnerables a la deformación, lo que representa el pinto critico del diseño.

- **Molde de 10 (Hembra):**

  Aplicando la ley de la palanca, se calculo una carga 2058 N fue tomada como carga mínima para empezar la simulación. Con esta carga base, se obtuvieron los siguientes resultados una deformación de 0,11 mm, esfuerzos mecánicos de 80,42 MPa y con un factor de seguridad de 1,80 desde el Anexo 20 al Anexo 22, donde se ilustra mediante mapas de color las zonas de mayor desplazamiento , los puntos de concentración de esfuerzos y áreas críticas del factor seguridad. Para obtener datos con diferentes cargas, se incremento

la fuerza progresiva en tramos de 1000 N hasta. Como ultimo escenario, se aplico carga máxima de 10,000 N dando como resultados una deformación de 0,52 mm, esfuerzos mecánicos de 390,78 MPa y un factor seguridad de 0,37. Con todos los escenarios simulados, se evidencio que esta es la pieza más crítica, ya que soporta cargas de solo hasta 3058 N manteniendo un factor de seguridad de 1,21 y entra velozmente en zona de riesgo obteniendo un factor de seguridad de 0,91 al alcanzar apenas los 4058 N, con una deformación de 0,20 mm desde el Anexo 23 al Anexo 25, donde se ilustra mediante mapas de color las zonas mas criticas al momento de aplicar esta fuerza. Finalmente, en la Tabla 17 se identifican en color verde los valores del factor de seguridad que si cumplen y en color rojo los valores que no cumplen con el parámetro establecido de fs (>=1), Asimismo, desde la Figura 5 a la Figura 7 se observa gráficamente la relación de la fuerza aplicada con la deformación, esfuerzos mecánicos y el factor de seguridad, demostrando mediante curvas de tendencia el comportamiento predecible del material ante cargas incrementales.

MOLDE DE 10 (PARTE HEMBRA)				
Malla Generada	**Deformacion (mm)**	**Fuerza aplica (Newtons)**	**Esfuerzos mecanicos(MPa)**	**Factor de seguridad (>=1)**
98425	0,10613	2058	80,423	1,8053
	0,1577	3058	119,5	1,215
	0,20927	4058	158,58	0,91558
	0,26085	5058	197,66	0,73456
	0,31242	6058	236,74	0,61331
	0,36399	7058	275,82	0,52641
	0,41556	8058	314,89	0,46108
	0,46713	9058	353,97	0,41018
	0,51571	10000	390,78	0,37154

Tabla 17. Resultados de simulación para molde de 10

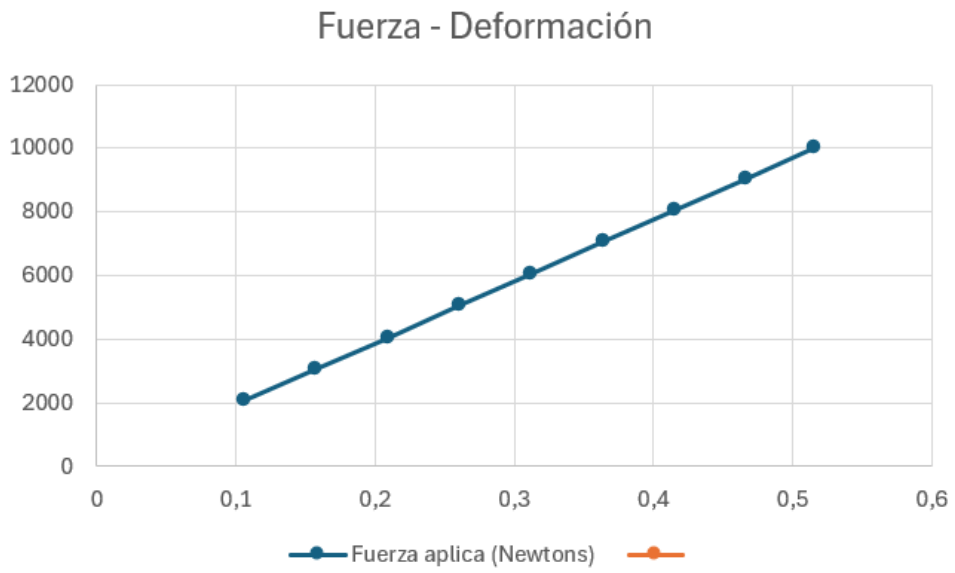


Figura 5. **Relación Fuerza-Deformación Molde de 10 Parte Hembra.** La gráfica ilustra el rápido incremento del desplazamiento ante cargas crecientes. Al llegar a la fuerza extrema de 10,000 N, la deformación máxima asciende a 0,52 mm, demostrando una notable flexión estructural.

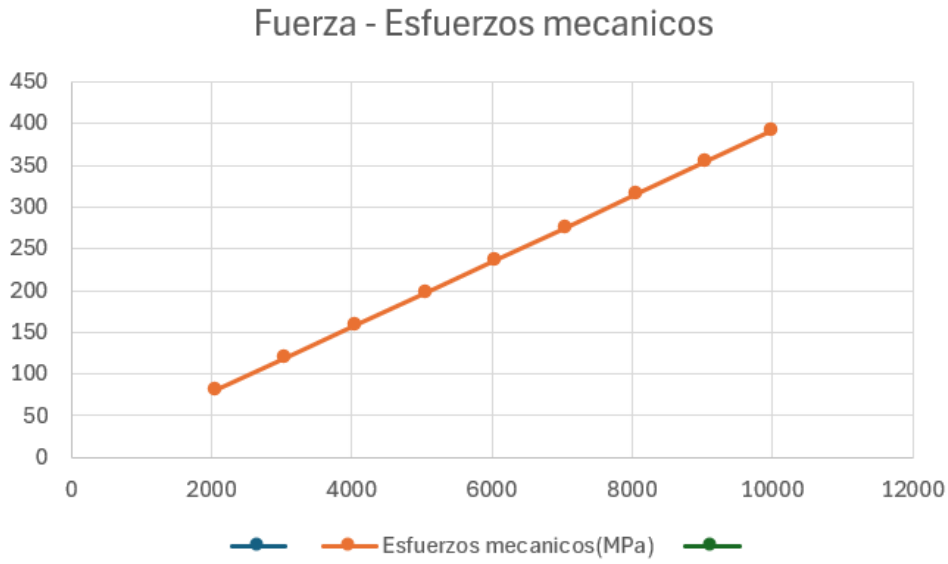


Figura 6. **Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 10 Parte Hembra.** La gráfica se ilustra el drástico aumento de la tensión de Von Mises frente a la carga que se aplicada. El esfuerzo se dispara superando los 390 MPa en el escenario más crítico, excediendo severamente el límite elástico.

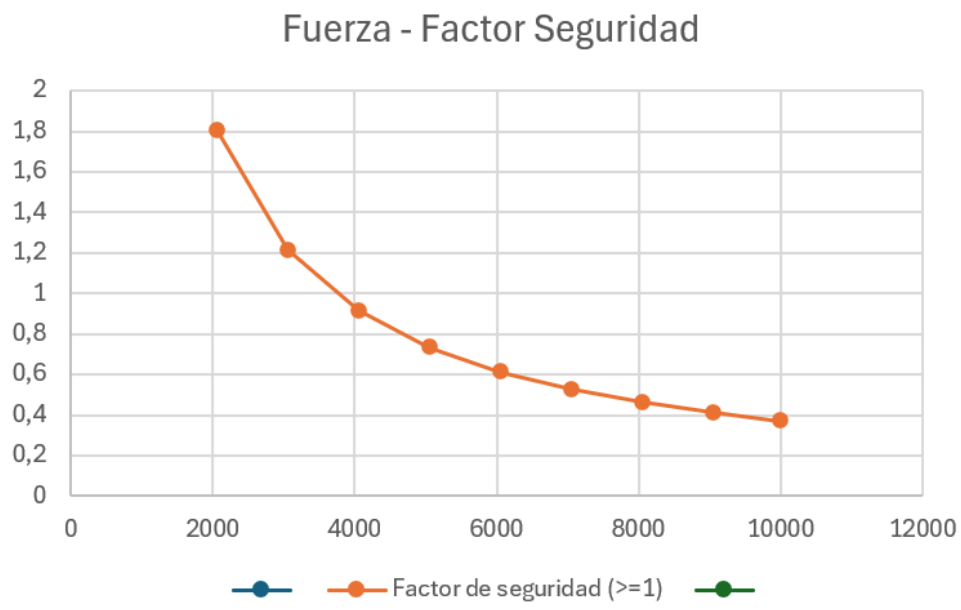


Figura 7. **Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 10 Parte Hembra**. La tendencia decreciente esta confirmando la alta vulnerabilidad de la geométrica de esta pieza. La curva cae por debajo del valor seguro de 1 antes de alcanzar la fuerza de 4000 N, ratificando la falla inminente ante las sobrecargas.

- **Molde de 15 (Hembra):**

  Aplicando la ley de la palanca, se calculó una carga 2175,6 N, la cual fue tomada como carga mínima para empezar la simulación. Con esta carga base se obtuvieron los siguientes resultados una deformación de 0,10 mm, esfuerzos mecánicos de 57,86 MPa y con un factor de seguridad de 2,50, el comportamiento de esta simulación se detalla desde el Anexo 26 al Anexo 28, donde se ilustra mediante mapas de color las zonas de mayor desplazamiento , los puntos de concentración de esfuerzos y áreas críticas del factor seguridad. Para obtener datos con diferentes cargas, se le fue incrementando la fuerza progresivamente en tramos de 1000 N. Como ultimo escenario se aplico carga máxima de 10,000 N dando como resultado una deformación de 0,44 mm, esfuerzos mecánicos de 265,97 MPa y un factor de seguridad de 0,54. Con todos los escenarios simulados se evidencio que soporta cargas de hasta 5175,6 N manteniendo un factor de seguridad de 1,05, y entra en zona de riesgo obteniendo un factor de seguridad de 0,88 al alcanzar los 6175,6 N, con una deformación de 0,27 mm desde el Anexo 29 al Anexo 31, donde se ilustra mediante mapas de color las zonas mas criticas al momento de aplicar esta fuerza. Finalmente en la Tabla 18 se identifica en color verde los valores del factor de seguridad que si cumplen fs

(>=1) y en color rojo los valores que no cumplen con el parámetro establecido. Asimismo, desde el Anexo 32 al Anexo 34 se ilustra gráficamente la relación de la fuerza aplicada con la deformación, esfuerzos mecánicos y el factor de seguridad, demostrando mediante curvas de tendencia el comportamiento predecible del material ante cargas incrementales.

MOLDE DE 15 (PARTE HEMBRA)				
Mallada Generada	**Deformacion (mm)**	**Fuerza aplica (Newtons)**	**Esfuerzos mecanicos(MPa)**	**Factor de seguridad (>=1)**
95045	0,095149	2175,6	57,864	2,5092
	0,13888	3175,6	84,461	1,719
	0,18262	4175,6	111,06	1,3074
	0,22635	5175,6	137,66	1,0548
	0,27009	6175,6	164,25	0,88396
	0,31382	7175,6	190,85	0,76077
	0,35756	8175,6	217,45	0,66772
	0,40129	9175,6	244,04	0,59495
	0,43735	10000	265,97	0,5459

Tabla 18. Resultados de simulación para molde de 15

- **Molde de 20 (Hembra):**

Aplicando la ley de la palanca, se calculó una carga 2254 N, esta carga fue tomada como carga minima para empezar la simulación y se obtuvo los siguientes resultados una deformación de 0,09 mm, esfuerzos mecánicos de 38,38 MPa y con un factor de seguridad de 3,78 desde el Anexo 35 al Anexo 37 se observa el comportamiento de la simulación, donde se ilustra mediante mapas de color las zonas de mayor desplazamiento , los puntos de concentración de esfuerzos y áreas críticas del factor seguridad. Para obtener datos con diferentes cargas, se incremento la fuerza progresivamente en tramos de 1000 N hasta. Como ultimo escenario, se aplicó una carga máxima de 10,000 N teniendo una deformación de 0,41 mm, esfuerzos mecánicos de 170,28 MPa y un factor de seguridad de 0,85. Con

todos los escenarios simulados se evidenció una mejor distribución de esfuerzos en esta geometría, ya que soporta cargas de hasta 8254 N manteniendo un factor de seguridad de 1,03. Al alcanzar los 9254 N, entra en zona de riesgo, obteniendo un factor de seguridad de 0,92 y una deformación de 0,22 mm que se ilustra en el Anexo 38 al Anexo 40, donde se ilustra mediante mapas de color las zonas mas criticas al momento de aplicar esta fuerza, en la Tabla 19 se identifican en color verde los valores del factor de seguridad que si cumplen fs (>=1) y en color rojo los valores que no cumplen con el parámetro establecido. Asimismo, desde el Anexo 41 al Anexo 43 se ilustra gráficamente la relación de la fuerza aplicada con la deformación, esfuerzos mecánicos y el factor de seguridad, demostrando mediante curvas de tendencia el comportamiento predecible del material ante cargas incrementales.

MOLDE DE 20 (PARTE HEMBRA)				
Malla Generada	**Deformacion (mm)**	**Fuerza aplica (Newtons)**	**Esfuerzos mecanicos(MPa)**	**Factor de seguridad (>=1)**
98114	0,093014	2254	38,382	3,7828
	0,13428	3254	55,41	2,6203
	0,17555	4254	72,439	2,0044
	0,21681	5254	89,467	1,6229
	0,25808	6254	106,5	1,3634
	0,29934	7254	123,52	1,1754
	0,34061	8254	140,55	1,033
	0,38188	9254	157,58	0,92139
	0,41266	10000	170,28	0,85265

Tabla 19. Resultados de simulación para molde de 20

4.3.3 Análisis del llenado (Parte Hembra)

La simulación de llenado arrojó resultados muy aceptables en cuanto a tiempos, pero evidenció la necesidad de una mayor presión a medida que crece el volumen del molde.

- **Molde de 10 (Hembra):**

  Mediante la simulación en SolidWorks Plastics, configurando el sistema de colada con un punto de inyección de 19 mm, se obtuvo como resultado un tiempo máximo de llenado de 0,0985 segundos (partiendo de un tiempo mínimo de 1,153E-06 s al inicio del flujo). Para garantizar que la mezcla ocupe la totalidad de la cavidad geométrica en este corto periodo, el sistema demandó una presión de inyección de 6,105 MPa (885,51 psi). Al ser la configuración con el menor volumen interno, se evidencia que es el modelo que requiere la menor demanda de presión para asegurar un llenado completo sin atrapamientos de aire, como se presenta en la Tabla 20. Asimismo, en el Anexo 44 se ilustra el comportamiento del flujo durante la inyección, corroborando visualmente el llenado en su totalidad y evidenciando la correcta distribución de presiones desde el canal de entra hasta las zonas más alejadas.

LLENADO DE MOLDE DE 10			
Tiempo de llenado (s)		**Presión de inyección**	
Min	Max	psi	MPa
1,153E-06	0,0985	885,51	6,105

Tabla 20. Parámetros de llenado e inyección para molde de 10

- **Molde de 15 (Hembra):**

  Manteniendo los mismos parámetros de inyección para el fluido, la simulación arrojó un tiempo máximo de llenado de 0,1001 segundos (partiendo de 1,000E-06 s). Debido al incremento en el volumen de la cavidad transversal en comparación con el modelo

anterior, la presión de inyección máxima requerida aumentó significativamente a 10,80 MPa (1560,38 psi). Estos resultados demuestran que, aunque el diámetro de inyección logra mantener el tiempo de ciclo casi idéntico al molde de 10, la demanda energética y de presión del fluido crece para vencer la fricción en paredes más amplias, como se presenta en la Tabla 21. Asimismo en el Anexo 45 se ilustra el comportamiento del flujo durante la inyección, corroborando visualmente el llenado en su totalidad y evidenciando la correcta distribución de presiones desde el canal de entra hasta las zonas más alejadas.

LLENADO DE MOLDE DE 15			
Tiempo de llenado (s)		**Presión de inyección**	
Min	Max	psi	MPa
1,000E-06	0,1001	1560,38	10,8

Tabla 21. Parámetros de llenado e inyección para molde de 15

- **Molde de 20 (Hembra):**

Finalmente, para la configuración estructural de mayor tamaño, el análisis determinó un tiempo máximo de llenado de 0,0992 segundos (partiendo de 1,000E-06 s). Para llenar esta geometría satisfactoriamente, la presión de inyección máxima exigida alcanzó su punto más alto con 12,90 MPa (1868,63 psi). Con todos los escenarios simulados, se evidenció una excelente validación del diámetro de entrada (19 mm), ya que estabiliza el tiempo de llenado por debajo de los 0,11 segundos en todos los tamaños, indicando que el factor verdaderamente variable que la empresa debe controlar en producción no es el tiempo, sino la presión suministrada para garantizar la compactación del hormigón, como se presenta en la Tabla 22. Asimismo, en el Anexo 46 se ilustra el comportamiento del flujo durante la inyección, corroborando visualmente el llenado en su totalidad y evidenciando la correcta distribución de presiones desde el canal de entra hasta las zonas más alejadas.

LLENADO DE MOLDE DE 20			
Tiempo de llenado (s)		**Presión de inyección**	
Min	Max	psi	MPa
1,000E-06	0,0992	1868,63	12,9

Tabla 22. Parámetros de llenado e inyección para molde de 20

El tiempo máximo de llenado se mantuvo constante en las tres configuraciones: **0,0985 s (Molde 10), 0,1001 s (Molde 15) y 0,0992 s (Molde 20**). Esto valida que el diámetro del sistema de colada (19 mm) está correctamente dimensionado para garantizar un ciclo de producción ultra rápido.

Sin embargo, la presión de inyección necesaria aumento proporcionalmente al tamaño del bloque: 6,105 MPa para el mode de 10, 10,8 MPa para el molde de 15 y 12,9 MPa para el molde de 20.

4.4 Evaluación del modelo y factibilidad

La implementación del modelo paramétrico asistido por computador demostró ser altamente factible y eficiente. Desde la perspectiva normativa (INEN-3066), las deformaciones encontradas en los rangos seguros de operación (menores a 0,2 mm) garantizan que las tolerancias dimensionales del bloque no se verán comprometidas.

A nivel industrial se ha comprobado que el diseño cumple con los parámetros de llenado rápido (menos de 0,1 segundos), optimizando los tiempos de ciclo de producción en el caso que se aplique el sistema de inyección de concreto para moldes de bloques. La factibilidad de la propuesta radica en su capacidad de prevenir las fallas antes de manufactura de los moldes , la identificación de la debilidad estructural en la parte hembra del molde frente a sobrecargas de fuerza demuestra el valor de aplicar simulaciones CAE, ahorrando a la industria altos costos de

retrabajos y materiales dañados.

La alternativa 1 indica que el molde el molde actual es viable y funcional, siempre y cuando la compactación de la máquina se calibre para no exceder los 3000 N, que es el límite seguro de la parte hembra del molde de 10, ya que es el más vulnerable en las simulaciones. Para futuras iteraciones de calidad industrial, el modelo paramétrico desarrollado permite aumentar el grosor de las placas laterales de la parte hembra, esto para la alternativa 2 sin tener que rediseñar el conjunto desde cero. Por su parte, la alternativa 3 se propone como una solución ergonómica para completar el llenado del molde. Desarrollar un sistema de inyección de concreto para moldes de bloques es una mejora que ayudará a bajar los tiempos de ciclo de producción y mantener la seguridad al momento de realizar el trabajo.

CONCLUSIONES

En base al desarrollo del modelado paramétrico y las simulaciones computacionales aplicadas a los moldes de bloque, se establece las siguientes conclusiones:

- Mediante el análisis documental y la aplicación de las matrices de calidad (VOC y QFD), se logro traducir con éxito las normativas INEN-3066 y ASTM C90 en parámetros geométricos controlables, se determino que el espesor estructural del molde es el facto técnico mas critico para evitar variaciones que superen la tolerancia máxima permisible de $\pm$ 3 mm exigida por la norma, garantizando así la estandarización y calidad del bloque final.
- Las simulaciones de Elementos Finitos (FEA) en ANSYS evidenciaron una clara diferencia en la rigidez del conjunto, las partes Macho (pisones) demostraron ser estructuralmente robustas, soportando cargas de hasta 10,000 N con factores de seguridad superiores a 1.22 en las configuraciones de 15 y 20 cm, por el contrario las partes Hembra (cavidades) son el la parte del molde mas crítica del diseño, el molde de 10 cm entra en zona de riesgo (factor de seguridad fatige de 0.91) al alcanzar apenas los 4058 N, lo que justifica plenamente el uso del diseño paramétrico para identificar vulnerabilidades antes de la manufactura metálica.
- La adaptación de la simulación en SolidWorks Plastics demostró que un sistema de colada con un punto de inyección de 19 mm es altamente eficiente, logrando un llenado de manera instantánea (tiempos menores a 0.11 segundos) para todos los tamaños de bloque. Se concluye que la variable crítica en este proceso no es el tiempo, sino la presión de inyección, la cual aumenta exponencialmente según el volumen de la cavidad, requiriendo 6.105 MPa para el molde de 10 cm y hasta 12.9 MPa para el molde de 20 cm.
- Se concluye que la implementación de herramientas CAD-CAM-CAE en la empresa FAMEY BLOG es altamente factible y rentable, el modelo paramétrico desarrollado permite modificar las dimensiones del molde automáticamente a través de tablas de diseño que es un modulo que esta integrado en el software de SolidWorks, asegurando que las deformaciones mecánicas en los rangos seguros de operación se mantengan por debajo de los

0.2 mm, cumpliendo a cabalidad con la precisión dimensional requerida por la industria constructiva.

RECOMENDACIONES

Considerando los hallazgos técnicos y las alternativas de solución planteadas (Alternativas 1, 2 y 3), se recomienda las siguientes acciones para la empresa FAMEY BLOG y futuras lineas de investigación:

- En base a la alternativa 1 se recomienda a la empresa y a sus clientes calibrar los sistemas mecánicos de las máquinas vibro-compactadoras para que la fuerza operativa aplicada no exceda los 3000 N cuando se trabaje con la matriz Hembra de 10 cm. Esto mantendrá el esfuerzo mecánico dentro del límite elástico seguro del acero, evitando deformaciones permanentes y alargando la vida útil del equipo, tomando en consideración que la demanda el sector de la construcción el bloque de 10 cm de ancho es el mas solicitado lo cual tener un maquina calibrada alargara el ciclo de vida del molde de 10 y asi se minimiza la posibilidad de que haya paradas de producción por mantenimiento o cambio de molde.

- En base a la alternativa 2 aprovechando la flexibilidad del árbol de ecuaciones creado en SolidWorks, se sugiere incrementar el parámetro de espesor de paredes (Ep) y espesor del molde"(Em) específicamente en los laterales de las matrices Hembra de 10 y 15 cm, esto permitirá elevar su factor de seguridad por encima de 1 frente a cargas extremas, sin necesidad de re diseñar las plantillas desde cero lo cual baja los tiempos de modificación en el molde y también ahorro de dinero.

- En base a la alternativa 3 con base en los excelentes tiempos de ciclo demostrados en el análisis, se recomienda a la empresa investigar la factibilidad física y económica de manufacturar un sistema de llenado a presión (inyección de concreto fresco). Para ello, la maquinaria deberá estar en la capacidad de suministrar presiones sostenidas de hasta 15 MPa para garantizar una compactación libre de burbujas de aire en los moldes más grandes y va de la mano con la seguridad de los operadores ya que de esa manera evitaran posturas no ergonómicas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] J. Muñoz y C. Ramírez, «Optimización del diseño mecánico mediante modelado paramétrico con software CAD,» en *Revista Iberoamericana de Ingeniería*, 2021, págs. 22-30.

[2] A. Gómez, D. Torres y L. Pérez, «Aplicación de herramientas CAD/CAE en el diseño de dispositivos mecánicos industriales,» en *Revista Ingeniería y Tecnología*, 2019, págs. 45-53.

[3] J. Pérez, «Diseño de molde de inyección aplicando sistemas CAD, CAM y CAE,» en *La Mecatrónica en México*, 2020, págs. 55-68.

[4] A. O. M. E. y. D. A. C. Urriola, «Implementación de Tecnología CAD/CAE/CAM para la Industria 4.0 y su Impacto en la Eficiencia Industrial,» en *Revista de Ingeniería, Ciencia y Tecnología*, 2024, págs. 110-120.

[5] A. O. M. E. y. D. A. C. Urriola, «Sistemas CAD-CAM en el desarrollo de proyectos de moldeo para envases plásticos,» en *Pol. Con.*, 2022, págs. 940-956.

[6] S. A. Zambrano Guayco, «Diseño y Simulación de un molde de inyección para la fabricación de cuerpos dispensadores de agua para refrigeradoras,» s.n., Quito, Ecuador, Informe s.n. 2019.

[7] V. E. A. Canencia y R. S. C. Tapia, «Determinación de la influencia de la ceniza de cascarilla de arroz en el tiempo de fraguado, en la elaboración de bloques huecos de hormigón que cumplan con las especificaciones de la norma INEN 3066,» Universidad Técnica del Norte, Quito, Ecuador, Informe técnico IT-2021-05, 2021.

[8] H. Shah y M. Mäntylä, *Parametric and Feature-Based CAD/CAM: Concepts, Techniques, and Applications*. New York, USA: Wiley-Interscience, 1995.

[9] J. Muñoz y C. Ramírez, «BLOQUES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO INEN 3066,» en *NOrmativa*, 2016, págs. 1-32.

[10] ASTM International, «Especificación Normalizada para Unidades de Mampostería de Concreto que Soportan Carga (ASTM C90),» American Society for Testing y Materials, West Conshohocken, PA, inf. téc., 2022, Normativa internacional empleada para validar dimensiones y tolerancias estructurales.

[11] J. López y R. Martínez, «Evaluación comparativa de la resistencia a compresión en bloques de hormigón estructural bajo las normativas NTE INEN 3066 y ASTM C90,» Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2019.

[12] R. Shih, *Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2020*. Arizona: SDC Publications, 2020.

[13] T. C. Chang, R. A. Wysk y H. P. Wang, *Computer-Aided Manufacturing*. New Jersey: Prentice Hall, 2005.

[14] J. M. Juran y A. B. Godfrey, *Juran's Quality Handbook*, 5th. New York, USA: McGraw-Hill, 1999.

[15] O. C. Zienkiewicz y R. L. Taylor, *El método de los elementos finitos: Formulación básica y problemas lineales*. McGraw-Hill Interamericana de España, 2004, vol. 1.

[16] Y. A. Çengel y J. M. Cimbala, *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*, 2a. McGraw-Hill Interamericana, 2012.

[17] P. Gallegos, «Diseño y construcción de un molde para bloques de hormigón con geometría optimizada,» Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2018.

[18] Y. Akao, *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*. Productivity Press, 2004.

[19] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 10.ª ed. McGraw-Hill Interamericana, 2018.

[20] Z. R. Vargas Cordero, «La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica,» *Revista Educación*, vol. 33, n.º 1, págs. 155-165, 2009.

[21] R. Hernández-Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, 6.ª ed. McGraw-Hill Interamericana, 2014.

[22] S. Moaveni, *Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS*. Pearson, 2022.

[23] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), *Manual de Frascati: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental*. FECYT, 2015.

[24] R. J. N. López, *Ley de la Palanca y sus Tipos (Palanca Pre Laboratorio)*, 2014. dirección: https://es.scribd.com/document/247150814/Palanca-Pre-Laboratorio.

[25] Aliat Universidades, *Cinemática y Dinámica. Unidad 6: Equilibrio, momento de una fuerza*, s.f. dirección: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r157r/w13301w/CinemyDinamica_1a%20Dscntx%20Unidad%206.pdf.

[26] R. A. Serway y J. W. Jewett, *Física para ciencias e ingeniería*, 10.ª ed. Cengage Learning, 2018, vol. 1.

[27] ANSYS, Inc., *ANSYS Material Library,2025 R2]*, Software de simulación, Canonsburg, PA, USA, [2025].

[28] G. Menges y P. Mohren, *Moldes para inyección de plásticos*. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili, 1975.

[29] Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), *Diseño de piezas de plástico para inyección*, Repositorio Revistes Catalanes amb Accés Obert (RACO), Documento técnico, s.f.

[30] S. Alcocer et al., *Importancia del mallado de elementos finitos*, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Documento de investigación, s.f.

[31] U. G. Rojas Piloni, «Simulación del llenado de moldes de inyección de plástico,» Repositorio de la Dirección General de Bibliotecas (DGB UNAM), Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México, México, 2001.

[32] V. Lozano Román, «Optimización y simulación del moldeo por inyección de plásticos con el uso de SolidWorks Plastics,» Repositorio idUS, Trabajo Fin de Grado, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2022.

[33] M. Beltrán Rico y A. Marcilla Gomis, *Tecnología de polímeros: Procesado y propiedades*. Alicante, España: Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2012.

[34] Y. A. Çengel y J. M. Cimbala, *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*, 2.ª ed. McGraw-Hill Interamericana, 2012.

ANEXOS

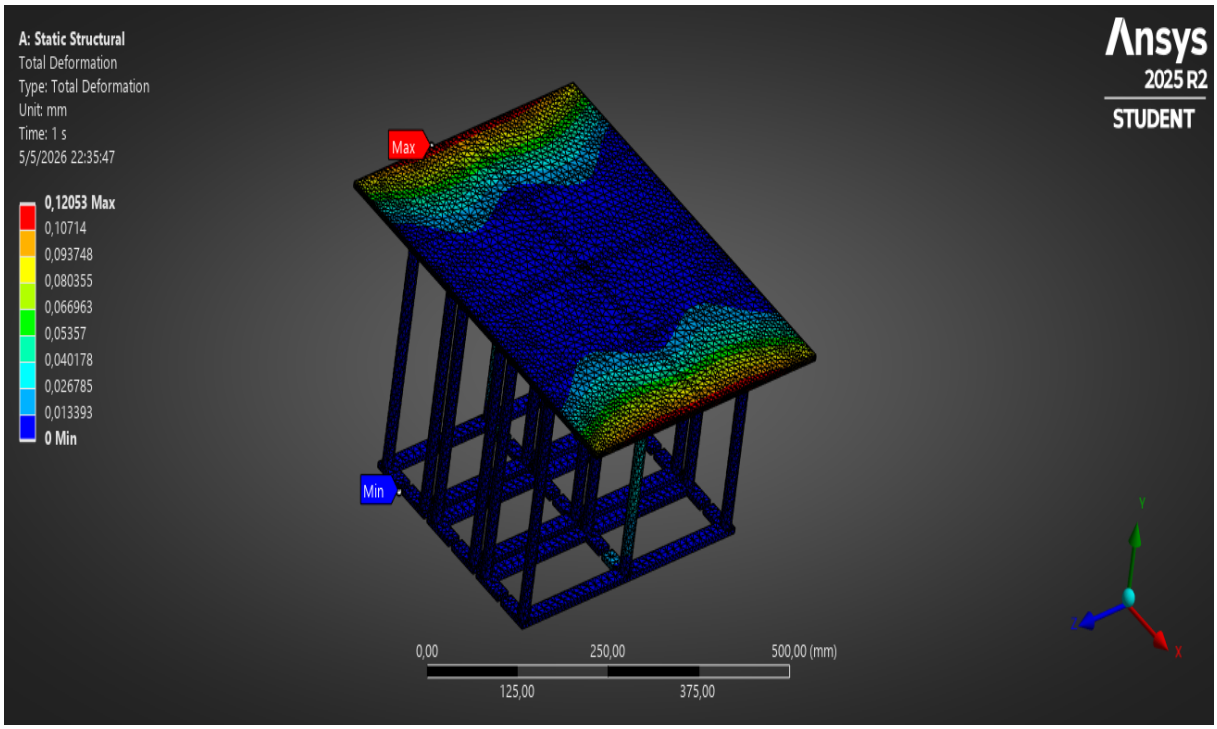


Figura 8. **Deformación con fuerza 1960 N molde de 10 parte macho.** La simulación evidencia mediante un mapa de colores el desplazamiento de la geometría bajo carga. Se observa que la deformación máxima es de 0,12 mm se concentra en los bordes exteriores, manteniéndose firmemente dentro de la tolerancias permitidas.

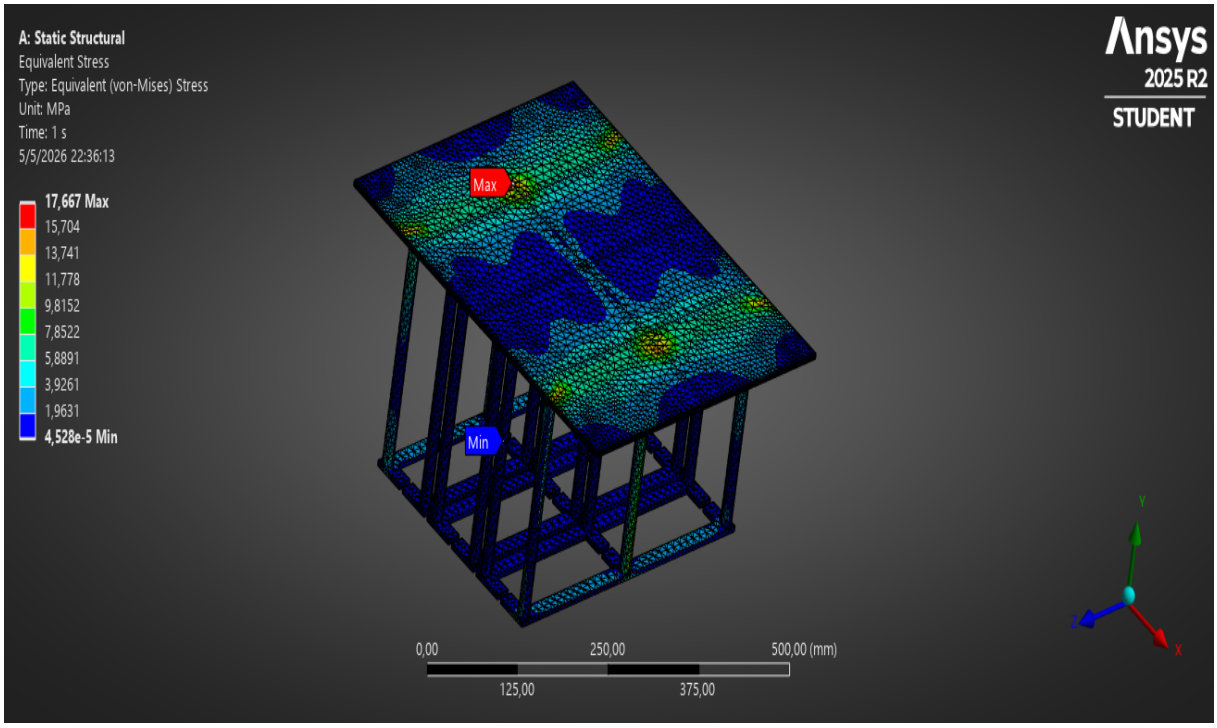


Figura 9. **Esfuerzos mecánicos con fuerza 1960 N molde de 10 parte macho.** El análisis visualiza la distribución de la tensión equivalente. Se identifica que los esfuerzos máximos alcanzan los 17,66 MPa, concentrándose en puntos específicos sin superar el limite elástico del material.

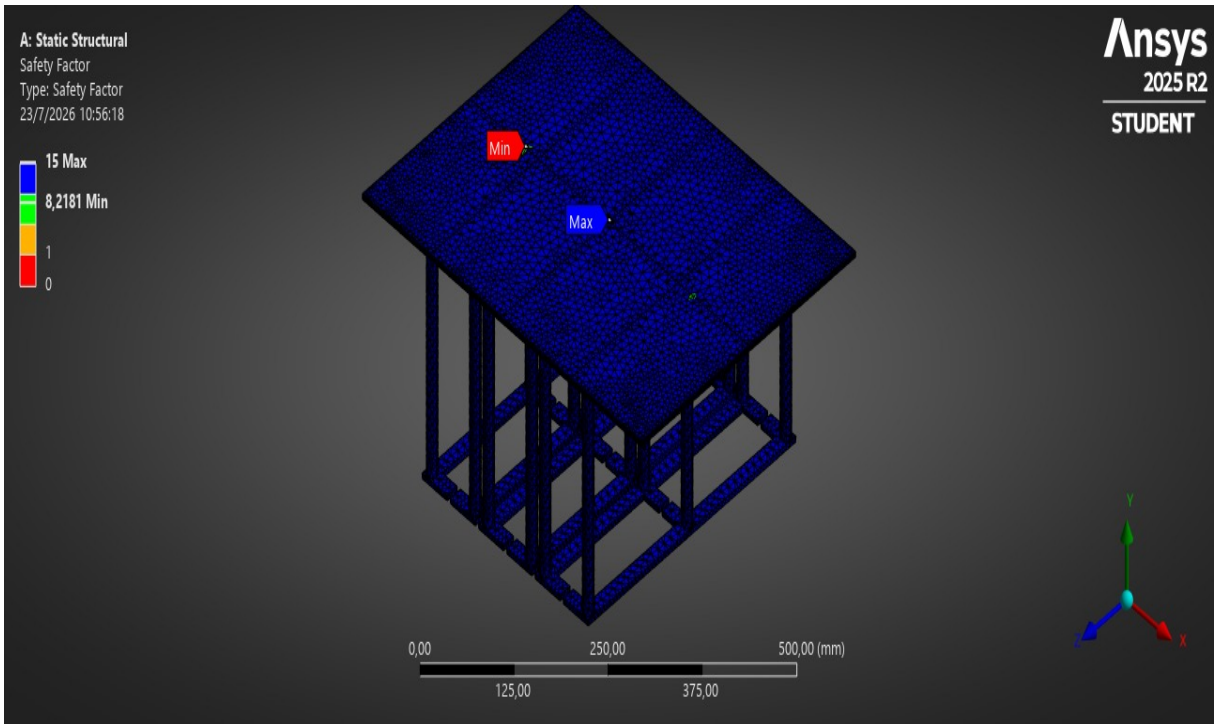


Figura 10. **Factor seguridad con fuerza 1960 N molde de 10 parte macho**. Este mapa identifica las areas de integridad estructural bajo la carga base. Toda la geometria se mantiene en un rango altamente seguro, confirmando un factor minimo de 8,21 que garantiza que la pieza no fallará.

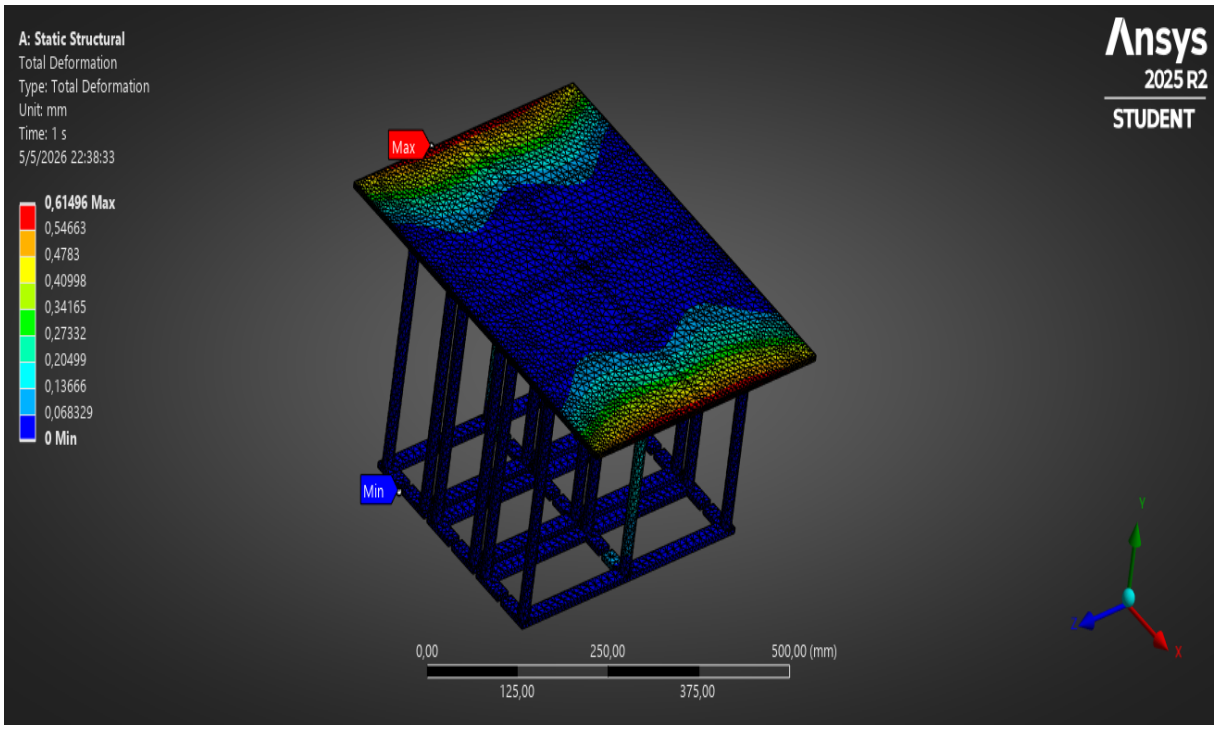


Figura 11. **Deformación con fuerza 10000 N molde de 10 parte macho.** El mapa de colores evidencia el desplazamiento máximo de 0,61 mm bajo la carga extrema. Aunque la deformación aumenta significativamente, la pieza mantiene su forma general sin colapsar.

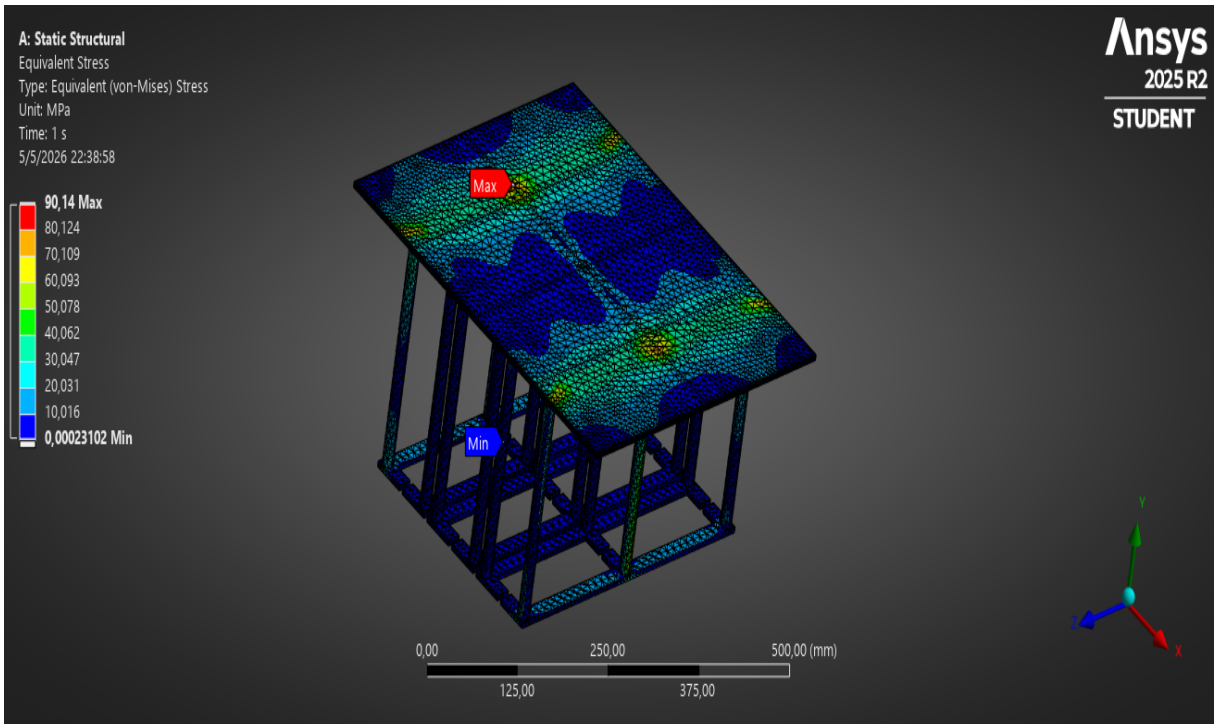


Figura 12. **Esfuerzos mecánicos con fuerza 10000 N molde de 10 parte macho**. Se observa la concentración de la tensión de Von Mises alcanzando los 90,14 MPa. Las zonas rojas indican los puntos críticos donde el material absorbe la mayor carga durante la compactación máxima.

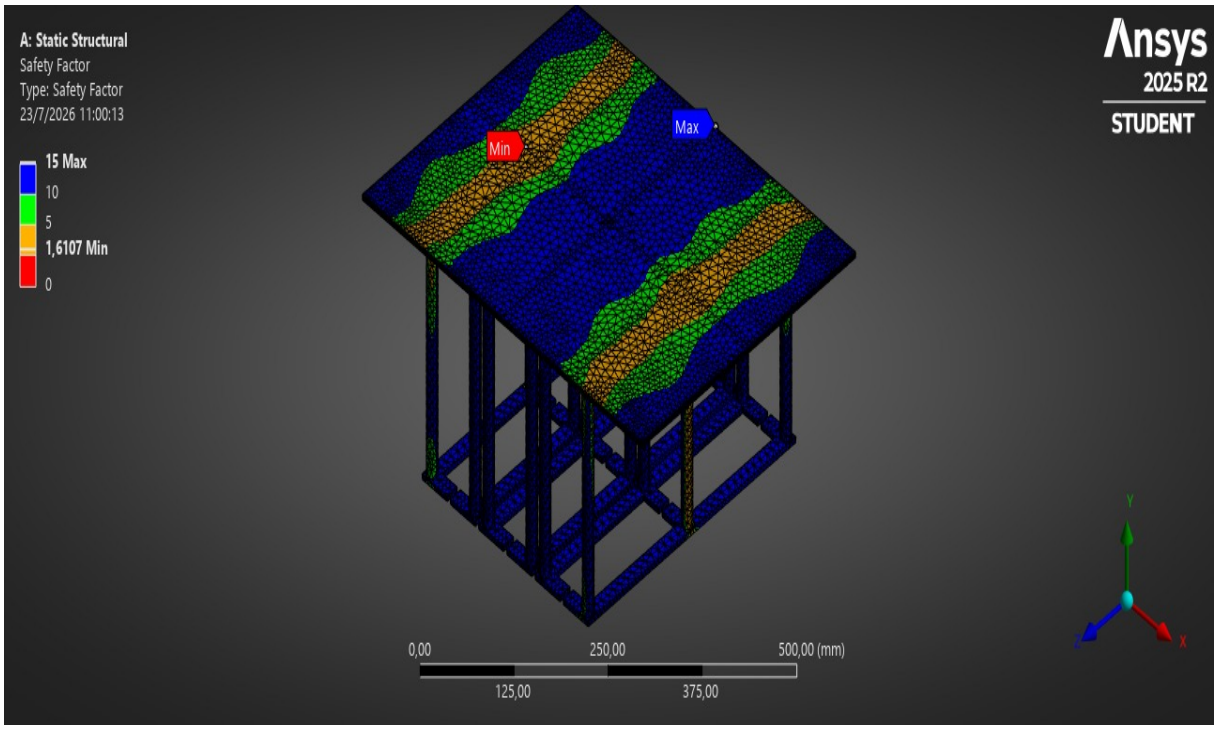


Figura 13. **Factor seguridad con fuerza 10000 N molde de 10 parte macho**. El mapa identifica las áreas de riesgo al aplicar la carga máxima. Las zonas naranjas muestran que el factor mínimo es 1,61, indicando que la pieza entra en zona de fluencia en esos puntos específicos.

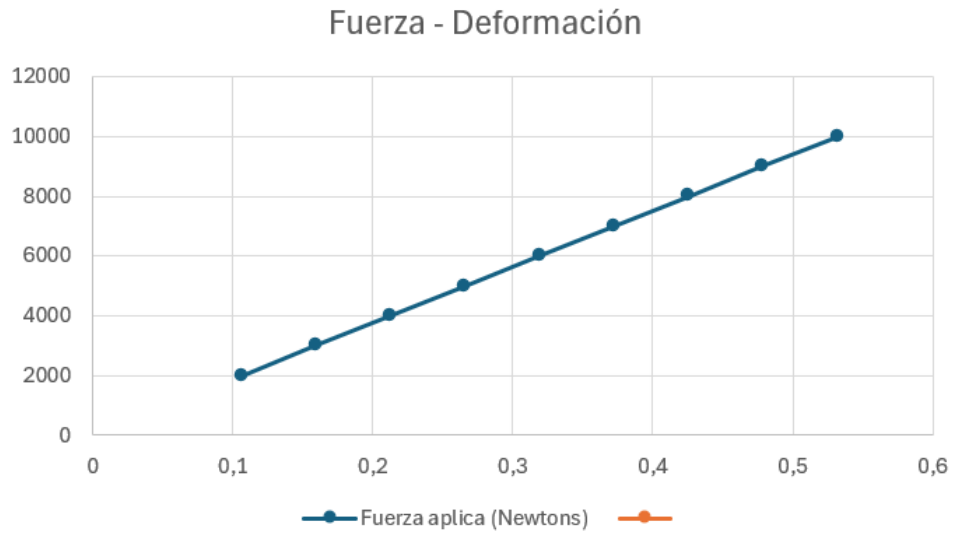


Figura 14. **Relación Fuerza-Deformación Molde de 15 Parte Macho.** En la gráfica se ilustra el incremento progresivo del desplazamiento ante las cargas aplicadas, se evidencia que incluso a la fuerza máxima de 10,000 N la deformación alcanza apenas 0,53 mm manteniendo la estabilidad.

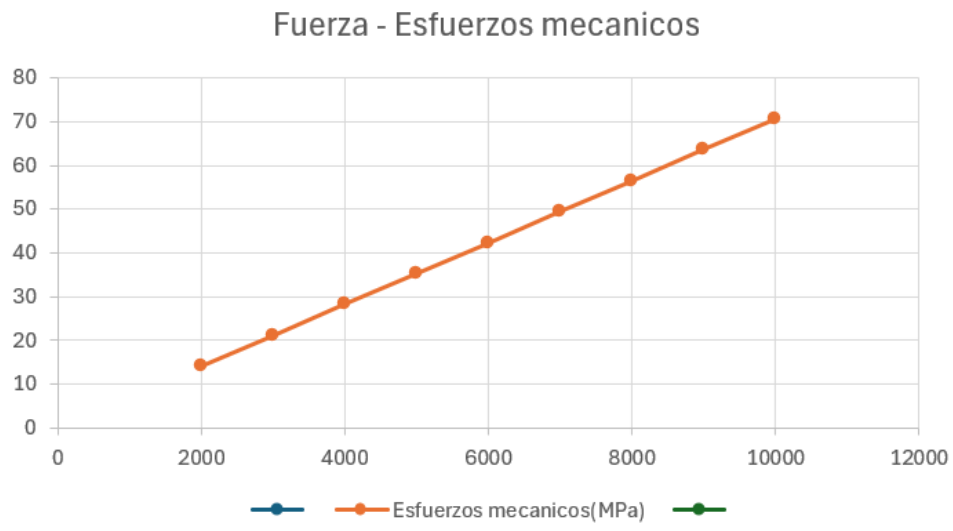


Figura 15. Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 15 Parte Macho. En la gráfica demuestra el aumento proporcional de la tensión de Von Mises, el esfuerzo máximo llega a 70,55 MPa en el escenario crítico lo que confirma que el material soporta la exigencia sin fallar.

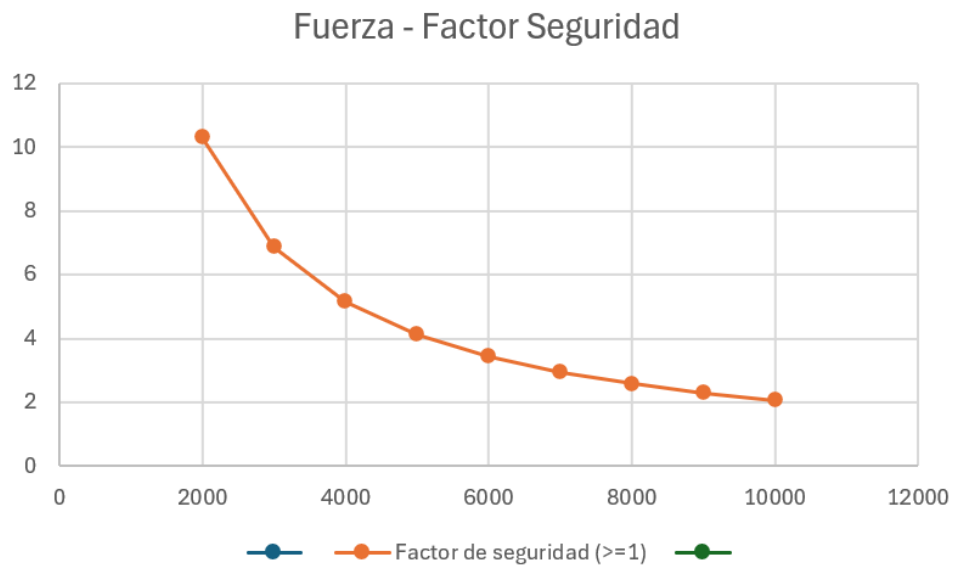


Figura 16. **Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 15 Parte Macho.** En la tendencia decreciente advierte la reducción del margen de seguridad estructural, sin embargo pese a la sobrecarga extrema la pieza conserva un factor mínimo de 2,05 garantizando su viabilidad operativa.

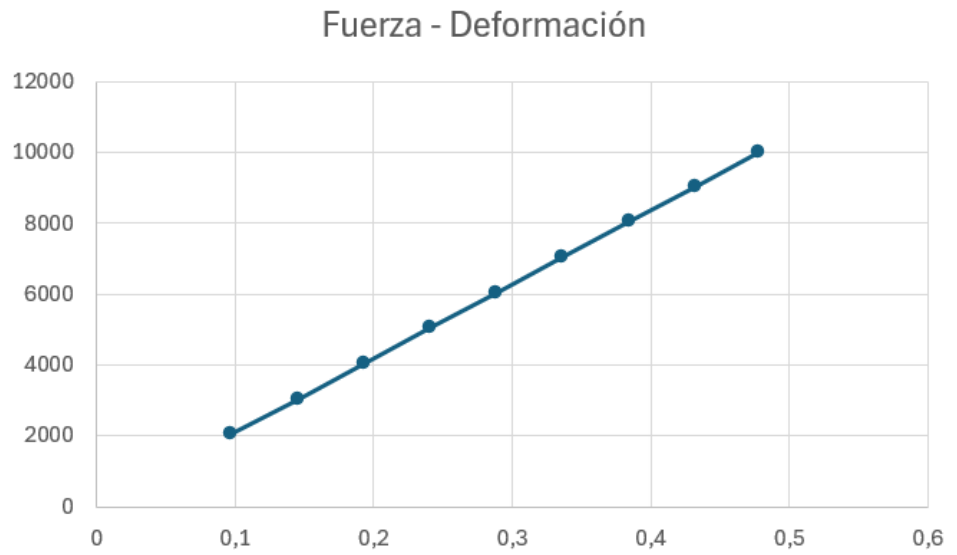


Figura 17. **Relación Fuerza-Deformación Molde de 20 Parte Macho.** En la gráfica ilustra el incremento del desplazamiento estructural ante las diferentes cargas aplicadas, se evidencia que a la fuerza máxima de 10,000 N la deformación alcanza apenas 0,48 mm manteniendo la estabilidad.

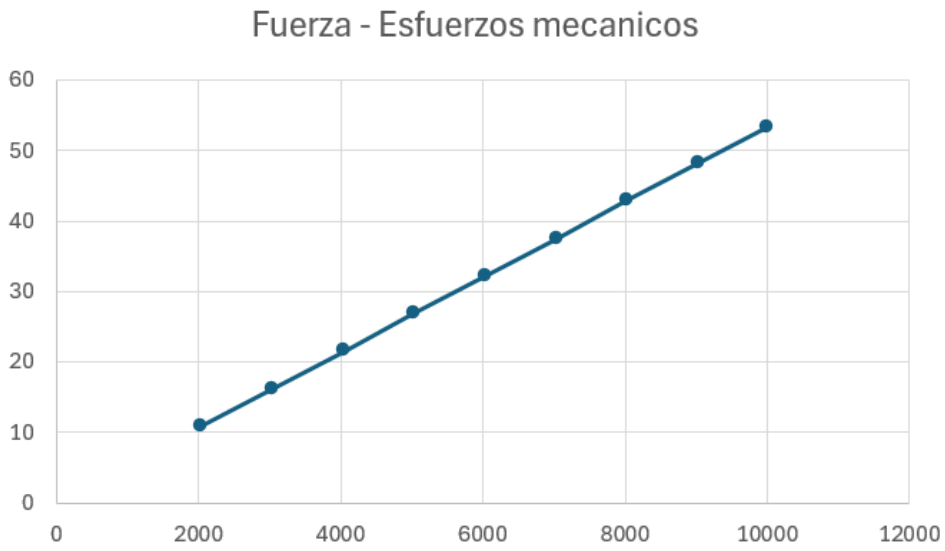


Figura 18. **Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 20 Parte Macho**. En la gráfica demuestra el aumento proporcional de la tensión de Von Mises, El esfuerzo máximo llega a 53,40 MPa en el escenario crítico confirmando que el material soporta la exigencia con solvencia.

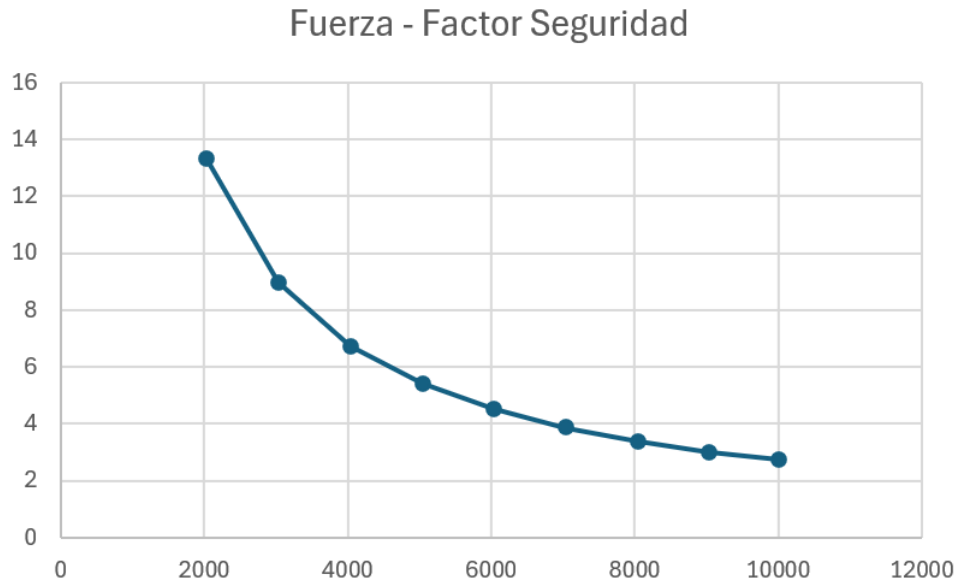


Figura 19. **Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 20 Parte Macho.** En la tendencia advierte la reducción del margen de seguridad al incrementar la compactación. Pese a la sobrecarga extrema de 10,000 N la pieza conserva un factor seguro de 2,71 descartando posibles fallos.

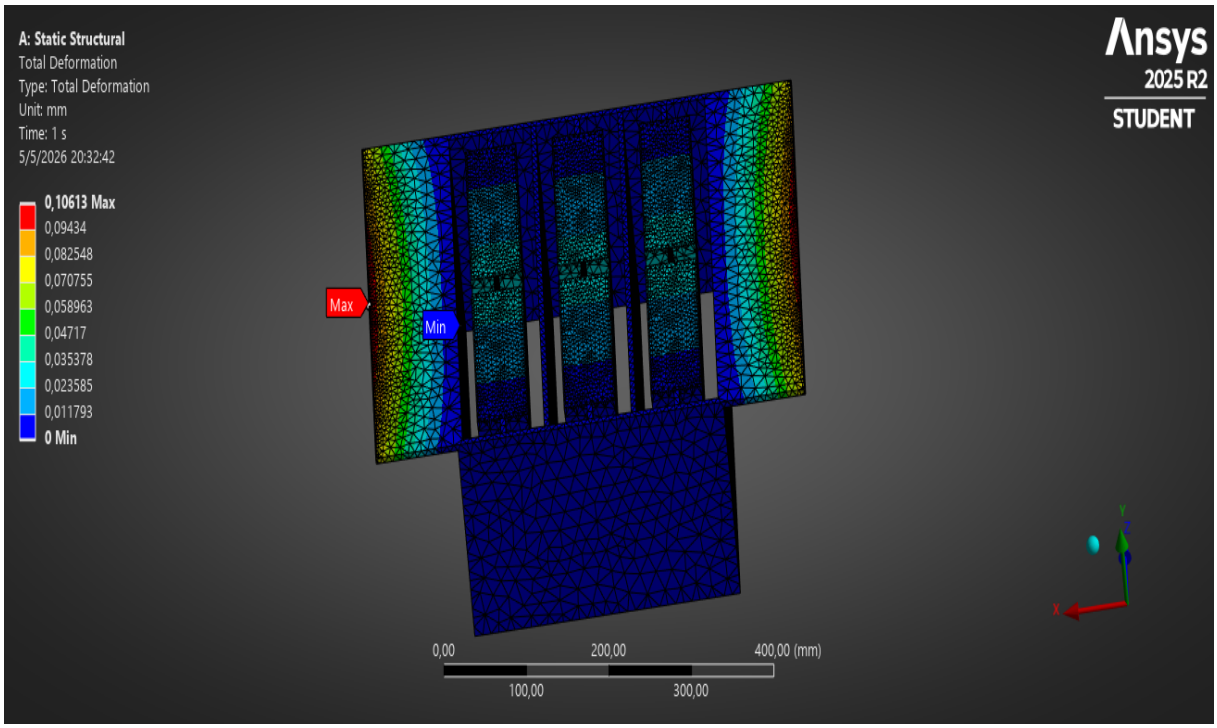


Figura 20. **Deformación con fuerza 2058 N molde de 10 parte hembra.** En la simulación muestra el desplazamiento del material bajo la carga mínima operativa, la deformación máxima alcanza apenas los 0,11 mm en las paredes laterales manteniéndose dentro de los límites dimensionales aceptables.

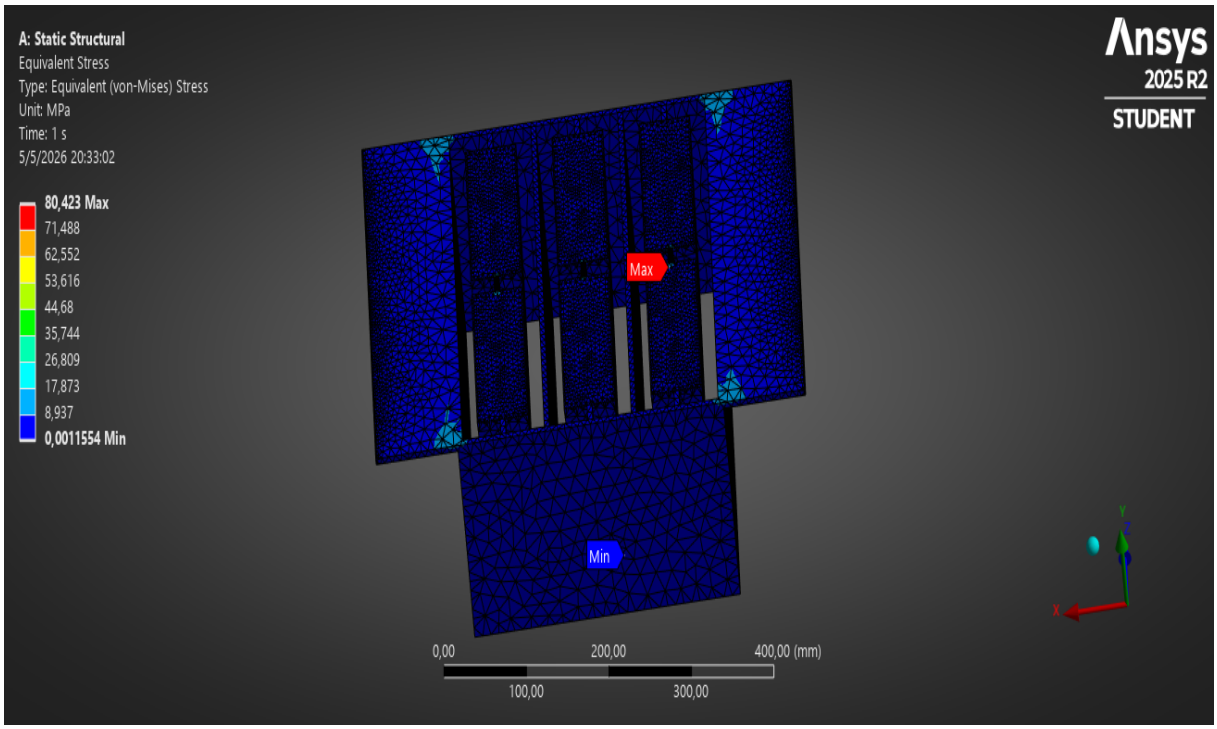


Figura 21. **Esfuerzos mecánicos con fuerza 2058 N molde de 10 parte hembra.** En la imagen se visualiza la distribución de tensiones de Von Mises con un pico máximo de 80,42 MPa, en las zonas de mayor esfuerzo se concentran en las esquinas internas de la cavidad pero no superan el límite elástico.

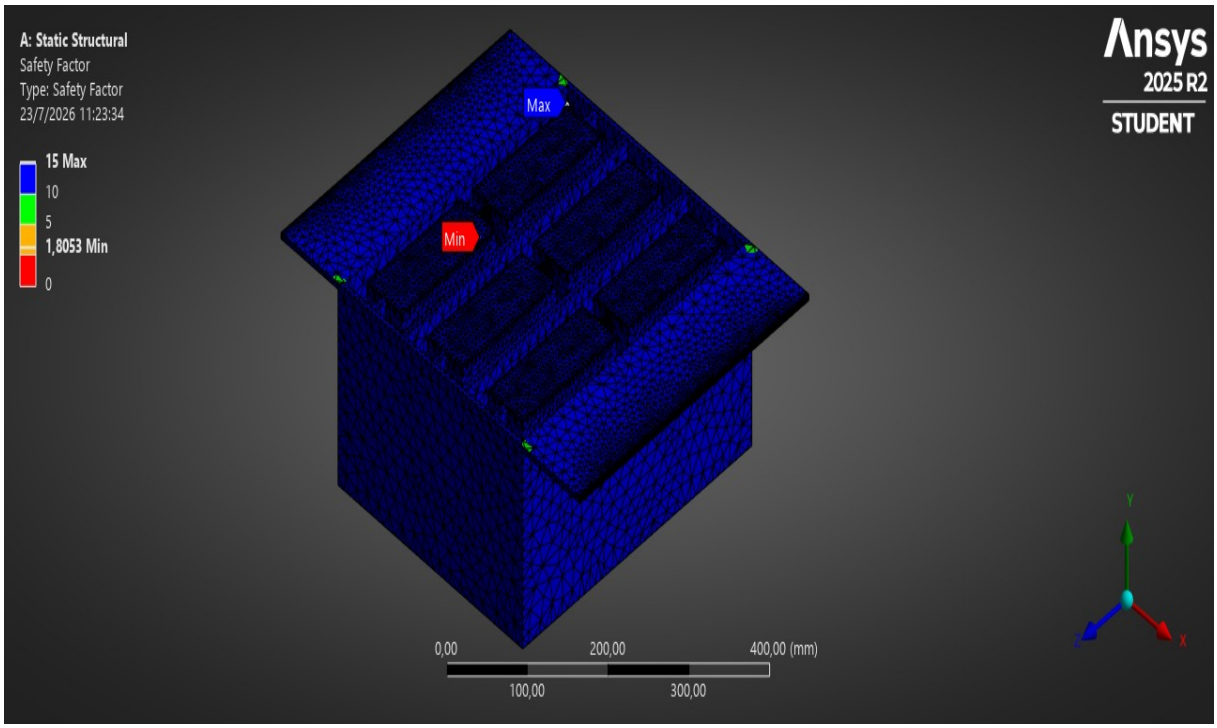


Figura 22. **Factor seguridad con fuerza 2058 N molde de 10 parte hembra.** El mapa de colores evalúa la integridad estructural de la pieza bajo la carga inicial. La geometría se mantiene estable, obteniendo un factor de seguridad mínimo de 1,80 en sus zonas críticas (color amarillo).

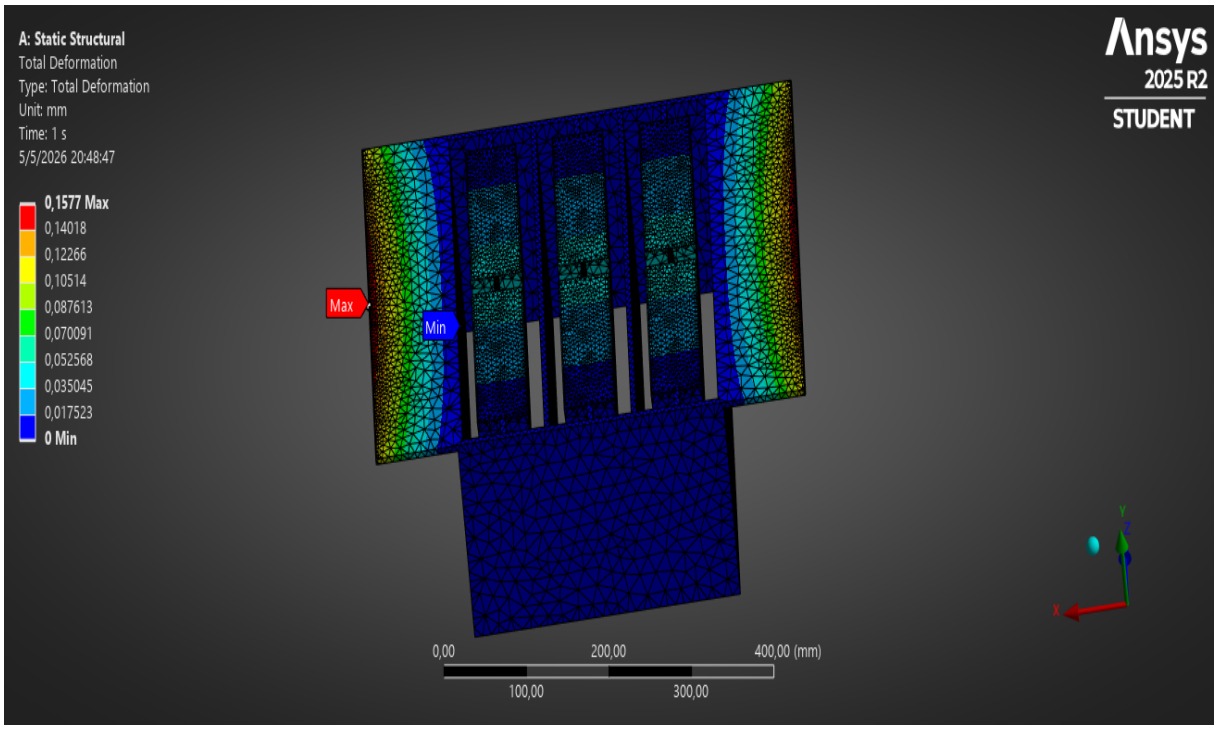


Figura 23. **Deformación con fuerza 3058 N molde de 10 parte hembra.** El análisis ilustra el desplazamiento estructural en el punto exacto de fallo. La deformación alcanza los 0,15 mm, mostrando cómo las paredes centrales ceden al incrementar la carga.

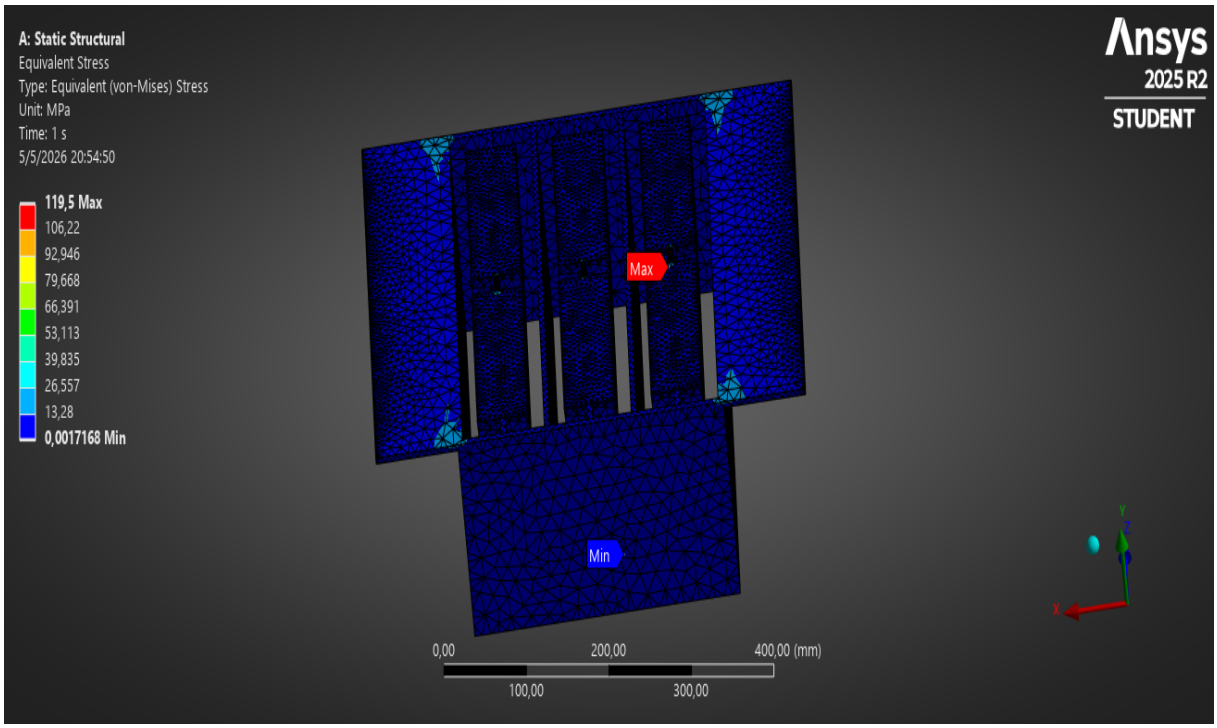


Figura 24. **Esfuerzos mecánicos con fuerza 3058 N molde de 10 parte hembra.** Se evidencia la concentración de tensiones en la pieza, alcanzando un pico máximo de 119,53 MPa. Las zonas rojas indican los puntos críticos donde el material sobrepasa su límite elástico y empieza a fallar.

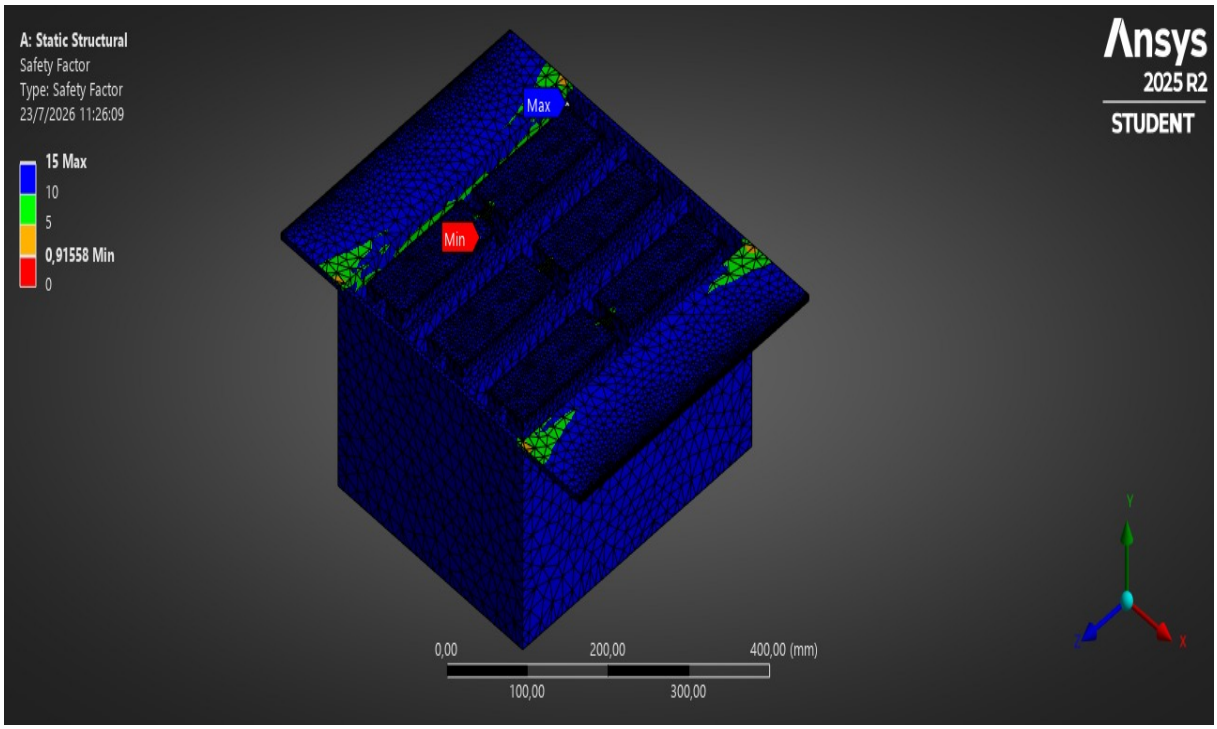


Figura 25. **Factor seguridad con fuerza 4058 N molde de 10 parte hembra.** El mapa confirma visualmente que bajo esta carga la pieza entra en zona de riesgo. Las áreas críticas (color rojo) muestran un factor de 0,91, indicando fluencia estructural.

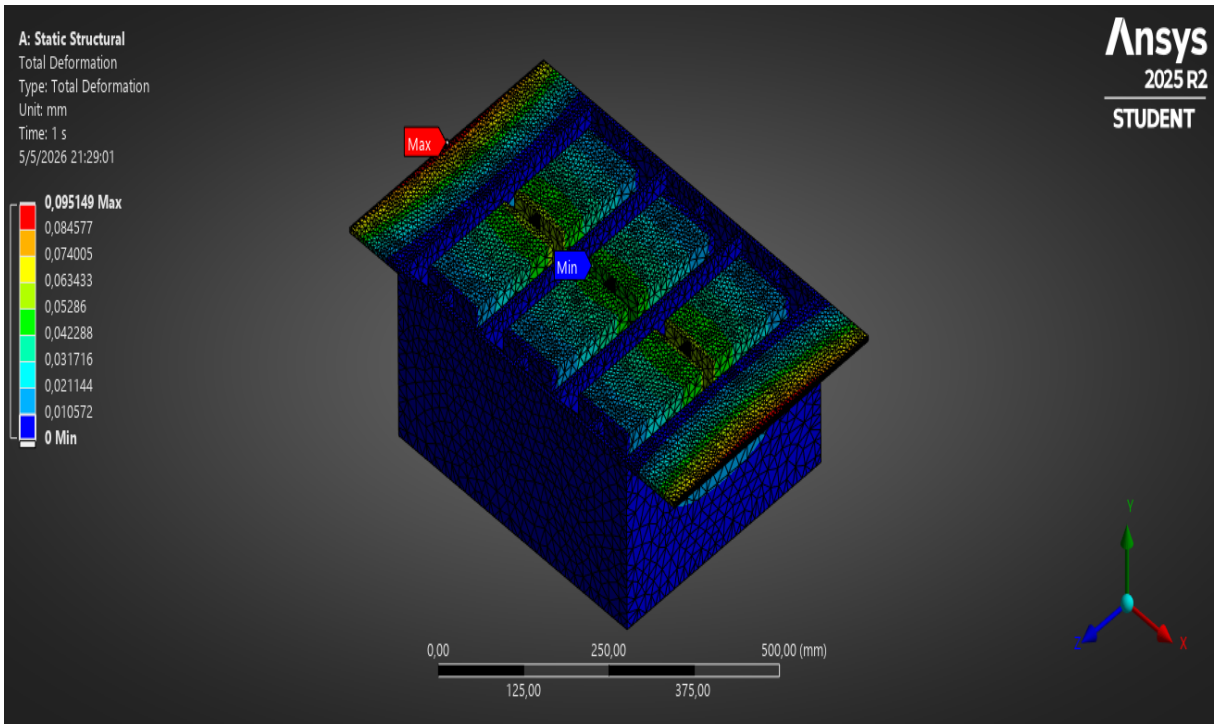


Figura 26. **Deformación con fuerza 2175,6 N molde de 15 parte hembra.** La simulación muestra el desplazamiento inicial bajo la carga operativa base. La deformación máxima es de 0,10 mm, concentrada en el centro de las caras laterales, manteniendo una excelente estabilidad geométrica.

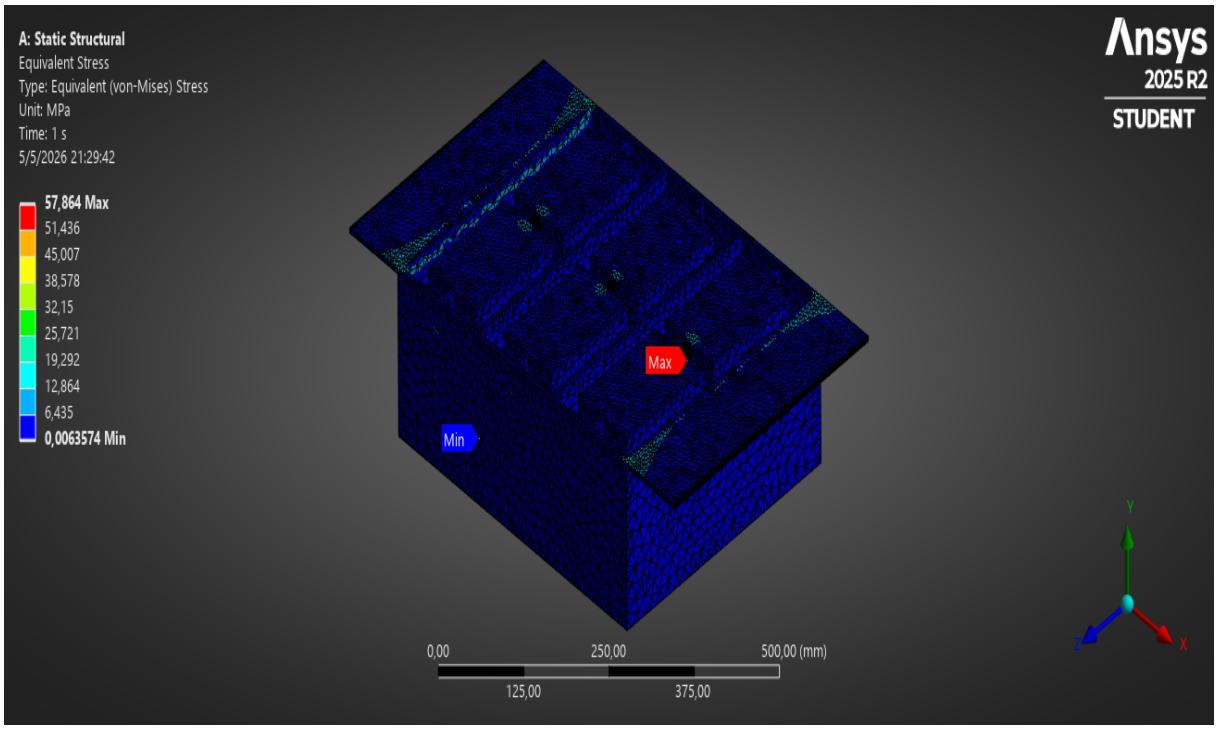


Figura 27. **Esfuerzos mecánicos con fuerza 2175,6 N molde de 15 parte hembra.** El mapa de tensiones de Von Mises indica un pico máximo de 57,86 MPa. Las áreas de mayor fatiga se ubican en las aristas internas, pero operan de forma segura sin llegar al límite de fluencia.

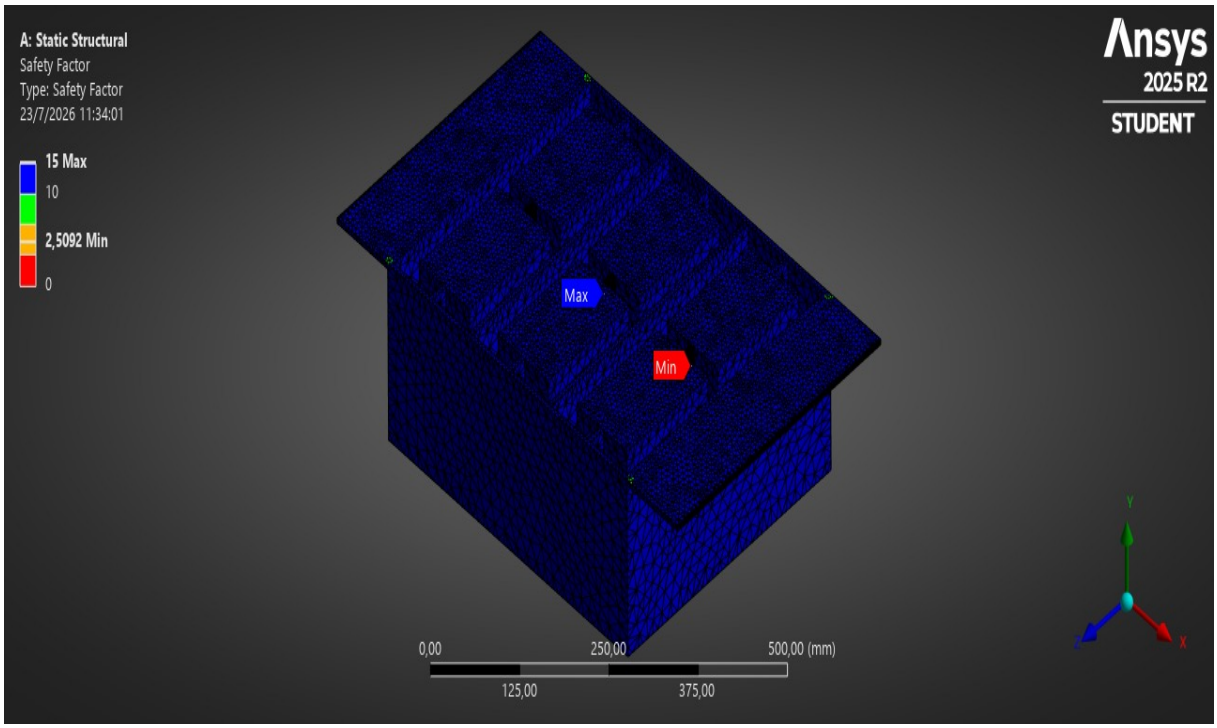


Figura 28. **Factor seguridad con fuerza 2175,6 N molde de 15 parte hembra.** Se evalúa la integridad de la pieza bajo la fuerza inicial de compactación. La estructura resulta confiable, arrojando un factor mínimo seguro de 2,50 en sus zonas más críticas.

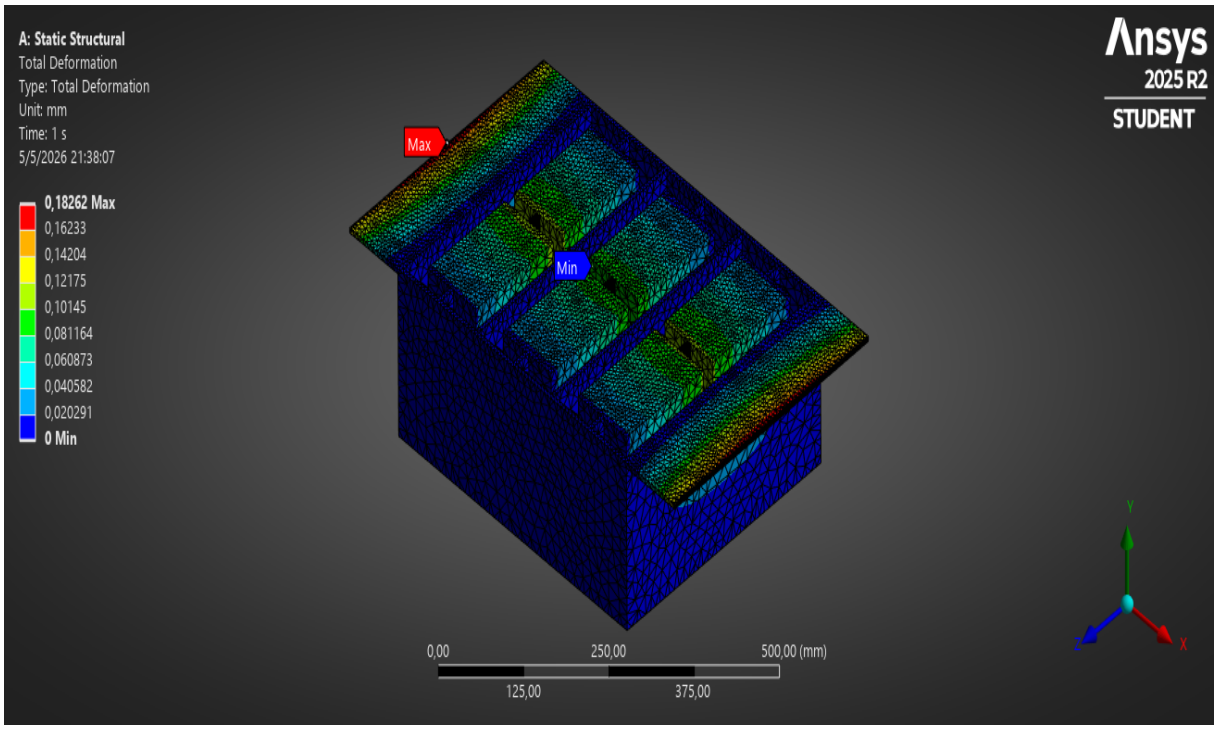


Figura 29. **Deformación con fuerza 4175,6 N molde de 15 parte hembra.** El análisis ilustra el comportamiento del molde justo al entrar en la zona de riesgo. La deformación máxima asciende a 0,19 mm, evidenciando una flexión pronunciada en el centro de las placas.

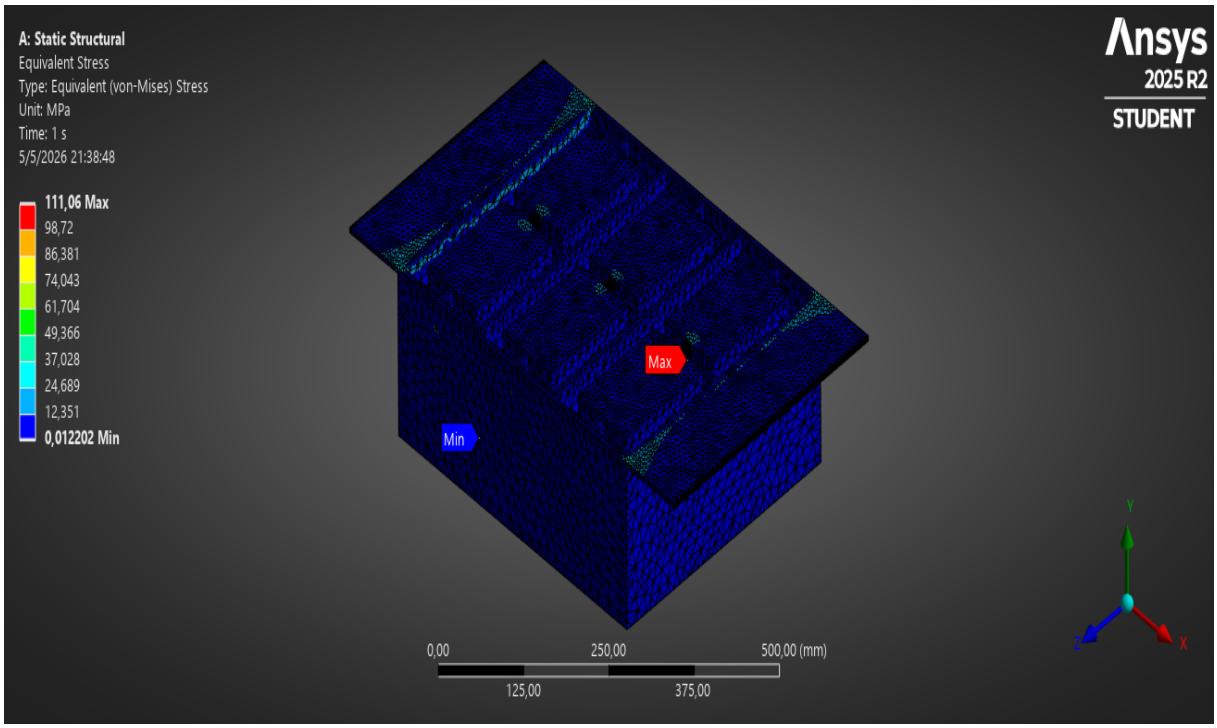


Figura 30. **Esfuerzos mecánicos con fuerza 4175,6 N molde de 15 parte hembra.** Se observa una peligrosa concentración de tensiones, alcanzando los 111,07 MPa. Las zonas rojas señalan los puntos críticos donde el material comienza a ceder ante la sobrecarga.

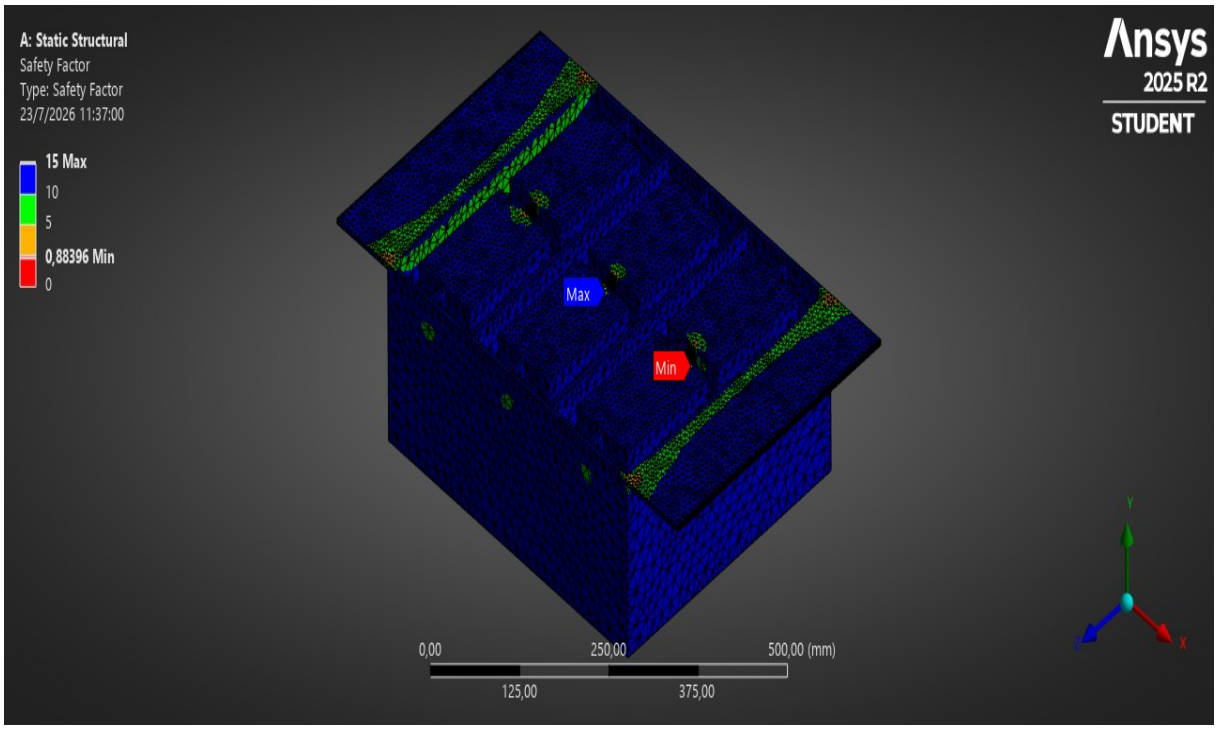


Figura 31. **Factor seguridad con fuerza 6175,6 N molde de 15 parte hembra.** El mapa confirma visualmente la inestabilidad estructural de la pieza. Las áreas críticas (color rojo) descienden a un factor de 0,88, indicando que el diseño no soporta esta magnitud de carga.

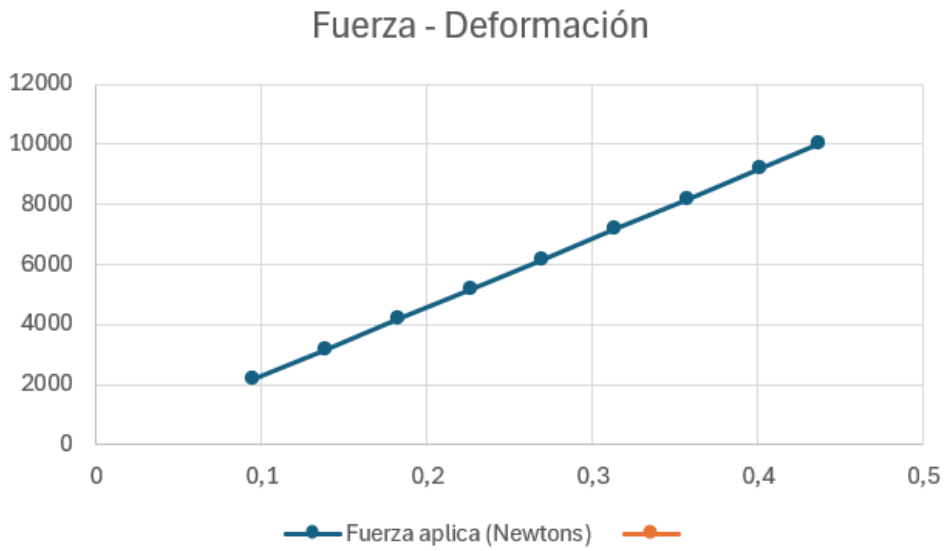


Figura 32. **Relación Fuerza-Deformación Molde de 15 Parte Hembra.** La gráfica ilustra el incremento del desplazamiento bajo carga progresiva. A la fuerza extrema de 10,000 N, la deformación máxima alcanza los 0,46 mm, evidenciando la flexión de las paredes.

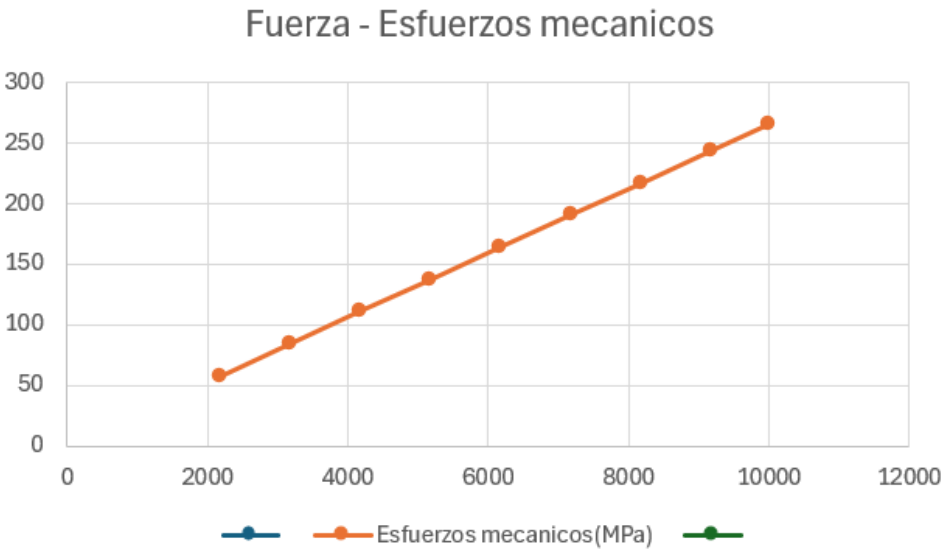


Figura 33. **Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 15 Parte Hembra.** La gráfica demuestra el aumento de la tensión de Von Mises frente a la carga. El esfuerzo llega a aproximadamente 266 MPa en el escenario crítico, superando el límite elástico del material.

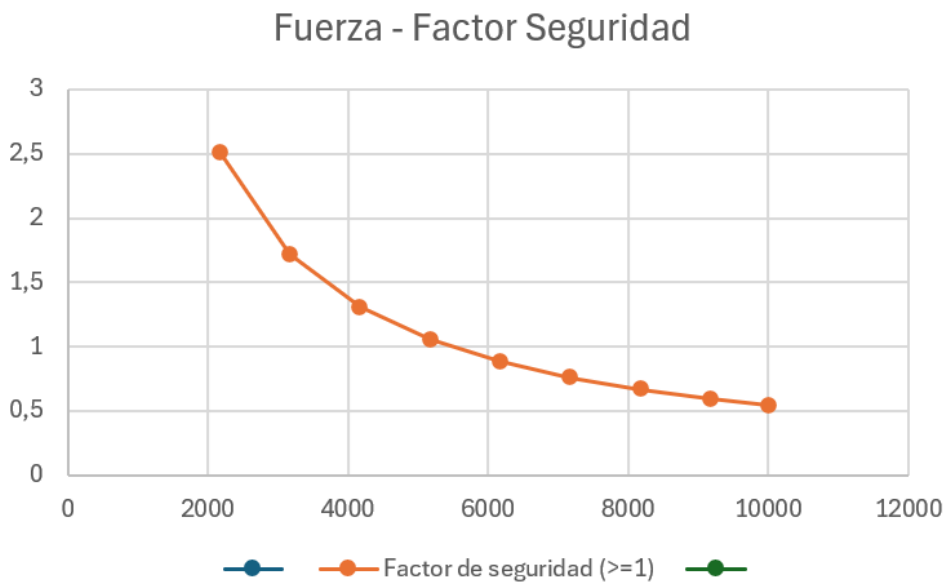


Figura 34. **Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 15 Parte Hembra.** La tendencia decreciente advierte la rápida pérdida de integridad estructural. La curva cae por debajo de 1 al superar los 5000 N, confirmando la falla de la pieza ante sobrecargas.

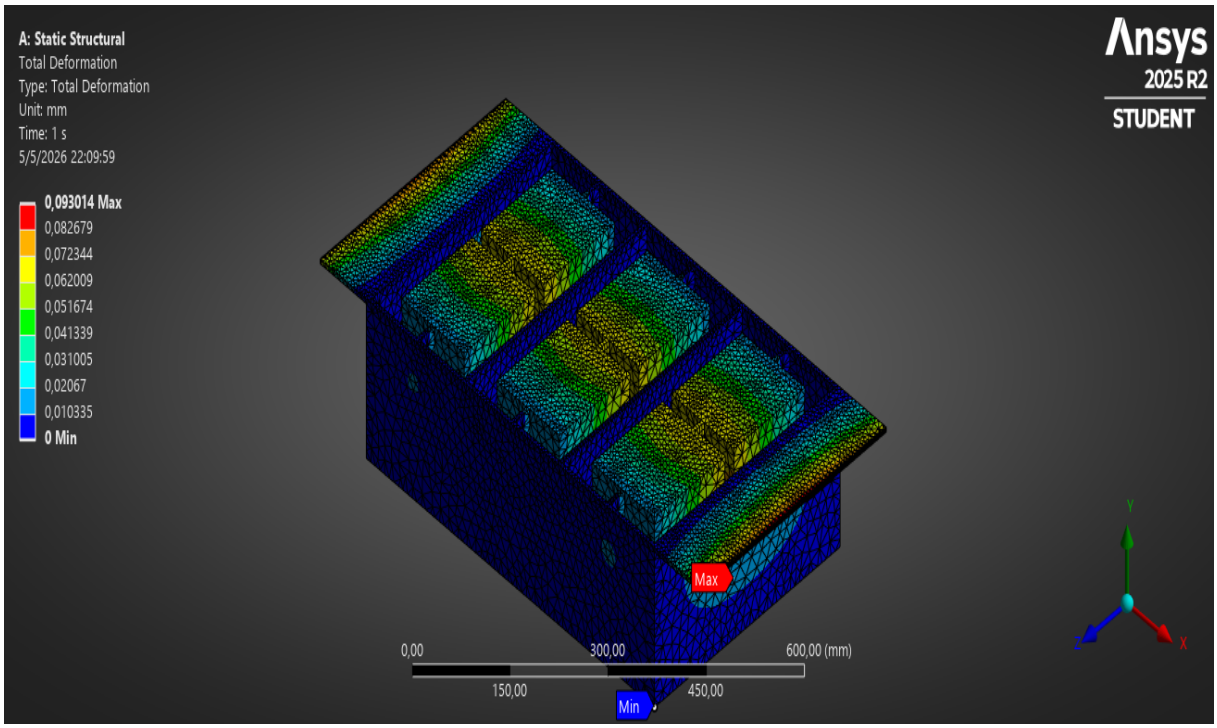


Figura 35. **Deformación con fuerza 2254 N molde de 20 parte hembra.** La simulación evidencia el desplazamiento inicial bajo la carga operativa base. La deformación máxima es de apenas 0,09 mm en las paredes laterales, demostrando gran estabilidad geométrica.

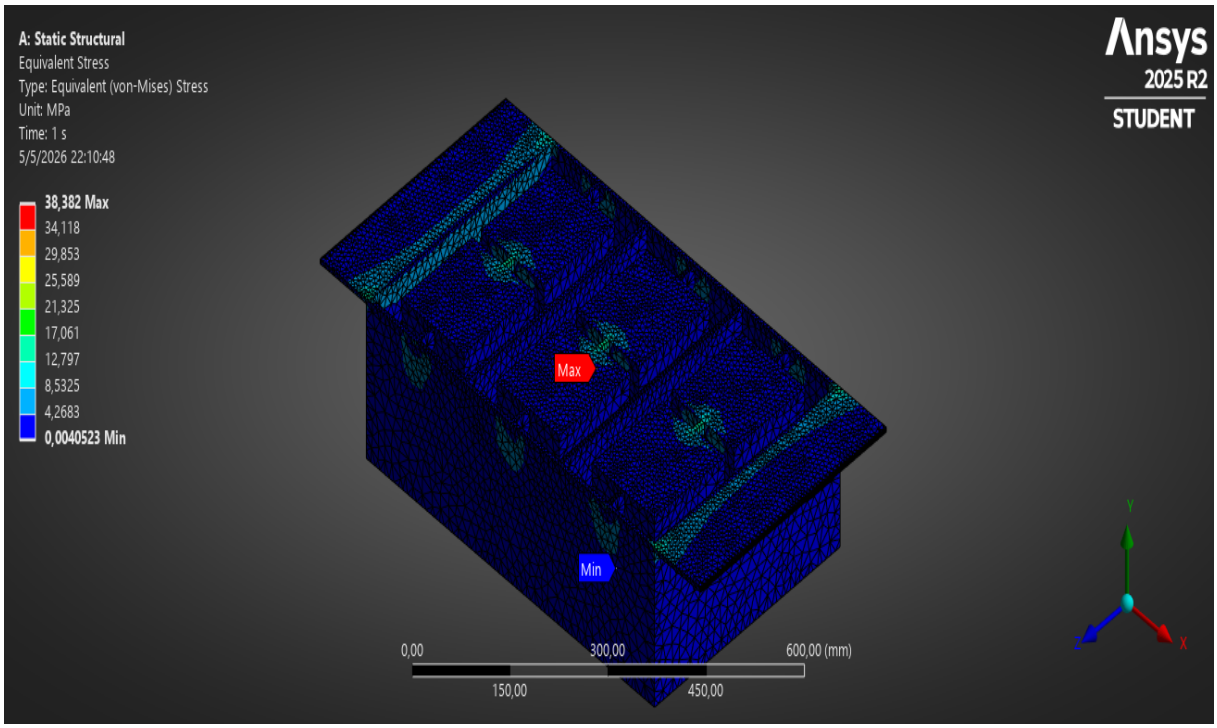


Figura 36. **Esfuerzos mecánicos con fuerza 2254 N molde de 20 parte hembra.** El mapa de tensiones de Von Mises señala un esfuerzo máximo de 38,38 MPa. Las áreas de fatiga se ubican en las aristas internas, pero operan de forma segura sin acercarse a la fluencia.

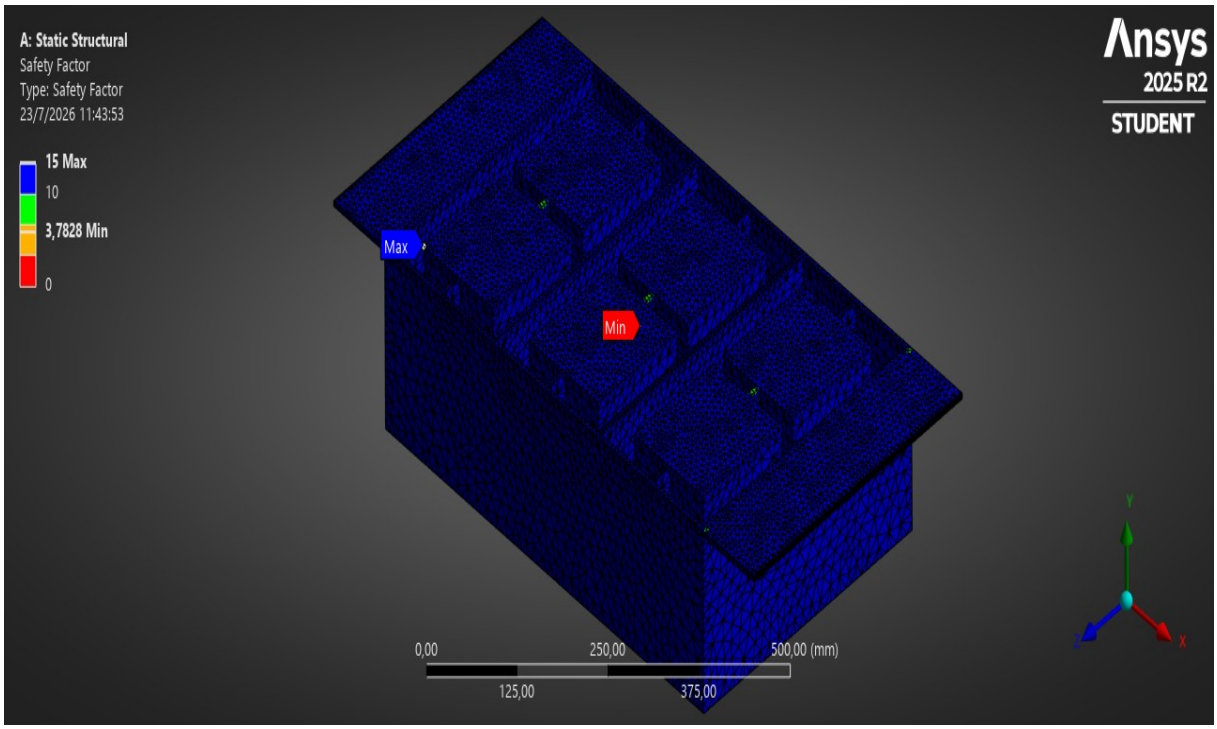


Figura 37. **Factor seguridad con fuerza 2254 N molde de 20 parte hembra**. Se evalúa la integridad estructural bajo la fuerza inicial de compactación. La pieza resulta altamente confiable, arrojando un factor de seguridad mínimo de 3,78 en sus zonas críticas.

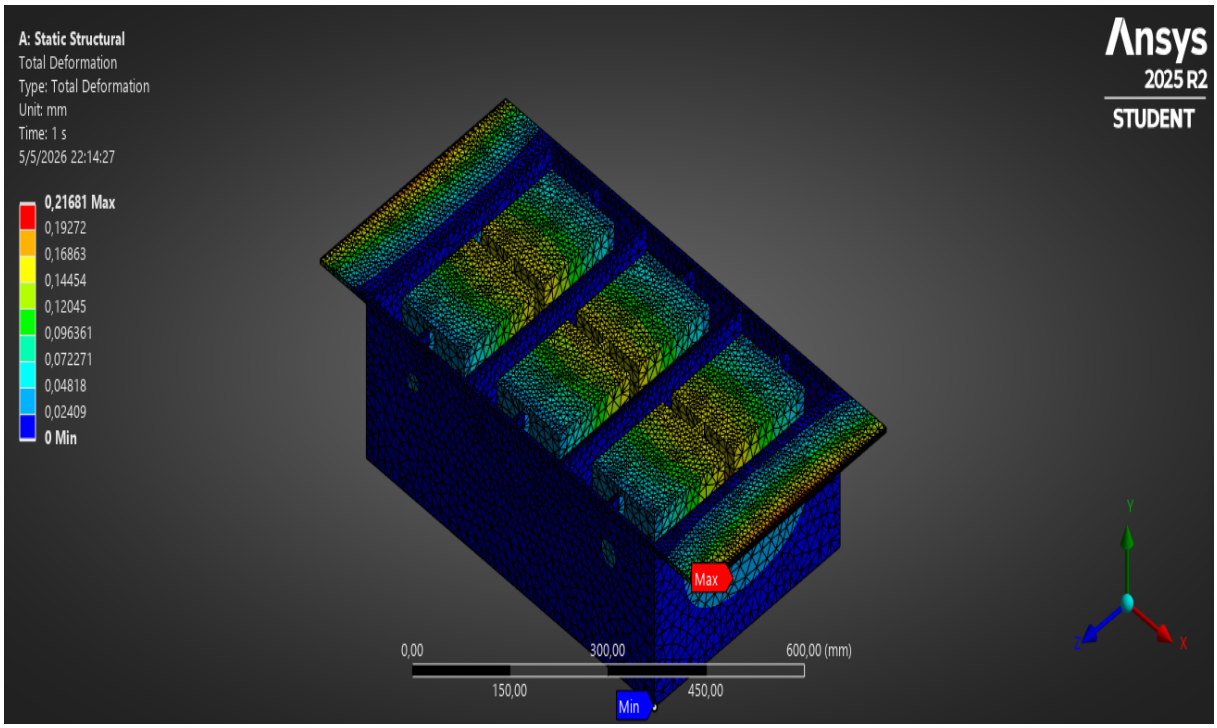


Figura 38. **Deformación con fuerza 5254 N molde de 20 parte hembra.** El análisis ilustra el comportamiento de la pieza al alcanzar la zona de riesgo estructural. La deformación máxima asciende a 0,21 mm, evidenciando una flexión visible en el centro de las caras.

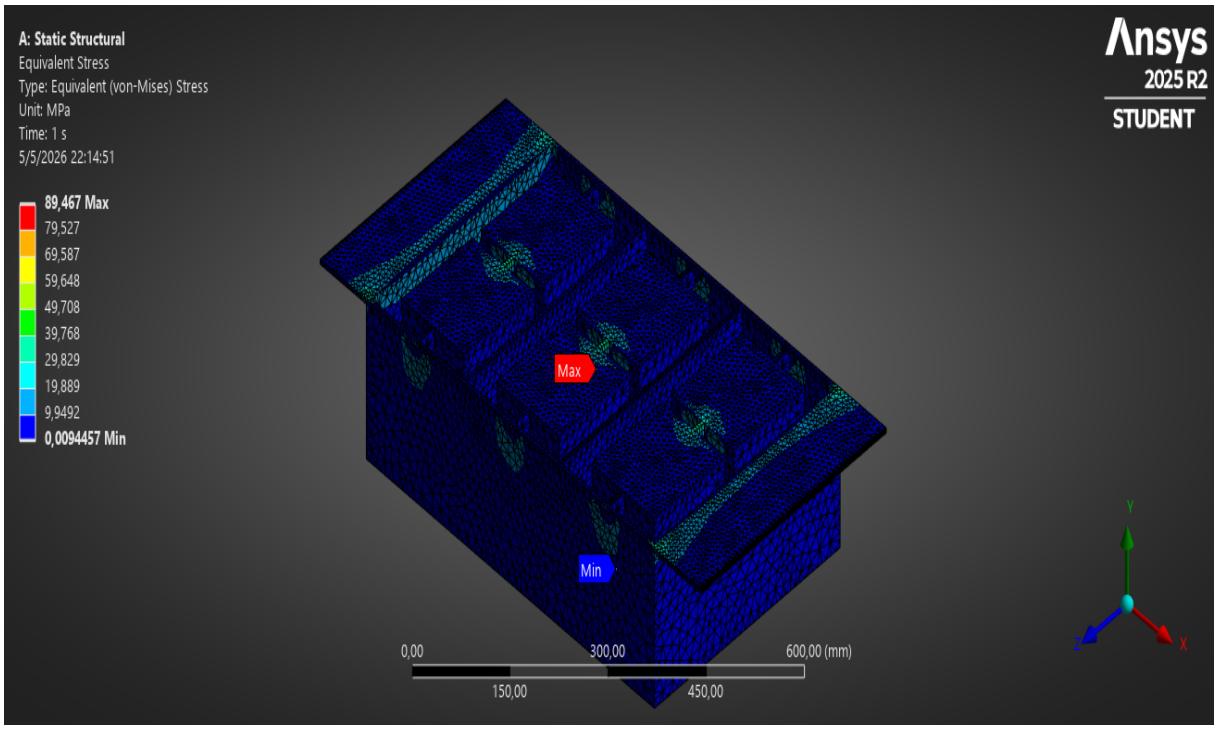


Figura 39. **Esfuerzos mecánicos con fuerza 5254 N molde de 20 parte hembra.** Se observa una fuerte concentración de tensiones, alcanzando los 89,46 MPa. Las zonas rojas señalan los puntos críticos en las esquinas donde el material comienza a ceder ante la sobrecarga.

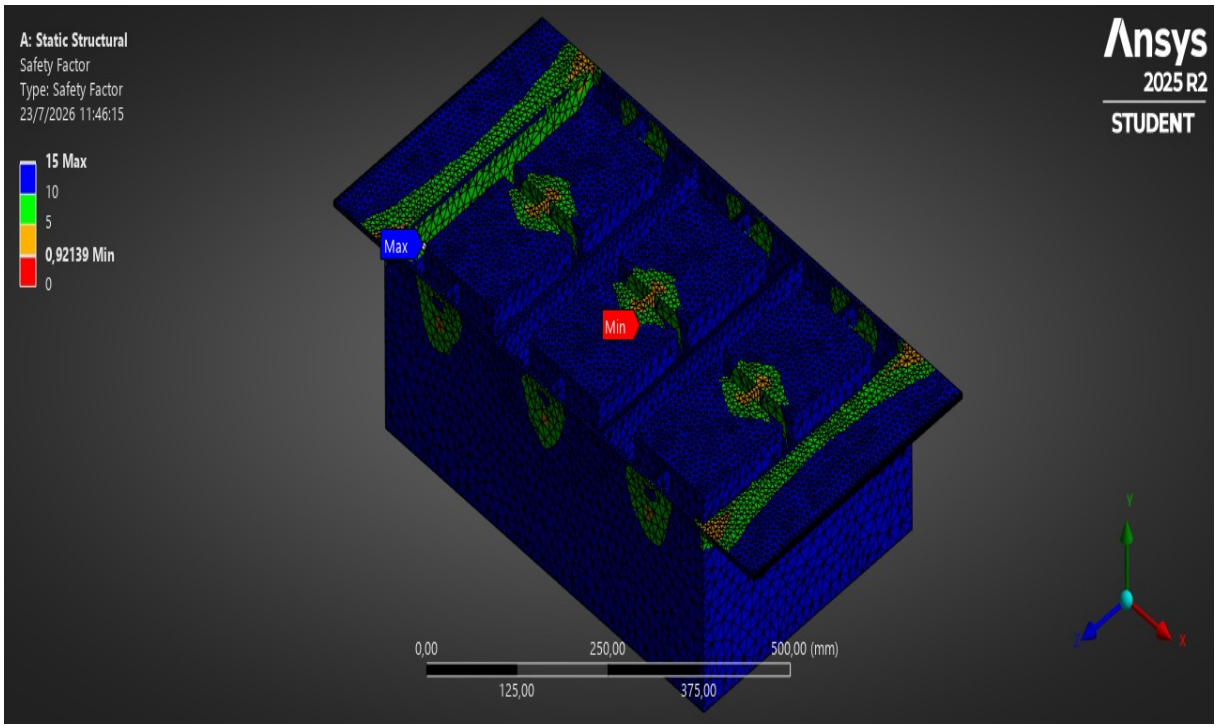


Figura 40. **Factor seguridad con fuerza 9254 N molde de 20 parte hembra.** El mapa confirma visualmente el inicio de la inestabilidad en la estructura. Las áreas críticas (color rojo) descienden a un factor de 0,92, indicando fluencia en el material.

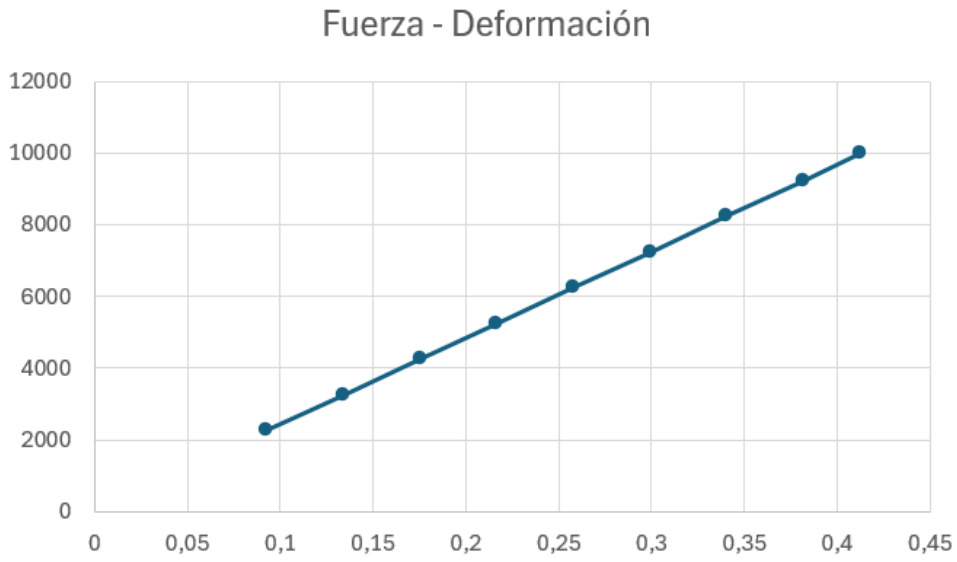


Figura 41. **Relación Fuerza-Deformación Molde de 20 Parte Hembra.** La gráfica ilustra el incremento del desplazamiento ante la aplicación de carga progresiva. En el escenario extremo de 10,000 N, la deformación máxima alcanza aproximadamente los 0,42 mm, evidenciando la flexión de la pieza.

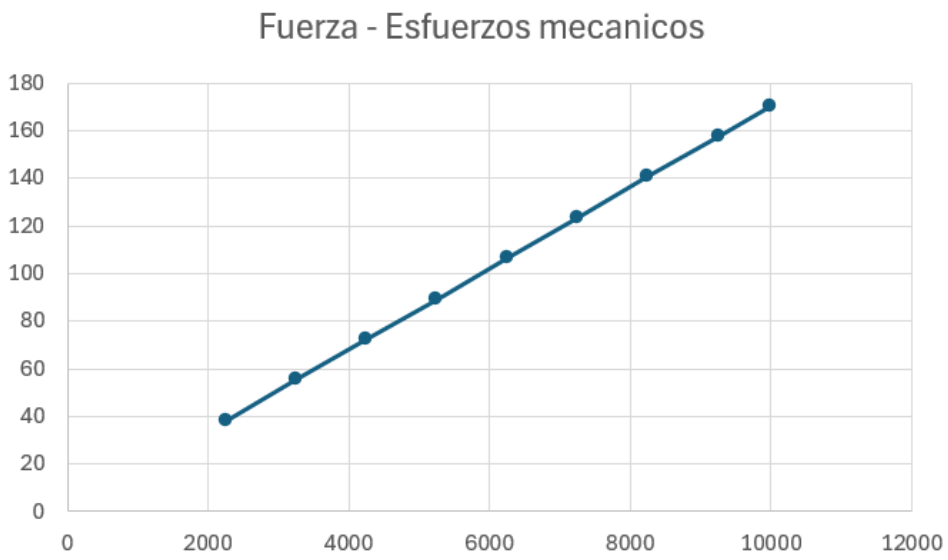


Figura 42. **Relación Fuerza-Esfuerzos mecánicos Molde de 20 Parte Hembra.** La gráfica ilustra el incremento de la tensión de Von Mises frente a la carga aplicada. En el escenario crítico de 10,000 N, el esfuerzo supera los 170 MPa, excediendo el límite elástico del material.

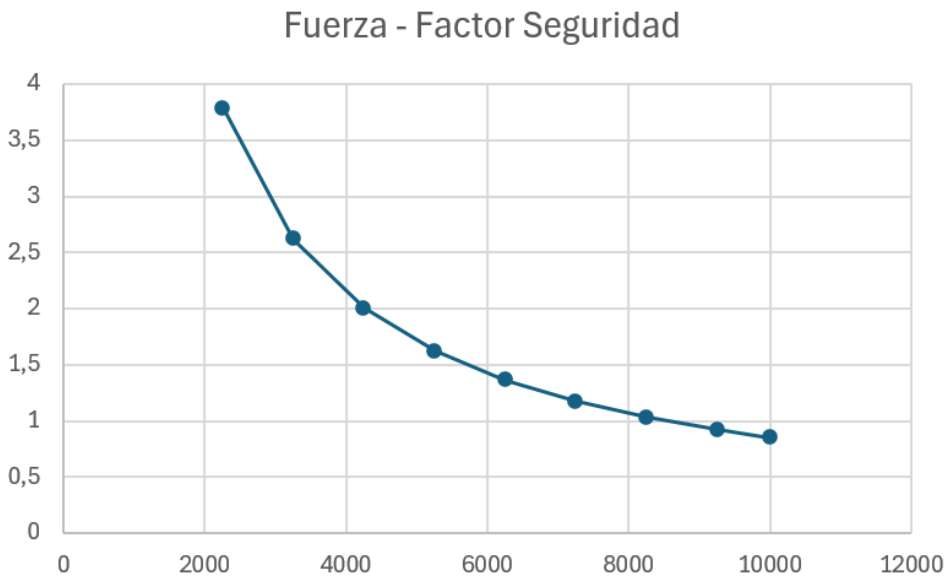


Figura 43. **Relación Fuerza-Factor Seguridad Molde de 20 Parte Hembra.** La tendencia decreciente confirma la rápida pérdida de integridad estructural. La curva cae por debajo de 1 al superar los 8000 N, alertando sobre la inminente fluencia y falla de la pieza.

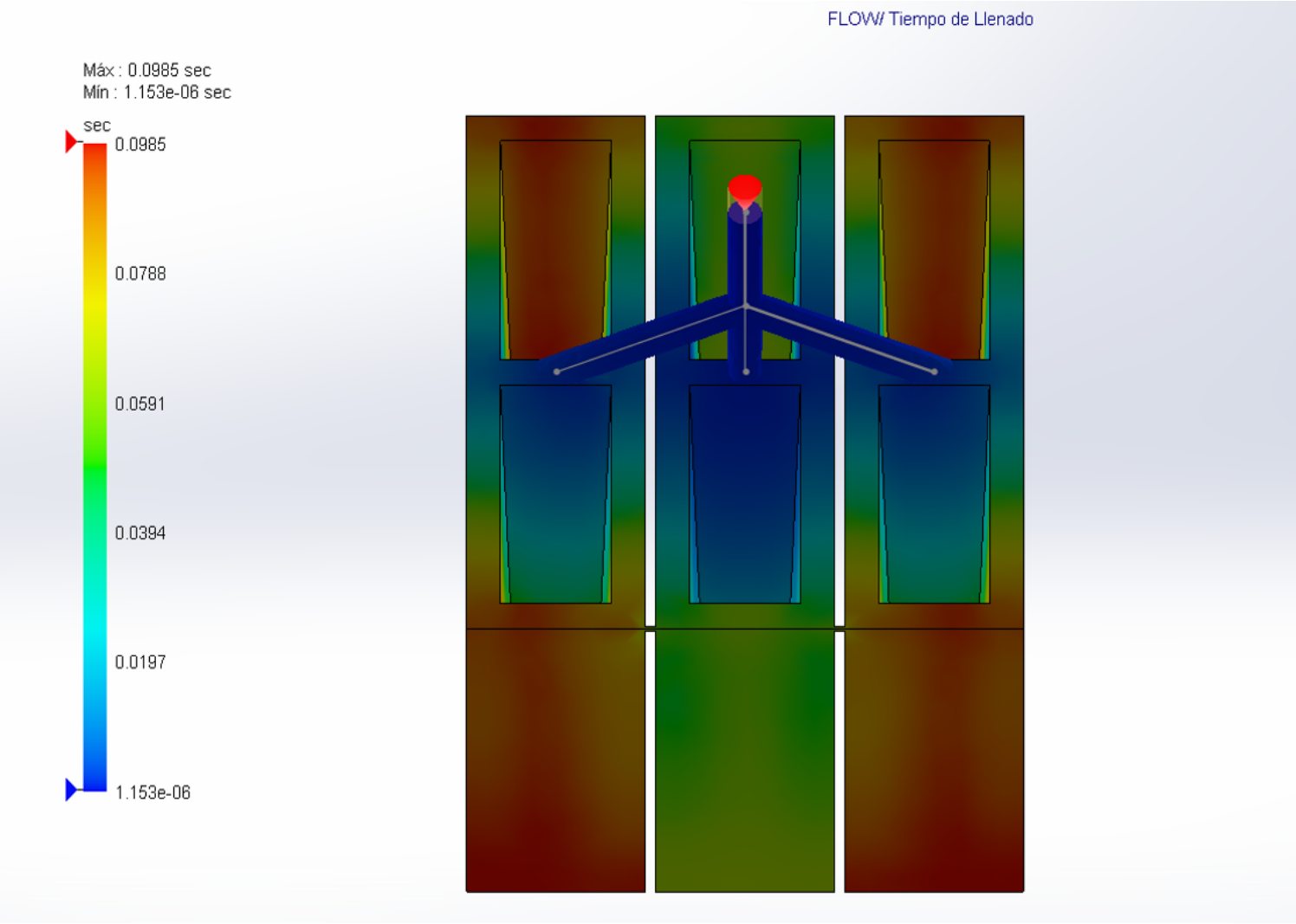


Figura 44. **Simulación de Inyección al Molde de 10 Parte Hembra.** El análisis de fluidos visualiza el avance del frente de flujo del material. Se evidencia que la cavidad se llena en su totalidad en un tiempo máximo de 0,0985 segundos, garantizando una distribución uniforme sin atrapamientos de aire.

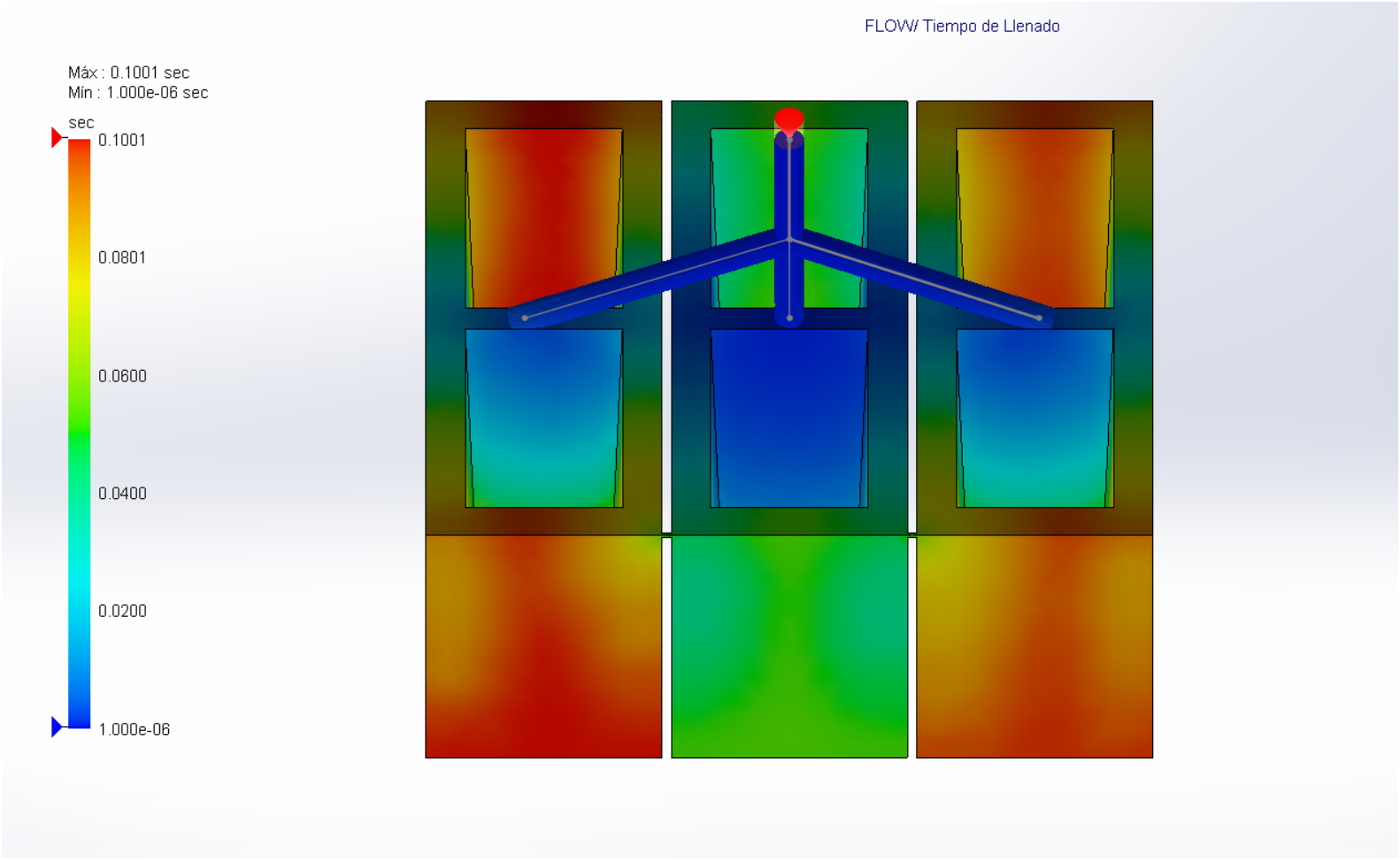


Figura 45. **Simulación de Inyección al Molde de 15 Parte Hembra.** El análisis de fluidos visualiza el avance del material dentro de la cavidad geométrica. Se comprueba que el llenado total se logra en un tiempo máximo de 0,1001 segundos, asegurando una inyección continua y sin defectos.

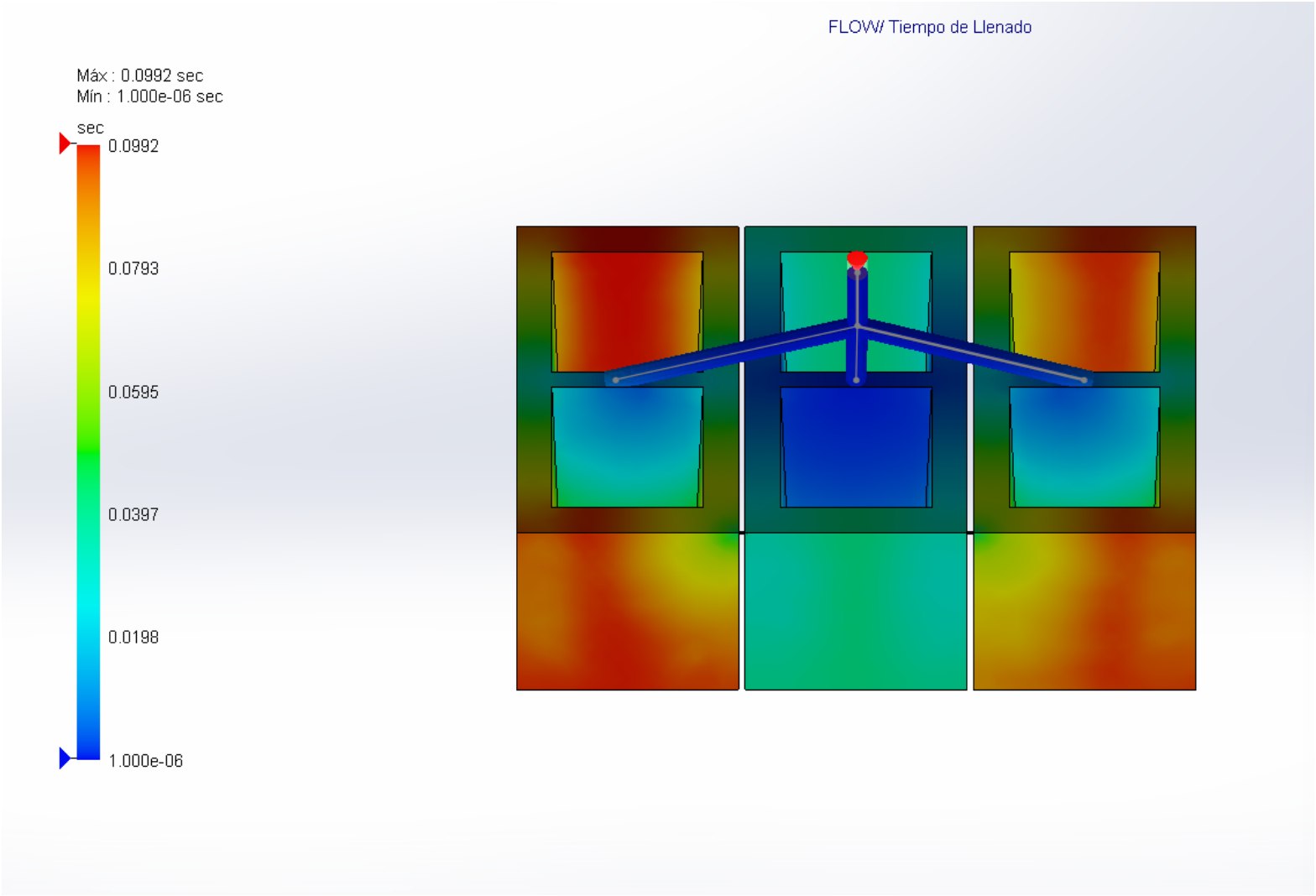


Figura 46. **Simulación de Inyección al Molde de 20 Parte Hembra**. El análisis de fluidos muestra el avance continuo del material dentro de la cavidad geométrica. Se verifica que el llenado total se alcanza en un tiempo máximo de 0,0992 segundos, asegurando una distribución uniforme y sin defectos.