

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

EVALUACIÓN DE RUGOSIDAD EN EL SOPORTE POSTERIOR DE UN MOTOR  
SPARK FABRICADO MEDIANTE FUNDICIÓN CON DIFERENTES TIPOS DE ARENA

Víctor Geovanny López Gómez

Nota del autor

Víctor Geovanny López Gómez, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas,  
Universidad Internacional SEK.

Directora PhD. (c). Diana Belén Peralta Zurita, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

[vglopez.mdm@uisek.edu.ec](mailto:vglopez.mdm@uisek.edu.ec)

## **Declaración Juramentada**

Yo, Víctor Geovanny López Gómez, con cédula de identidad 1716237415, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

VÍCTOR GEOVANNY LÓPEZ GÓMEZ  
C.I.: 171623751-5

## Índice de contenido

Declaración Juramentada.....	2
Resume.....	13
Abstract.....	15
Introducción.....	16
Antecedente.....	16
Planteamiento del problema.....	18
Justificación.....	19
Hipótesis.....	22
Estado del arte.....	22
Planteamiento metodología.....	31
Modelo CAD de la base posterior del motor.....	34
Análisis de la composición del material.....	36
Dimensionamiento del molde de fundición.....	38
Ubicación líneas de partición del molde.....	39
Diseño geométrico del bebedero.....	41
Dimensionamiento de la mazarota.....	50
Ubicación del bebedero.....	52
Diseño experimental factorial.....	57
Numero de repeticiones del experimento.....	58
Comparación de arenas de fundición.....	59
Identificación de las propiedades físicas de las arenas.....	60
Simulación Altair Cast.....	62
Caracterización de la rugosidad.....	65
Procedimiento de simulación.....	70
Análisis de la simulación en la etapa de llenado.....	74
Análisis de la temperatura.....	74
Análisis de la velocidad.....	76
Análisis de la fracción solida de llenado.....	79
Análisis del tiempo de llenado.....	81
Análisis del atrapamiento de aire en el llenado (Last air).....	84
Análisis de la simulación en la etapa de Solidificación.....	86
Análisis de temperatura de solidificación.....	86
Análisis la fracción solida de solidificación.....	89
Análisis tiempo de solidificación.....	91

Análisis criterio de Niyama.....	94
Análisis de porosidad.....	96
Contracción del bebedero.....	99
Volumen total de contracción.....	101
Resultados.....	104
Discusión de resultados.....	112
Conclusiones.....	115
Recomendaciones.....	117
Referencias bibliográficas.....	118

**Índice de figuras**

Figura 1 .....	20
Figura 2 .....	23
Figura 3 .....	24
Figura 4 .....	27
Figura 5 .....	29
Figura 6 .....	33
Figura 7 .....	34
Figura 8 .....	35
Figura 9 .....	38
Figura 10 .....	39
Figura 11 .....	40
Figura 12 .....	43
Figura 13 .....	43
Figura 14 .....	49
Figura 15 .....	49
Figura 16 .....	52
Figura 17 .....	53
Figura 18 .....	53
Figura 19 .....	54
Figura 20 .....	54
Figura 21 .....	55
Figura 22 .....	56
Figura 23 .....	57
Figura 24 .....	59

<b>Figura 25</b> .....	61
Figura 26 .....	63
Figura 27 .....	64
Figura 28 .....	65
Figura 29 .....	66
Figura 30 .....	66
Figura 31 .....	67
Figura 32 .....	68
Figura 33 .....	69
Figura 34 .....	72
Figura 35 .....	72
Figura 36 .....	73
Figura 37 .....	73
Figura 38 .....	74
Figura 39 .....	75
Figura 40 .....	75
Figura 41 .....	76
Figura 42 .....	77
Figura 43 .....	77
Figura 44 .....	78
Figura 45 .....	78
Figura 46 .....	79
Figura 47 .....	80
Figura 48 .....	80
Figura 49 .....	81

Figura 50 .....	82
Figura 51 .....	82
Figura 52 .....	83
Figura 53 .....	83
Figura 54 .....	84
Figura 55 .....	85
Figura 56 .....	85
Figura 57 .....	86
Figura 58 .....	87
Figura 59 .....	87
Figura 60 .....	88
Figura 61 .....	88
Figura 62 .....	89
Figura 63 .....	90
Figura 64 .....	90
Figura 65 .....	91
Figura 66 .....	92
Figura 67 .....	92
Figura 68 .....	93
Figura 69 .....	93
Figura 70 .....	94
Figura 71 .....	95
Figura 72 .....	95
Figura 73 .....	96
Figura 74 .....	97

Figura 75 .....	97
Figura 76 .....	98
Figura 77 .....	98
Figura 78 .....	99
Figura 79 .....	100
Figura 80 .....	100
Figura 81 .....	101
Figura 82 .....	102
Figura 83 .....	102
Figura 84 .....	103
Figura 85 .....	103
Figura 86 .....	109
Figura 87 .....	111

**Índice de tablas**

Tabla 1.....	19
Tabla 2.....	36
Tabla 3.....	37
Tabla 4.....	44
Tabla 5.....	45
Tabla 6.....	46
Tabla 7.....	46
Tabla 8.....	46
Tabla 9.....	47
Tabla 10.....	48
Tabla 11.....	49
Tabla 12.....	51
Tabla 13.....	51
Tabla 14.....	58
Tabla 16.....	59
Tabla 17.....	62
Tabla 18.....	62
Tabla 19.....	70
Tabla 20.....	71
Tabla 21.....	104
Tabla 22.....	105
Tabla 23.....	106
Tabla 24.....	106
Tabla 25.....	107

Tabla 26.....	108
Tabla 27.....	108
Tabla 28.....	110
Tabla 29.....	110
Tabla 31.....	112

**Índice de anexos**

Anexo 1 .....	120
Anexo 2 .....	128
Anexo 3 .....	131

### **Abreviaturas**

C.A.D.	Computer Aided Design (Diseño asistido por computadora)
C.A.E.	Computer Aided Engineering (Ingeniería asistida por computador)
CA.N.FA.C.	Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocerías

**Resume**

En el presente trabajo se describe la caracterización de rugosidad en la base posterior del vehículo Chevrolet Spark, considerando que en la actualidad el país siendo uno de los productores de mediano y con proyección a gran alcance en producción de piezas fundidas, la investigación se fundamenta en un estudio para analizar las variables que afectan en la calidad producción del elemento fundido en moldes arena por gravedad, además la autoparte seleccionada si bien es cierto no es un elemento de gran importación y demanda en el mercado automotriz Ecuatoriano, pero su proceso de manufactura es por fundición, se hace factible entonces realizar un análisis de la composición del material, igualando y/o mejorando la calidad en su fabricación, cabe mencionar que uno de los vehículos más vendidos en el primer trimestre del 2021 es la línea Chevrolet con un incremento del 7%, mirando con optimismo estas cifras que van en crecimiento en época de Covid-19 y considerando que la mayoría de partes automotrices son importados es factible realizar a futuro la manufactura local de las partes del vehículo al tener que importar. Para el análisis de la pieza propuesta, se consideraron estudios de los tipos de arena de fundición de metales, evaluando la conductividad térmica y su densidad, factor importante en la calidad del acabado superficial de la pieza fundida, el diseño CAD 3D de la autoparte es importante para interpretación de las variables en la construcción del molde en arena y llevar a la fase de operación de fundición. El estudio muestra mediante un análisis CDF en el software Inspire Cast y un análisis experimental de la rugosidad superficial, el control de variables como, velocidad de llenado, temperatura y porosidad en el proceso de fundición, además el tipo de arena aplicado para el conformado en caliente, factores que se deben controlar para mejorar el aspecto y la rugosidad de la parte automotriz.

*Palabras clave:* Soporte del motor, Análisis CFD, Porosidad, Fundición en arena, Fundición, Rugosidad, Temperatura de fundición, Velocidad de llenado, Arenas de fundición,

Modelado CAD, Simulación CAE, Conductividad térmica, Arena sílice, Arena verde, Bentonita.

**Abstract**

In the present work, the characterization of roughness in the rear base of the Chevrolet Spark vehicle is described, considering that currently the country is one of the producers of medium and with a far-reaching projection in the production of castings, the investigation is based on a study to analyze the variables that affect the production quality of the cast element in gravity sand molds, in addition to the selected auto part, although it is true that it is not an element of great import and demand in the Ecuadorian automotive market, but its manufacturing process is by casting, it is then possible to carry out an analysis of the composition of the material, matching and/or improving the quality in its manufacture, it is worth mentioning that one of the best-selling vehicles in the first quarter of 2021 is the Chevrolet line with an increase in 7%, looking optimistically at these figures that are growing in times of Covid-19 and considering that most parts are imported, it is feasible to carry out the local manufacture of vehicle parts in the future by having to import. For the analysis of the proposed piece, studies of the types of metal foundry sand were considered, evaluating the thermal conductivity and its density, an important factor in the quality of the surface finish of the cast piece, the 3D CAD design of the auto part is important for interpretation of the variables in the construction of the sand mold and lead to the foundry operation phase. The study shows, through a CDF analysis in the Inspire Cast software and an experimental analysis of surface roughness, the control of variables such as filling speed, temperature and porosity in the casting process, as well as the type of sand applied for casting. hot, factors that must be controlled to improve the appearance and roughness of the automotive part.

*Keywords:* Engine Support, CFD Analysis, Porosity, Sand Casting, Casting, Roughness, Casting Temperature, Filling Speed, Casting Sands, CAD Modeling, CAE Simulation, Thermal Conductivity, Silica Sand, Green Sand, Bentonite.

## Introducción

### Antecedente

El soporte posterior son piezas muy pequeñas elementos fusibles cuya función es evitar golpes, estabilizar y alinear el motor del vehículo, también se encarga de conectar al motor con el bastidor del vehículo, por tal motivo es considerado como una parte automotriz muy importante, pero el mal uso y los abusos a los que son expuestos conlleva a realizar un cambio muy frecuente de la parte automotriz. El diseño del soporte es muy sencillo básicamente se compone de una pieza sólida con dos alojamientos para unos bocines de goma con la finalidad de absorber impactos y vibraciones entre el motor y el bastidor del vehículo.

Las superficies de los cuerpos son objetos muy complejos, en ellos la composición química es en general es diferente dentro de la composición dentro del componente, los meteorólogos saben que el ordenamiento atómico también es muy distinto en las superficies y es mucho más complicado y difícil de describir aun así las superficies consideradas como muy lisas muestran cuando son analizadas a escala una compleja diversidad de particularidades geométricas.(Arcos Tomal et al., 2019)

La topografía es la ciencia que se encarga del estudio de las superficies de materiales naturales o artificiales (Bisbal et al., 2015), donde uno de los conceptos que se utilizan en la topografía para describir las irregularidades de las superficies en la rugosidad y el método más usado en la industria para cuantificar la rugosidad se basa en el registro de perfiles de alturas mediante un rugosímetro o perfilómetro, además existe otro equipo muy importante para medir la rugosidad es el microscopio de fuerza atómica (MFA) catalogado como uno de las mejores herramientas para recopilar información ya que tiene una resolución sub-nanométrica.

Las características de la rugosidad dependen de distintos factores como el tipo de conformado del material, el mecanizado con el cual fue modificado su geometría y el proceso de terminado además un factor importante puede ser la forma que la superficie puede poseer curvatura y/o ondulación, factores que puede repercutir en los resultados al momento de realizar las mediciones de rugosidad. (Hinojosa Rivera & Reyes Melo, 2001)

El proceso de moldeo metálico consiste en elevar la temperatura de un material dentro de un horno de fundición hasta llegar al punto de fusión del material y vaciarlo por medio de gravedad o mediante presión dentro de un molde de arena de tal manera que después de un intervalo de tiempo se solidifique hasta llegar a obtener la geometría deseada. (Salueña & Nápoles Amelia, 2000)

Para la fundición de moldes en arena se utiliza una mezcla de arena refractaria como material base, además de aglutinante o aglomerante (Pallo & Valdivieso, 2018), estas arenas presentan propiedades mecánicas y físicas que proporcionan una mayor estabilidad de la arena en el desarrollo del colado del material fundido.

En lo que respecta a los sistemas de moldeo, la gran mayoría de las empresas del ramo de la fundición, realiza el moldeo con el sistema conocido como “arena verde”, un segmento pequeño de empresas realiza el moldeo a través del uso de resinas tanto en forma manual, como con el uso de sistemas mecánicos de moldeo, y, finalmente un reducido número lo hace con sistemas de inyección a presión. (Grau & Sosa, 2006). El moldeo con arena verde, permite la conformación de moldes aplicando mezclas de arena y bentonita, en presencia de una cantidad controlada de agua. En el proceso de moldeo se diferencia dos tipos de sustratos conocidos como: arena de contacto y arena de relleno. La arena de contacto es la que está en contacto con el metal fundido, mientras que la arena de relleno es la que forma parte de la caja de moldeo, y no tiene contacto con el metal fundido. La calidad de la arena de contacto, sumada a la apropiada

técnica de moldeo empleada, tienen una directa influencia en el acabado superficial de la pieza fundida, lo cual es evaluado a través del parámetro conocido como rugosidad. (Insausti et al., 2000)

### **Planteamiento del problema**

Según la asociación de empresas automotrices del Ecuador la participación de ventas por marca en unidades de vehículos livianos en el transcurso del 2021 la marca Chevrolet tiene un mayor porcentaje de ventas con un 22.9 %, la segunda marca con mayor porcentaje de ventas es la marca Kia con un 18.4% y la marca Hyundai con un 6.1% de ventas, considerando q la mayor parte de los vehículos son importados al igual que las partes automotrices en el año 2018 las importaciones fueron de 9.303 vehículos teniendo un descenso en el 2019 y 2020 de 7.659 y 4.767 respectivamente debido a la pandemia que afecto a nivel mundial también al campo automotriz, en el año 2021 las importaciones históricas han aumentado a 8.415 teniendo una proyección incremental.

Los verdaderos avances en la fundición datan a inicios de los años 90, donde se realizaron investigaciones de laboratorio analizando las condiciones de turbulencia superficial, en estos últimos 20 años el rendimiento de las superficies fundidas en piezas se ha desarrollado con una sofisticación suficiente para revolucionar el rendimiento de aleaciones ligeras y de acero, Sin embargo, Todavía queda un largo camino por recorrer, con grandes sectores de las industrias del acero y de la fundición a base de Ni que aún niegan que los defectos de fundición sean importantes o incluso que existan. (Campbell, 2015)

Las características que se debe determinar en la arena para ver si es la apropiada para la elaboración de moldes se tiene: composición química, distribución granulométrica y morfología de los granos y el número de finezas y propiedades físicas (Bisbal et al., 2015)

Con base a lo expuesto anteriormente el presente trabajo de investigación busca identificar la variación de la rugosidad del soporte de la base de un motor spark mediante el proceso de fundición en arena verde comparando con otros tipos de arena. El tamaño de grano tiene gran influencia en el acabado superficial de las piezas fundidas, en la permeabilidad, cohesión y refractariedad, por lo cual se hace muy importante un análisis del tipo de fineza de la arena haciéndola pasar por una serie de tamices hasta llegar a obtener un tipo fino de arena. (Grau & Sosa, 2006)

**Tabla 1**

*Tamaño de grano de la arena*

Granulometría	N° de finura	Tamaño de grano
Gruesa	15-35	1 - 0,5 mm
Media	35-60	0,5 - 0,25 mm
Fina	60-150	0.25 - 0,10 mm
Finísima	>150	> 10 mm

*Nota.* La tabla muestra un resumen granulométrico de las arenas de las arenas de fundición, en relación a la finura y tamaño.

### **Justificación**

Uno de los vehículos más vendidos en el Ecuador en el 2019 según la asociación de empresas automotrices del Ecuador es la línea Chevrolet, considerando que la mayoría de estos vehículos son importados al igual que sus partes automotrices es factible considerar la manufactura local de las partes del vehículo al tener que importar, reduciendo así el costo de distribución en las casas comerciales, en el periodo de enero a marzo del 2021 se ha registrado un porcentaje de ventas mayor en la línea Chevrolet del 22,9% siendo la marca líder de consumo por el usuario. (AEADE Sector automotor en cifras, 2021). Es importante mencionar que con

el consumo de vehículos esta la fabricación y venta de partes automotrices, dejando la idea para la creación de nuevos proyectos que solventen estas necesidades, considerando a la base posterior para un motor Chevrolet spark, como una autoparte consumida en el mercado automotor.

### **Figura 1**

*Soporte posterior de un motor Spark*



*Nota.* En la figura se muestra el soporte posterior de un motor sin el sistema de amortiguamiento o cojinetes de absorción de cargas.

El soporte posterior son piezas muy pequeñas cuya función es evitar golpes, estabilizar y alinear el motor del vehículo, también se encarga de conectar al motor con el bastidor del vehículo, por tal motivo es considerado como una parte automotriz muy importante, pero el mal uso y los abusos a los que son expuestos conlleva a realizar un cambio muy frecuente de la parte automotriz. El diseño del soporte es muy sencillo básicamente se compone de una pieza sólida con dos alojamientos para unos bocines de goma con la finalidad de absorber impactos y vibraciones entre el motor y el bastidor del vehículo.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la rugosidad en un soporte posterior de un motor Chevrolet Spark fabricado mediante el proceso de conformado en caliente (fundición) variando los tipos de arena y bebederos para un análisis experimental y la simulación mediante el software Altair Cast.

Los objetivos específicos son:

- Evaluar las propiedades mecánicas y composición química de material de la parte automotriz mediante la norma ASTM E1086-16, método de pruebas para el análisis de aceros por espectrometría de rayos X y el equipo Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C, serie 541828.
- Delimitar las dimensiones adecuadas de la parte automotriz con técnicas de medición y el uso de herramientas de diseño CAD / CAE para el análisis en el software Altair Cast en el proceso de fundición del elemento, combinando las variables de estudio como los tipos de arenas y diámetro de bebederos.
- Identificar las propiedades físicas de los tipos de arena de fundición en la fabricación de la base posterior de un motor del vehículo Chevrolet spark mediante análisis de ensayos térmicos según la Norma ISO 8302 por el método de placa caliente resguardada.
- Comparar los resultados experimentales de la rugosidad obtenidos en la parte automotriz fundida con el uso de un rugosímetro portátil SHBLST241 tipo palpador capacitivo y la simulación del proceso de fundición con el software Altair Cast.

El tipo de investigación a ser aplicado en este proyecto involucra un trabajo sistemático en el cual se apoye con teorías y conocimiento existente desarrolladas en investigaciones de características similares como también se apoya en la experiencia práctica, la cual se dirige a mejorar sustancialmente la rugosidad de una parte automotriz siendo así una investigación de tipo desarrollo experimental, ya que se pretende fundir el aluminio, comúnmente se utiliza en varias aplicaciones en la fabricación de elementos mecánicos (Ali et al., 2019), debido a que tienen mejores propiedades mecánicas, excelente resistencia al desgaste y sobre todo es un material muy liviano siendo así uno de los materiales más idóneos para la fabricación de estas partes.

## **Hipótesis**

En el presente proyecto se considera las siguientes hipótesis las mismas que guiarán el proceso investigativo para al final validar los resultados obtenidos.

- El uso de arenas alternativas para la fundición de elementos y partes automotrices mejora la calidad superficial del producto comparando con el uso de arena verde de molde.
- Los resultados obtenidos en la simulación de fundición en el software Altair Cast son idénticos a los datos experimentales lo que conlleva a deducir que es factible realizar una simulación CFD antes de su fabricación de algún elemento por fundición.
- La composición de la materia prima influye en los resultados obtenidos de la rugosidad de manera experimental y en la simulación CFD.

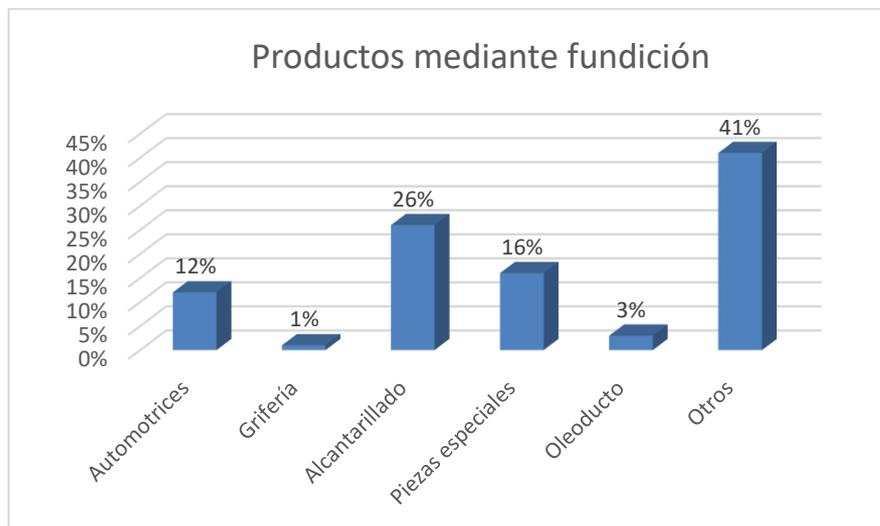
## **Estado del arte**

### **Proceso de fundición**

En el mercado nacional los productos con mayor demanda en procesos de fundición está en tendencia creciente ya que la nueva tecnología y procesos permiten que se fabrique piezas con mayor precisión y menor tiempo de producción y esto con el aumento de la calidad del producto, se debe considerar que el consumo de automóviles ha crecido en el Ecuador a gran escala en los últimos años lo que conlleva a tener que adquirir repuestos de partes automotrices uno de ellos es la base del motor.

**Figura 2**

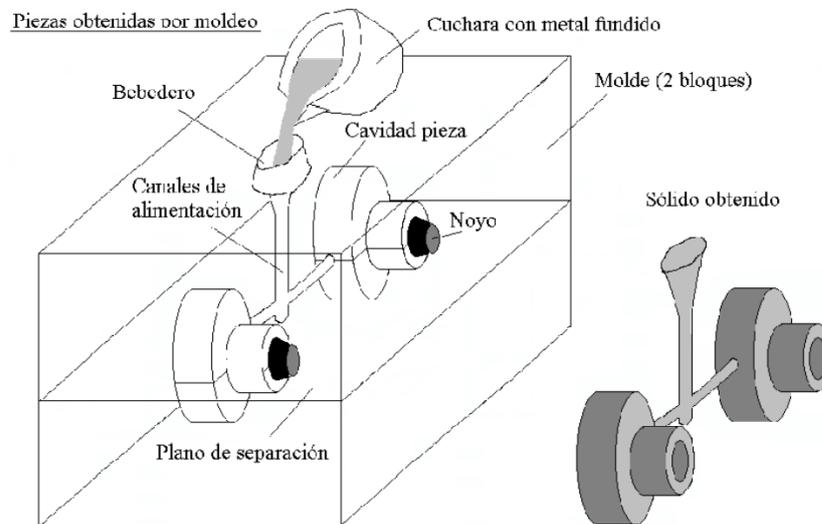
*Volumen de producción de productor fundidos*



*Nota.* La figura muestra la producción de elementos fundidos en distintas industrias de la manufactura. Fuente: (Melgar & Quillupangui, 2012)

fundición convirtiéndole al estado líquido y verter dentro de un molde en arena a presión o por gravedad de tal forma que al solidificarse mantenga la forma del molde deseado. (Salueña & Nápoles Amelia, 2000).

En la figura e muestra como es el conformado de fundición de una pieza donde el material fundido es recolectado con la cuchareta y vaciado por el bebedero, el material fundido fluirá por los canales de alimentación hasta llegar a las cavidades de la pieza a ser desarrollada el molde en este caso consta de dos bloques que posiblemente sean destruidas al momento de finalizar la fundición, si se desea realizar un agujero en la pieza se utiliza un elemento solido denominado noyo que impide que el material fundido fluya por dicho lugar, para evitar rechupes y poros internos en la pieza se utiliza un dispositivo denominado mazarota sobre los canales de alimentación que se llena con el material fundido y aporta material a las cavidades de la pieza conforme esta se va enfriando.

**Figura 3***Moldeo en arena*

Nota. La figura muestra las partes de un proceso de fundición en arena y las cavidades internas del molde. Fuente: (Salueña & Nápoles Amelia, 2000)

**Elección del método de moldeo**

El principal objetivo del método de moldeo es que la pieza llegue a obtener la forma del molde con un acabado y perfección de la geometría lo más cercano al modelo deseado realizando un pequeño desbarbado o retoques del material sobrante para el acabado utilizando técnicas manuales o por arranque de viruta, lo cual genera que el moldeo sea más económico para piezas con una geometría compleja interna o externa, lo cual permite ahorro del material y maximizar el diseño CAD con todos los detalles del elemento y por lo general fabricar en una sola pieza (Kalpakjian, 2002)

Una gran ventaja en la fundición por molde es el costo de fabricación, llegando a ser más económico que la forja, estampa, soldadura o mecanizado CNC, además la característica que le hace ganar mayor importancia es que cualquier material que pueda fundirse es moldeable

incluyendo algunos materiales no metálicos como los polímeros que llegan a obtener la forma de una matriz por inyección de plástico. (Salueña & Nápoles Amelia, 2000)

Entre las limitaciones de la fundición por moldeo respecto a las piezas durante el proceso son las porosidades, el no poder absorber esfuerzos internos, la baja precisión dimensional, el acabado superficial, además el peligro y riesgos que tiene el operario al estar en contacto directo con todo el equipo de fundición el efecto medioambiental que conlleva la emanación de gases tóxicos debido al uso del horno de fundición y consumo del material generador de energía para la fundición del material.

El avance tecnológico en el área de la fundición genera nuevas cadenas de producción y mejorar parámetros como la reducción de costos y tiempos de producción, precisión y calidad dimensional, moldes para prototipos y evaluaciones que permitan la producción en serie, facilidad de cambios y mejoras en el diseño y la fabricación y reducir las tolerancias mediante el diseño CAD – CAM, y técnicas de simulación de procesos CAE y CFD, para el análisis del vaciado del molde y la solidificación. (Salueña & Nápoles Amelia, 2000)

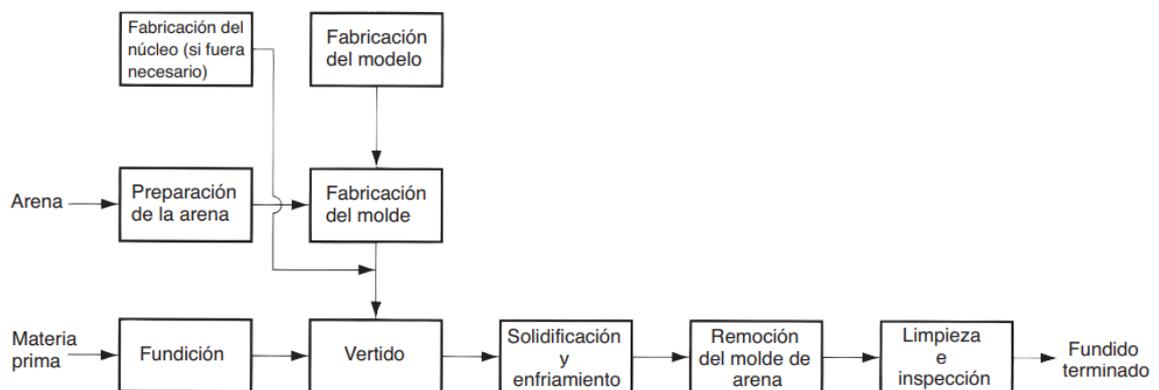
En la fundición con arena y en otros procesos con moldes desechables la cavidad del molde se forma a través de un modelo que por lo general es realizado de madera, metal, plástico u otro material y tiene la forma la pieza por fundir. La cavidad se forma apisonando la arena que se encuentra entre las dos cajas o moldes superior e inferior con la finalidad de obtener la forma de la pieza a ser fundida lo más perfecta posible al retirar el modelo, el vacío que queda tiene la forma del elemento a fundir, el modelo por lo general se encuentra sobredimensionado para evitar contracción del material cuando se enfría y se solidifica, de la misma forma la arena contiene una humedad y material aglutinante para mantener la forma al momento del moldeo de la pieza. (Groover, 2007)

**Etapas del proceso de fundición**

La secuencia de producción por fundición se indica en la figura 2, en la cual se debe dimensionar y fabricar el núcleo o noyo si la fabricación de la pieza así lo indica, la preparación y análisis de la arena también es muy importante ya que es un factor en el acabado de la pieza fundida, además hay que considerar el material a ser fundido factor influyente en las propiedades mecánicas de la pieza. (Kalpakjian, 2002)

La fabricación del modelo es un elemento muy importante ya que de este se forma la pieza a ser fabricada, el cual debe tener una tolerancia específica para evitar imperfecciones dimensionales al finalizar la fundición, la fabricación del molde consiste en introducir la arena preparadas en las cajas superiores e inferiores con el modelo entre las dos superficies de las cajas que se juntas, además en este proceso se debe adicionar los bebederos para poder verter la colada y las mazarotas si es necesario para evitar rechupes y porosidades en la pieza al momento de la solidificación.(Groover, 2007)

La remoción y limpieza de la pieza ya solidificada se lo hace por medio de herramientas manuales evitando así el contacto directo del operario con la pieza fundida que aún se encuentra a una alta temperatura y un enfriamiento en descenso. Finalmente se retira el material sobrante que formo parte de los bebederos y las mazarotas con herramientas manuales o maquinas convencionales para darle un acabado final a la pieza fundida.

**Figura 4***Etapa de producción por fundición*

Nota. La figura muestra la representación esquemática del flujo de las etapas del proceso de fundición. Fuente: (Groover, 2007)

**Moldeo con arena**

El moldeo por arena es una técnica muy utilizada y la más importante en el proceso de fundición de metales, siendo un proceso de moldeo desechable como es la arena, la cavidad interna que deja la huella es el modelo (Salueña & Nápoles Amelia, 2000)

Según el Ing. Miguel Troya gerente de la empresa Tecni-poleas menciona que la arena verde también conocida como arena de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) es la materia prima principal para el desarrollo del moldeo en el Ecuador que contiene aditivos como las resinas fenólicas, el moldeo con arena verde contiene elementos en determinados porcentajes como agua, carbón y arcilla que por lo general es la bentonita a todo esto se le conoce como moldeo en arena verde, existe otro método de moldeo que se realiza con silicatos como puede ser el silicato de sodio o el  $\text{CO}_2$  produciendo así una reacción química y formando el aglutinante, por otro lado tenemos otro tipo de aglutinante que es económicamente más alto como las resinas fenólicas.

Con esto se puede considerar que, en el proceso de moldeo en arena verde, la arena es la misma la diferencia radica en el proceso que se utiliza para el moldeo, es muy importante

considerar el tamaño de grano de la arena ya que posiblemente de esto depende el acabado superficial del elemento fundido, analizar la granulometría ya que si el grano de la arena es muy fino es difícil la salida de gases de fundición y por ende se generan porosidades, rechupes, para todo esto es importante considerar el diámetro de las mazarotas y analizar la salida de los gases de fundición.

La arena de moldeo utilizada en el proceso de fundición debe cumplir con algunas características que faciliten la salida de gases, la comparación de las cavidades con de no exista desmoldeo prematuro, adquirir la forma del modelo con gran facilidad y resistir altas temperaturas ya que está en contacto directo con el material fundido, estas propiedades son:

- Refratariedad.
- Plasticidad.
- Permeabilidad.
- Cohesión.(Salueña & Nápoles Amelia, 2000)

La composición de la arena de fundición es del 70 al 80% de sílice, del 5 al 15% de arcilla del 3 al 5% de impurezas como el óxido de hierro, materiales alcalinas y orgánicas y del 7 al 10 % de agua.

La humedad también es muy importante considerar ya que esta proporciona características a otras propiedades en el proceso de moldeo, ya que de esto depende la compactación. Tenacidad, plasticidad y resistencia a partir de arcillas aglutinantes (Pallo & Valdivieso, 2018)

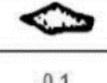
### **Moldeo con arena**

La forma tamaño y distribución de los granos también se ve influenciada en las propiedades de los moldes, es importante considerar la morfología de los granos que lo compone. A continuación se detalla la forma del grano considerando su redondez y esfericidad.

Son varias las propiedades que debe cumplir una arena de fundición como son: plasticidad, consistencia, permeabilidad, refractariedad, cada una cumple un papel fundamental en el proceso de vaciado de la colada, en el llenado y la solidificación del elemento, además se debe considerar el tipo y tamaño de grano, un tamaño de grano que tienda a ser redondo favorecerá a que el material fundido fluya con facilidad por todas las cavidades del molde, considerando también la velocidad de vaciado del metal, composición de la aleación del metal, proceso de enfriamiento y solidificación del metal, ya que de esto depende el acabado de la superficie de la pieza fundida. (Grau & Sosa, 2006)

### Figura 5

*Clasificación de los granos de arena según su forma*

Esfericidad ↓	Muy angular	Angular	Subangular	Redondeada	Redonda	
0,9						Muy esférica
0,7						Esférica
0,5						Semiesférica
0,3						Poco esférica
Redondez →	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	

Aptos para fundición

*Nota.* La figura muestra la forma geométrica y granulometría de las arenas de fundición. Fuente: (Pallo & Valdivieso, 2018)

Uno de los parámetros que permite valorar la calidad granulométrica de la arena de moldeo es el índice de finura clasificado en tamices AFS o DIN, donde clasifica a la arena en función al tamaño de abertura de la malla del tamiz entregando así el grado de finura o factor

del índice de finura AFS siendo proporcional a la inversa del diámetro medio. (Pedro Silva et al., 2017)

TAMIZ AFS			TAMIZ DIM		
Nº	Abertura de malla en milímetros	Factor de índice de finura	Nº	Abertura de malla en milímetros	Factor de índice de finura
6	3.36	3	1	3	3
12	1.68	5	2	1.5	6
20	0.84	10	3	1	9
30	0.59	20	4	0.6	17
40	0.42	30	5	0.4	31
50	0.297	40	6	0.3	41
70	0.21	50	7	0.2	52
100	0.149	70	8	0.15	71
140	0.105	100	9	0.1	103
200	0.074	140	10	0.075	146
270	0.053	200	11	0.06	186

*Nota.* La tabla muestra un resumen del índice de finura en relación a un tamiz AFS y DIM. Fuente: (Salueña & Nápoles Amelia, 2000)

La arena debe ser seca para luego realizar el ensayo granulométrico y de finura por tamizaje con el fin de obtener una distribución de grano uniforme y el número de fineza AFS adecuado (Bisbal et al., 2015)

### **Tipos de arena de moldeo**

Las cualidades requeridas en la arena de moldeo debe cumplir con ciertos requerimientos mecánicos y químicos para garantizar el moldeo de la pieza con gran precisión, los principales tipos de arena que se pueden encontrar en el mercado son:

- Arena de sílice
- Arena de circonio.
- Arena verde
- Cromita y
- Olivina (Vargas, 2017)

En el caso de la arena de fundición en el Ecuador la arena de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) es la más utilizada, debido a sus excelentes propiedades mecánicas y resistencia a elevadas temperaturas lo que posibilita que en el proceso del vaciado del material no exista daños en el moldeo no en la pieza fundida por la refractariedad. (Pallo & Valdivieso, 2018)

### **Diseño CAD**

Es muy importante considerar la recopilación de información dimensional de la parte automotriz esto se lo realiza utilizando instrumentos de metrología y toda la información ingresar en un sistema CAD tridimensional como es el Inventor con el fin de poder tener una idea más clara del conformado del material mediante simulaciones de comportamiento mecánico y evaluar de una manera virtual el proceso de fundición del elemento.

El diseño CAD no solo facilita la caracterización, evaluación y el análisis de un sistema de procesos en la manufactura de un elemento sino también al uso adecuado de tiempos y recursos dando un panorama más claro de la parte automotriz en la actualidad en el Ecuador el campo de impresión 3D (Lozoya, 2021), permite realizar prototipos de elementos de tal manera también se puede realizar trabajos en CNC ya que para efectuar el modelo de la pieza a ser fundida esta se lo trabajara en madera mediante un mecanizado por control numérico computarizado.

### **Planteamiento metodología**

La metodología aplicada en esta investigación contempla el uso de softwares computacionales CAD, CAE, FEM, CDF, para diseñar la parte automotriz como también simular el proceso de llenado del molde en arena y el comportamiento de las variables en la manufactura de la base del motor, además se recopilar información sobre el tipo de arena utilizado en el proceso de fundición y el análisis experimental para evaluar la rugosidad de la superficie del elemento mediante un rugosímetro digital.

En este tipo de trabajo, se va a aplicar una tipología de investigación de estilo correlacional que permite establecer la existencia de una relación entre dos o más aspectos donde permitiendo medir variables que al final serán comprobadas mediante una hipótesis en la investigación (Monti, 2018)

En este contexto cabe mencionar que la investigación correlacional se ocupa de establecer relaciones entre dos o más variables de una misma población (Curtis et al., 2016), tomando en cuenta que la investigación se centra en realizar un análisis de la variación de la rugosidad en la parte automotriz fundida variando los tipos de arenas el análisis del estado de producción de piezas fundidas (Estudios et al., 2017) que incluye una revisión de los tipos de arena utilizados.

En el presente estudio de investigación cumplirá con las siguientes actividades.

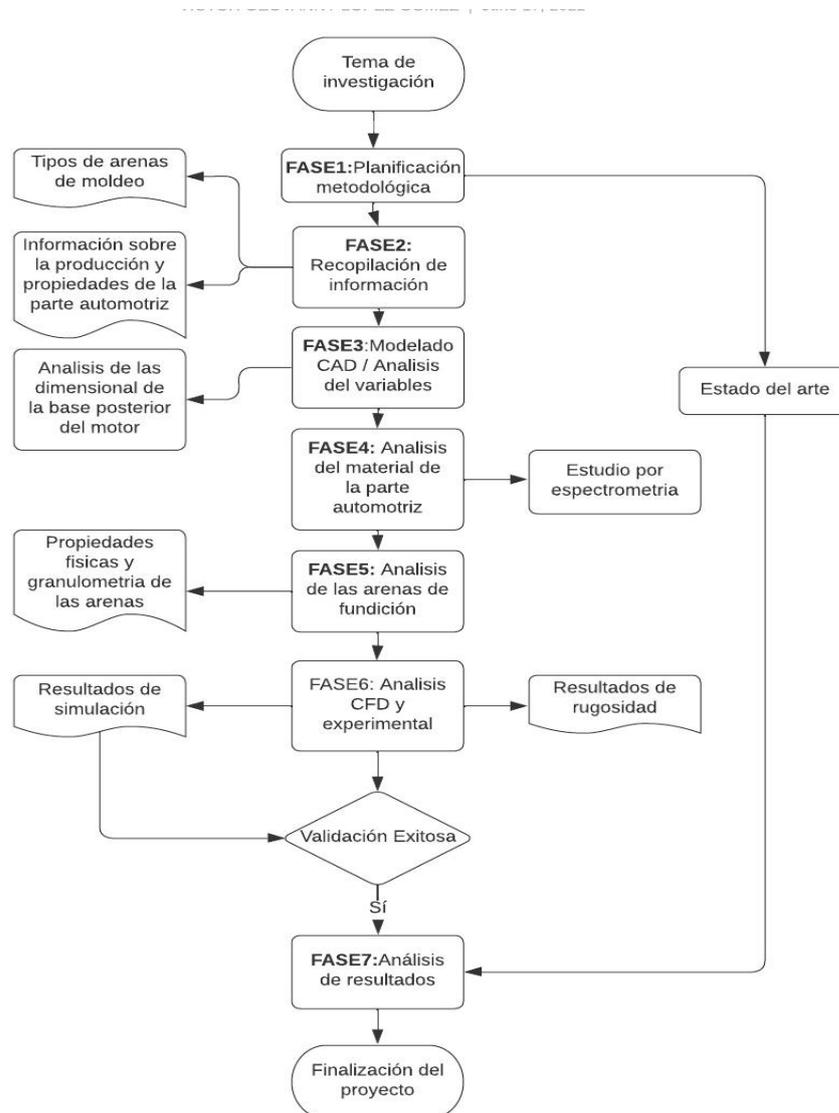
- **Actividad 1:** Planificación metodología y estudio del arte, recopilación de información.
- **Actividad 2:** Diseño de la parte automotriz en 3D a partir de la obtención de datos con técnicas de metrología y con la ayuda del software Inventor para interpretación de variables en la construcción del molde en arena.
- **Actividad 3:** Analizar las características mecánicas de la parte automotriz mediante normativa o un análisis de laboratorio para determinar el material de fundición de la parte automotriz.
- **Actividad 4:** Analizar la rugosidad obtenida mediante pruebas experimentales de laboratorio comparando con las variables en la simulación CFD en el software Inspire Cast, con la cual se verifique el tipo de arena que mayor incidencia tiene en la calidad de la superficie exterior de la pieza.

- **Actividad 5:** Analizar estadísticamente la rugosidad obtenida en las probetas, modificando las variables del proceso de fundición como: velocidad de llenado, temperatura y fluidez empleado en el software de simulación Inspire Cast.

En la figura 4 se presenta un diagrama sobre los pasos a seguir en el desarrollo de esta investigación.

## Figura 6

### Flujo del método de investigación



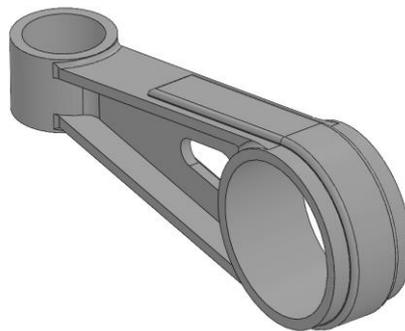
*Nota.* La figura muestra el diagrama de flujo de cada una de las etapas en la metodología aplicada a la presente investigación.

**Modelo CAD de la base posterior del motor**

En el Ecuador como bien se conoce no se fabrican este tipo de repuestos automotrices, pero se conoce que su manufactura es mediante el proceso de fundición uno de los elementos más importantes es que la línea de vehículos y utilizada en el Ecuador es la Chevrolet esto conlleva a tener repuesto manufacturados en el país lo que se requiere además es la obtención rápida minimizando el costo de fabricación y sobre todo igualar o mejorar al producto de exportación.

**Figura 7**

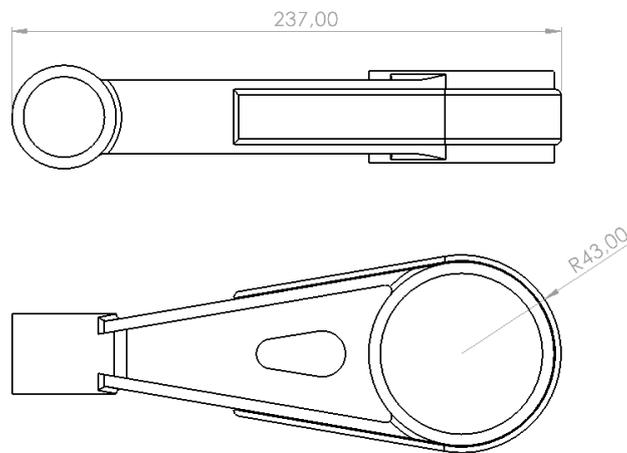
*Modelo CAD base posterior de un motor Chevrolet Spark*



*Nota.* La figura muestra el diseño CAD de la base posterior de un motor, elemento principal para la recopilación de información para el análisis de las variables en la etapa de fundición.

**Figura 8**

*Dimensiones base posterior del motor Chevrolet Spark*



*Nota.* La figura muestra las dimensiones de la base posterior de un motor, elemento principal para el dimensionamiento de la caja de moldeo.

En la figura 8 se puede observar las dimensiones en el modelo CAD y la forma final de la parte automotriz, sin embargo, se debe considerar algunos parámetros que se puede dar el momento de la fundición del material.

Se necesita considerar los agujeros donde se alojan los empaques de amortiguamiento, para ello se utilizan noyos que impiden que la colada el momento del vaciado ocupe el espacio asignado, sin embargo, se debe tomar en cuenta material adicional para el acabado.

El aluminio aleado experimenta un proceso de contracción en el vaciado del material fundido durante la solidificación, sin embargo las aleaciones de aluminio tienen cualidades idóneas para la fundición como fluidez y capacidad de alimentación, así como propiedades mecánicas y físicas (Pallo & Valdivieso, 2018)

En la tabla 3 se muestra las contracciones en aleaciones de aluminio con un valor 1.3 sin embargo se debe considerar que es valor en la práctica puede variar debido a factores

ambientales condiciones de operación en la fundición, disipación de temperatura en el momento del vaciado de la colada, geometría del molde, ubicación de los elementos en la preparación del molde como las mazarotas, diámetro de los bebederos, la cantidad de los respiraderos, humedad de la arena diámetro de la salida de la colada.

**Tabla 2**

*Contracciones de aleaciones en moldes de arena*

<b>Aleación</b>	<b>%</b>
Hierro fundido gris	0.83 - 1.3
Hierro fundido blanco	2.1
Hierro fundido maleable	0.78 - 1.0
Aleaciones de aluminio	1.3
Aleaciones de magnesio	1.3
Latón amarillo	1.3 - 1.6
Bronce fosfórico	1.0 - 1.6
Bronce al aluminio	2.1
Acero al manganeso	2.6

*Nota.* La tabla muestra los porcentajes de contracción por solidificación de distintos tipos de aceros aleados. Fuente: (Kalpakjian, 2002)

Se debe considerar además que a nivel general para la mayoría de materiales la contracción en el proceso de enfriamiento se cumple en tres etapas (Groover, 2007)

- a) Contracción líquida durante el enfriamiento antes de la solidificación.
- b) Contracción durante el cambio de fase de líquida a sólida.
- c) Contracción térmica del fundido sólido durante el enfriamiento a temperatura ambiente. (Groover, 2007)

### **Análisis de la composición del material**

El análisis de la composición del material es realizado en base a la norma ASTM E1085:2016: Esta norma establece el “Método de prueba estándar para el análisis de los aceros

de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia”(Spectrometry, 2016).

En resumen, el método de ensayo consiste en la toma de una muestra limpia y plana donde posteriormente se irradia con un haz de rayos X primario de alta energía. Los rayos X secundarios se dispersan por medio de cristales o también conocidos como tasas de recuento(Spectrometry, 2016), se miden mediante longitudes de onda con detectores.

La tabla 4 presenta los elementos que cubre el método de prueba de análisis por fluorescencia de rayos X.

**Tabla 3**

*Análisis de fluorescencia de rayos X*

<b>Elemento</b>	<b>Fracción de masa [Rango en %]</b>
Calcio	0.001 hasta 0.007
Cromo	0.04 hasta 2.5
Cobalto	0.03 hasta 0.2
Cobre	0.03 hasta 0.06
Manganeso	0.04 hasta 2.5
Molibdeno	0.005 hasta 1.5
Níquel	0.04 hasta 3.0
Niobio	0.002 hasta 0.1
Fósforo	0.010 hasta 0.08
Silicio	0.06 hasta 1.5
Azufre	0.009 hasta 0.1
Vanadio	0.012 hasta 0.6

*Nota.* La tabla muestra un resumen de los materiales con lo cual está constituido la parte automotriz mediante el análisis por espectrometría.

Sin embargo, este método de ensayo puede presentar resultados en materiales aleados indicando así el porcentaje de la composición de cada uno de los materiales que conforman el elemento ensayado, siendo un método muy adecuado para el control en la fabricación de elementos, proporcionando resultados rápidos garantizando la calidad de los mismos.

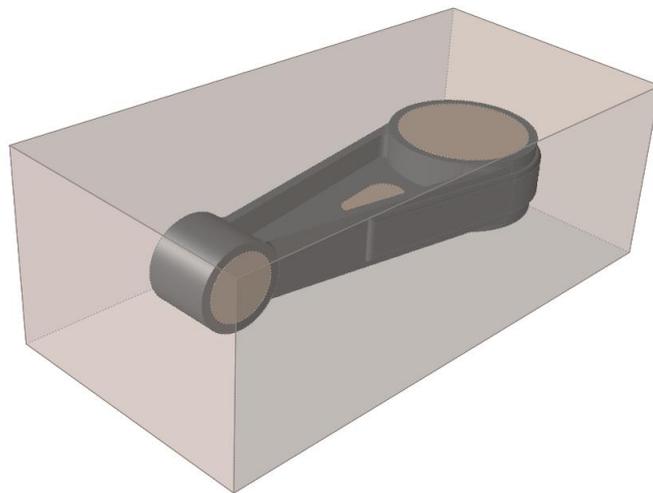
La espectroscopia de fluorescencia de rayos X, se lo considera como un ensayo no destructivo, que permite determinar la composición química de los materiales cuando es sometido a un haz de rayos X (Ramirez, 2018).

### **Dimensionamiento del molde de fundición**

El objeto de estudio de esta investigación es el análisis de la rugosidad que se presenta mediante la fundición con distintos tipos de arenas, se debe considerar el tamaño del molde y evaluar si se puede dar con la fundición simultanea de dos elementos a la vez y obtener dos objetos replica de manera simultánea en el vertido de la colada y poder evaluar la dirección de y geometría en el llenado de las cavidades en el molde de arena.

### **Figura 9**

*Esquema molde de fundición unitario base posterior de motor*



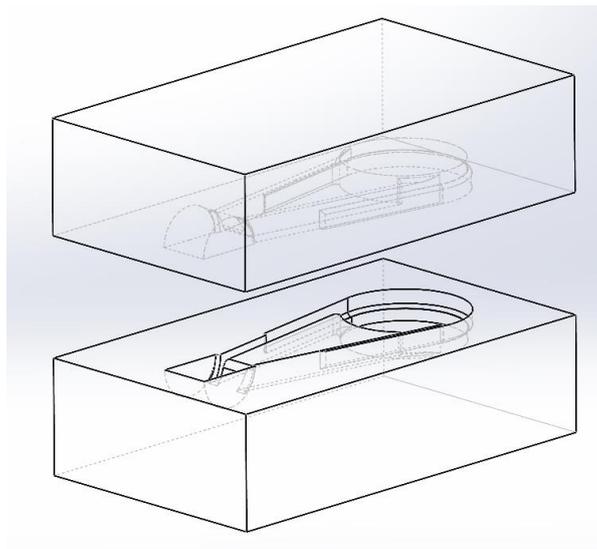
*Nota.* La figura muestra los parámetros para el diseño de la caja de moldeo de la parte automotriz.

Tomando en cuenta que la investigación se centra en el análisis de la rugosidad de la parte automotriz fundida y los factores que intervienen en el mismo, el método para el molde de fundición del elemento será de manera unitaria considerando, como se indica en la figura 9.

Es importante que para el dimensionamiento de la caja de fundición de un solo elemento se considere la tolerancia dimensional, el ángulo de extracción, el diseño y la ubicación del modelo, además se considere: La ubicación del bebedero, el canal de alimentación, ubicación de la línea de separación. (Salueña & Nápoles Amelia, 2000)

### Figura 10

*Esquema de la línea de partición de la caja de moldeo*



*Nota.* La figura muestra el esquema de la superficie de partición y una perspectiva de las cajas de moldeo de la parte automotriz.

### Ubicación líneas de partición del molde

Se conoce como línea de separación al plano que divide a la caja superior y a la caja inferior del molde de arena, de manera general este plano de partición debe estar ubicado de tal manera que no permita el flujo o derrame del material fundido en el momento del vertido y a su vez genere arrastre de arena y diferencias en la tolerancia de la pieza final (Joaquín, 2017)

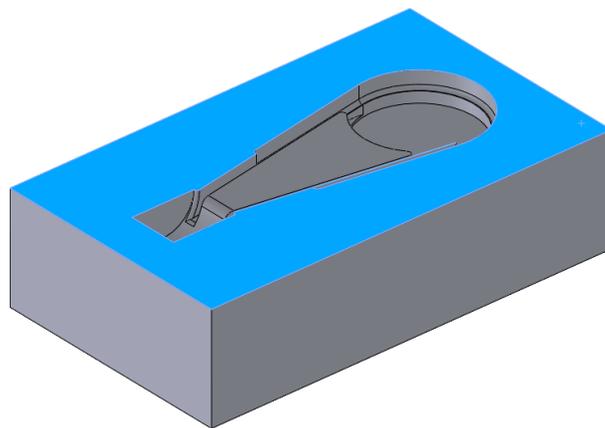
Este plano de partición debe tener la capacidad de generar un desmoldeo sin presentar derrame de arena al momento de retirar el modelo generando de tal manera las dos cavidades en las cajas superior e inferior, sin embargo en el caso específico de la base posterior del motor

el plano de partición se encuentra ubicado en la parte central de la pieza tal como se muestra en la figura 10, generando así una mayor fluidez por gravedad del líquido fundido, garantizando su distribución uniforme por todas las cavidades de la pieza. El plano de partición debe desmoldarse con facilidad una vez compactada para retirar el modelo que debe ser realizado por lo general en arena, metal o algún material polímero. (Joaquín, 2017)

Los machos o noyos son los que permiten formar cavidades internas, estos pueden ser contruidos en arena mediante modelos especiales u otros materiales especiales, hay que tomar en cuenta que los noyos deben poseer ciertas propiedades de trabajo ya que se van a encontrar rodeadas del material fundido el momento de la solidificación por tal razón deben tener mayor permeabilidad, refractariedad y resistencia que el resto del molde (Joaquín, 2017), para el presente caso de estudio no están considerados en el alcance de la investigación tomando en cuenta que no tienen interacción con la arena de fundición que forma parte del molde.

### **Figura 11**

Ubicación línea de partición base del motor



*Nota.* La figura muestra el esquema de la caja inferior y la superficie de partición del molde en arena.

### Diseño geométrico del bebedero

Considerando que una de las variables a analizar en la presente investigación es la velocidad de llenado se torna muy importante el diseño y la geometría del sistema de alimentación o bebedero.

El canal de alimentación o bebedero es de forma vertical en la mayoría de los casos de fundición en arena por gravedad facilitando el filtrado del material fundido, en la practica el bebedero se compone de dos partes, cilíndrica en la parte inferior y cónica en la parte superior.

En el sistema de alimentación y distribución del material fundido se deben considerar parámetros como el tiempo de llenado, la temperatura, forma de la pieza, tipo de arena y velocidad del vaciado de la colada, siendo la velocidad y el tiempo los más importantes para evitar que los defectos superficiales sean menores (Salueña & Nápoles Amelia, 2000)

Según el estudio realizado por (Javier & Urrutia, 2014), se determina el área superior del bebedero mediante la siguiente Ecuación 1.

$$A_2 = \frac{Q}{\rho \cdot f \cdot p_b \sqrt{2g \cdot h_1}} \cdot f s_{A1} \quad \text{Ec 1}$$

Donde:

- “ $f_{pb}$  : (Factor de pérdida del bebedero) se recomienda un valor de 0,5” (Javier & Urrutia, 2014).
- “ $f_{SA1}$  : (Factor de sobredimensionamiento del área superior del bebedero), se recomienda aumentar el área  $A_1$  un 20% para compensar las pérdidas por carga” (Javier & Urrutia, 2014)
- $\rho$ : Es la densidad del del fluido.
- $g$ : Aceleración de la gravedad.

Para determinar la velocidad del material derretido en la superficie del bebedero, se define como punto 1 la parte superior del bebedero y como punto 2 a la base, si el punto 2 se usa como referencia, entonces la velocidad 1 tiende a ser cero ya que en el momento de verter el material líquido el fluido experimenta flujo de caída libre, por otro lado la altura 2 al estar en el punto de partición del molde también tiene a cero, lo que se puede definir y deducir a través de la fórmula de Bernoulli (Salueña & Nápoles Amelia, 2000).

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + F_1 = h_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + F_2 \quad \text{Ec 2}$$

La Ecuación 2 (Salueña & Nápoles Amelia, 2000) describe el teorema de Bernoulli que establece que la suma de las energías de un líquido en dos puntos cualesquiera y que son iguales, de esta ecuación se deduce que:

$$v_2 = \sqrt{2gh_1} \quad \text{Ec 3}$$

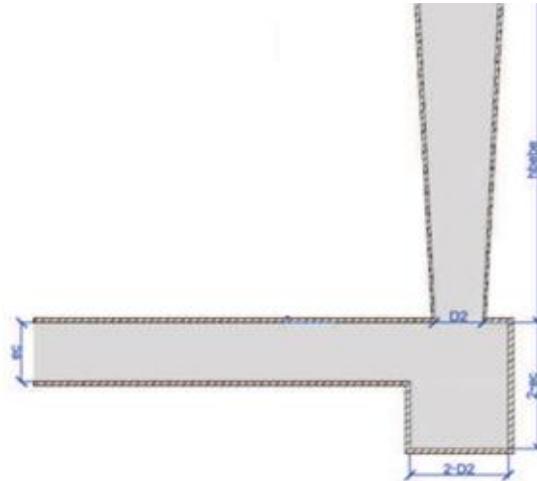
La velocidad del material derretido dentro del bebedero se define mediante la ecuación 3 y determina la velocidad de ingreso en la cavidad del molde en arena en función de la altura del bebedero y la aceleración por gravedad del material fundido. (Groover, 2007), cuando el material se vierte sobre el embudo del bebedero, su velocidad inicial en la parte superior es igual a cero.

La altura del bebedero se expresa despejando  $h_1$  de la Ec.3 (Javier & Urrutia, 2014) determinando así la altura mínima que puede tener el vertedero del material fundido como se indica en la Ecuación 4.

$$h_1 = \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ec 4}$$

**Figura 12**

*Sistema de distribución del bebedero*



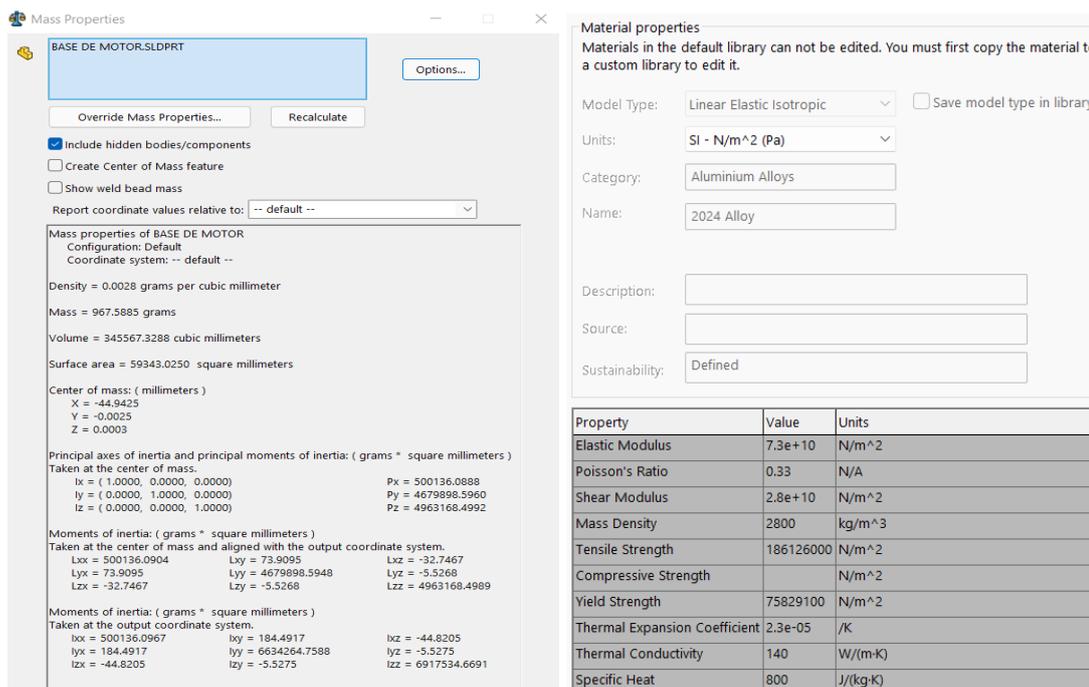
*Nota.* La figura muestra la geometría de un sistema de vertedero para el material fundido en el colado de material. Fuente: (Javier & Urrutia, 2014)

En la figura 12 se indica los parámetros geométricos de diseño considerando al modelo que definirá la geometría del sistema de distribución como el diámetro superior e inferior del bebedero la altura y el volumen elementos muy importantes para determinar la velocidad con la cual el líquido fundido fluirá por las cavidades internas del molde en arena considerando la turbulencia que se genere con el paso del material líquido.

Otro elemento para el dimensionamiento del área del bebedero es la densidad y el peso del elemento a fundir, para ello se toma información con la ayuda de un software de diseño mecánico como se muestra en la figura 13

**Figura 13**

*Propiedades físicas de la base posterior del motor*



*Nota.* La figura muestra las propiedades del parte automotriz obtenido del software Inventor por medio del modelado CAD.

El diseño de las cajas de molde tanto superior como la caja inferior se dimensiona en función al peso de la parte automotriz a fundir, más el porcentaje de la arena de moldeo que ocupara el espacio del conformado en caliente, considerando un factor de trabajo de 2.5 (Vargas, 2017)

**Tabla 4**

*Peso de la arena en la caja de molde*

Peso de la base del motor Kg	Factor de trabajo -----	Peso de la arena Kg
0.967	2.5	2.417

*Nota.* La tabla muestra un resumen del peso de la parte automotriz y del peso promedio de la arena en las cajas de moldeo.

En la tabla 5 se presenta la información del peso mínimo de arena requerido para el moldeo de la pieza en las cajas de fundición, con estos datos se procede a calcular la altura de la caja lo que corresponde a la altura del bebedero, considerando que las dimensiones de las cajas utilizadas en la empresa Metalúrgicas Quisay & Yaguachi Industcom CA (Quisay, 2015) son 300 x 300 mm, y la densidad promedio de la arena de moldeo 2650 kg/m<sup>3</sup> (Vargas, 2017), los resultados se presenta en la tabla 6.

**Tabla 5**

*Altura mínima de la caja de molde*

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso total de las dos cajas de molde	4.834	Kg
Volumen de la arena en la caja de molde	1824.15	cm <sup>3</sup>
Área de la caja	900	cm <sup>2</sup>
Altura mínima de la caja de moldeo	20.26	mm

*Nota.* La tabla muestra los valores para el cálculo de la altura del bebedero en la caja superior de moldeo.

Considerando una altura máxima de la caja de molde de 8 cm (Quisay, 2015) se puede determinar una altura manejable dentro de los parámetros en el dimensionamiento de la altura de un sistema de vertedero del material fundido.

Como siguiente paso es calcular el caudal de vaciado y el tiempo de colada a través de la ecuación 5 (González et al., 2015) y mediante esta ecuación el caudal de ingreso del material fundido por el bebedero, donde el factor S es una variable que se encuentra en función del espesor del material a ser fundido y M la masa del material.

$$t = S\sqrt{M}$$

Ec 5

**Tabla 6***Valores del coeficiente S*

<b>Espesores de pared de la pieza mm</b>	<b>S</b>
2.5 a 3.5	1.68
3.5 a 8.0	1.85
8.0 a 15	2.20

*Nota.* La tabla muestra los valores del factor S para el cálculo del tiempo de llenado en la etapa del vaciado de la colada. Fuente: (González et al., 2015)

En la tabla 6 se muestra el coeficiente S que varía en función del espesor de las paredes del material o pieza mecánica a ser fundida, en la tabla 7 se presenta el tiempo de llenado y el caudal de vaciado al molde.

**Tabla 7***Caudal de vaciado y tiempo de llenado*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Masa de la parte automotriz	Kg	0.967
Coficiente S (2.5-3.5)	---	1.68
Tiempo de vaciado	s	1.70
Caudal	Kg/s	0.568

*Nota.* La tabla muestra un resumen del valor de las variables para el cálculo del tiempo de llenado.

De acuerdo a la ecuación 1 y considerando la densidad específica del material obtenido mediante el software de simulación ingresando el material aluminio 2024, en la tabla 9 se indican los valores calculados del diámetro superior del vertedero.

**Tabla 8***Cálculo del diámetro del bebedero*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Caudal de vaciado	kg/s	0.568

Densidad especifica	Kg/m <sup>3</sup>	2800
Gravedad	m/s <sup>2</sup>	9.81
Altura del bebedero	m	0.08
Área superior del bebedero	cm <sup>2</sup>	3.24
Diámetro superior del bebedero	mm	41.3

*Nota.* La tabla muestra los valores de las variables para el cálculo del diámetro del bebedero.

Tomado en cuenta que la empresa Metalúrgica Quisay dispone de una diferente variedad de tipos de bebederos: 25mm, 30mm, 40mm, 50mm, 60mm (Quisay, 2015) y que el valor obtenido mediante cálculos es de 41.3mm, se considera como siguiente paso calcular el número de Reynolds para analizar el tipo de flujo interno del material fundido al circular por las cavidades internas.

El número de Reynolds adopta un valor muy importante en el vaciado del material fundido en el interior del molde ya que lo que se desea obtener es un flujo laminar, para ello se obtienen parámetros que indican el tipo de flujo tal como se indica en la tabla 10.

### **Tabla 9**

*Valores para el numero de Reynolds*

<b>Numero de Reynolds</b>	<b>Tipo de flujo</b>
<10	Laminar
300 a 10000	Transitorio
>10000	Turbulento

*Nota.* La tabla muestra los valores para determinar si un flujo es laminar o turbulento en función al número de Reynolds. Fuente: (González et al., 2015)

Según (González et al., 2015), en los canales de alimentación de los vertederos es común la generación de turbulencias, razón por la cual el valor seleccionado es de 20000 correspondiente al valor máximo de turbulencia.(Vargas, 2017).

Mediante la ecuación 6 podemos determinar el diámetro inferior del bebedero con la formula del número de Reynolds (González et al., 2015) que está en relación de la viscosidad cinemática, densidad especifica y la velocidad la cual se lo determina con la ecuación 6, los resultados se presenta en la tabla 10.

$$N_R = \frac{V.d.\rho}{\mu} \quad \text{Ec. 6}$$

**Tabla 10**

*Cálculo del diámetro inferior del bebedero*

<b>Variable calculada</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Velocidad	m/s	1.25
Nr		20000
Densidad especifica	kg/m <sup>3</sup>	2333.84
Viscosidad cinemática	kg/m-s	0.001035
Diámetro del bebedero	mm	7.10

*Nota.* La tabla muestra los valores de la densidad especifica y viscosidad cinemática en el colado del material fundido, Fuente: (Cercado & Yuquilema, 2017).

Realizando el cálculo correspondiente para determinar el número de Reynolds al ingreso del bebedero y tomando en relación los diámetros de los bebederos disponibles en la empresa metalúrgica Quisay (Quisay, 2015) en la tabla 11 se presenta en función del tipo de flujo los diámetros de los vertederos.

Para efectos de la simulación y el proceso de fundición se seleccionan los diámetros de 25 y 40 mm considerando todos los diámetros de bebederos están dentro del rango para cumplir con la operación del vaciado de la colada en el molde.

**Tabla 11**

*Determinación del diámetro en función número de Reynolds*

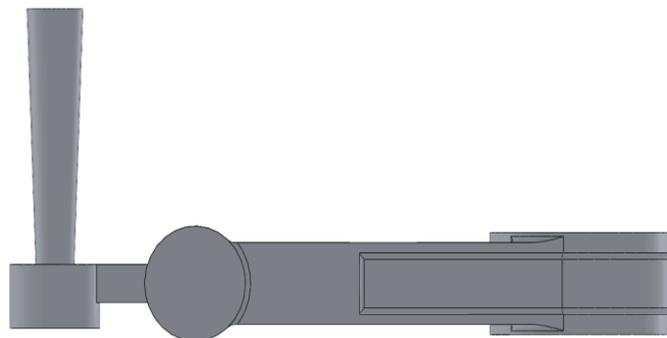
Diámetro	Unidad	Numero de Reynolds
25	mm	70466.18
30	mm	16911.88
40	mm	112745.89
50	mm	140932.36
60	mm	169118.84

*Nota.* La tabla muestra los resultados del número de Reynolds en función del diámetro de los bebederos disponibles en industrial metalúrgicas Quisay.

Las dimensiones esquemáticas del bebedero de 25mm y 40mm se muestra en la figura 14 y 15 respectivamente.

**Figura 14**

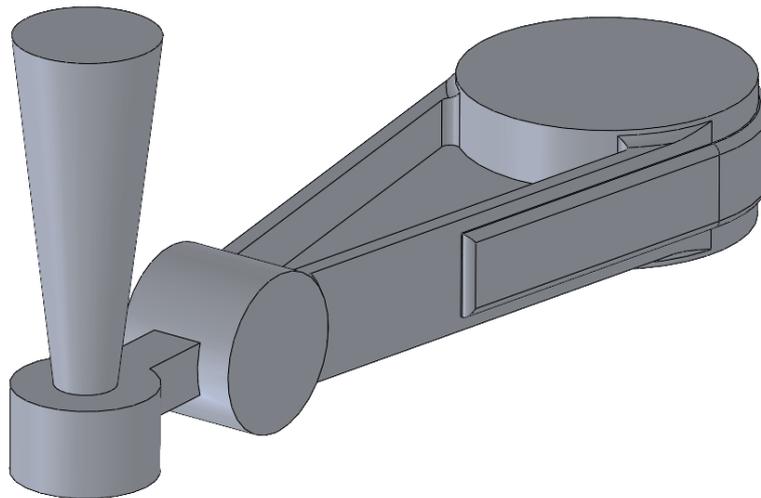
*Diseño del bebedero de 25mm de ingreso de colada*



*Nota.* La figura muestra un esquema representativo del bebedero de 25 mm y parte automotriz.

**Figura 15**

*Diseño del bebedero de 40mm de ingreso de colada*



*Nota.* La figura muestra un esquema representativo del bebedero de 40 mm y parte automotriz.

### **Dimensionamiento de la mazarota**

Según (Salueña & Nápoles Amelia, 2000), considera que uno de los criterios para el dimensionamiento de la mazarota, es volumen donde se determina el diámetro del volumen mínimo que debe tener para cubrir evitar la contracción o rechupe de la pieza.

El volumen de la mazarota se calcula en base a la ecuación 7:

$$V_{Min.Taz} = V_{Pieza} \cdot C \cdot K \quad \text{Ec. 7}$$

En la tabla 13 se detalla los valores que puede tomar el coeficiente C de contracción volumétrica del material (Salueña & Nápoles Amelia, 2000), en relación al tipo de material.

**Tabla 12***Contracción volumétrica del material fundido*

<b>Metal o aleación</b>	<b>Coefficiente C</b>
Fundición gris	3-5 %
Fundición blanda	6-7 %
Fundición nodular	4-5 %
Aceros no aleados	5-7 %
Bronce de aluminio	4-5.5 %
Latones	6-7 %
Cobre	4-5 %
Aluminio	5-7 %
Aleaciones ligeras	5-8 %

*Nota.* La tabla muestra el coeficiente de contracción volumétrica en distintos tipos de materiales aleados. Fuente: (Salueña & Nápoles Amelia, 2000)

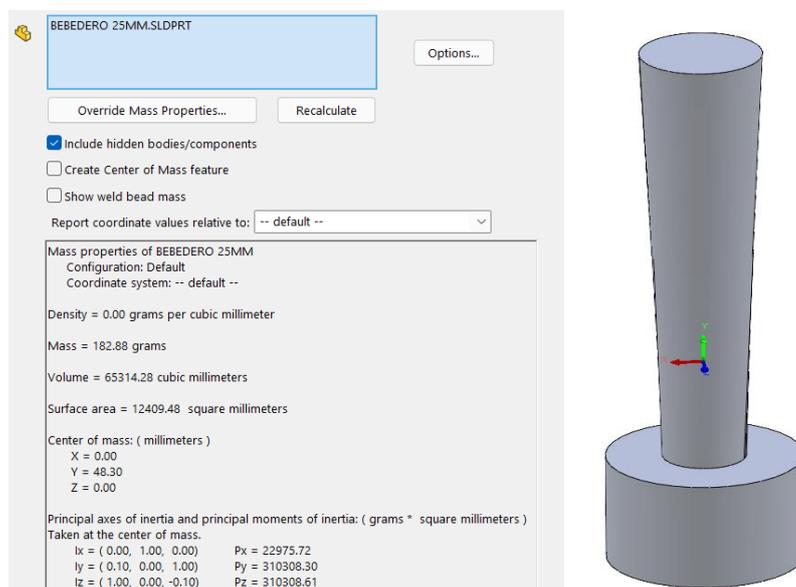
El coeficiente de seguridad  $K$  se encuentra en el rango  $1 \leq K \leq 3$  normalmente se toma el valor de 2. Con esta información el volumen de la mazarota se muestra en la tabla 13.

**Tabla 13***Volumen de la mazarota*

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
Volumen de la pieza (mm <sup>3</sup> )	345567.32
C	6%
K	2
Volumen de la mazarota (mm <sup>3</sup> )	41468.04

*Nota.* La tabla muestra los valores de las variables correspondientes a volumen de la pieza automotriz y el volumen de la mazarota.

De acuerdo al cálculo del volumen de la mazarota, este es mayor que el volumen del bebedero según (González et al., 2015) el bebedero puede cumplir la función de la mazarota tal como se muestra en la figura 16.

**Figura 16***Volumen del bebedero*

*Nota.* La figura muestra el volumen de la mazarota rescatado del diseño CAD de software Inventor.

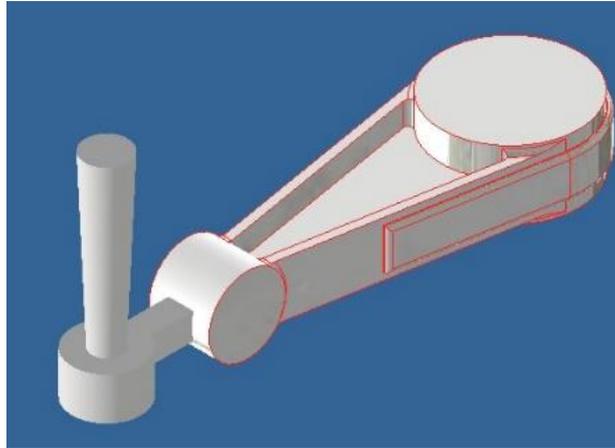
**Ubicación del bebedero**

En base a los resultados obtenidos del tiempo estimado en el llenado de las cavidades internas del modelo en arena se procede a realizar un análisis previo a la fundición de elemento con la finalidad de evaluar variables, tener una simulación de llenado y decidir la posición más optima del bebedero.

En la figura 17 se observa el diseño CAD de la primera alternativa para la posición del bebedero la cual en los resultados indicados mediante el software Inspire Cast 2021.1 reflejan un aumento de velocidad al ingreso de las cavidades internas del elemento, generando así una turbulencia del material colado lo que imposibilita que el líquido fundido circule con gran facilidad por todas las hendiduras del molde de arena.

**Figura 17**

*Posición del bebedero al anclaje del bastidor*

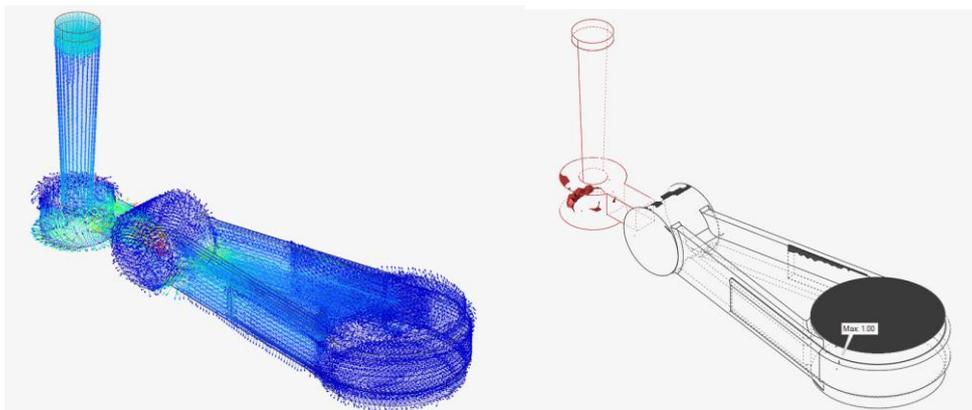


*Nota.* La figura muestra la primera alternativa para la ubicación del bebedero en la etapa de fundición en la parte automotriz.

En la figura 18 se presenta el análisis realizado donde se determina un atrapamiento de aire al final del elemento además debido a la sección de área reducida se generan demasiadas turbulencias al inicio de la parte automotriz lo que podría ser la causante de la formación de porosidades en el elemento por una mala fluencia del material fundido.

**Figura 18**

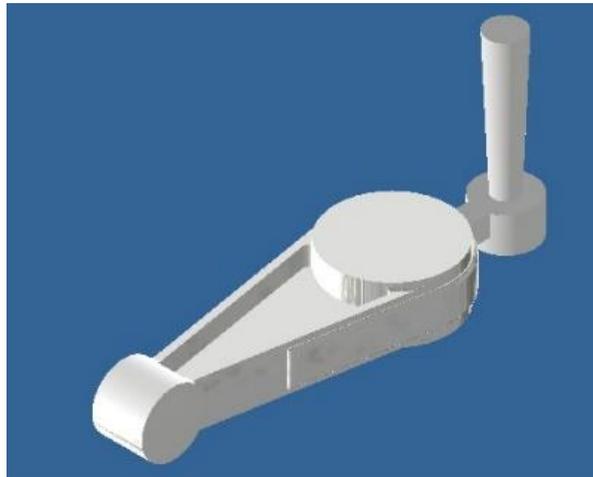
*Análisis posición del bebedero al anclaje del bastidor*



*Nota.* La figura muestra el análisis de velocidad y turbulencia en la primera alternativa para la ubicación del bebedero en la etapa de fundición en la parte automotriz.

**Figura 19**

*Posición del bebedero al anclaje de la base de caja de transmisión*

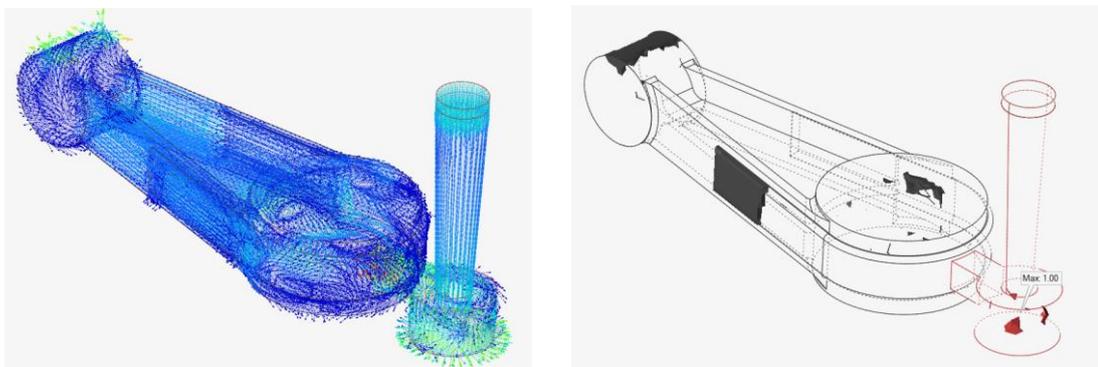


*Nota.* La figura muestra la segunda alternativa para la ubicación del bebedero en la etapa de fundición en la parte automotriz.

Una segunda alternativa es colocar el bebedero al anclaje de la caja de transmisión teniendo una mayor amplitud de sección al ingreso del elemento del material fundido generando menos turbulencias y garantizando una mejor fluides.

**Figura 20**

*Análisis posición del bebedero al anclaje de la caja de transmisión*

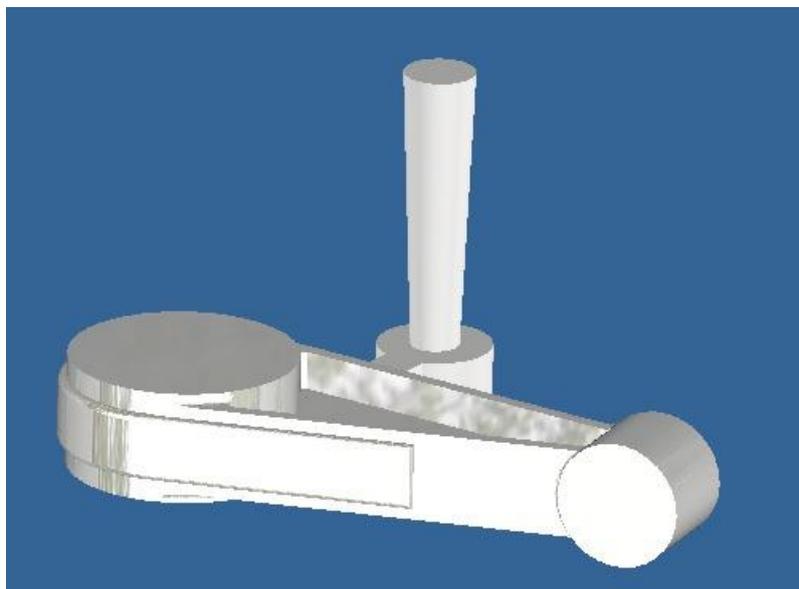


*Nota.* La figura muestra el análisis de velocidad y turbulencia en la segunda alternativa para la ubicación del bebedero en la etapa de fundición en la parte automotriz.

En la figura 20 se muestra el resultado de ubicar el bebedero al anclaje de la caja de transmisión donde se observa la generación de turbulencias del material fundido al ingreso y al final de la parte automotriz lo que conlleva a la generación de microporosidades además se puede observar el atrapamiento de aire formando un vacío teniendo así la formación de rechupes en la pieza.

### **Figura 21**

*Posición del bebedero en la parte lateral de la pieza automotriz*

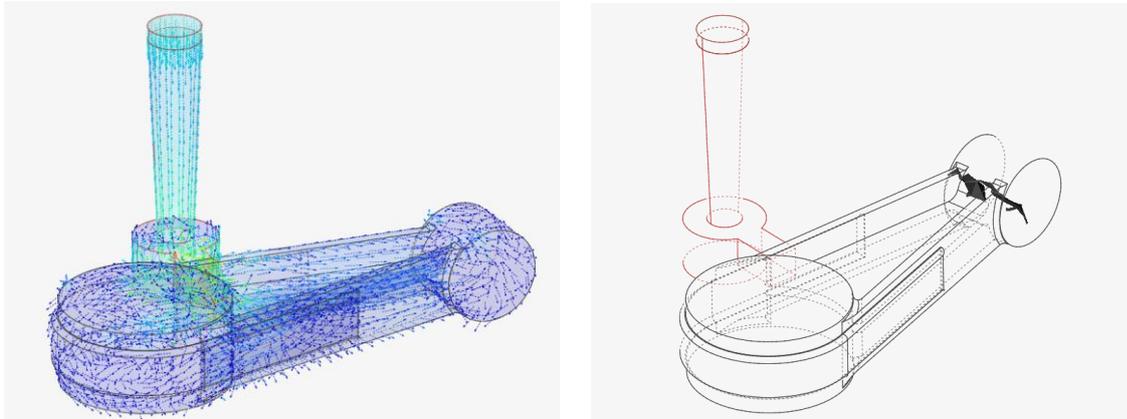


*Nota.* La figura muestra la tercera alternativa para la ubicación del bebedero en la etapa de fundición en la parte automotriz.

Como tercera alternativa es colocar el bebedero en la parte lateral del elemento automotriz teniendo una mejor distribución del material fundido al momento del vaciado de la colada.

**Figura 22**

*Análisis posición del bebedero en la parte lateral de la pieza automotriz*



*Nota.* La figura muestra el análisis de velocidad y turbulencia en la tercera alternativa para la ubicación del bebedero en la etapa de fundición en la parte automotriz.

En la figura 22 se muestra el resultado de la posición del bebedero en la parte lateral, generando una mejor distribución del material fundido ya que al estar el bebedero en el centro del elemento en la colada se genera poca turbulencia el líquido se distribuye de manera uniforme y no se producen vacíos de aire en las cavidades internas generando menor microporosidad en el elemento y una mejor calidad de fundido en la superficie del elemento.

Con el análisis previo realizado mediante el modelado CAD y la simulación mediante el software Altair Cast se procede a realizar el proceso de fundición (Quisay, 2015) tomando como punto del vertido de la colada la sección lateral de la parte automotriz como se indica en la gráfica 23, además se puede observar la diferencia que existe en el diámetro de los bebederos.

**Figura 23**

*Punto de vaciado de la colada*



*Nota.* La figura muestra dos elementos fundidos de todo el lote de piezas donde se observa la diferencia en el diámetro de los bebederos y la ubicación de los mismos.

**Diseño experimental factorial**

Para el diseño experimental se parte con el método factorial  $2^k$  (Gutiérrez & Salazar, 2008), el cual radica en el estudio de dos factores, considerando dos niveles en cada uno, cada replica de este experimento denota una combinación de  $2 \times 2$  teniendo 16 factores de respuesta.

El diseño factorial radica en todas las posibles combinaciones de los niveles con los factores. Según (Gutiérrez & Salazar, 2008) menciona que un arreglo factorial se representa mediante la ecuación 8 donde  $k$ , es el número de factores y  $n$  el número de niveles.

$$n^k$$

Ec. 8

Donde el número de combinaciones consiste en 4 puntos experimentales como se indica en la tabla 14.

**Tabla 14***Selección del factor y niveles experimental*

FACTOR	NIVEL	SIMBOLOGÍA	COMBINACIÓN	VARIABLE DE RESPUESTA (Rugosidad)
<b>Tipo de arena</b>	Arena sílice más bentonita	A1	A1 + D1	4 unidades
	Arena verde más bentonita	A2	A1 + D2	4 unidades
<b>Diámetro de bebedero</b>	Bebedero 25mm	D1	A2 + D1	4 unidades
	Bebedero 40mm	D2	A2 + D2	4 unidades

*Nota.* La tabla muestra la combinación experimental de los tipos de arenas y el diámetro de bebederos en función a las variables de respuesta.

Además, en a la tabla 14 se muestra las variables independientes y dependientes siendo el tipo de arena y el bebedero (Variables independientes) y la rugosidad (variable dependiente) o variable de respuesta considerados en el diseño experimental de esta investigación.

Para el diseño experimental se consideran dos tipos de arena y dos tipos de bebederos, arena sílice más bentonita y arena verde más bentonita, productos muy fáciles de conseguir en el mercado local y se consideran un diámetro de 25mm y 40mm en los bebederos sistemas utilizados (Quisay, 2015).

### **Numero de repeticiones del experimento**

Para los resultados del diseño experimental se toma en cuenta aspectos como la rugosidad factor a variable a ser comparada objetivo principal de esta investigación, como segundo punto se considera los factores y variables de investigación siendo los tipos de arenas y el diámetro de los bebederos y variable de respuesta la rugosidad, donde se manipulen de manera intencional las variables independientes como las arenas y el diámetro obteniendo así la supuesta causa de la variable dependiente que para el caso es la rugosidad.(Gutiérrez & Salazar, 2008).

Partiendo de la ecuación 9 para el cálculo de repeticiones en el diseño experimental donde  $n''$  es el número de observaciones preliminares.

$$n = \left( \frac{40 * \sqrt{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad \text{Ec.9}$$

### Comparación de arenas de fundición

En la tabla 16 se muestra la cantidad proporcional utilizada para la preparación de la arena fuentes y cantidad proporcionada por Metalúrgica Quisay, donde se observa la misma cantidad de masa variando únicamente el tipo de las arenas, el tamaño de la arena se considera el mismo tamaño de grano utilizando el mismo proceso de tamizado (Quisay, 2015) como se muestra en la figura 24.

**Tabla 15**

*Porcentaje de masa en la combinación de las arenas*

COMBINACIÓN	VARIABLE	MASA (kg)	PORCENTAJE (%)
Tratamiento 1	Arena verde	4.25	70
	bentonita	1.25	30
	Agua	0.20	5
Tratamiento 2	Arena sílice	4.25	70
	Bentonita	1.25	30
	Agua	0.20	5

*Nota.* La tabla muestra el peso porcentual en la combinación de las arenas con el material aditivo como la bentonita obtenidos de la composición aplicados en la industria metalúrgicas Quisay.

**Figura 24**

Tamizado de las arenas



*Nota.* La figura muestra el tamizado de las arenas donde se utiliza el mismo tipo de tamiz para el tratamiento granulométrico de las arenas.

### **Identificación de las propiedades físicas de las arenas**

Para el análisis de las propiedades físicas de la arena verde más bentonita y de la arena sílice más bentonita se parte del ensayo de conductividad térmica que sirve para determinar el coeficiente de conductividad térmica en materiales y arenas como también la densidad, es decir la capacidad de las arenas para permitir el paso de energía en forma de calor (*Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética – Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2022*)

Este ensayo se genera según la Norma ISO 8302, ASTM C177, EN 12664, EN 12667, generalmente la temperatura media de ensayo oscila desde 10°C hasta los 40°C y su rango de conductividad medible es desde 0,002 W/m-K hasta 3W/m-K.

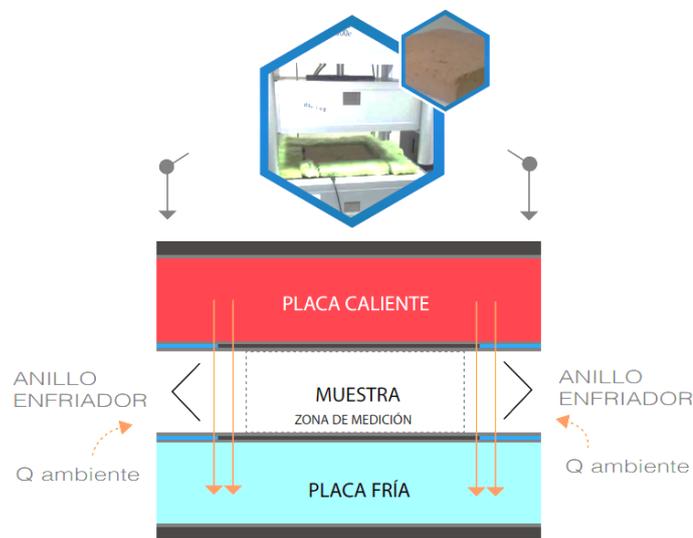
Las características del ensayo es mediante el método de placa caliente resguardada, este método consiste en la colocación de placas totalmente aislados donde en una placa se colocan las muestras o probetas de ensayo en una zona de medición intermedia entre una placa fría y una placa caliente donde se tiene incorporado una serie de sensores que se disponen por medio de un cableado hacia una computadora donde se van registrando las mediciones en un

determinado tiempo de tal manera de conocer cuál es el cambio de temperatura que experimenta el material y por otro lado observar el comportamiento térmico en la transmisión del calor.

Estas dos placas son separadas mediante dos anillos enfriadores, sobre la hendidura donde se encuentra prácticamente el material a ser ensayado ingresa calor a una temperatura ambiente tal como se muestra en la figura 25.

### Figura 25

*Esquema del método de ensayo*



*Nota:* La figura muestra un resumen gráfico de lo que es el método de ensayo de conductividad térmica en materiales. Fuente: (*Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética – Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2022*)

Los valores obtenidos del ensayo de conductividad térmica como la densidad de las arenas serán ingresados al software de simulación en procesos de fundición Altair Cast la cual nos dará los resultados generados mediante la modificación de las arenas y los diámetros de los bebederos.

**Tabla 16***Descripción de las muestras de arena*

<b>Composición de la arena</b>	<b>Peso (mm)</b>	<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>
Arena sílice más bentonita	1494,9	824,3	150	150	80,6
Arena verde más bentonita	1592,2	878,0	150	150	80,6

*Nota.* La tabla muestra el resumen de las condiciones iniciales de las arenas de ensayo. Fuente: (Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética – Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2022)

En la tabla 18 se indica las condiciones iniciales de las arenas antes del ensayo considerando que los resultados presentados también arrojan la densidad de cada una de los materiales y las dimensiones de la placa o zona de medición donde se ingresa la arena a ensayar.

**Tabla 17***Resultados de la conductividad térmica de las arenas*

<b>Composición de la arena</b>	<b>Densidad (Kg/mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Conductividad (W/mm-K)</b>
Arena sílice más bentonita	8,243X10 <sup>-7</sup>	0,00025
Arena verde más bentonita	8,78X10 <sup>-7</sup>	0,0002

*Nota.* En la tabla se muestra el resultado del laboratorio de los dos tipos de arenas. Fuente: (Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética – Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2022)

### **Simulación Altair Cast**

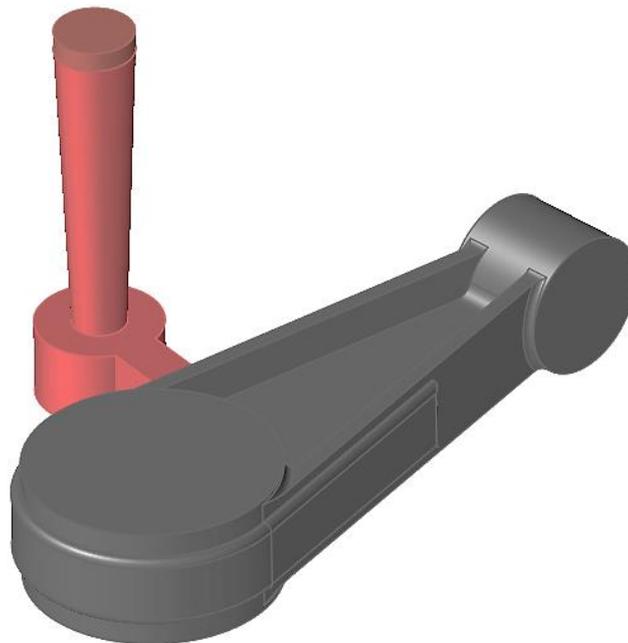
Conforme a los datos dimensionales del sistema del vertedero, bebedero o sistema de alimentación y su ubicación en el molde de fundición del soporte posterior de un vehículo Chevrolet Spark, como se presenta en la figura 26, se observa la geometría de la pieza diseñada

en el software Inventor e importada al software de simulación en fundición Altair Cast.(Altair Uno, n.d.)

De los ensayos por espectrometría en rayos X se determinó que el material de la parte automotriz es un aluminio AISI / ASTM 2024, el cual tiene referencia conforme a la Norma ISO como un material AlCu4MgTi (NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2250:2013 Primera Revisión, n.d.) tal como se indica en la figura 18.

### **Figura 26**

*Parte automotriz en el software Altair Cast*



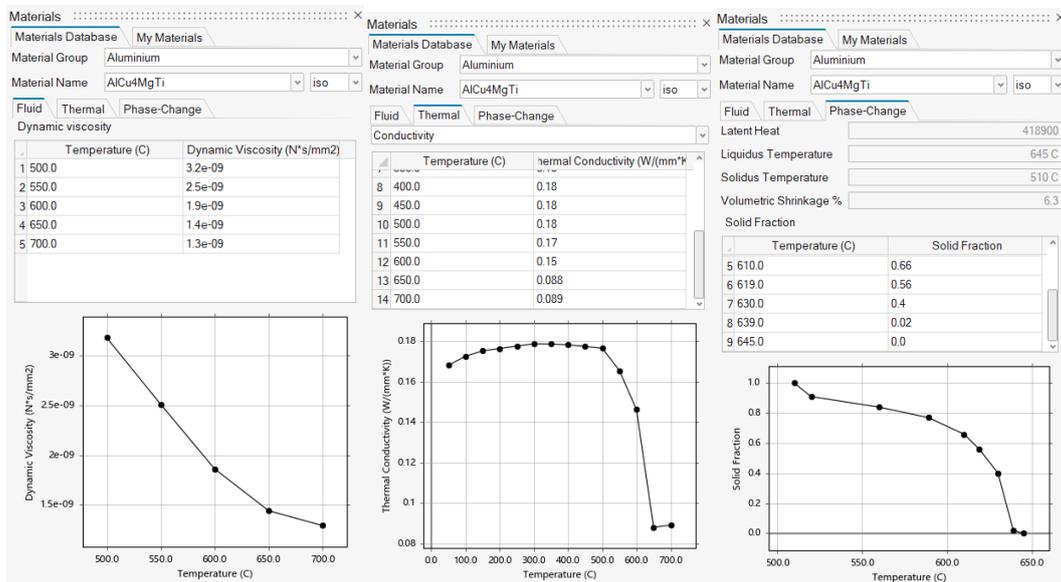
*Nota:* La figura muestra el diseño CAD de la parte automotriz con la ubicación del bebedero en la parte lateral según el análisis del apartado anterior.

En la figura 27 se presenta las características que tiene el material como: propiedades del fluido colado, propiedades térmicas, cambios de fase del material en función al aumento de temperatura. Dentro de estas propiedades podemos determinar.

- Viscosidad dinámica.
- Densidad.
- Conductividad térmica
- Calor específico.
- Calor latente
- Temperatura liquidus
- Temperatura solidus
- % Contracción volumétrica

**Figura 27**

*Propiedades del aluminio AISI / ASTM 2024 Base del motor Spark*

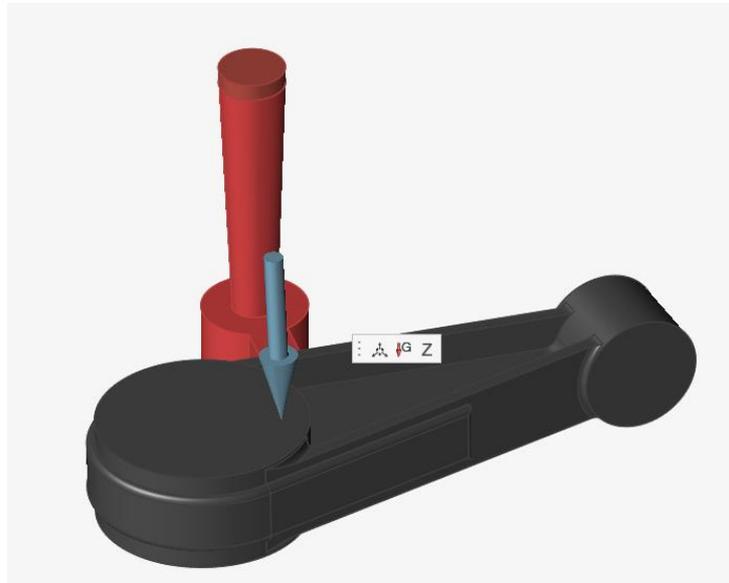


*Nota:* La figura muestra las propiedades físicas del material de fundición ingresados en el software Inspire Cast.

Para la simulación como primer paso se toma en cuenta el proceso de fundición por gravedad ya que el material fundido se depositará por medio del vertedero, con base en esta información se determina la dirección de la gravedad como se indica en la figura 28.

### Figura 28

*Dirección de la gravedad*



*Nota:* La figura muestra la dirección de la gravedad ingresado en el software de simulación de fundición.

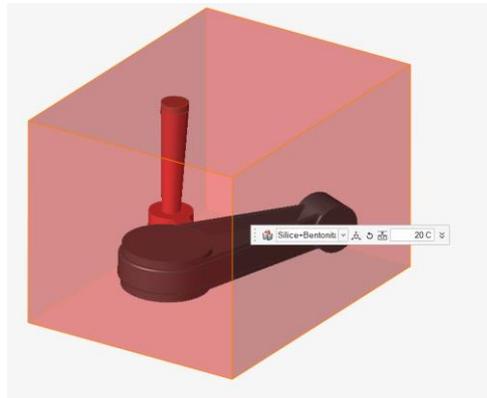
### Caracterización de la rugosidad

Otro dato que se considera para la simulación es la densidad de la arena de moldeo, tanto de la arena sílice más bentonita y la arena verde más bentonita que son  $824,3 \text{ Kg/m}^3$  y  $878,0 \text{ Kg/m}^3$  respectivamente.

Con base a esta información y la conductividad térmica de cada material de moldeo obtenidos en el apartado anterior, los valores ingresados en el software Altair Cast se muestran en la figura 29

**Figura 29**

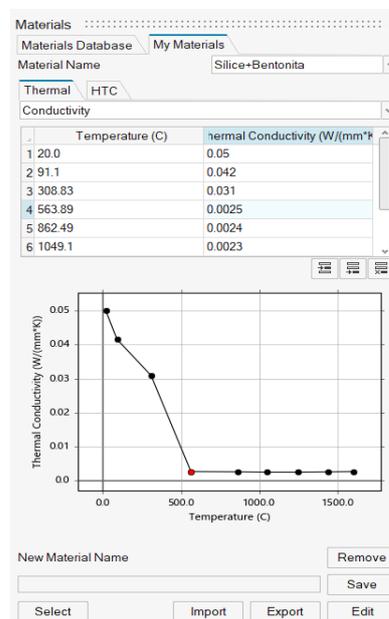
*Selección de la arena sílice más bentonita en el software Altair Cast*



*Nota.* La figura muestra la selección de la variable ingresada en el programa de simulación en procesos de fundición Inspire Cast donde se aprecia el nombre de la arena y la temperatura en condiciones normales.

**Figura 30**

*Propiedades físicas de la arena sílice más bentonita*

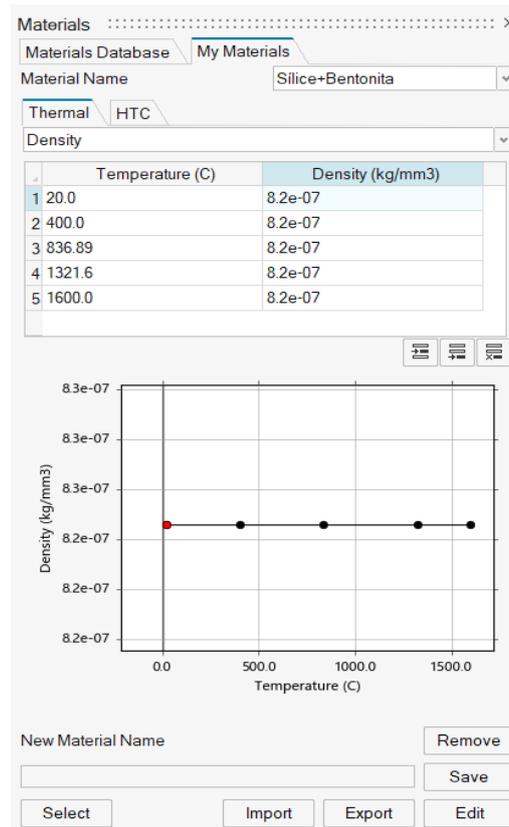


*Nota.* La figura muestra la curva correspondiente a la conductividad térmica en función a la temperatura de la arena sílice más bentonita ingresado en el programa de simulación de fundición.

De igual manera con la información de los ensayos físicos de la arena sílice más bentonita otra variable a considerar es la densidad del material de moldeo, en la figura 30 se muestra los valores ingresados en el software de simulación de fundición Altair Cast.

### Figura 31

*Valores de la densidad de la arena sílice más bentonita*

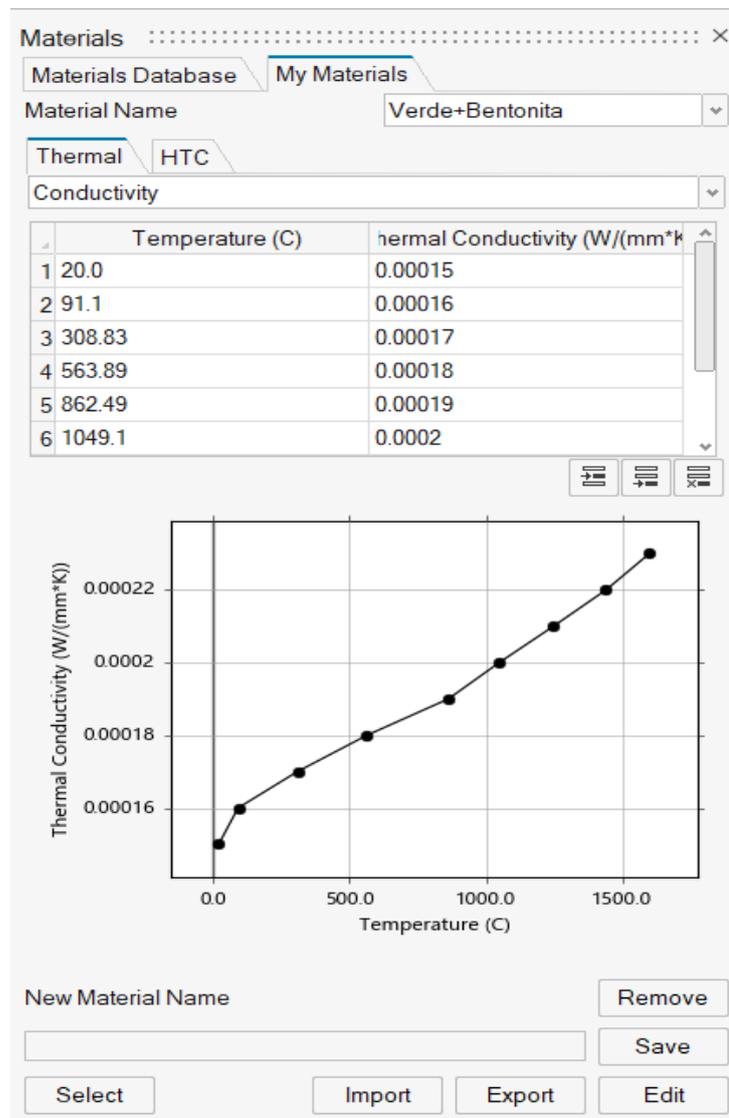


*Nota.* La figura muestra la curva correspondiente a la densidad en función a la temperatura de la arena sílice más bentonita ingresado en el programa de simulación de fundición, donde se aprecia una densidad constante.

Para ingresar los valores de la arena verde más bentonita en el software se siguen los mismos pasos que en el proceso de la arena sílice más bentonita los valores presentados por el software se indican en la figura 31

**Figura 32**

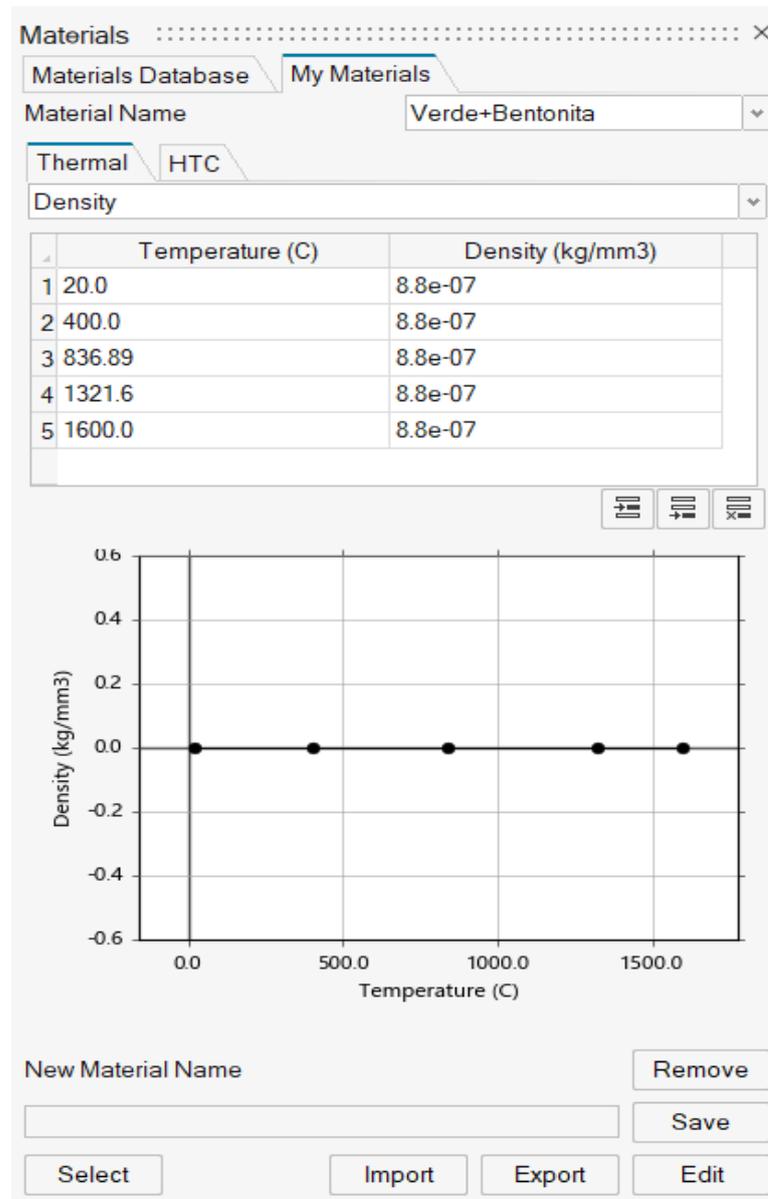
Valores de la densidad y conductividad térmica de la arena verde más bentonita



*Nota.* La figura muestra la curva correspondiente a la conductividad térmica en función a la temperatura de la arena verde más bentonita ingresada en el programa de simulación de fundición.

**Figura 33**

Valores de la densidad de la arena verde más bentonita



*Nota.* La figura muestra la curva correspondiente a la densidad en función a la temperatura de la arena verde más bentonita ingresada en el programa de simulación de fundición, donde se aprecia una densidad constante.

### Procedimiento de simulación

A continuación, como primer paso se va a simular los elementos fundidos (A1D1) es decir los elementos con un diámetro de bebedero de 25mm y con arena sílice más bentonita como material de moldeo.

Considerando que los resultados que nos entrega en software Altair Cast son: resultados de llenado y resultados de solidificación en la tabla 18 se presentan todos los valores que se pueden analizar en una simulación.

**Tabla 18**

*Parámetros de los valores de resultados Altair Cast*

RESULTADOS DE LLENADO	RESULTADOS DE SOLIDIFICACIÓN	DE
Temperatura	Temperatura	
Fracción solida	Fracción solida	
Velocidad	Tiempo de solidificación	
Acumulación de gases de fundición	Niyama	
Erosión de molde	Micro porosidad	
Presiones	Contracción de flujo de colada	
Tiempo de llenado	Módulo de solidificación	
Flujo de aire	Porosidad	
Temperatura del molde	Contracción del volumen total	

*Nota.* En la tabla se muestra las variables que arroja el programa de simulación CDF de fundición.

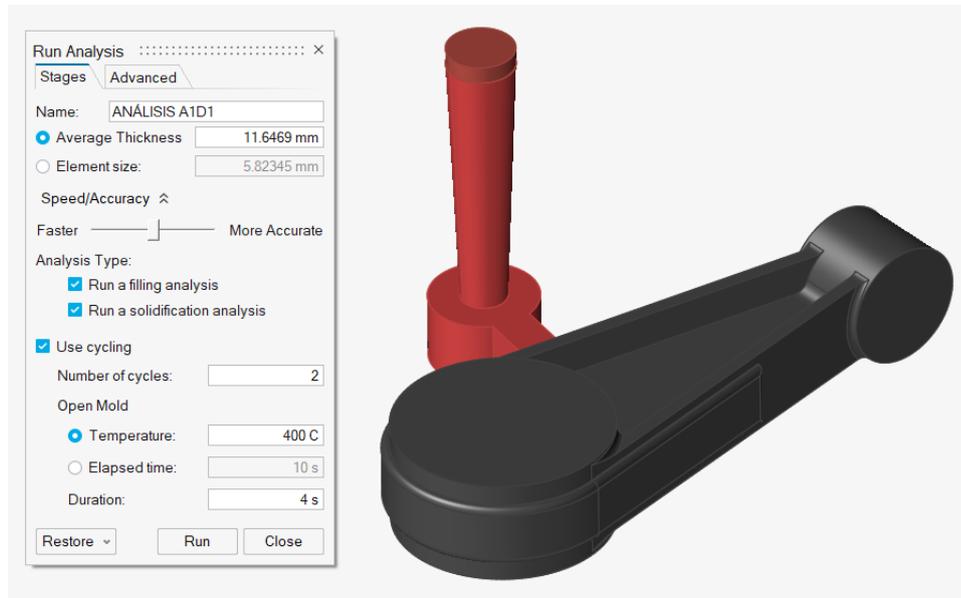
Una vez seleccionado el tipo de arena de fundición y el material tal como se indicó en los enunciados anteriores se procede a ingresar los datos para la simulación en el software Altair Cast.

Para la simulación hay que considerar dos parámetros muy importantes, el primero es el average thickness que es el espesor promedio de la malla, el segundo punto es el element size

o el tamaño de la malla, cabe recalcar que el software trabaja con un algoritmo interno que es el que calcula el tamaño de la malla de manera automática como se indica en la figura 19.

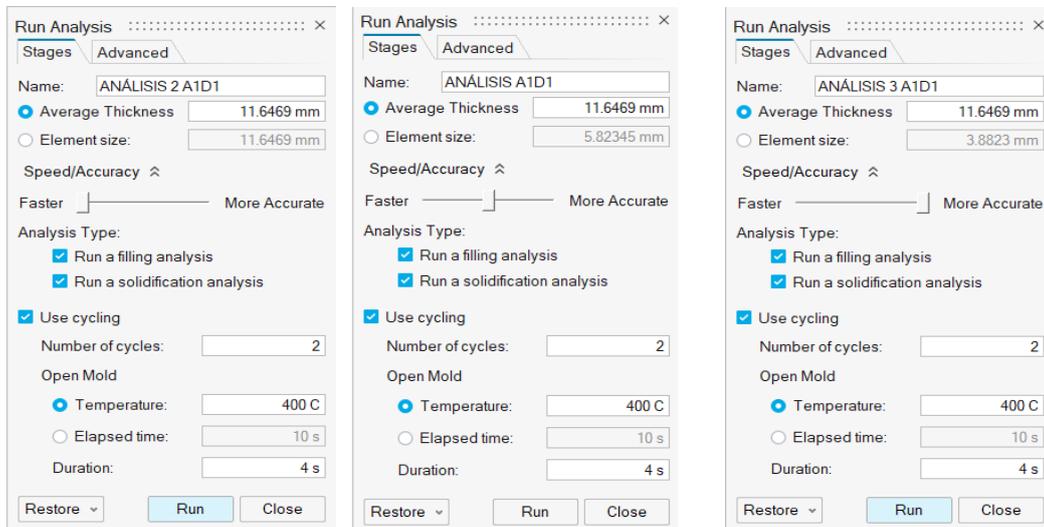
**Tabla 19**

*Parámetros para el proceso de simulación*



*Nota.* La figura muestra los parámetros seleccionados para el análisis de llenado y solidificación en el proceso de fundición.

Es importante realizar un análisis previo para comparar la calidad de malla utilizando como parámetro principal el espesor promedio de malla y variando la rapidez y presión del mallado. En la figura 32 se detalla los tres parámetros seleccionados y en la figura 33, 34 y 35 se visualiza el tipo de malla que determina el software, adicionalmente se presenta una malla triangular ya que se está trabajando con un fluido.

**Figura 34***Tipos de configuración de malla*

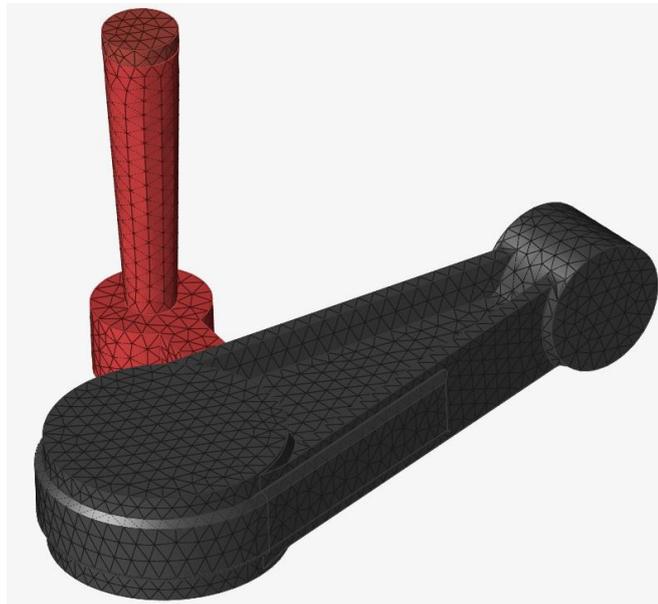
*Nota.* La figura muestra los tres tipos de configuración de mallado que presenta del programa

**Figura 35***Espesor promedio de malla a mayor rapidez de procesamiento.*

*Nota.* La figura muestra el primer tipo de mallado que genera automáticamente el programa con una configuración triangular con un tamaño 11.64mm.

**Figura 36**

*Espesor promedio de malla a un promedio de rapidez de procesamiento.*



*Nota.* La figura muestra el segundo tipo de mallado que genera automáticamente el programa con una configuración triangular con un tamaño 5.82 mm.

**Figura 37**

*Espesor promedio de malla a una mayor precisión de procesamiento.*



*Nota.* La figura muestra el tercer tipo de mallado que genera automáticamente el programa con una configuración triangular con un tamaño 3.88 mm.

Si bien es cierto el tamaño de malla no determina la calidad de los resultados, pero para el análisis se tomará en cuenta la forma triangular ya que se está trabajando con fluidos y se considera el tamaño de malla de 3.88 mm ya que se tiene un mallado más fino y uniforme con una mayor precisión de procesamiento en función del espesor promedio tal como se indica en la figura 35.

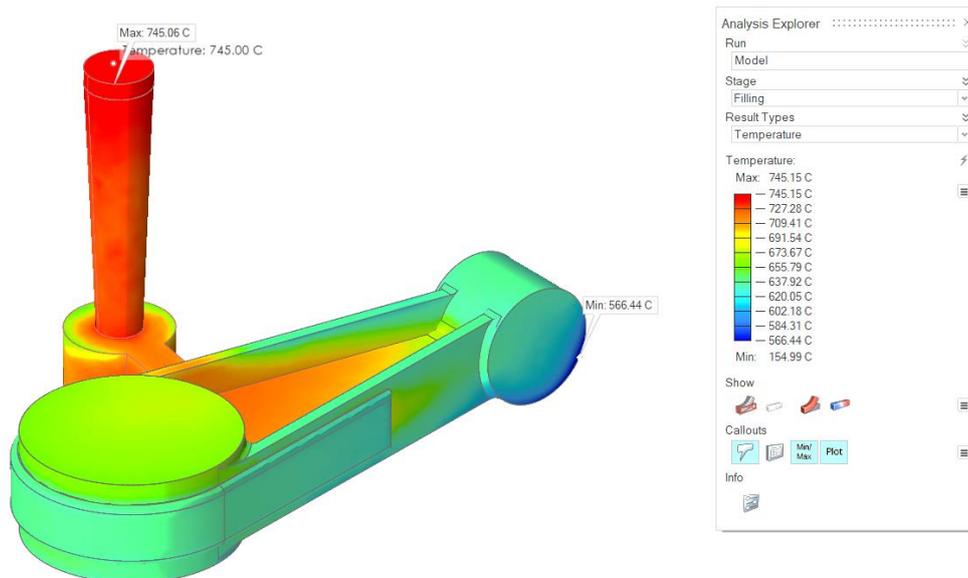
### Análisis de la simulación en la etapa de llenado

#### Análisis de la temperatura

En las figuras siguientes se muestran los resultados de la temperatura durante el proceso de llenado obtenidos de la simulación de los cuatro tipos de elementos fundidos tomando como parámetro las variables del diámetro del bebedero y el tipo de arena de fundición. En las figuras obtenidas se observa la temperatura necesaria para que el material colado llegue a fusionarse en los dos frentes de flujo interno.

### Figura 38

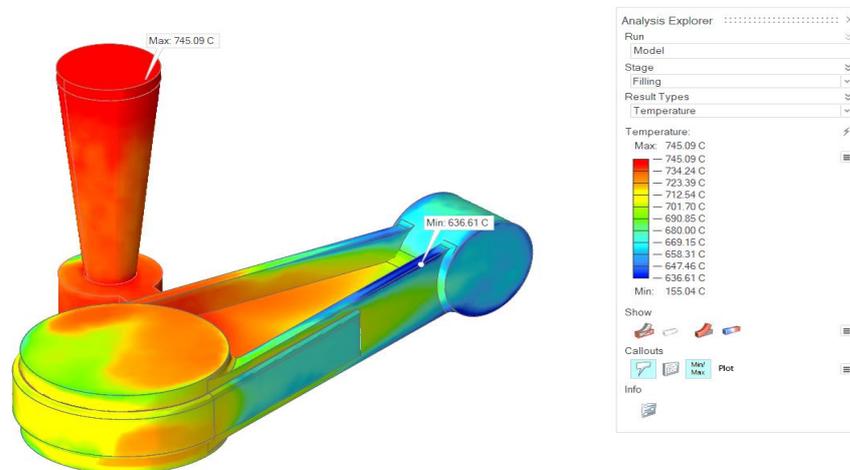
#### Temperatura de llenado elemento A1D1



*Nota.* La figura muestra el flujo de temperatura durante el proceso de llenado en el elemento con un diámetro de bebedero de 25mm y arena sílice más bentonita.

**Figura 39**

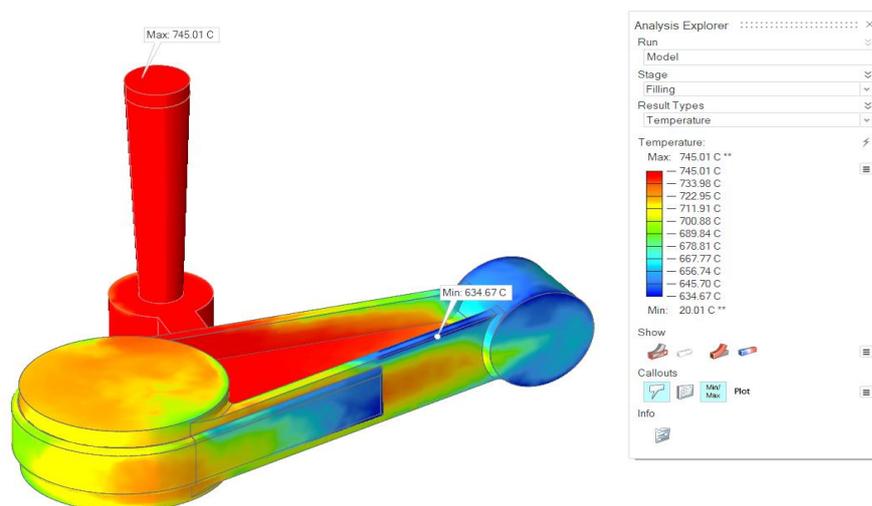
*Temperatura de llenado elemento A1D2*



*Nota.* La figura muestra el flujo de temperatura durante el proceso de llenado en el elemento con un diámetro de bebedero de 40mm y arena sílice más bentonita, donde la temperatura es de 745.09°C

**Figura 40**

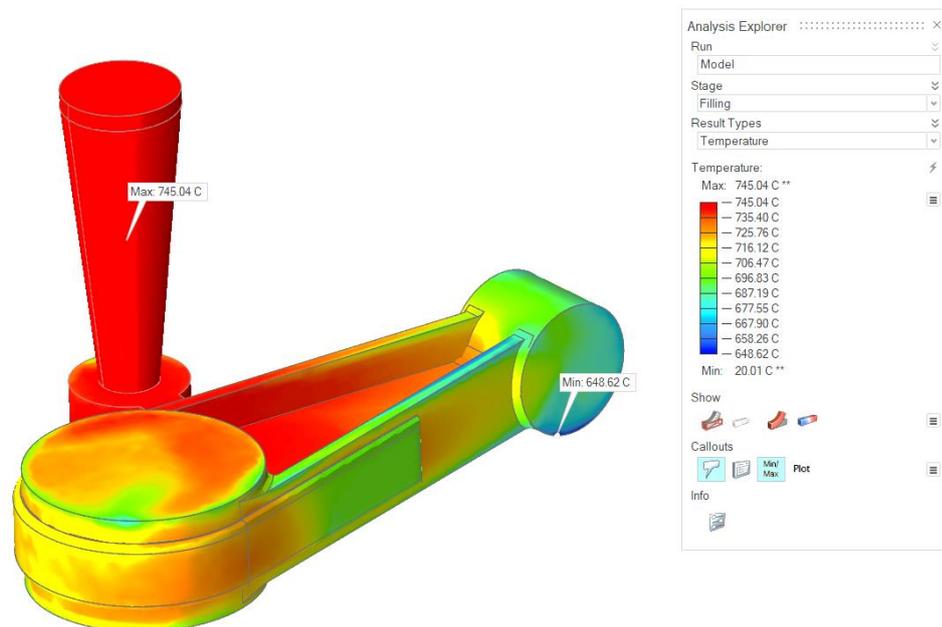
*Temperatura de llenado elemento A2D1*



*Nota.* La figura muestra el flujo de temperatura durante el proceso de llenado en el elemento con un diámetro de bebedero de 25mm y arena verde más bentonita con una temperatura de 745.01°C

**Figura 41**

*Temperatura de llenado elemento A2D2*

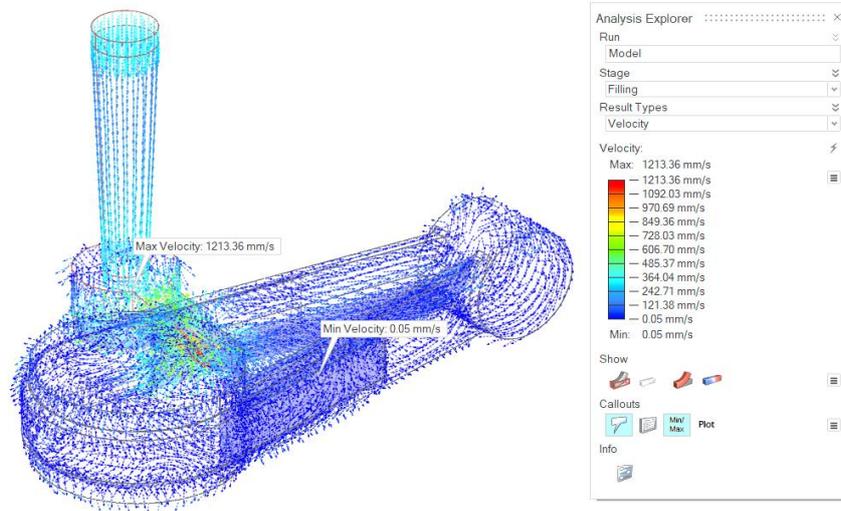


*Nota.* La figura muestra el flujo de temperatura durante el proceso de llenado en el elemento con un diámetro de bebedero de 40mm y arena verde más bentonita con una temperatura de 745.04°C

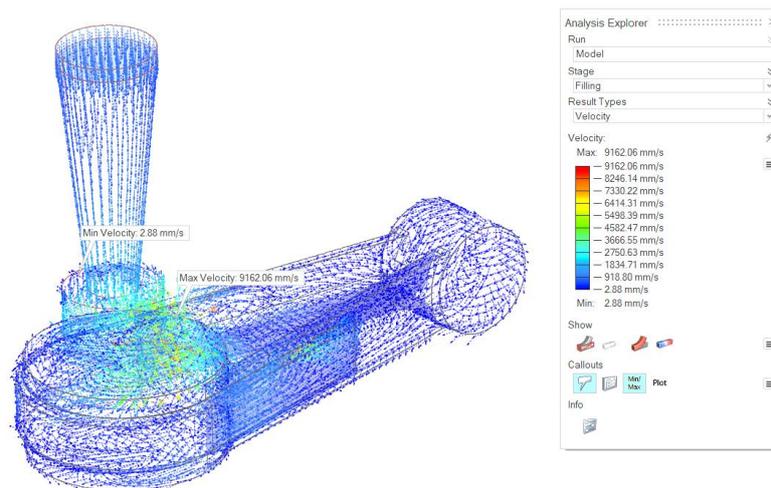
**Análisis de la velocidad**

La velocidad representa el proceso de llenado mediante vectores, lo que permite detectar turbulencias y velocidades del material líquido dentro de las cavidades del molde en arena, además se puede visualizar la velocidad máxima y mínima que se generan y de esta manera analizar el relleno de contorno de las velocidades evitando así turbulencias debido a un mal diseño del modelo.

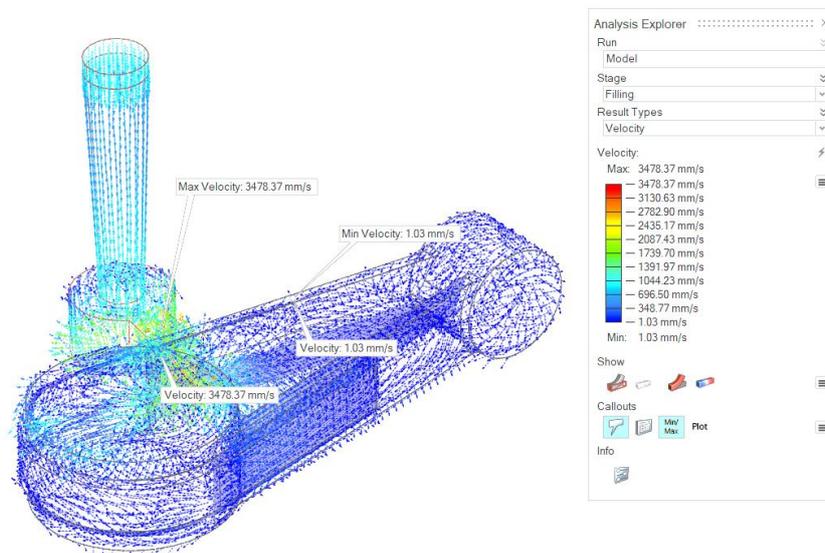
En las figuras siguientes se muestra los resultados de la velocidad obtenidos de la simulación en el interior del molde al momento del vaciado del material fundido tomando como parámetro la variable del diámetro del bebedero y el tipo de arena.

**Figura 42***Velocidad de llenado elemento A1D1*

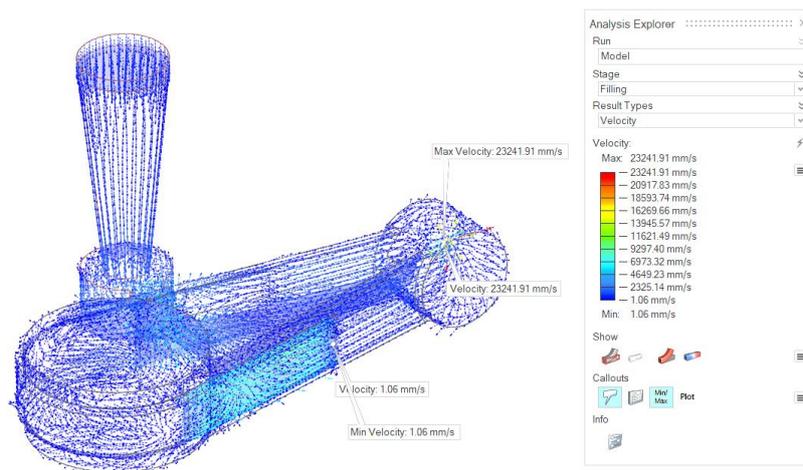
*Nota.* La figura muestra la velocidad durante el proceso de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 25mm y arena sílice más bentonita con una velocidad máxima de 1213.36 mm/s.

**Figura 43***Velocidad de llenado elemento A1D2*

*Nota.* La figura muestra la velocidad durante el proceso de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 40mm y arena sílice más bentonita con una velocidad máxima de 9162.06 mm/s.

**Figura 44***Velocidad de llenado elemento A2D1*

*Nota.* La figura muestra la velocidad durante el proceso de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 25mm y arena verde más bentonita con una velocidad máxima de 3478.37 mm/s.

**Figura 45***Velocidad de llenado elemento A2D2*

*Nota.* La figura muestra la velocidad durante el proceso de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 40mm y arena verde más bentonita con una velocidad máxima de 23241.91 mm/s.

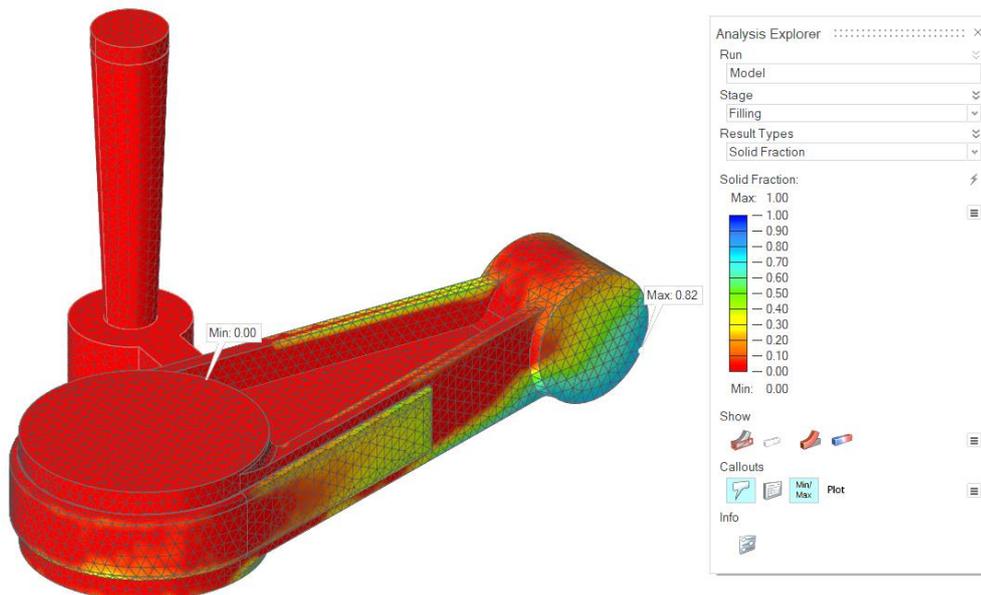
### Análisis de la fracción sólida de llenado

La fracción sólida muestra las áreas donde ocurrirá las primeras solidificaciones, estas áreas multicolores no se llenarán por completo y por lo tanto son propensas a la escasez de material y con esto tomar parámetros de corrección como posiblemente se deba aumentar la presión de llenado, aumentar la velocidad o reducir el tiempo de llenado para evitar la escasez del material, el color azul indica una zona donde habrá problemas de llenado.

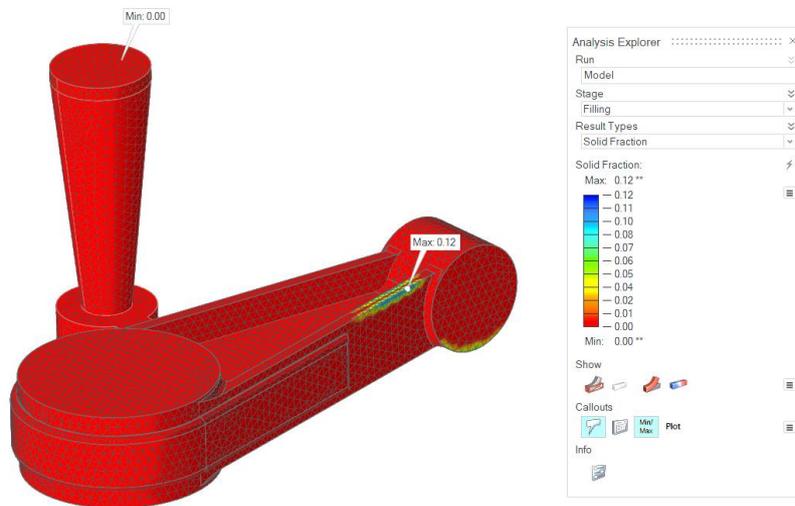
En las figuras siguientes se muestran los resultados de la fracción de solidificación obtenidos de la simulación en los cuatro elementos fundidos, tomando como parámetro las variables del diámetro del bebedero y los tipos de arena.

**Figura 46**

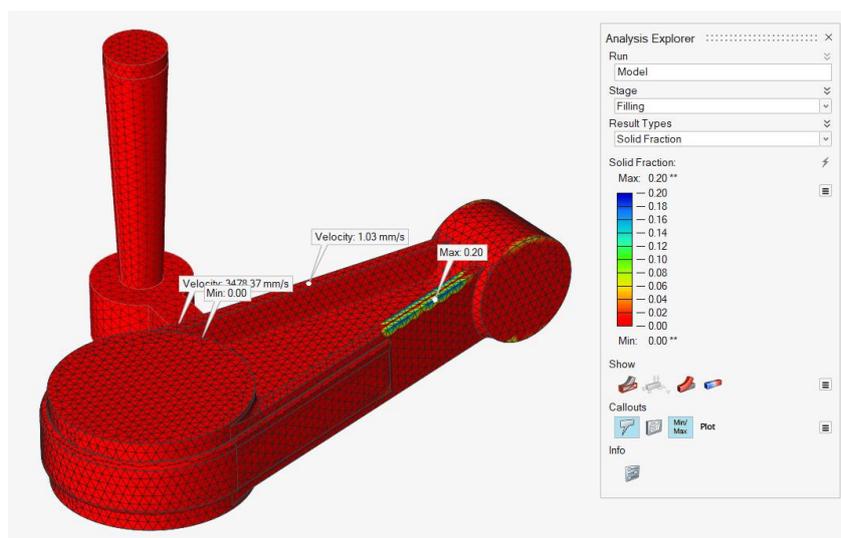
*Fracción sólida de llenado elemento A1D1*



*Nota.* La figura muestra la fracción sólida durante el proceso de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 25mm y arena sílice más bentonita con una fracción sólida máxima de 0.82

**Figura 47***Fracción sólida de llenado elemento A1D2*

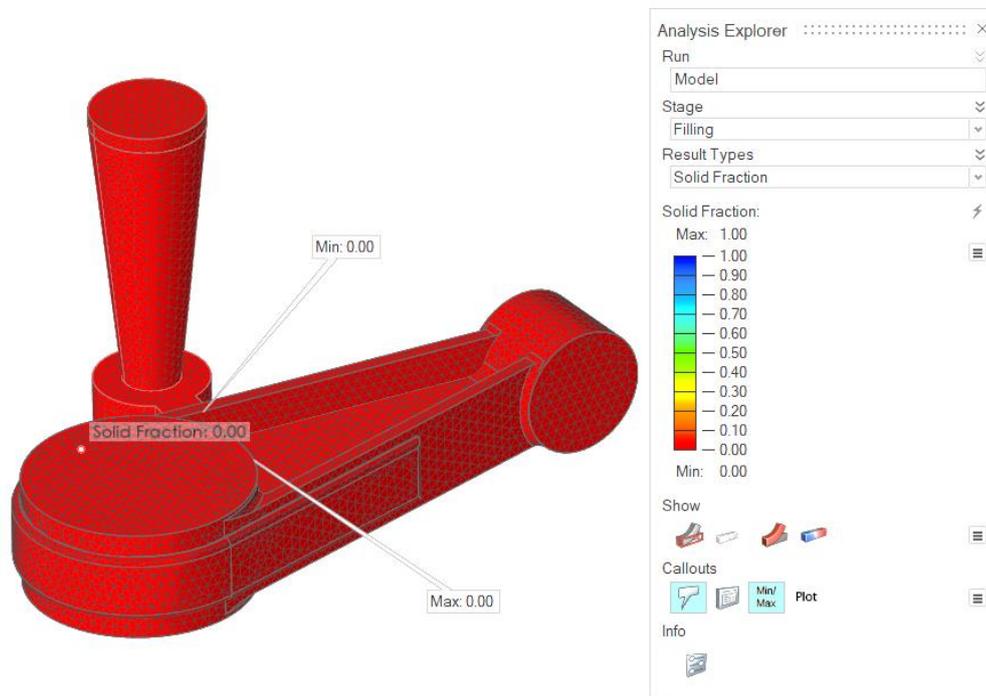
*Nota.* La figura muestra la fracción sólida durante el proceso de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 40mm y arena sílice más bentonita con una fracción sólida máxima de 0.12

**Figura 48***Fracción sólida de llenado elemento A2D1*

*Nota.* La figura muestra la fracción sólida durante el proceso de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 25mm y arena verde más bentonita con una fracción sólida máxima de 0.20

**Figura 49**

*Fracción solida de llenado elemento A2D2*

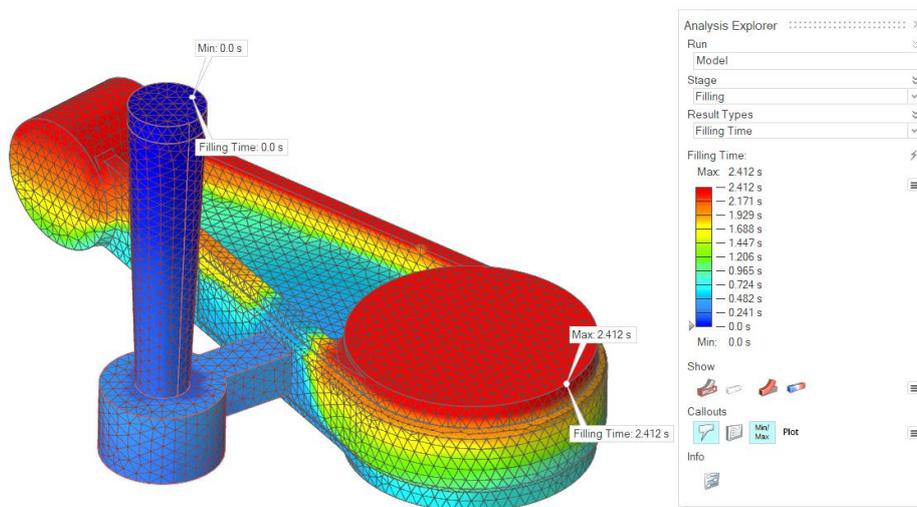


*Nota.* La figura muestra la fracción solida durante el proceso de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 40mm y arena verde más bentonita donde no se indica formación de fracción solida del elemento.

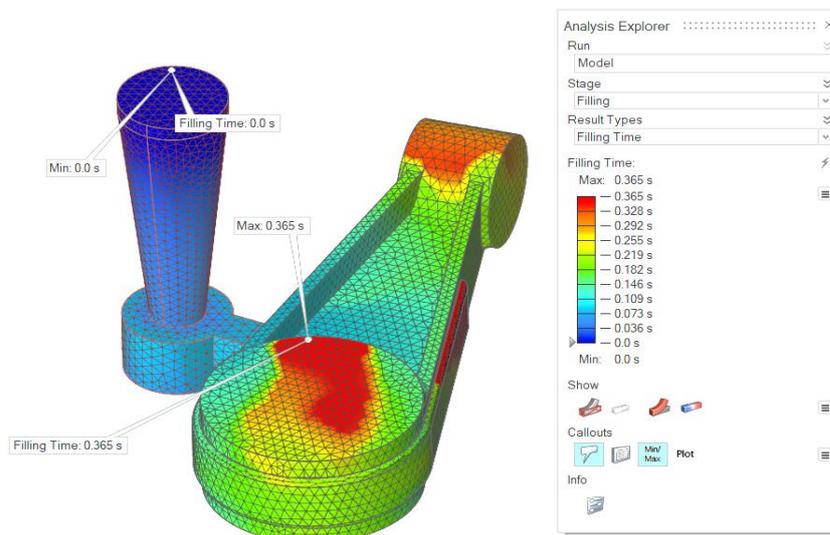
**Análisis del tiempo de llenado**

El tiempo de llenado muestra la instancia que tarda el material en llegar a diferentes áreas dentro de las cavidades de la pieza, según una leyenda de color se puede observar los valores máximos y mínimos, esto ayuda a determinar la mejor manera de llenar la pieza a ser fundida, el tiempo dará una idea básica del patrón de llenado además proporciona información sobre los tiempos de la primera y segunda fase HPDP (High pressure die casting)

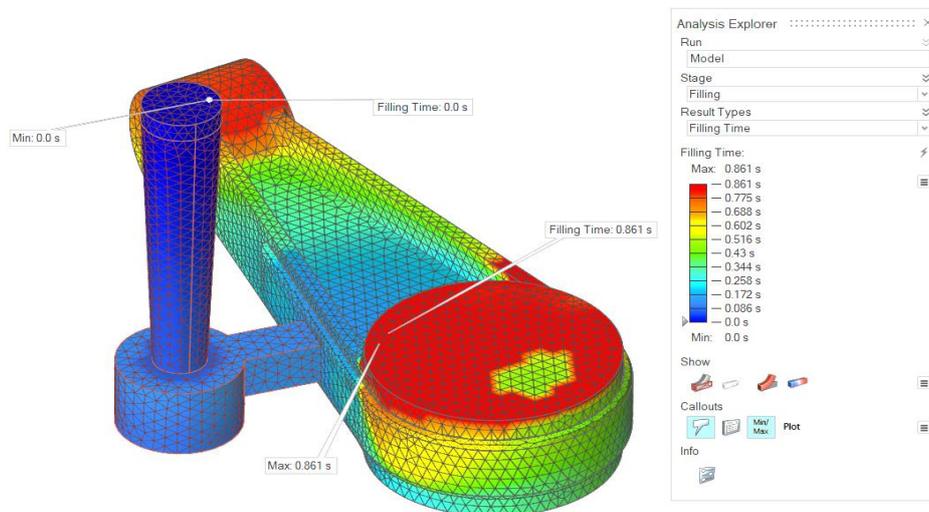
En las figuras siguientes se muestran los resultados del tiempo de llenado obtenidos de la simulación en los cuatro elementos tomando como variables el diámetro de los bebederos y el tipo de arena.

**Figura 50***Tiempo de llenado elemento A1D1*

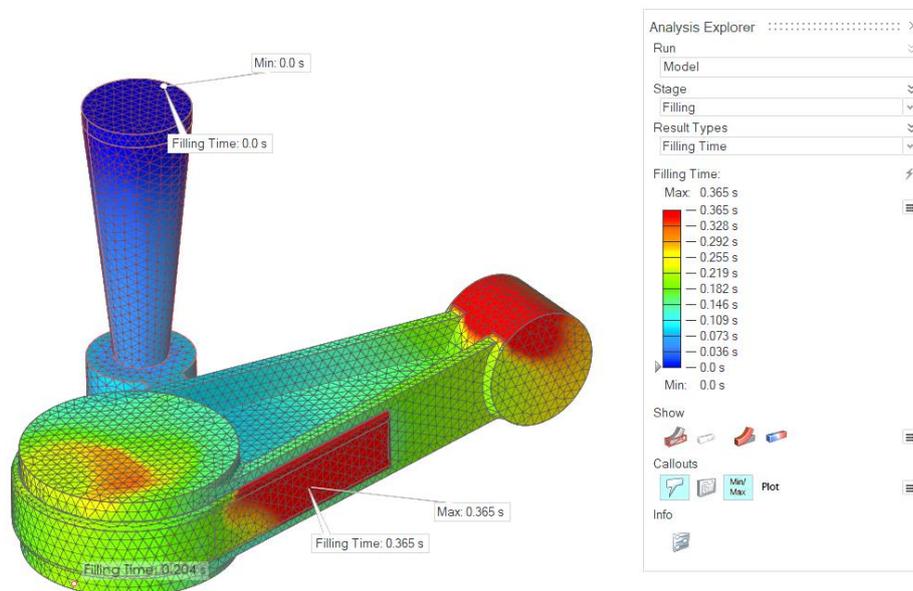
*Nota.* La figura muestra el tiempo de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena sílice más bentonita donde se indica un tiempo máximo de 2.412 segundos.

**Figura 51***Tiempo de llenado elemento A1D2*

*Nota.* La figura muestra el tiempo de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena sílice más bentonita donde se indica un tiempo máximo de 0.365 segundos.

**Figura 52***Tiempo de llenado elemento A2D1*

*Nota.* La figura muestra el tiempo de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena verde más bentonita donde se indica un tiempo máximo de 0.861 segundos.

**Figura 53***Tiempo de llenado elemento A2D2*

*Nota.* La figura muestra el tiempo de llenado del elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena verde más bentonita donde se indica un tiempo máximo de 0.0.365 segundos.

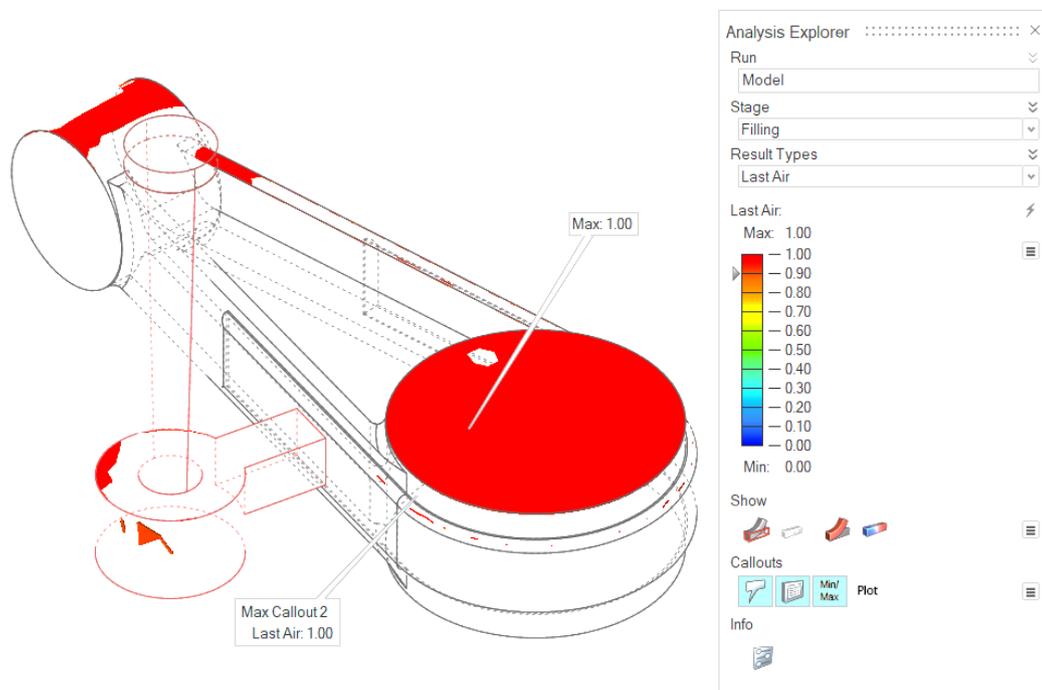
### Análisis del atrapamiento de aire en el llenado (Last air)

El atrapamiento de aire se indica en una escala de colores, donde el color azul muestra las últimas áreas a llenar de tal manera que se pueda predecir la posible formación de burbujas.

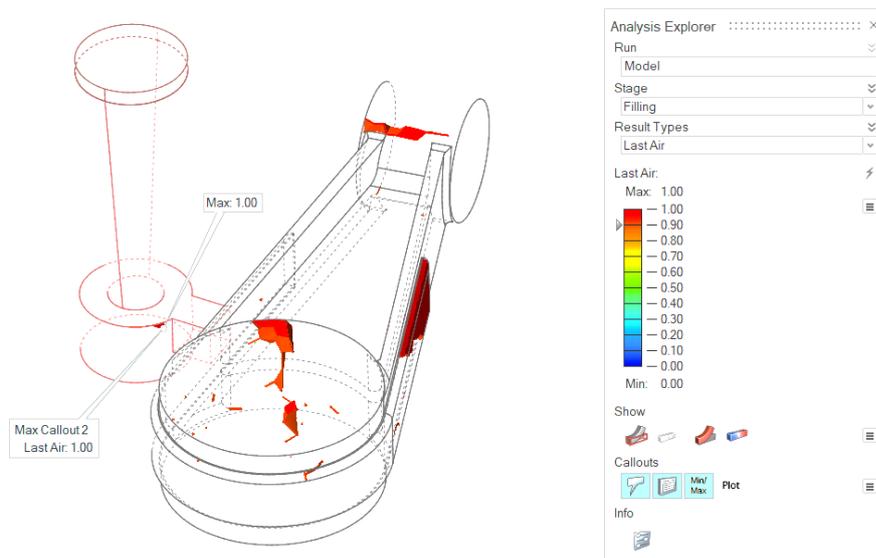
En las figuras siguientes se muestran el atrapamiento de aire obtenidos de la simulación de los cuatro elementos tomando las variables principales como el diámetro del bebedero y los tipos de arenas de fundición.

#### Figura 54

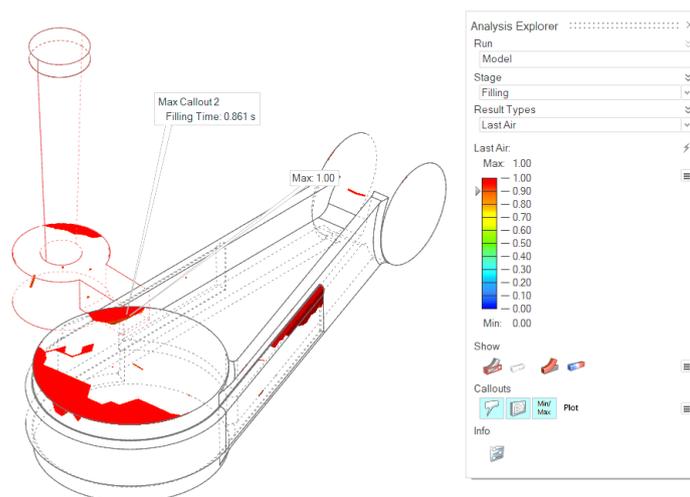
##### *Acumulación de aire de llenado elemento A1D1*



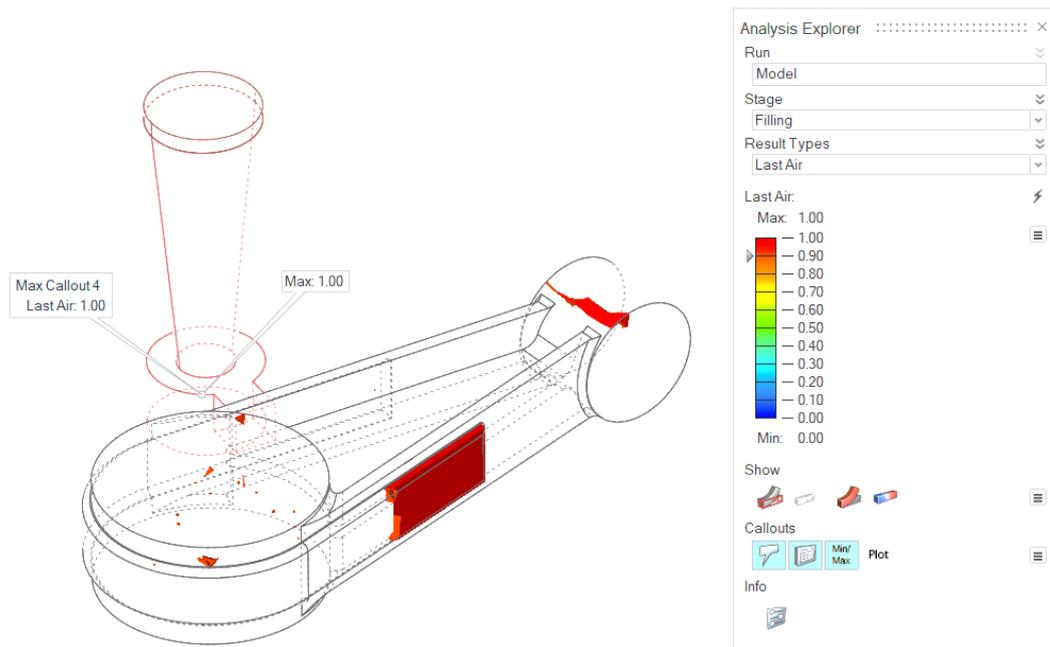
*Nota.* La figura muestra el atrapamiento de aire del elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena sílice más bentonita donde se indica un atrapamiento de aire máximo en la parte superior del buje de mayor diámetro lo que causaría posible formación de burbujas en el llenado.

**Figura 55***Acumulación de aire de llenado elemento A1D2*

*Nota.* La figura muestra el atrapamiento de aire en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena sílice más bentonita donde se indica un atrapamiento de aire máximo en la parte de bebedero sin causar daño al elemento.

**Figura 56***Acumulación de aire de llenado elemento A2D1*

*Nota.* La figura muestra el atrapamiento de aire en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena verde más bentonita donde se indica un atrapamiento de aire máximo en la parte superior del alojamiento del bocín de mayor diámetro.

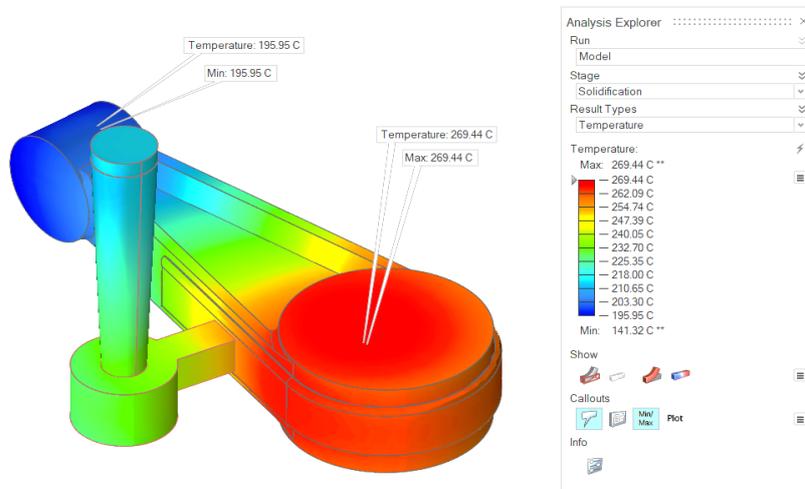
**Figura 57***Acumulación de aire de llenado elemento A2D2*

*Nota.* La figura muestra el atrapamiento de aire en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena verde más bentonita donde se indica un atrapamiento de aire máximo se da en la parte del bebedero sin afectar al elemento en la etapa de llenado.

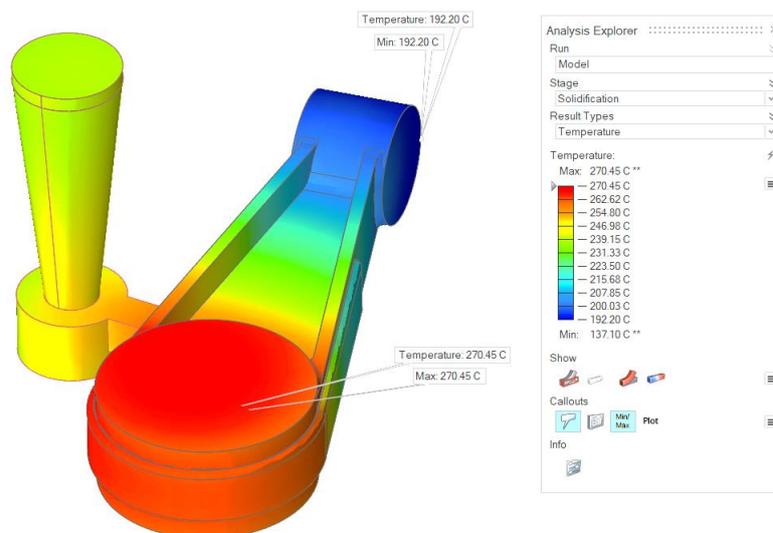
**Análisis de la simulación en la etapa de Solidificación****Análisis de temperatura de solidificación**

La temperatura permite observar cambios durante el proceso de solidificación del elemento, después del primer análisis de llenado las temperaturas de solidificación comenzaran con las ultimas temperaturas de llenado, caso contrario iniciara con una temperatura constante, el cálculo se detiene cuando la temperatura máxima está por debajo de la temperatura de solidificación, el criterio de parada de salificación es igual a  $(t \text{ solido} - 20)/2$ .

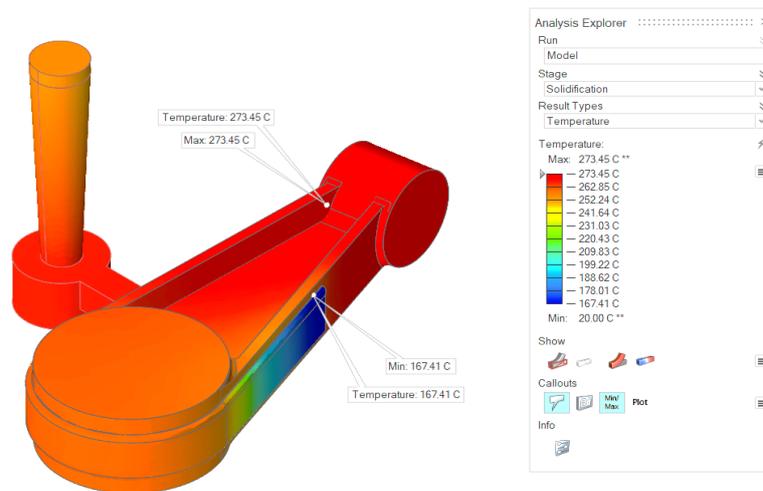
En las figuras siguientes se muestran los resultados de la temperatura en la etapa de solidificación de los cuatro elementos tomando como variables el diámetro del bebedero y el tipo de arena de fundición.

**Figura 58***Temperatura de solidificación elemento A1D1*

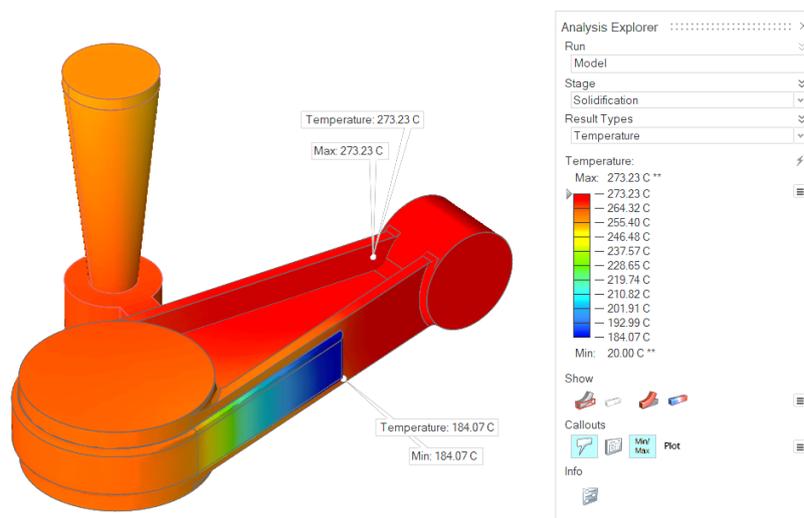
*Nota.* La figura muestra la temperatura de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena sílice más bentonita donde se indica una temperatura máxima de 269.44°C.

**Figura 59***Temperatura de solidificación elemento A1D2*

*Nota.* La figura muestra la temperatura de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena sílice más bentonita donde se indica una temperatura máxima de 270.45°C.

**Figura 60***Temperatura de solidificación elemento A2D1*

*Nota.* La figura muestra la temperatura de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena verde más bentonita donde se indica una temperatura máxima de 273.45°C.

**Figura 61***Temperatura de solidificación elemento A2D2*

*Nota.* La figura muestra la temperatura de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena verde más bentonita donde se indica una temperatura máxima de 273.23°C.

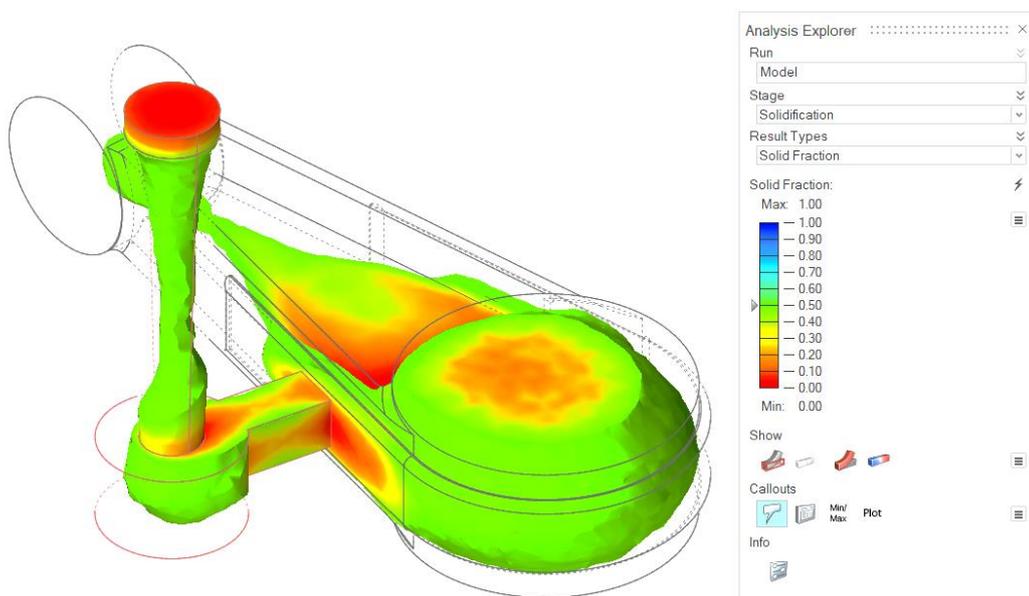
### Análisis la fracción solida de solidificación

Mediante el análisis de la fracción solida se puede observar las ultimas áreas en solidificarse para predecir la porosidad por contracción, que es lo más probable que ocurra en áreas aisladas, en la barra de colores se puede dar clic para cambiar el valor de la fracción solida sin embargo por defecto viene establecido en un valor de 0,7 en la mayoría de los casos este valor corresponde cuando el material fundido deja de fluir, en las figuras se observa un color trasparente por encima de 0,7 mientras que el material liquido por debajo de 0,7 se muestra coloreado.

En las figuras siguientes se muestran los resultados de la fracción solida en el momento de la solidificación del material liquido tomando como variables el diámetro de los bebederos y el tipo de arena.

### Figura 62

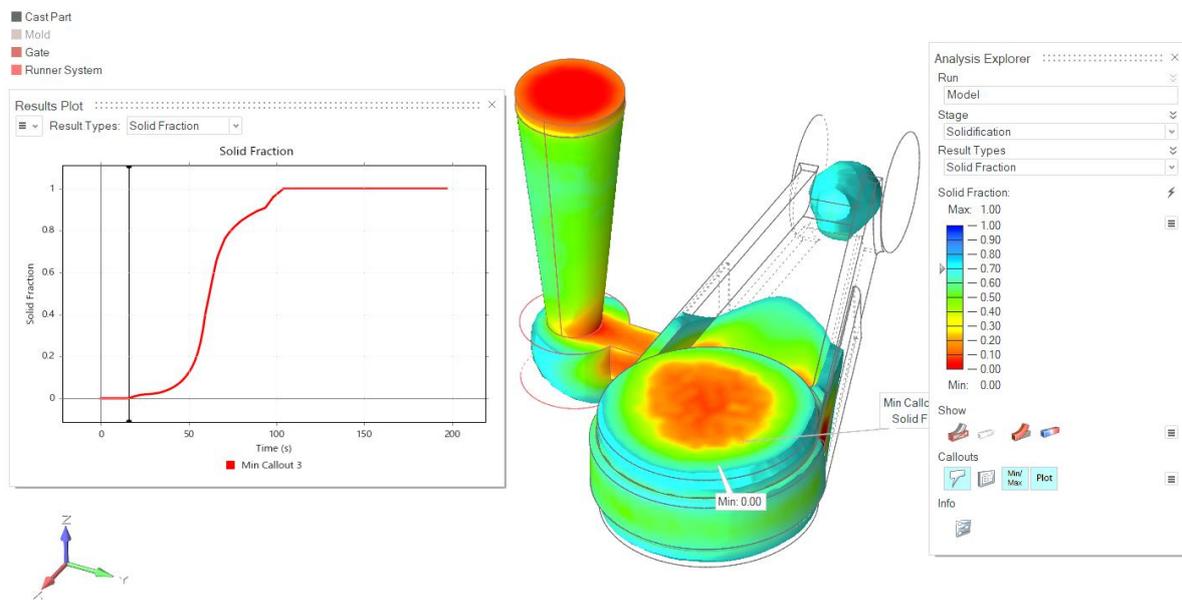
*Fracción solida elemento A1D1 (0.50 máximo)*



*Nota.* La figura muestra la fracción de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena sílice más bentonita donde se indica un valor de 0,5.

**Figura 63**

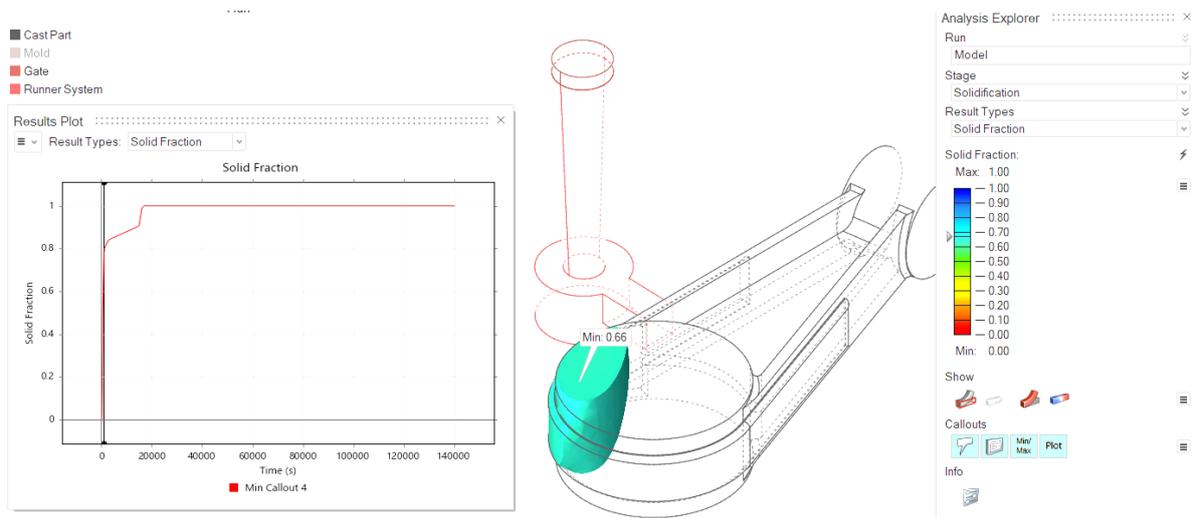
*Fracción solida elemento A1D2 (1.0 máximo)*



*Nota.* La figura muestra la fracción de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena sílice más bentonita donde se indica un valor de 1,0.

**Figura 64**

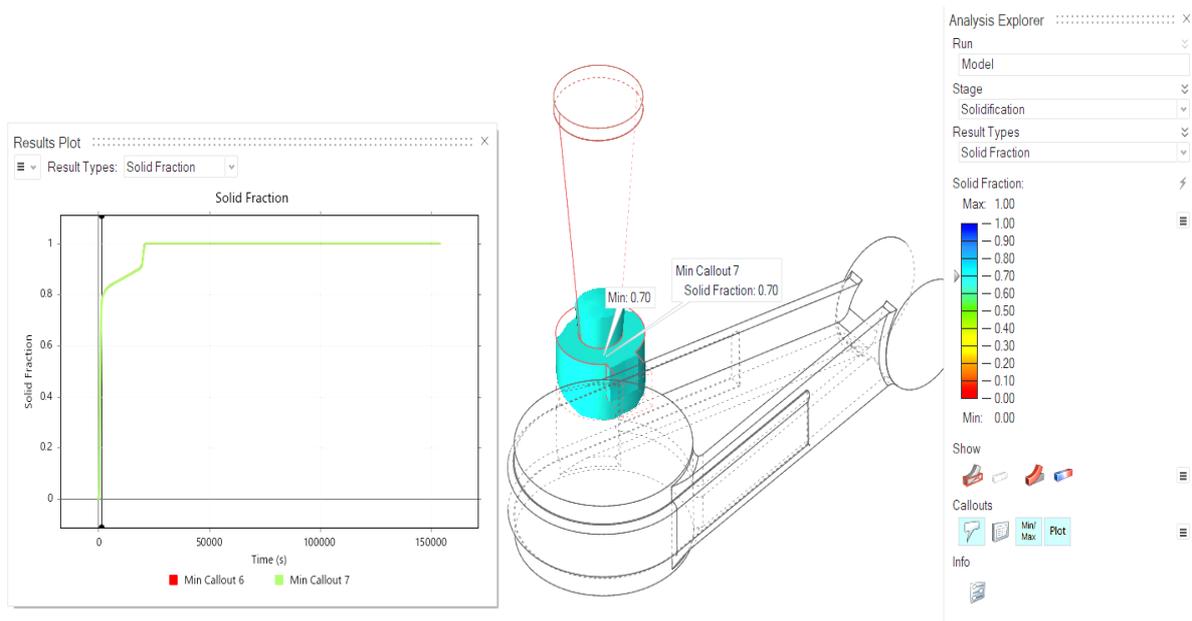
*Fracción solida elemento A2D1 (1.0 máximo)*



*Nota.* La figura muestra la fracción de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena verde más bentonita donde se indica un valor de 1,0.

**Figura 65**

*Fracción solida elemento A2D2 (1.0 máximo)*

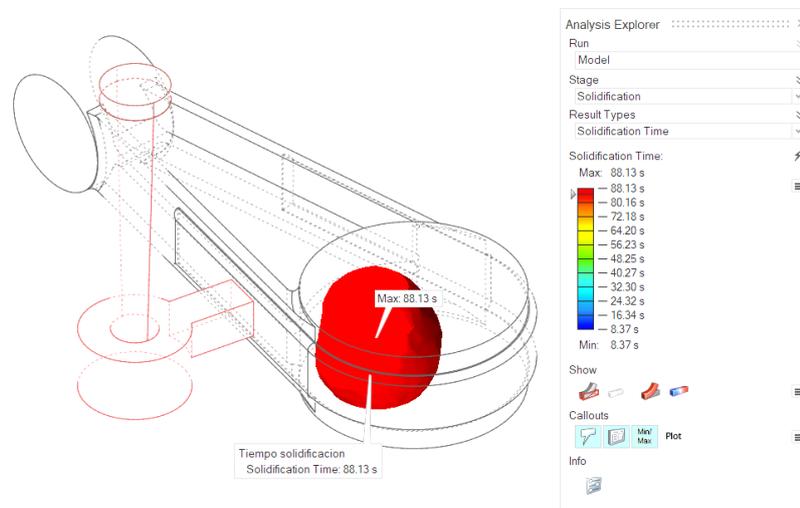


*Nota.* La figura muestra la fracción de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena verde más bentonita donde se indica un valor de 1,0.

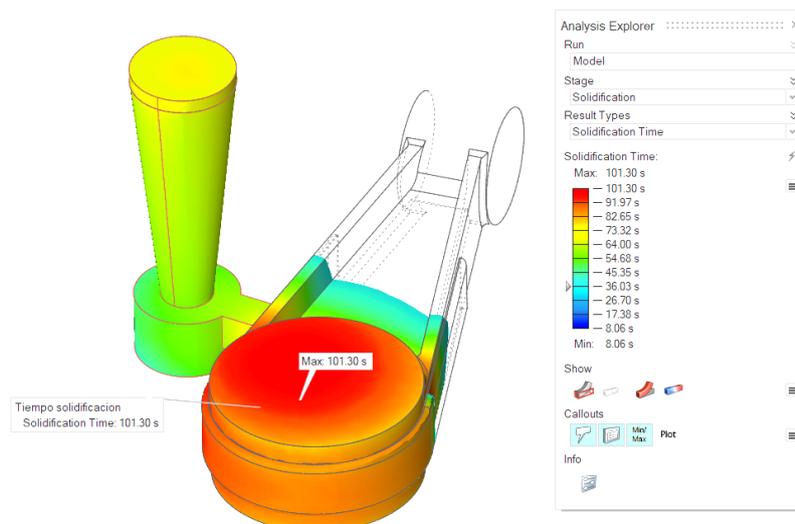
### **Análisis tiempo de solidificación**

El tiempo de solidificación determina la instancia requerida para que el material fundido llegue a tener una contextura solida después de la etapa de llenado de las diferentes áreas dentro de la pieza, esto indica mediante una leyenda de colores ayudando a identificar qué áreas se llenarán primero y predecir posibles áreas de fundición a bajas temperaturas.

En las figuras siguientes se muestran los resultados obtenidos de la simulación del tiempo de solidificación en los cuatro elementos tomando como variables el diámetro de los bebederos y el tipo de arena de fundición.

**Figura 66***Tiempo de solidificación elemento A1D1*

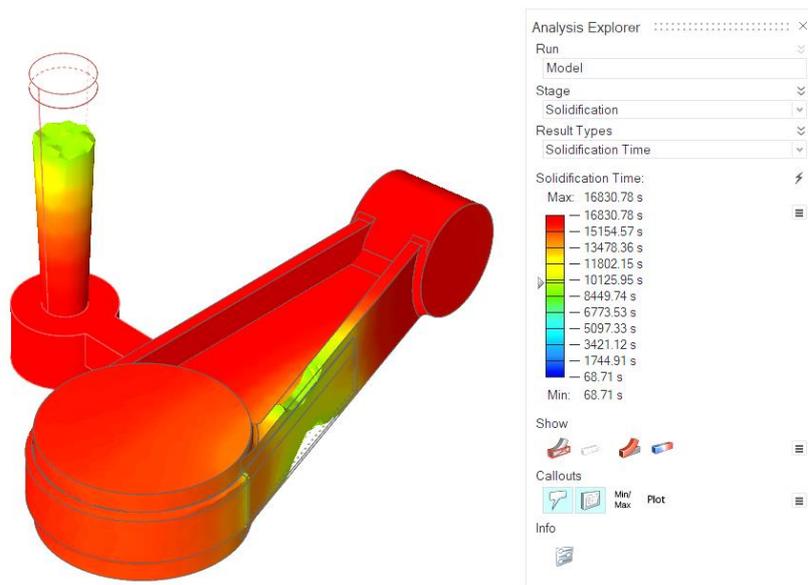
*Nota.* La figura muestra el tiempo de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena sílice más bentonita donde el tiempo máximo es de 88.13 segundos en la parte del alojamiento del buje de mayor diámetro.

**Figura 67***Tiempo de solidificación elemento A1D2*

*Nota.* La figura muestra el tiempo de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena sílice más bentonita donde el tiempo máximo es de 101,30 segundos en la parte del alojamiento del buje de mayor diámetro.

**Figura 68**

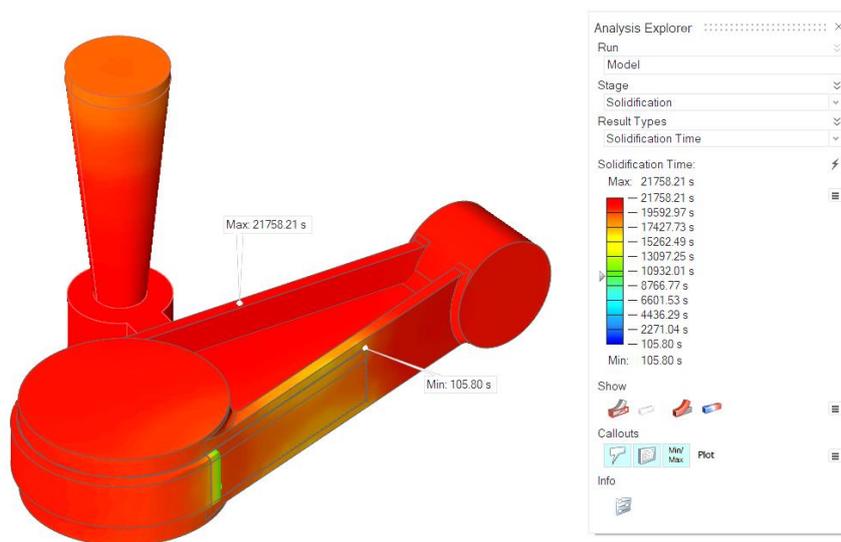
*Tiempo de solidificación elemento A2D1*



*Nota.* La figura muestra el tiempo de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena verde más bentonita.

**Figura 69**

*Tiempo de solidificación elemento A2D2*



*Nota.* La figura muestra el tiempo de solidificación en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena verde más bentonita.

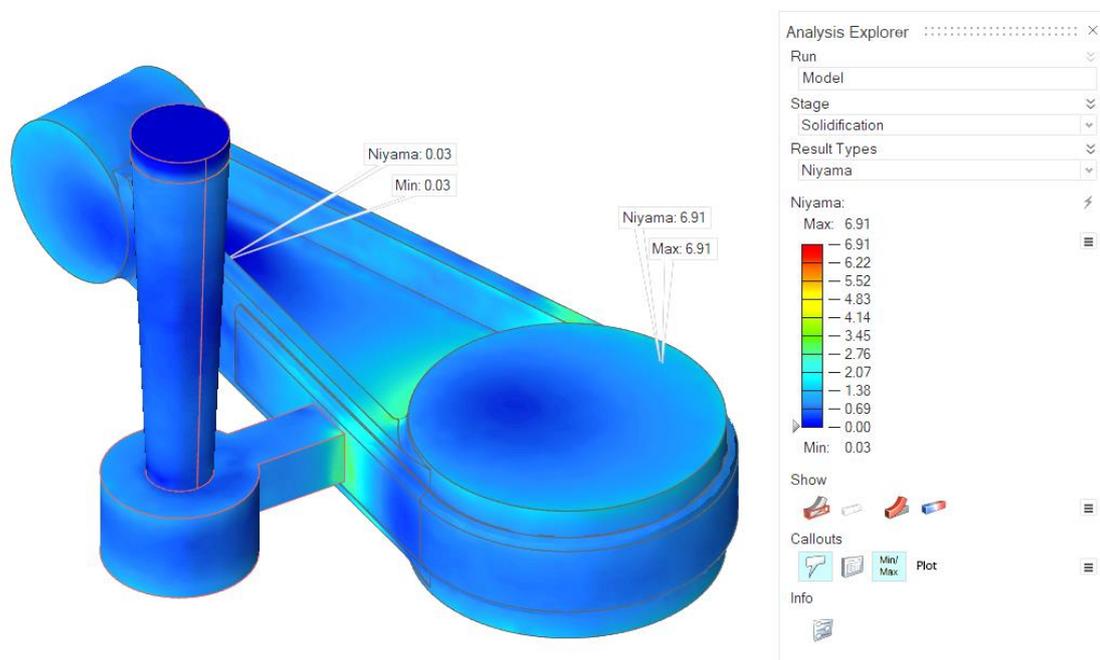
### Análisis criterio de Niyama

Mediante el criterio de Niyama se puede detectar defectos de contracción en la etapa de solidificación, se define como una gradiente térmico dividido por la raíz cuadrada de la velocidad de enfriamiento, la gradiente de temperatura baja hace que el material tenga menor presión para llenar los espacios de las cavidades y una alta velocidad de enfriamiento por lo que se solidifica más rápido y el material tiene menor tiempo para llenar los espacios, cuanto menor sea el valor, mayor será la probabilidad de contracción.

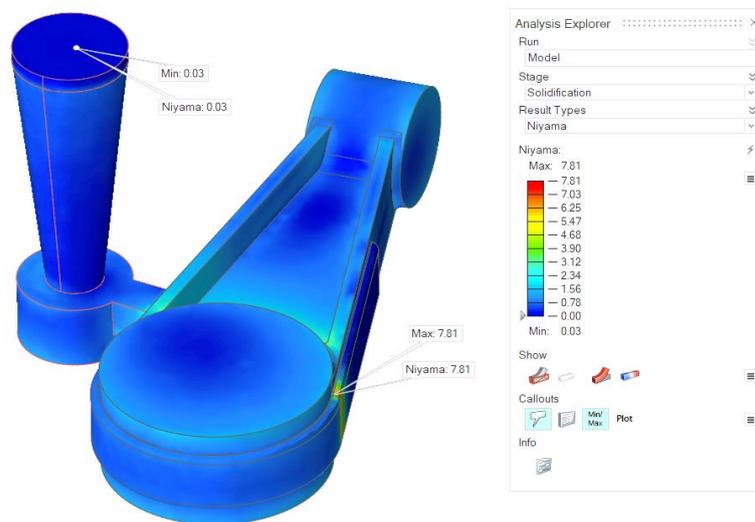
En las figuras siguientes se muestran los resultados del criterio de Niyama obtenidos de la simulación en los cuatro elementos fundidos utilizando como variable el diámetro del bebedero y los tipos de arena.

### Figura 70

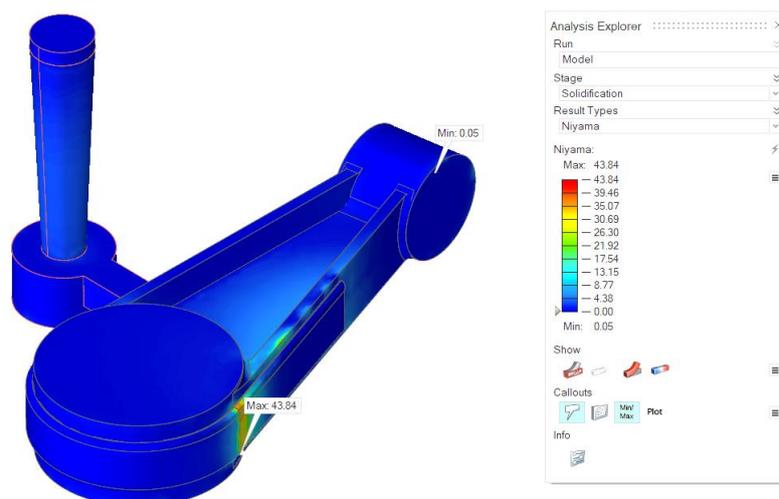
#### *Factor de Niyama elemento A1D1*



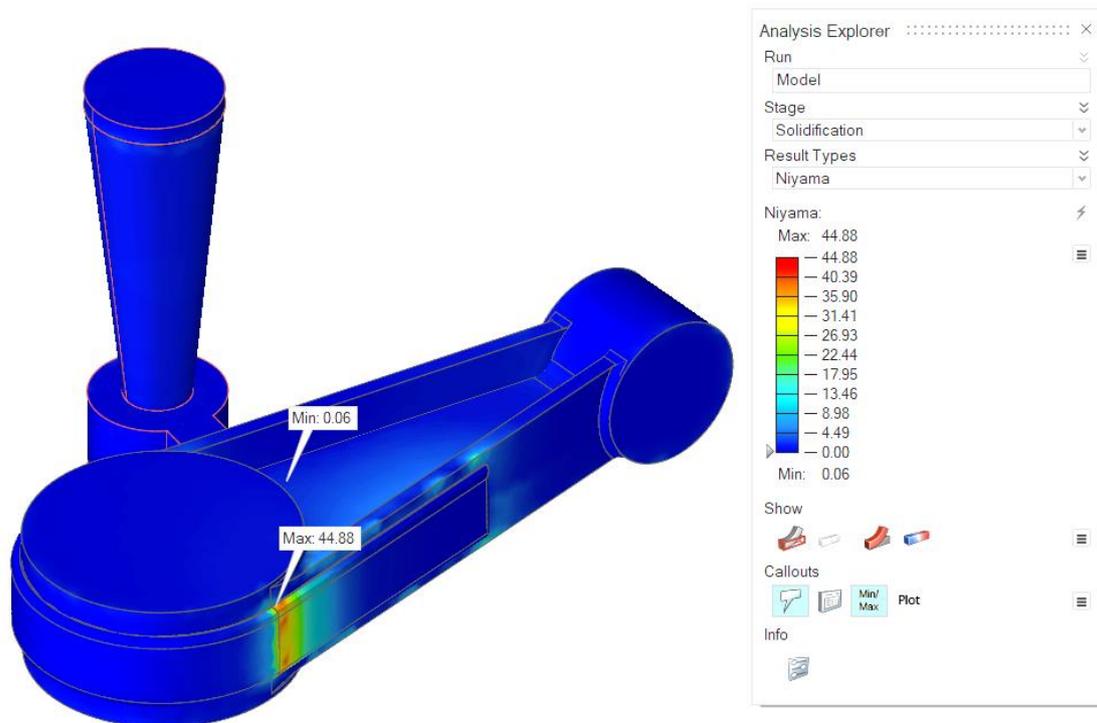
*Nota.* La figura muestra el tiempo el criterio de Niyama en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena sílice más bentonita donde se observa un valor de 0,03 en el bebedero lo que no afectaría por defectos de contracción del material.

**Figura 71***Factor de Niyama elemento A1D2*

*Nota.* La figura muestra el tiempo el criterio de Niyama en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena sílice más bentonita donde se observa un valor de 0,03 en la parte superior del bebedero lo que no afectaría por defectos de contracción del material.

**Figura 72***Factor de Niyama elemento A2D1*

*Nota.* La figura muestra el tiempo el criterio de Niyama en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena verde más bentonita donde se observa un valor de 0,05 en la parte del bocín de menor diámetro lo que no afectaría por defectos de contracción del material.

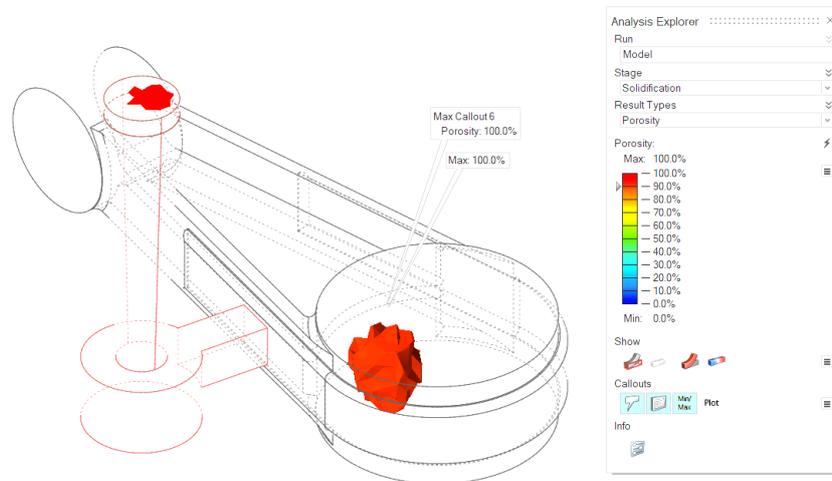
**Figura 73***Factor de Niyama elemento A2D2*

*Nota.* La figura muestra el tiempo el criterio de Niyama en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena verde más bentonita donde se observa un valor de 0,06 en la parte del bocín de mayor diámetro lo que no afectaría por defectos de contracción del material.

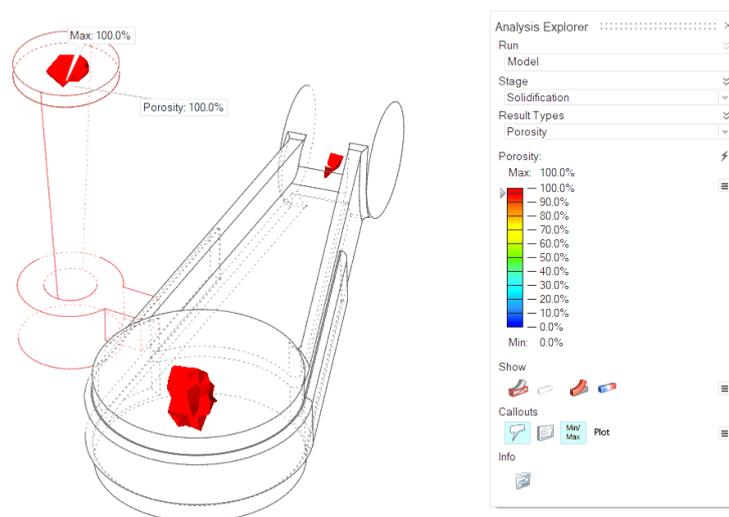
**Análisis de porosidad**

En el análisis de la porosidad se puede observar las áreas donde la proporción de vacíos en áreas solidas es mayor o igual que el valor porcentual especificado, esta es la macro porosidad o porosidad de contracción

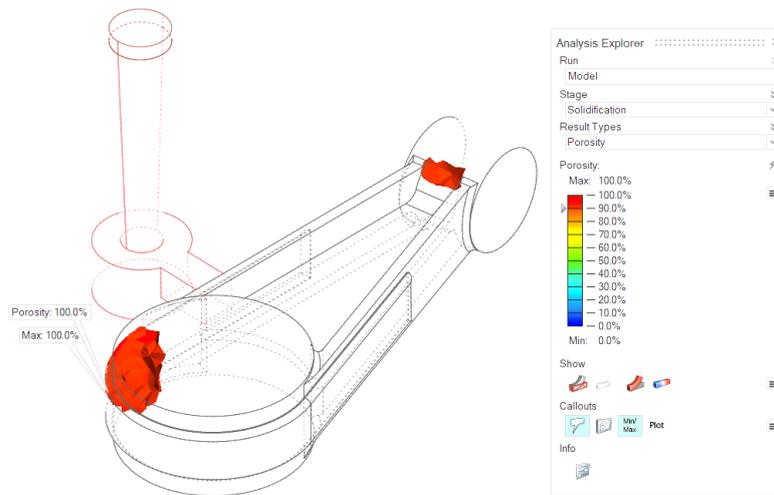
En las gráficas siguientes se muestran los resultados de la porosidad obtenidos de la simulación obtenida en los cuatro elementos tomando como variables el diámetro de los bebederos y el tipo de arena de fundición.

**Figura 74***Porosidad elemento A1D1*

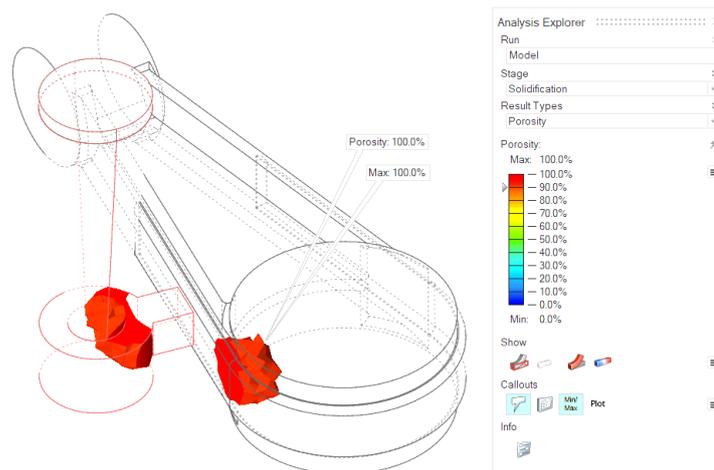
*Nota.* La figura muestra la porosidad en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena sílice más bentonita donde se observa una porosidad en la parte superior del diámetro mayor donde se acopla el bocín.

**Figura 75***Porosidad elemento A1D2*

*Nota.* La figura muestra la porosidad en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena sílice más bentonita donde se observa una porosidad en la parte superior del bebedero sin influenciar en el elemento.

**Figura 76***Porosidad elemento A2D1*

*Nota.* La figura muestra la porosidad en el elemento con un diámetro de bebedero de 25 mm y arena verde más bentonita donde se observa una porosidad en la parte superior del diámetro mayor donde se acopla el bocín afectando la superficie del elemento.

**Figura 77***Porosidad elemento A2D2*

*Nota.* La figura muestra la porosidad en el elemento con un diámetro de bebedero de 40 mm y arena verde más bentonita donde se observa una porosidad en la parte superior del diámetro mayor donde se acopla el bocín afectando la superficie del elemento.

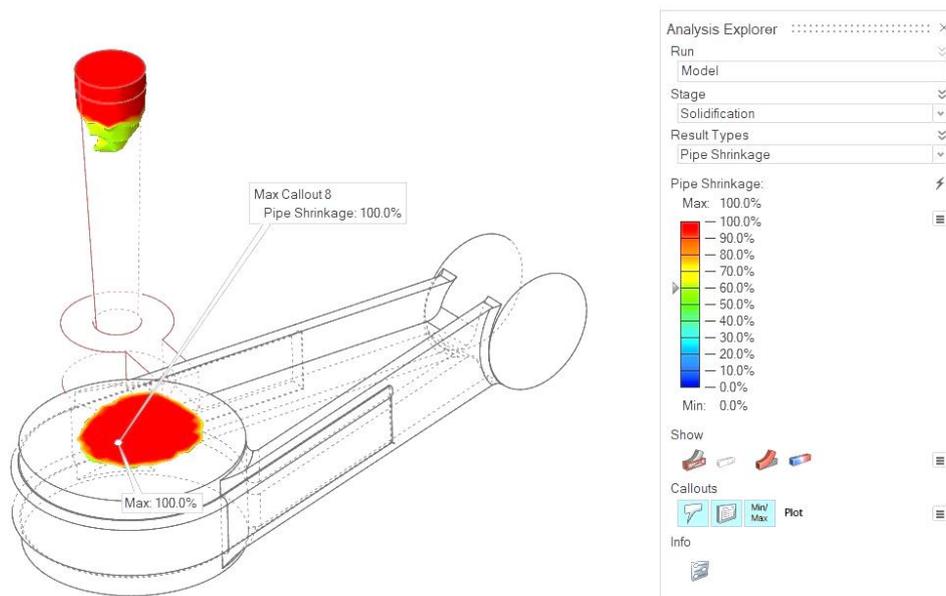
### Contracción del bebedero

El análisis de la contracción del bebedero permite verificar las deformaciones que se generan en el bebedero de las piezas fundidas, este defecto ocurre cuando la superficie superior del bebedero se encuentra abierto a la atmosfera. Lo ideal es que los rechupes por solidificación ocurran en esta superficie sin afectar al elemento mecánico, parte automotriz o pieza fundida.

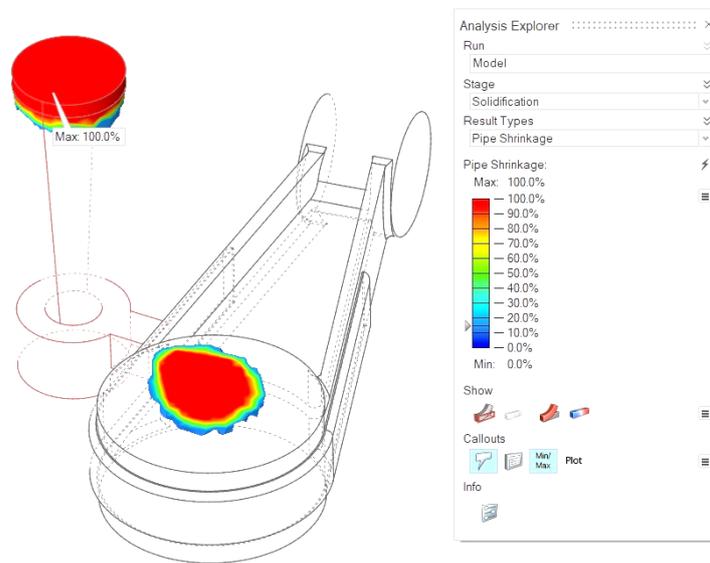
En las figuras siguientes se muestran los resultados de os rechupes producido en el bebedero obtenidos de la simulación tomando como variable el diámetro del bebedero y el tipo de arena.

### Figura 78

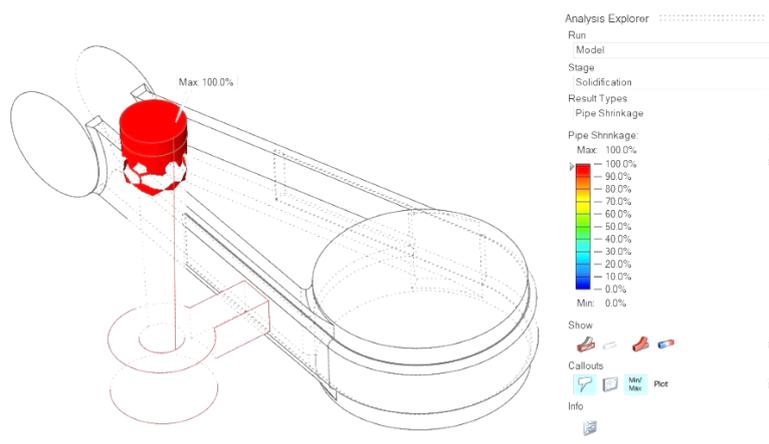
#### *Contracción del bebedero A1D1*



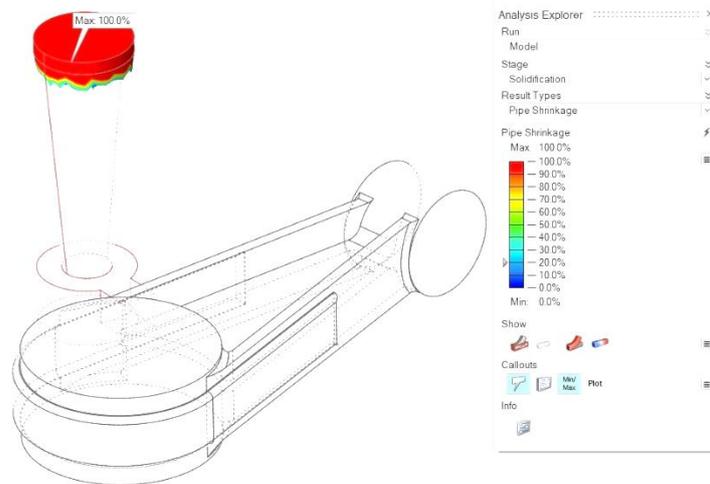
*Nota.* La figura muestra la contracción o rechupes producido en el bebedero de diámetro de 25 mm y arena sílice más bentonita donde adicional existe una pequeña contracción en la parte superior del diámetro mayor, lo que causa daños al elemento fundido.

**Figura 79***Contracción del bebedero A1D2*

*Nota.* La figura muestra la contracción o rechupes producido en el bebedero de diámetro de 40 mm y arena sílice más bentonita donde se observa el rechupe en la parte superior del vertedero del material fundido.

**Figura 80***Contracción del bebedero A2D1*

*Nota.* La figura muestra la contracción o rechupes producido en el bebedero de diámetro de 25 mm y arena verde más bentonita donde se observa el rechupe en la parte superior del vertedero del material fundido sin afectar al elemento fundido.

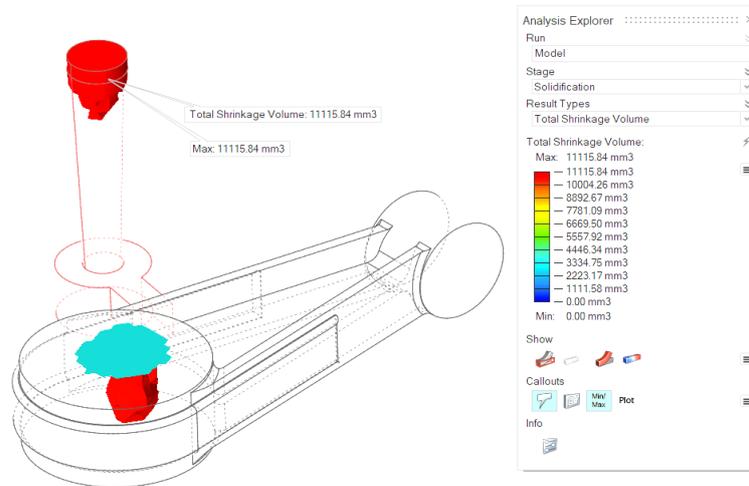
**Figura 81***Contracción del bebedero A2D2*

*Nota.* La figura muestra la contracción o rechupes producido en el bebedero de diámetro de 40 mm y arena verde más bentonita donde se observa el rechupe en la parte superior del vertedero del material fundido sin afectar al elemento fundido.

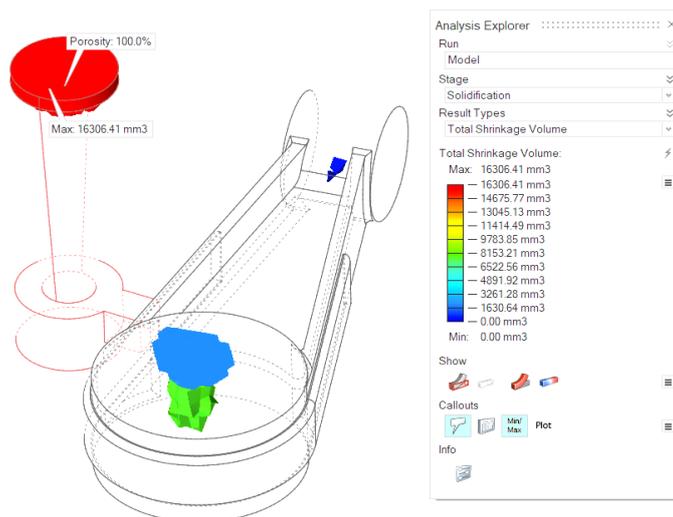
**Volumen total de contracción**

Este resultado es la combinación de los resultados de la contracción en el bebedero y la porosidad, proporciona un volumen total de porosidad generado en la parte automotriz fundida.

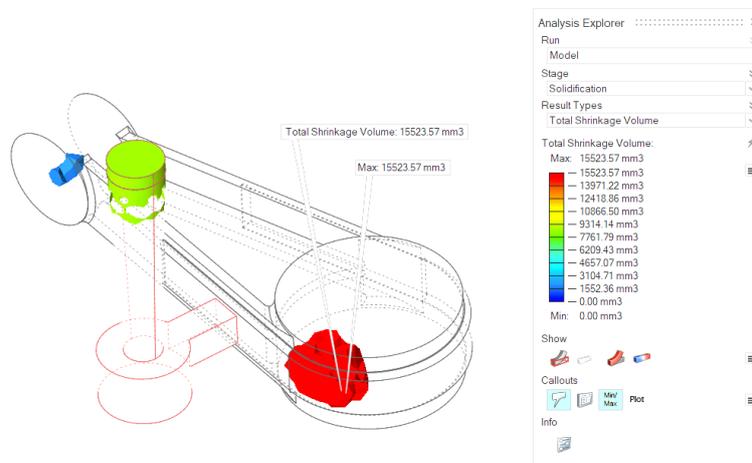
En las figuras siguientes se muestra el volumen total de contracción obtenidos de la simulación en los cuatro elementos fundidos tomando como variables el diámetro del bebedero y el tipo de arena de fundición.

**Figura 82***Volumen de contracción elemento A1D1*

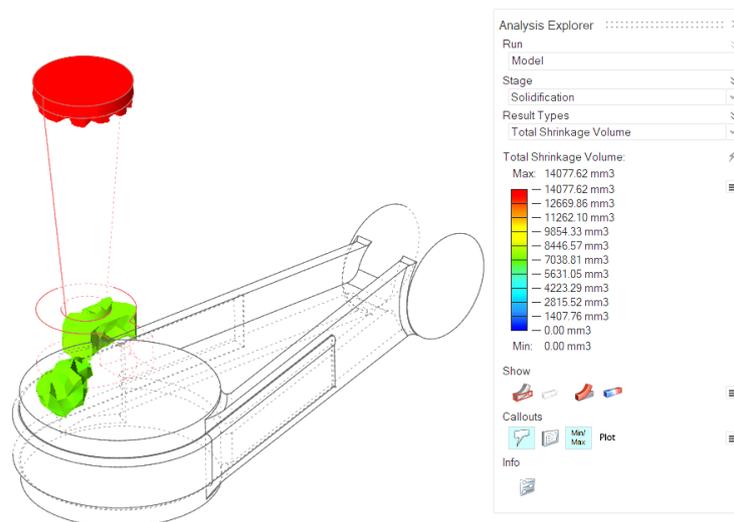
*Nota.* La figura muestra el volumen de contracción total producido en el bebedero de diámetro de 25 mm y arena sílice más bentonita donde se observa el rechupe en la parte superior del bebedero no afectando directamente a la parte automotriz fundida.

**Figura 83***Volumen de contracción elemento A1D2*

*Nota.* La figura muestra el volumen de contracción total producido en el bebedero de diámetro de 40 mm y arena sílice más bentonita donde se observa el rechupe en la parte superior del bebedero no afectando directamente a la parte automotriz fundida.

**Figura 84***Volumen de contracción elemento A2D1*

*Nota.* La figura muestra el volumen de contracción total producido en el bebedero de diámetro de 25 mm y arena verde más bentonita donde se observa en la parte automotriz afectando directamente a la parte automotriz fundida.

**Figura 85***Volumen de contracción elemento A2D2*

*Nota.* La figura muestra el volumen de contracción total producido en el bebedero de diámetro de 40 mm y arena verde más bentonita donde se observa en la parte superior del bebedero sin afectar a la parte automotriz fundida.

## Resultados

Los resultados obtenidos se clasifican en tres partes en función a los objetivos de la presente investigación: las propiedades y características del material base, el análisis de las propiedades físicas de las arenas de fundición y la rugosidad del material.

El análisis de la composición química de material de la parte automotriz se realizó mediante la norma ASTM E1086-16 y se determina en la tabla 17 donde se presenta los resultados mediante el ensayo no destructivo por espectrometría XRF se observa los elementos constituyentes del material especificado, donde se determina el material base como un aluminio aleado 2024.

**Tabla 20**

*Resultado de composición química del material*

		ELEMENTOS										MATERIAL ESPECIFICADO
Probeta		LE	Cu	Fe	Zn	Mn	Ni	Cr	Pb	Zr		
171623741520211210-ERX	%Contenido	94,8	2,35	1,3	0,88	0,31	0,17	0,14	0,07	0,008	<b>ALUMINIO</b>	
01	Error	0,19	0,09	0,1	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,001	<b>2024</b>	

*Nota.* La tabla muestra la composición química de los resultados presentados por medio del ensayo por espectrometría y el tipo de material designado.

Los resultados obtenidos para las propiedades mecánicas del material se lo realizó conforme a la norma NTE INEN 2250:2013, donde se determinó como un material aluminio aleado equivalente al AlCu4Mg1, también tiene la designación conforme a la ASTM como aluminio 2024, teniendo una resistencia a la tracción de 395 MPa un límite de fluencia 290 MPa y una elongación del 12%

En el caso de las propiedades físicas de las arenas, se presenta dos características distintas ya que se trabajó con dos tipos de combinaciones: arena sílice más bentonita y arena

verde más bentonita, donde los resultados del laboratorio en los ensayos de conductividad térmica reflejan tener una variación mínima, tal como se muestra en la tabla 21.

**Tabla 21**

*Resultados de las propiedades físicas de las arenas*

Composición de la arena	Densidad (Kg/mm)	Conductividad (W/mm-K)
Arena sílice más bentonita	8,243X10	0,00025
Arena verde más bentonita	8,78X10	0,0002

*Nota.* La tabla muestra las propiedades de la conductividad térmica y la densidad de la arena sílice más bentonita y la arena verde más bentonita.

Adicional cabe indicar que la conductividad térmica es uno de los factores que determinan el comportamiento del material líquido en el colado considerando como un factor mayor a la arena sílice más bentonita

Otro punto a destacar en el análisis de resultados es la rugosidad de los elementos fundidos, una vez generado el proceso práctico con los parámetros analizados en los capítulos anteriores se realizó el ensayo de rugosidad en cada una de las partes fundidas.

Con el análisis experimental en el laboratorio se establece un método para evaluar la rugosidad superficial en la parte automotriz, este proceso se llevó a cabo mediante la Norma ISO 4283-1997 que aplica a mediciones de rugosidad en superficies planas.

Tomando en consideración la tabla 16 los resultados de la rugosidad media Ra ( $\mu\text{m}$ ) en la combinación de arena sílice más bentónica (A1), arena verde más bentonita (A2), el diámetro de 25mm (D1) y el diámetro de bebedero de 40mm (D2) se detalla en la tabla 22 el ensayo aplicado a las 20 probetas.

A continuación, se analiza el promedio de cada uno de los tratamientos para obtener la comparación de las muestras de tal manera de obtener unas múltiples entradas de datos y determinar las diferencias significativas en cada uno de los datos ingresados como se indica en la tabla 27.

**Tabla 22**

*Libro de datos comparativos muestras*

TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4
A1 y D1	A1 y D2	A2 y D1	A2 y D2
10,608	10,409	10,416	11,044
10,905	11,429	11,038	11,482
10,489	10,877	10,723	10,783
11,091	9,611	11,69	9,547
10,451	10,169	10,941	10,875

*Nota.* La tabla muestra las rugosidades obtenidas en las probetas según el tipo de arena y el diámetro del bebedero, siendo A1 arena sílice más bentonita, A2 arena verde más bentonita, D1 diámetro del bebedero de 25mm y A2 diámetro de 40mm del bebedero.

Los tratamientos empleados en las denominaciones para el análisis experimental se clasificaron de la manera siguiente tal como se presenta en la tabla 24.

**Tabla 23**

*Denominación de variables*

DESIGNACIÓN DE VARIABLES	
<b>TRATAMIENTO 1</b>	Arena sílice más bentonita con diámetro de bebedero de 25mm
<b>TRATAMIENTO 2</b>	Arena sílice más bentonita con diámetro de bebedero de 40mm
<b>TRATAMIENTO 3</b>	Arena verde más bentonita con diámetro de bebedero de 25mm

**TRATAMIENTO 4** Arena verde más bentonita con diámetro de bebedero de 40mm

*Nota.* La tabla muestra la declaración de las variables.

Empleando el software Statgraphics las muestras comparativas en el resultado del resumen estadístico se presenta en la tabla 25 donde nos presenta valores del número de recuentos o piezas ensayadas en cada tratamiento, el coeficiente de variación mientras más grande es, existe mayor diferencia de desviación entre los valores medidos.

**Tabla 24**

*Resumen estadístico*

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Mínimo
<b>TRATAMIENTO 1</b>	5	10,7088	0,2781	2,59%	10,451
<b>TRATAMIENTO 2</b>	5	10,4990	0,6916	6,58%	9,611
<b>TRATAMIENTO 3</b>	5	10,9616	0,4720	4,30%	10,416
<b>TRATAMIENTO 4</b>	5	10,7464	0,7221	6,72%	9,547
<b>Total</b>	20	10,7289	0,5495	5,12%	9,547

*Nota.* La tabla muestra los resultados obtenidos mediante el software Statgraphics del promedio de desviación estándar entre los ensayos generados.

En la tabla 26 se observa los resultados de curtosis estandarizada y el sesgo estandarizado, donde se presenta información e indican que los datos ingresados y las medidas que se obtuvo provienen de una curva normal y valores normales que oscilan entre -2 y 2, si los datos estuvieran fuera de este rango se les conoce también como datos atípicos que no deberían ser considerados, por lo tanto se consideran que el número de ensayos es el correcto para este análisis en las medidas de la rugosidad (Gutiérrez & Salazar, 2008)

**Tabla 25***Análisis estadístico curtosis y sesgo estandarizado*

	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
TRATAMIENTO 1	11,091	0,640	0,611566	-0,823613
TRATAMIENTO 2	11,429	1,818	0,139665	-0,154942
TRATAMIENTO 3	11,690	1,274	0,762497	0,637847
TRATAMIENTO 4	11,482	1,935	-1,31044	1,31857
Total	11,690	2,143	-0,987964	0,452749

*Nota.* La tabla muestra los resultados de curtosis estandarizada con un intervalo entre -2 y 2.

En la tabla Anova se descompone la varianza de los datos en dos componentes, un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón F que en este caso es igual a 0,55, es el coeficiente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor P de la razón F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadística significativa entre las medidas de las 4 variables con un nivel del 95% de confianza, tal como se indica en la tabla 27.

**Tabla 26***Tabla Anova*

Fuente	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,538533	0,179511	0,55	0,6539
Intra grupos	5,20038	0,325024		
Sumatoria	5,73891			

*Nota.* La tabla muestra el resultado del factor P con un valor de 0,65 alejado del valor 0,05 con un resultado no muy confiable para un análisis experimental.

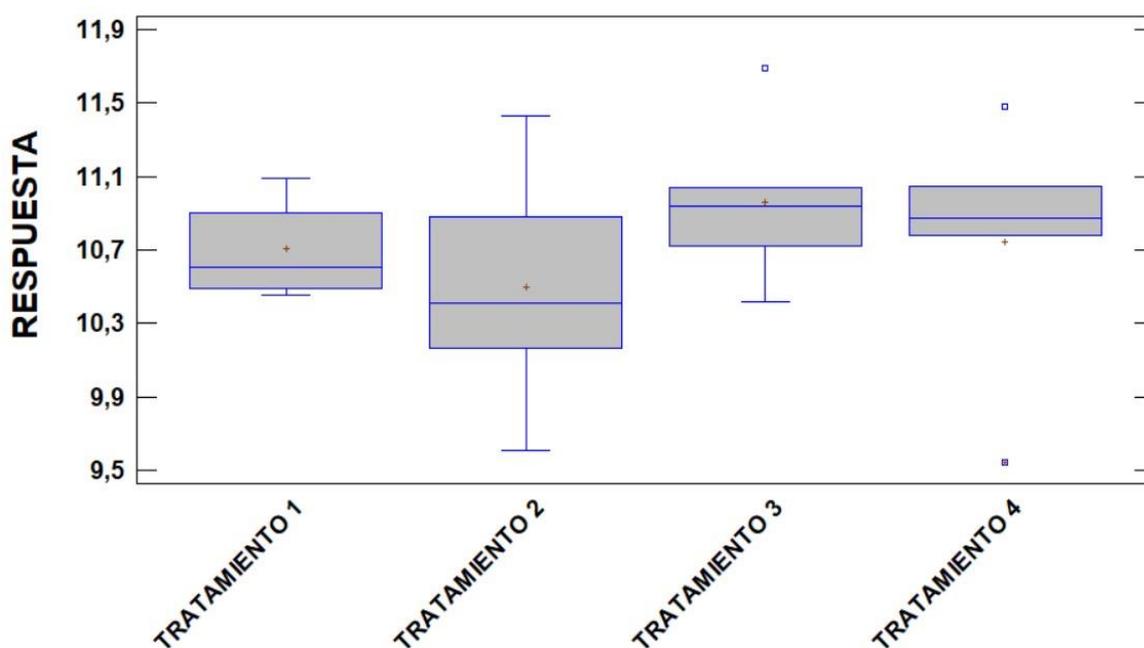
En la figura 86 se muestra la respuesta mediante el diagrama de bloque por caja y bigote, donde se indica el valor de la media donde no existe diferencias significativas entre los cuatro tratamientos analizados, pero si se observa una diferencia en el valor promedio, el máximo y el mínimo, adicional se puede ver que en el tratamiento 4 existe una dispersión muy elevada de

entre los 5 valores asignados, ya que los valores externos se alejan de la media, por otro lado en el tratamiento 3 uno de sus valores tiene una dispersión elevada.

Considerando estos valores se procede a realizar un segundo análisis con el fin de mejorar los resultados del diseño experimental, asumiendo 3 de los 5 valores dispersos en cada uno de los tratamientos, tal como se indica en la tabla 28.

**Figura 86**

*Gráfica de caja y bigotes*



*Nota.* En la figura se indica los resultados sobre la diferencia significativa entre los 4 tratamientos de la rugosidad.

Considerando los valores más cercanos se procede a desclasificar los valores que se encuentran fuera del rango de la mediana con el fin de obtener una diferencia significativa más evidente en el resultado experimental y obtener una respuesta más fidedigna en los resultados.

**Tabla 27***Datos comparativos*

TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4
A1 y D1	A1 y D2	A2 y D1	A2 y D2
10,608	10,409	11,038	11,044
10,489	10,877	10,723	10,783
10,451	10,169	10,941	10,875

*Nota.* En la tabla muestra los valores seleccionados para la optimización de resultados en el análisis experimental mediante el diagrama de caja y bigotes.

En la tabla 29 se presenta los resultados optimizados donde se observa un valor P de 0,066 siendo un valor próximo a 0,05 teniendo diferencias significativas entre los valores asignados.

**Tabla 28***Tabla Anova Optimizada*

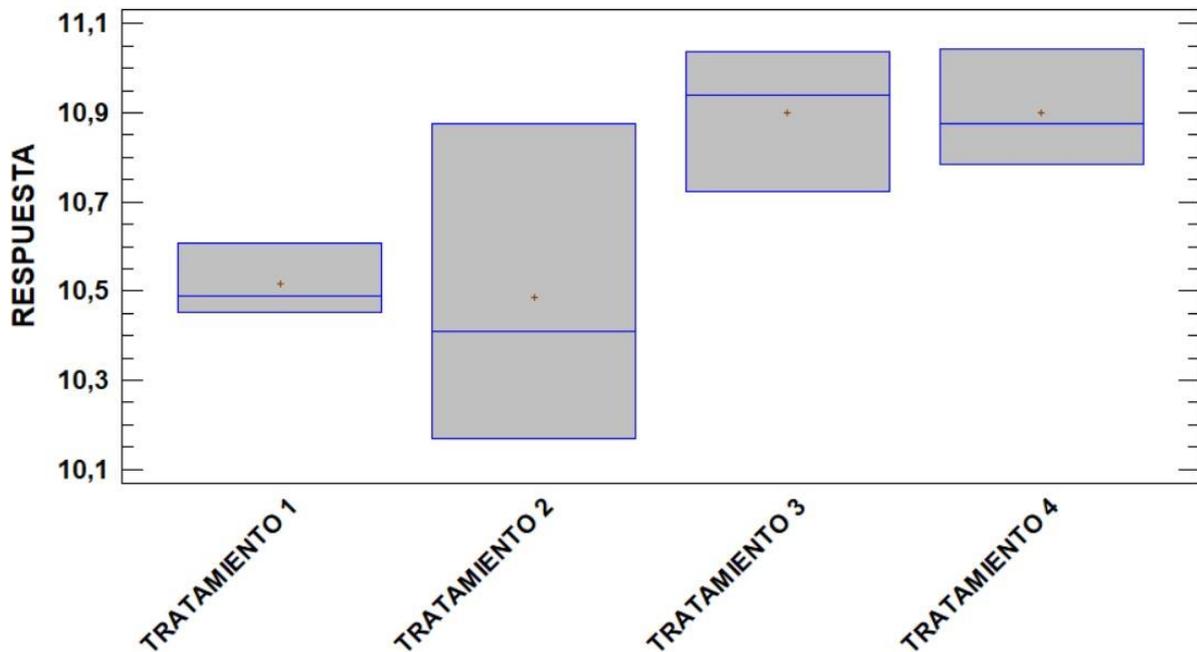
Fuente	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,481842	0,160614	3,57	0,0666
Intra grupos	5,359815	0,0449769		
Sumatoria	5,841657			

*Nota.* En la tabla muestra el factor P optimizado.

En la figura 87 se observa la optimización entre las diferencias significativas entre los tratamientos, y nos refleja una semejanza entre los valores del tratamiento 1 y el tratamiento 2, teniendo una variación entre el tratamiento 3 y el tratamiento 4.

**Figura 87**

*Gráfica de caja y bigotes optimizada*



*Nota.* En la figura se indica los resultados optimizados sobre la diferencia significativa entre los 4 tratamientos de la rugosidad.

Finalmente se realiza la validación mediante la fórmula para el número de repeticiones del tratamiento que se detalla en el método, aplicando al tratamiento 2 que es el valor con mayor dispersión como se indica en la figura 87.

El resultado obtenido es  $n = 1,45$  teniendo un factor de confiabilidad superior al 95%, teniendo en cuenta que este es un valor óptimo en investigaciones técnicas se considera a la rugosidad del tratamiento 1 y del tratamiento 2 como las de mejores resultados.

### Discusión de resultados

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos experimentales y de simulación en el proceso de fundición a través del software altair cast, en el flujo del material líquido en las cavidades internas del molde, tomando como valores de entrada la información proveniente del laboratorio, y que posteriormente han sido validadas en el software altair cast.

Mediante el análisis de espectrometría de la base posterior del motor, presentó una aleación de aluminio 2024, el cual se validó mediante la norma (Perfiles et al., 2013), en la cual se determina una aleación de aluminio, cobre y magnesio con distintos niveles de porcentaje, este valor es muy importante ya que son variables ingresados en el programa de simulación, posteriormente se analiza las propiedades físicas de las arenas, datos experimentales de laboratorio, esta influencia de las características físicas de la arena se valida en la simulación se observa que a mayor densidad y conductividad térmica la rugosidad que se presenta en el material fundido es menor.

**Tabla 29**

*Valores máximos y mínimos de rugosidad.*

Composición de la arena	Densidad (Kg/mm)	Conductividad (W/mm-K)	Rugosidad máxima ( $\mu\text{m}$ )	Rugosidad mínima ( $\mu\text{m}$ )
Arena sílice más bentonita	8,243X10	0,00025	10,46	6,95
Arena verde más bentonita	8,78X10	0,0002	9,32	9

*Nota.* La figura muestra los valores de la rugosidad máximos y mínimos de cada una de las arenas en función de las propiedades físicas.

De acuerdo a los valores mostrados en la tabla 31 se establece que la densidad y la conductividad de las arenas de moldeo son variables que tienen asociación positiva en la rugosidad de los elementos fundidos. De igual manera se puede observar que la arena sílice

tiene mejores propiedades mecánicas siendo un material con el cual los elementos fundidos tienen una menor rugosidad, ya que tiene un gran intervalo entre su máximo y mínimo valor.

Otro punto a destacar es la granulometría ya que en esta investigación las dos arenas tienen el mismo tamaño granulométrico sin que afecte este a los resultados de la variable independiente, según (Bisbal et al., 2015) se puede realizar el análisis de la arena mediante la técnica de espectroscopia de absorción atómica para obtener la composición química de la arena, la caracterización morfológica, y la granulometría, este ensayo indica variables que afectan a los elementos fundidos cuando se tienen mayos número de variables independientes, considerando en la presente investigación que la parte experimental se efectuó con un mismo tamaño de grano, iguales condiciones ambientales en el taller de fundición y modificando elementos en el moldeo en arena.

Los resultados en la caracterización de la arena (Bisbal et al., 2015) presentan como la mejor opción a la arena sílice ( $\text{SiO}_2$ ) con un porcentaje de material aglutinante como la bentonita, estos resultados son coincidentes a los obtenidos en la investigación presentada.

Adicional cabe indicar que los resultados de la caracterización del material para la pieza a ser fundida sus propiedades mecánicas como resistencia a la tracción, límite de fluencia y alargamiento (Perfiles et al., 2013) se pudo analizar mediante pruebas experimentales en fichas técnicas y la norma NTE INEN 2250

También es importante mencionar el número de Reynolds calculado en cada uno de los diámetros de los bebederos utilizados, ya que es una variable importante para determinar el tipo de flujo dentro de las cavidades del molde en efectos de turbulencia, garantizando el carácter de flujo laminar o turbulento, en donde se obtienen que los valores fluctúan entre 70466.18 y 169118.84 en el caso del molde con el bebedero de 40 mm 112745.89 y del molde con el

bebedero de 25 mm de 70466.18 en la cual se comprueba teniendo un flujo laminar en los dos casos.

Adicional estos resultados concuerdan con el modelo en la simulación y la parte experimental de la rugosidad superficial en las probetas fundidas medidas con un rugosímetro electromecánico digital Mitutoyo SurfTest SJ-210, considerando que en los elementos fundidos no todas las superficies son regulares están van modificando su aspecto alterando ciertos parámetros de rugosidad, (Insausti et al., 2000), siendo el tamaño de grano, teniendo gran influencia en la porosidad y la contracción o rechupes del material.

En la simulación del elemento A1D2 (Arena sílice más bentonita y bebedero de 40 mm), se observó porosidades en la parte superior del bebedero con un porcentaje del 100% la cual no produce efectos secundarios en el elemento útil fundido, esto es una de las razones por la cual en la parte experimental este lote de probetas tiene una menor rugosidad.

Otro punto a destacar es la contracción del bebedero, donde de la misma este fenómeno ocurre en las probetas A1D2 teniendo el 100% y finalmente el volumen total de contracción, donde se combinan la contracción del bebedero y la porosidad del elemento, siendo las probetas A1D2 las de mejor calidad en la simulación y en la parte experimental.

## Conclusiones

- Como resultado del presente trabajo de investigación se concluye que el análisis por espectrometría es un método muy confiable para determinar la composición química de un material, además de brindar parámetros para poder caracterizar un material y obtener valores del comportamiento del material y sus propiedades mecánicas y físicas a través de normas o tablas en función al material determinado.
- En el proceso experimental se concluye que el diámetro del bebedero afecta directamente al flujo del material fundido lo que conlleva a tener modificaciones en la formación de porosidades y rechupes en el elemento fundido, adicional el tipo de arena combinado con un material aglomerante como es la bentonita afectan al acabado final del producto teniendo así una rugosidad diferente tanto con la arena de sílice y la arena verde.
- Es considerable realizar un análisis CAD del elemento ya que de ello depende la geometría y dimensionamiento del molde siendo una variable que se debería tomar en cuenta para los resultados finales en el análisis con la finalidad de que las pruebas sean bajo criterios técnicos fiables.
- El proceso de simulación desarrollado en el software Altair Cast, permite concluir que el programa tiene un gran potencial en simulación de procesos de fundición, ya que posee herramientas muy versátiles que permite evaluar los parámetros en el proceso de vaciado del material fundido como en la solidificación del elemento lo cual es de gran utilidad para estimar un diseño especial de alimentación de los bebederos y mazarotas.
- Se puede concluir que el ensayo de conductividad térmica por el método de placa caliente resguardada, es un método muy importante para obtener variables como la densidad de las arenas, este ensayo es aplicable no solo a materiales sólidos refractarios,

sino también a materiales en polvo como la arena de fundición, obteniendo valores fidedignos para ingresar en el software de simulación en procesos de fundición Altair Cast.

- Finalmente, con el resultado de la simulación de fundición se puede concluir que el tratamiento 1 y el tratamiento 2 son los que mejor rugosidad tienen ya que no se generó porosidades en la parte superficial, teniendo una diferencia significativa mínima entre los dos ensayos experimentales en los ensayos de rugosidad.

**Recomendaciones**

- Se recomienda realizar una investigación similar al objeto del presente estudio, considerando el software Hyperworks mediante un análisis CDF y comparar los resultados con el software Altair Cast, tomando en cuenta que las variables a ingresar en el Hyperworks tienen distintos enfoques ya que este programa no es especializado para simulaciones de fundición, pero se puede mejorar los resultados trabajando con la calidad del mallado lo cual no se puede efectuar con el software Altair Cast que posee un algoritmo donde automáticamente genera tres calidades de mallado.
- En el desarrollo experimental se recomienda utilizar la granulometría de las arenas como una variable dependiente teniendo así un número factorial mayor de experimentos para el análisis de rugosidad en el laboratorio, ya que en esta investigación se tomó solo un tipo de tamaño de grano en las arenas analizadas, con esto se lograría mejorar los resultados de acabados superficiales en piezas fundidas.
- Se recomienda realizar una investigación similar incluyendo a los bocines amortiguadores de la base posterior del motor ya que estos son de material elastómeros y son los que absorben toda la energía de colisiones en el automóvil tomando como punto de vista un análisis FEM y generando una caracterización del material constituyente de los elementos amortiguadores.
- Finalmente se recomienda una vez superadas las limitaciones actuales, desarrollar un trabajo experimental, que permita avalar los resultados de la rugosidad mediante un proceso por análisis por microscopio comparando con un análisis matemático de rugosidad.

**Referencias bibliográficas**

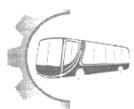
- Ali, M. A., Ishfaq, K., & Jawad, M. (2019). Evaluation of surface quality and mechanical properties of squeeze casted AA2026 aluminum alloy using response surface methodology. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(9–12), 4041–4054. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03836-6>
- Arcos Tomal, L. C., Montaña Taté, V. A., & Armas, A. del C. (2019). Estabilidad en cuanto a color y peso, de resinas compuestas tipo flow tras contacto con bebidas gaseosas: estudio in vitro. *Odontol. Vital*, IV(30), 59–64.
- Bisbal, R., Gómez, F., Di Yorio, C., & Pérez, M. (2015). Evaluación de las características y propiedades de fundición de Arena de Olivino Venezolana (Parte I). *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 30(3), 95–110.
- López Guerrero, F., Cavazos Flores, R., & Delgado Acosta, M. (2003). Caracterización de superficies maquinadas por medio de parámetros de rugosidad. *Ingenierías*, 6(18), 62–68.
- Salueña, X., & Nápoles Amelia. (2000). Tecnología mecánica. In *Tecnología mecánica*. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37101591/Tecnologia\\_Mecanica-\\_Saluenas\\_y\\_Napoles\\_1.pdf?1427217057=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCon\\_la\\_colaboracion\\_del\\_Centre\\_de\\_Recurs.pdf&Expires=1602397481&Signature=QtpOKjrGGqO7zBdkuiIBeiHhsw](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37101591/Tecnologia_Mecanica-_Saluenas_y_Napoles_1.pdf?1427217057=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCon_la_colaboracion_del_Centre_de_Recurs.pdf&Expires=1602397481&Signature=QtpOKjrGGqO7zBdkuiIBeiHhsw)
- Pallo, E., & Valdivieso, A. (2018). “Estudio de las propiedades de las arenas y su influencia en las piezas fundidas en ciertos talleres de fundición en la ciudad de Quito.” *Facultad de Ingeniería Mecánica EPN*, 150. file:///C:/Users/Admin/Downloads/CD-9393 (2).pdf
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna* (M.-H. C (Ed.); Tercera).
- Grau, J., & Sosa, J. (2006). *Propiedades y ensayos de las arenas de moldeo y noyería*. 20.
- Insausti, J. W., Benedetti, P., Iurman, L., Lucaioli, A., Traversa, P., & Mazini, N. (2000). Comparación de rugosidades de superficies metálicas medidas con rugosímetro electromecánico y con análisis de imágenes de microscopía electrónica. *Jornadas SAM 2000 - IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, January 2000*, 863–870.
- Campbell, J. (2015). Sixty Years of Casting Research. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 46(11), 4848–4853. <https://doi.org/10.1007/s11661-015-2955-8>
- Melgar, L., & Quillupangui, S. (2012). *Competitividad en la industria de la fundición de piezas metálicas en Ecuador*.

- Salueña, X., & Nápoles Amelia. (2000). Tecnología mecánica. In *Tecnología mecánica*. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37101591/Tecnologia\\_Mecanica-\\_Saluenas\\_y\\_Napoles\\_1.pdf?1427217057=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCon\\_la\\_colaboracion\\_del\\_Centre\\_de\\_Recurs.pdf&Expires=1602397481&Signature=QtpOKjrGGqO7zBdkuiIBeiHhsw](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37101591/Tecnologia_Mecanica-_Saluenas_y_Napoles_1.pdf?1427217057=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCon_la_colaboracion_del_Centre_de_Recurs.pdf&Expires=1602397481&Signature=QtpOKjrGGqO7zBdkuiIBeiHhsw)
- Kalpakjian. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología - Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid* - Google Libros. [https://books.google.com.ec/books?id=gilYI9\\_KKAoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=gilYI9_KKAoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Joaquín, R. (2017). *Fundamentos de Procesos Convencionales de Fabricación Mecánica* (2017th ed.).
- Javier, F., & Urrutia, P. (2014). *En Procesos De Fundición Por Gravedad Mediante Un Método Analítico. Índice General*.
- Spectrometry, X. F. (2016). *Standard Test Method for Analysis of Low-Alloy Steels by Wavelength Dispersive. i*, 1–6. <https://doi.org/10.1520/E1085-16.2>
- Quisay. (2015). *Metalurgicas Quisay & Yaguachi Industcom C.A. Perfil de Compañía - Ecuador / Finanzas y ejecutivos clave / EMIS*. [https://www.emis.com/php/company-profile/EC/Metalurgicas\\_Quisay\\_\\_\\_Yaguachi\\_Industcom\\_CA\\_es\\_4905756.html](https://www.emis.com/php/company-profile/EC/Metalurgicas_Quisay___Yaguachi_Industcom_CA_es_4905756.html)
- Cercado, M., & Yuquilema, C. (2017). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción " Diseño y construcción de un sistema de inyección y agitación para fabricación de aleaciones no ferrosas reforzadas con partículas TRABAJO FINAL DE GR.*
- Perfiles, A., Tubos, V. Y., Inspección, E. R. E., & Edición, P. (2013). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2250 : 2013 Primera revisión*.
- Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética recibe Designación como Organismo Evaluador de la Conformidad – Instituto de Investigación Geológico y Energético.* (n.d.). Retrieved March 6, 2022, from <https://www.geoenergia.gob.ec/laboratorio-de-ensayos-termicos-y-eficiencia-energetica-recibe-designacion-como-organismo-evaluador-de-la-conformidad/>

## Anexos

## Anexo 1

## Registro tipo de ensayo de composición química por rayos X



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

## RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

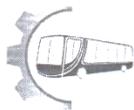
<b>Informe N°:</b> 171623741520211210-ERX	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa/Cliente:</b> Víctor Geovanny López Gómez.	
<b>Dirección:</b> La Santiago calle Juan Camacaro y Punta Arenas s13-08, Quito.	
<b>Núm. de cédula/RUC:</b> 1716237415.	<b>Teléfono:</b> +593995044589.
<b>E-mail:</b> vg.lopezgomez@gmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Ensayos no destructivos.
<b>Designación del material:</b> Material metálico desconocido: Base posterior de un motor Chevrolet Spark.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM E1085:2016: Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

## Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación de probetas	Material	Número de Probetas
1	171623741520211210-ERX 01	Desconocido: Base posterior de un motor Chevrolet Spark.	1
<b>Total</b>			<b>1</b>

**Nota:** El ensayo se desarrollará y ejecutará sin observaciones.



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHA DE RECEPCIÓN
1	171623741520211210-ERX 01	Cumple con criterios.	2021/12/10

**DATOS INFORMATIVOS:** De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con las dimensiones determinadas por el método desarrollado por el laboratorio.

**NOTA:** LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN, NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Luis Mayorga G. MEng. Director Técnico Área de I+d+i del CFPMC
<b>Cliente</b>	



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

**Informe N°:** 171623741520211210-ERX

**DATOS DEL CLIENTE**

**Empresa/Cliente:** Victor Geovanny López Gómez.

**Dirección:** La Santiago calle Juan Camacaro y Punta Arenas s13-08, Quito.

**Núm. de cédula/RUC:** 1716237415. **Teléfono:** +593995044589.

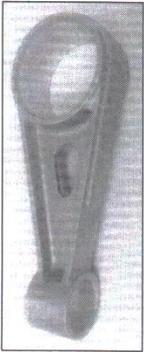
**E-mail:** vg.lopezgomez@gmail.com

**DATOS INFORMATIVOS**

**Laboratorio** Ensayos no destructivos.

**Designación del material:** Material metálico desconocido: Base posterior de un motor Chevrolet Spark.

**Método de ensayo:** ASTM E1085:2016; Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	171623741520211210-ERX 01	2021/12/10	2021/12/21	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-EN-005  
Fecha de Elaboración: 18-06-2018  
Fecha de última aprobación: 18-06-2018  
Revisión: 1

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS



La muestra analizada por acuerdo se entrega al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de la misma, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Luis Mayorga G. MEng. Director Técnico Área de I+D+i del CFPMC
Cliente	

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Código: RG-EN-005  
 Fecha de Elaboración: 18-06-2018  
 Fecha de última aprobación: 18-06-2018  
 Revisión: 1



**LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**  
**ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA. ESPECTROMETRÍA**  
**POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X**

**INFORME DE RESULTADOS N°: 171623741520211210-ERX**

**DATOS GENERALES**

**N° de proforma:** EN\_2021\_005.  
**Designación de material:** Material metálico desconocido: Base posterior de un motor Chevrolet Spark.  
**Empresa/Cliente:** Víctor Geovanny López Gómez.  
**RUC/C.I.:** 1716237415.  
**Dirección:** La Santiago calle Juan Camacaro y Punta Arenas s13-08, Quito.  
**Teléfono:** +593995044589.  
**E-mail:** vg.lopezgomez@gmail.com  
**Fecha de Inicio de Ensayo:** 21 de diciembre de 2021.  
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestra de *material metálico desconocido: Base posterior de un motor Chevrolet Spark*. El material fue recibido en el Laboratorio de Ensayos No destructivos del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de la provincia de Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas.**

N°	Identificación de probetas	Material	Número de Probetas
1	171623741520211210-ERX 01	Desconocido: Base posterior de un motor Chevrolet Spark.	1
		<b>Total</b>	<b>1</b>

**Observaciones:** Las probetas para la ejecución del ensayo es responsabilidad del cliente.

**Nota:** Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser reproducido total ni parcialmente.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Revisado por:</b> Ing. David Romero C. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Luis Mayorga G. MEng. Director Técnico Área de I+d+i del CFPMC



Código: RG-EN- 001  
 Fecha de Elaboración: 08-06-2017  
 Fecha de última aprobación: 07-07-2017  
 Revisión: 1

ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA. ESPECTROMETRÍA  
 POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Página 1 de 4

**Lugar y fecha de emisión de Informe:** Ambato, 22 de diciembre de 2021.  
**N°. Factura:** 001-001-000000006.



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

### VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

**Lugar de Ejecución de verificación:** Laboratorio de Ensayos No Destructivos (END)

**Dirección:** Ambato/Catigлата. Santo Domingo y Rio de Janeiro.

**Fecha de verificación:** 21 de diciembre de 2021.

**Realizado por:** Ing. Fernando Tibán.

**Equipo utilizado:** Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C **Serie:** 541828

**Patrón de calibración:** Acero inoxidable 316. OLYMPUS

**Serie:** 781-419-3900 Analytical Instruments

**Código de identificación del patrón de verificación:** Waltham, MA 02453

**Método de utilizado:** Comparación por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED) de Materiales

**Resultado de la Verificación:** Aceptada.

**Temperatura del ensayo:** 21,5 °C.

**Conteos por segundo:** 36638.

**Resolución (EV):** 145.

Ver: Anexo 1. 12/21/21 #1

### MÉTODO DE ENSAYO

**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Ensayos No Destructivos (END).

**Dirección:** Ambato/Catigлата. Santo Domingo y Rio de Janeiro.

**Código del Informe:** 171623741520211210-ERX.

**Fecha de Finalización de Ensayo:** 21 de diciembre de 2021.

**Tipo de ensayo:** Cuantitativo.

**Método de ensayo:** ASTM E1085:2016.- Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

**Equipo utilizado:** Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C **Serie:** 541828

**Temperatura del ensayo:** 21,8° C

**Energía:** 40 keV

**Precisión:** 0,01

**Corriente de funcionamiento:** 0.2 mA



Código: RG-EN- 001  
Fecha de Elaboración:08-06-2017  
Fecha de última aprobación: 07- 07 -2017  
Revisión: 1

ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA. ESPECTROMETRÍA  
POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Página 2 de 4



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**Resultados del ensayo:**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF**

Probeta	L.E.	Elementos										Material especificado	Evidencia
		% Contenido +/- Error	Cu.	Fe.	Zn.	Mn.	Ni.	Cr.	Pb.	Zr.			
171623741520211210-ERX 01	94,80	2,35	1,27	0,88	0,31	0,17	0,14	0,067	0,008	*Especificado en la librería de materiales del equipo como: Aluminio 2024.			Anexo 2. 12/21/21 #2
	0,19	0,09	0,06	0,03	0,03	0,01	0,03	0,006	0,001				

**Nota:** El ensayo se desarrolló y ejecuto sin observaciones.

Código: RG-EN- 001  
Fecha de Elaboración: 08-06-2017  
Fecha de última aprobación: 07- 07 -2017  
Revisión: 1

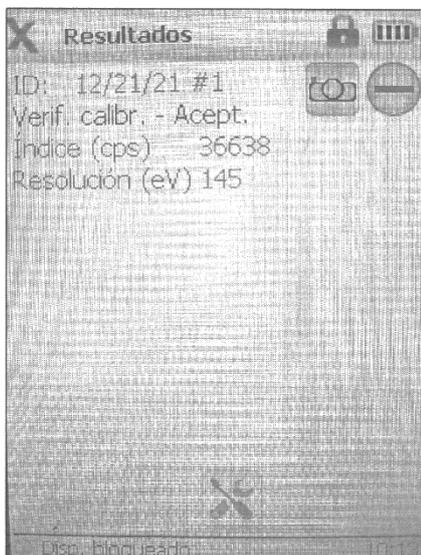
ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA. ESPECTROMETRÍA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Página 3 de 4

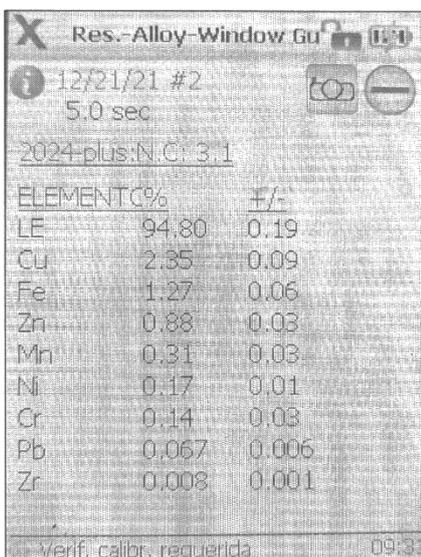


Anexos.

Anexo 1. 12/21/21 #1



Anexo 2. 12/21/21 #2



**Anexo 2***Ensayos de conductividad térmica y densidad de las arenas*

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>		<b>LABET FT 05</b>
	Edición 3	Fecha de revisión: 2019/08/31	Fecha de aprobación: 2019/08/31

Guayaquil, 23 de febrero de 2022

Código de Solicitud ..... S22-003

**Atención:** Sr. Víctor Geovanny López Gómez**Institución:** UISEK**Teléfonos:** +593 995044589**Dirección:** Quito**e-mail:** [vglopez.mdm@uisek.edu.ec](mailto:vglopez.mdm@uisek.edu.ec)**Requerimiento:**

Ensayo para la determinación de conductividad térmica en dos muestras de arena mezclada con bentonita para fundición. Las muestras tienen un volumen aproximado de 150 x 150 x 80 mm.

**Métodología:**

El ensayo para la determinación de conductividad térmica es fundamentado en el estándar ISO 8302 por el método de placa caliente resguardada. El procedimiento permite medir conductividad térmica desde 0,002 hasta 2,500 W/m-K. Los ensayos pueden ser ejecutados en un rango de temperatura desde 10°C hasta 40°C, con un diferencial de temperatura de 15°C (entre placas). El método muestra limitación sobre materiales heterogéneos o no isotrópicos. Las modificaciones al procedimiento estándar se listan en la hoja 2 del presente informe.

**Equipamiento:**

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente  
 Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.  
 Muestra de Verificación: IRMM-440A-S535  
 Verificación: 2021-12-31  
 Accesorios: N.A.

**Declaración:**

- \* Los Resultados del presente informe son atribuibles únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).
- \* El LABET no realiza procedimientos de muestreo.
- \* Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin autorización manifiesta del LABET.


  
 -----  
**Analista Técnico**

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 593-42269703

 Edición 3	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>		<b>LABET FT 05</b>
	Fecha de revisión: 2019/08/31	Fecha de aprobación: 2019/08/31	Pag 2 de 3

Código de Solicitud: S22-003

**Condiciones y descripción de la(s) Muestra(s):**

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Fecha de recepción	Otros (Color, composición)
1	2202001	150	150	80,6	1494,9	824,3	2022-02-18	Arena Sílice y Bentonita
2	2202002	150	150	80,6	1592,2	878,0	2022-02-18	Arena Verde y Bentonita
3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

- 1.- 2202001, en equilibrio con el sitio de la prueba (24 h).
- 2.- 2202002, en equilibrio con el sitio de la prueba (24 h).
- 3.- No Aplica.
- 4.- No Aplica.

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- Se aplicó un marco aislante para sostener el material al granel.
- 2.- No Aplica.
- 3.- No Aplica.
- 4.- No Aplica.

**Condiciones ambientales de ensayo:**

<b>Código de Muestra:</b>	2202001	<b>Fecha de ensayo:</b>	2022-02-06
Temperatura Ambiente Promedio:	23,8 °C		
Humedad Relativa:	75,0 %		

<b>Código de Muestra:</b>	2202002	<b>Fecha de ensayo:</b>	2022-02-08
Temperatura Ambiente Promedio:	23,8 °C		
Humedad Relativa:	75,0 %		

<b>Código de Muestra:</b>	N.A.	<b>Fecha de ensayo:</b>	N.A.
Temperatura Ambiente Promedio:	N.A. °C		
Humedad Relativa:	N.A. %		

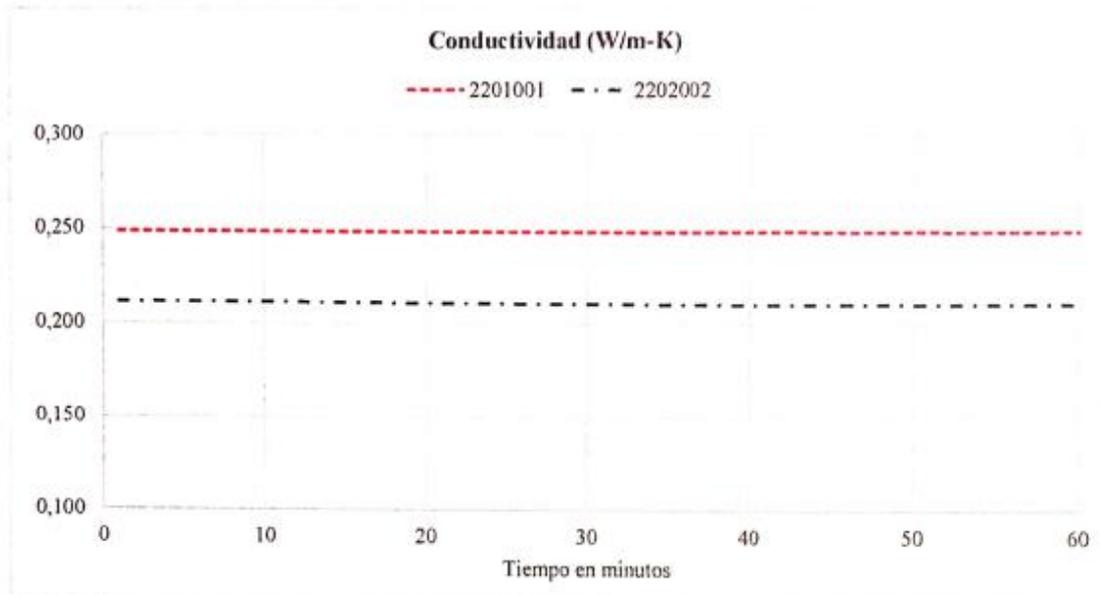
<b>Código de Muestra:</b>	N.A.	<b>Fecha de ensayo:</b>	N.A.
Temperatura Ambiente Promedio:	N.A. °C		
Humedad Relativa:	N.A. %		

4

 Edición 3	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>		<b>LABET FT 05</b>
	Fecha de revisión: 2019/08/31	Fecha de aprobación: 2019/08/31	Pag 3 de 3

**Resultado**

Código de Solicitud: S22-003



**Temperatura media de ensayo:** 23 °C  
**Diferencia de Temperatura:** 15 °C

Conductividad Térmica:		W/m-K	Id. Muestra
0,248		W/m-K	2202001
0,210		W/m-K	2202002
-		W/m-K	N.A.
-		W/m-K	N.A.

**Observaciones:**

\* El procedimiento de ensayo es una variación al método en proceso de designación SAE.



Responsable Técnico

## Anexo 3

## Pruebas de rugosidad



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



- Radio de la punta: 2um

Se selecciona el palpador en función de la medición a realizar y siguiendo los lineamientos del manual de fabricante del Rugosímetro.

Un criterio práctico aproximado de selección de palpadores podría ser el siguiente:

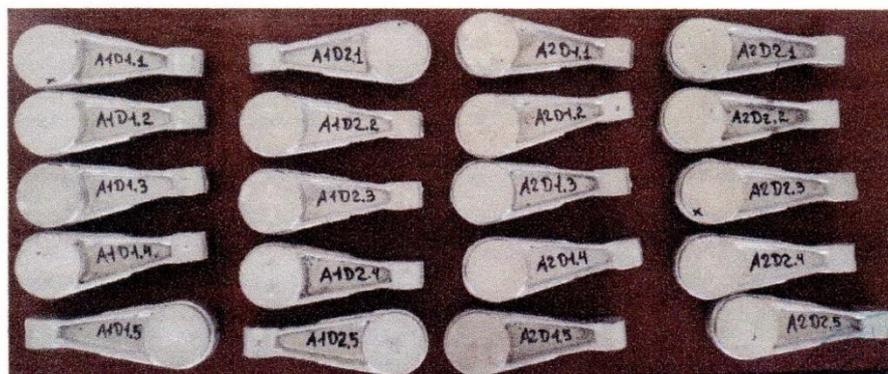
Ra	Palpadores de radio ap
$R_a \leq 0,4 \mu m$	$2 \mu m$ o $2,4 \mu m$
$0,4 \mu m \leq R_a \leq 6 \mu m$	$5 \mu m$
$R_a \geq 6 \mu m$	$10 \mu m$

## Calibración del Equipo

Con la medición se puede verificar un error de 0.001 um con lo cual se asegura la fiabilidad de los resultados.



## Elementos medidos





CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA

**RESULTADOS**

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
<b>Centro de Transferencia y Tecnología</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Fecha:</b>	26/02/2022	<b>Ciudad:</b>	Ambato
<b>Lugar:</b>	Laboratorios de Materiales de la FICM	<b>Campus Huachi</b>	
<b>Equipo:</b>	Rugosímetro digital MITUTOYO Surfrest SJ-210		
<b>Realizado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas		
<b>Tipo de material:</b>	Fundición de Aluminio 2024	<b>Orden:</b>	CTT-010
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>			
<b>Tipo de Medición:</b>	Medición de rugosidad (Ra)	<b>Norma:</b>	ISO 4287-1997
<b>Codificación de probetas:</b>	A1D1	<b>N° de probetas:</b>	5
			

**Resultados de la medición de rugosidad media Ra (um)**

N° Probeta Apoyo Superior	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO
1	11,996	9,77	10,059	1,210	10,608
2	10,837	9,952	11,926	0,988	10,905
3	9,523	11,461	10,484	0,969	10,489
4	11,302	10,352	11,62	0,659	11,091
5	11,234	9,779	10,341	0,733	10,451

N° Probeta Apoyo Inferior	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO
1	10,693	10,628	9,806	0,494	10,375
2	9,256	10,807	10,993	0,953	10,352
3	10,950	9,723	10,121	0,625	10,264
4	8,831	9,665	10,919	1,051	9,805
5	10,015	10,656	10,604	0,351	10,452



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
<b>Centro de Transferencia y Tecnología</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Fecha:</b>	26/02/2022	<b>Ciudad:</b>	Ambato
<b>Lugar:</b>	Laboratorios de Materiales de la FICM	<b>Campus Huachi</b>	
<b>Equipo:</b>	Rugosímetro digital MITUTOYO Surftest SJ-210		
<b>Realizado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas		
<b>Tipo de material:</b>	Fundición de Aluminio 2024	<b>Orden:</b>	CTT-010
PARÁMETROS DE ENSAYO			
<b>Tipo de Medición:</b>	Medición de rugosidad (Ra)	<b>Norma:</b>	ISO 4287-1997
<b>Codificación de probetas:</b>	A1D2	<b>N° de probetas:</b>	5
			

**Resultados de la medición de rugosidad media Ra (um)**

N° Probeta Apoyo Superior	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO
1	11,036	11,155	9,036	1,19	10,409
2	11,967	11,798	10,522	0,79	11,429
3	11,447	11,328	9,857	0,885	10,877
4	9,516	9,906	9,411	0,26	9,611
5	9,813	11,568	9,127	1,258	10,169

N° Probeta Apoyo Inferior	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO
1	10,408	10,426	10,573	0,090	10,469
2	10,385	10,895	10,528	0,263	10,602
3	10,334	10,329	10,194	0,079	10,285
4	10,557	9,906	10,268	0,326	10,243
5	10,950	8,468	8,822	1,342	9,413



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
Centro de Transferencia y Tecnología			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Fecha:</b>	26/02/2022	<b>Ciudad:</b>	Ambato
<b>Lugar:</b>	Laboratorios de Materiales de la FICM	<b>Campus Huachi</b>	
<b>Equipo:</b>	Rugosímetro digital MITUTOYO Surftest SJ-210		
<b>Realizado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas		
<b>Tipo de material:</b>	Fundición de Aluminio 2024	<b>Orden:</b>	CTT-010
PARÁMETROS DE ENSAYO			
<b>Tipo de Medición:</b>	Medición de rugosidad (Ra)	<b>Norma:</b>	ISO 4287-1997
<b>Codificación de probetas:</b>	A2D1	<b>Nº de probetas:</b>	5
			

#### Resultados de la medición de rugosidad media Ra (um)

Nº Probeta Apoyo Superior	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN N2	MEDICIÓN3	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO
1	10,195	10,995	10,058	0,506	10,416
2	11,567	10,276	11,273	0,676	11,038
3	10,046	10,254	11,871	0,999	10,723
4	11,837	11,373	11,861	0,275	11,690
5	11,138	11,258	10,429	0,448	10,941

Nº Probeta Apoyo Inferior	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO
1	10,277	10,570	8,699	1,006	10,848
2	10,775	10,525	10,127	0,326	10,475
3	10,765	10,545	10,515	0,136	10,608
4	10,976	10,918	10,730	0,128	10,874
5	10,361	10,988	10,527	0,324	10,625

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
Centro de Transferencia y Tecnología			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Fecha:</b>	26/02/2022	<b>Ciudad:</b>	Ambato
<b>Lugar:</b>	Laboratorios de Materiales de la FICM	<b>Campus Huachi</b>	
<b>Equipo:</b>	Rugosímetro digital MITUTOYO SurfTest SJ-210		
<b>Realizado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas		
<b>Tipo de material:</b>	Fundición de Aluminio 2024	<b>Orden:</b>	CTT-010
PARÁMETROS DE ENSAYO			
<b>Tipo de Medición:</b>	Medición de rugosidad (Ra)	<b>Norma:</b>	ISO 4287-1997
<b>Codificación de probetas:</b>	A2D2	<b>N° de probetas:</b>	5
			

#### Resultados de la medición de rugosidad media Ra (um)

N° Probeta Apoyo Superior	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO
1	11,169	11,598	10,365	0,625	11,044
2	11,331	11,209	11,907	0,372	11,482
3	9,629	11,682	11,039	1,050	10,783
4	9,695	9,539	9,407	0,144	9,547
5	9,484	11,317	11,826	1,231	10,875

N° Probeta Apoyo Inferior	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO
1	10,792	10,080	10,927	0,455	10,599
2	10,851	10,350	10,341	0,291	10,514
3	10,204	10,108	10,484	0,195	10,265
4	10,159	10,423	10,591	0,217	10,391
5	10,269	10,726	10,695	0,255	10,563

**Conclusión:**

La superficie tras la operación de fundición de aluminio es apreciable al tacto, y se los pueden observar a simple vista.

Para todas las designaciones se tiene una rugosidad de grado N10.

Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Nº de Grado de Rugosidad
50	N12
25	N11
12,5	<b>N10</b>
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

  
Ing. Sebastián Villegas S.  
Técnico de laboratorio



  
Egdo. Daniel Coquinche A.  
Auxiliar de laboratorio

