

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes del Vehículo

Diseño y construcción de un molde permanente para la fabricación de bornes de baterías  
automotrices

Milton Danilo Jami Jami

Nota del autor

Milton Danilo Jami Jami, Facultad de ingeniería Arquitectura e Ingeniería,

Universidad Internacional SEK

Director PhD. Edilberto Llanes Cedeño

Cualquier correspondencia a este trabajo puede dirigirse a:

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

### **Declaración juramentada**

Yo, Milton Danilo Jami Jami, con cedula de identidad 1722710389, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría que no ha sido previamente presentado para ningún grado a 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 correspondiente 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.

MILTON DANILO JAMI JAMI

C.I.: 1722710389

## Índice de contenido

### Contenido

Declaración juramentada.....	2
Índice de contenido .....	3
Índice de figuras .....	8
Índice de tablas.....	12
Resumen.....	14
Abstract .....	15
Introducción .....	16
Antecedentes .....	16
Planteamiento del problema.....	19
Justificación.....	21
Estado del arte .....	26
Molde permanente.....	26
Procesos de fundición con moldes permanentes.....	28
Defectos.....	30
Materiales para moldes permanentes. ....	32
Temperatura de trabajo en moldes permanentes.....	33
Fabricación de moldes permanentes. ....	33
Metalografía. ....	34
Espectrometría.....	36
Borne. ....	36
Aleaciones de cobre .....	37

Diseño y construcción de un molde permanente	4
Fundamentos FEM.....	38
Inspección de piezas.....	41
Método .....	42
Tipo de estudio.....	42
Modalidad de investigación .....	42
Método Propuesto .....	42
Método experimental .....	45
Análisis Metalográfico .....	45
Espectrometría.....	53
Método analítico.....	54
Llenado del molde.....	54
Ley de conservación de la masa.....	54
Ley de conservación de movimiento.....	55
Ley de conservación de energía .....	56
Cálculo de la mazarota y canal de vertido. ....	56
Cálculo de la velocidad de vertido .....	59
Tiempo de llenado.....	60
Cálculo del tiempo de solidificación.....	60
Numero de cavidades del molde. ....	61
Diseño de partes del molde .....	62
Modelado CAD tridimensional. ....	62
Ubicación de la línea de partición.....	64
Angulo de desmolde.....	64

Diseño y construcción de un molde permanente	5
Evacuación de gases.....	64
Selección del material para el molde. ....	65
Método CFD.....	67
Generación de malla numérica.....	69
Ingreso de condiciones físicas y de cálculo .....	71
Condiciones de frontera .....	73
Condiciones de cálculo numérico .....	73
Simulación.....	74
Post-procesamiento .....	75
Manufactura de moldes para bornes positivos y negativos.....	75
Prototipado .....	76
Mecanizado de Molde .....	77
Magazine de herramientas.....	79
Material en bruto .....	81
Sujeción de la pieza.....	81
Fases de trabajo .....	82
Tiempos de mecanizado .....	85
Presupuesto de fabricación.....	86
Generación de códigos G .....	87
Protocolo de pruebas .....	88
Resultados .....	93
Resultados método experimental .....	93
Ensayo metalográfico.....	93

Determinación del tamaño de grano .....	94
Espectrometría.....	97
Resultado método analítico .....	99
Calculo de la mazarota y canal de vertido .....	99
Calculo de la velocidad de vertido .....	102
Tiempo de llenado.....	102
Tiempo de solidificación.....	102
Número de cavidades del molde .....	103
Resultado método CFD .....	104
Llenado.....	104
Solidificación .....	106
Distribución de temperatura.....	107
Posibles fallas.....	108
Resultados del diseño.....	110
Diseño de cavidad para borne positivo .....	110
Diseño de cavidad borne negativo .....	113
Resultados de manufactura .....	115
Prototipado .....	115
Mecanizado del molde .....	116
Resultado de protocolo de pruebas. ....	117
Resultados visuales de bornes positivos .....	119
Resultados visuales de bornes negativos.....	122
Metrología .....	123

Pruebas de montaje .....	128
Análisis y discusión de resultados.....	129
Discusión de resultados .....	129
Conclusiones .....	134
Recomendaciones.....	136
Referencias bibliográficas .....	137
Anexos.....	142
Anexo 1. Informe de espectrometría por chispa (continua).....	142
Anexo 2. Planos .....	144
Anexo 3. Propiedades térmicas de diversos materiales (continua).....	145
Anexo 4. Densidad de diversos materiales (continua).....	147
Anexo 5. Calor específico (continua).....	149
Anexo 6. Calor latente.....	151
Anexo 7. Velocidades de corte para distintas operaciones y diámetros.....	152
Anexo 8. Costos de materiales.....	157

### Índice de figuras

Figura 1. Bornes de batería con incorporación de arnés importados (Autor, 2017). .....	17
Figura 2. Producción de vehículos de sector automotor en cifras (COMEX, 2014). .....	22
Figura 3. Molde permanente (Imágenes Google, 2017).....	26
Figura 4. Molde permanente metálico (Timings, 2001).....	27
Figura 5. Clamp de acople para molde permanente (Guedes B., 2016) .....	27
Figura 6. Colado de material en molde permanente (FUNPIMET, 2016).....	28
Figura 7. Molde a baja presión (Oviedo y Vinueza, 2012).....	29
Figura 8. Fundición a alta presión (Oviedo y Vinueza, 2012).....	30
Figura 9. Pieza con rechupe en el centro del cuerpo (Fundiciones Fumbarri Durango, S.A, 2013) .....	31
Figura 10. Defecto de porosidad después del maquinado (Autor, 2017).....	31
Figura 11. Estabilización de temperatura durante cada ciclo de colada (Shepel y Paolucci, 2002). .....	33
Figura 12. Sección que muestra cómo las características de ataque y la textura de la superficie resultante (Callister y Rethwisch, 2016). .....	35
Figura 13. Borne de Batería (Imágenes Google, 2017).....	36
Figura 14. Conector de batería (JIS D 5301, 2006) .....	37
Figura 15. Representación gráfica de campana Gauss (Alderete y Colombo, 2003). .....	41
Figura 16. Método propuesto para la fabricación de un molde permanente (Autor, 2017). ....	44
Figura 17. Corte de espécimen (Autor, 2017).....	46
Figura 18. Inclusiones para manipulación del espécimen (Autor, 2017).....	46
Figura 19. Esmerilado de probeta en pulidora mecánica (Autor, 2017). .....	47

Figura 20. Desbastadora mecánica (Autor, 2017).....	47
Figura 21. Pulidora de lija (Autor, 2017).....	48
Figura 22. Pulidora de paño (Autor, 2017). ....	49
Figura 23. Aplicación de reactivo en probeta (Autor, 2017). ....	50
Figura 24. Visualización de probeta después de ataque químico (Autor, 2017).....	50
Figura 25. Ubicación de muestra en microscopio (Autor, 2017).....	51
Figura 26. Microscopio metalográfico (Autor, 2017).....	51
Figura 27. Espectrometría en borne de fabricación nacional (Autor, 2017).....	53
Figura 28. Volumen y área borne positivo y negativo en NX10 (Autor, 2017).....	57
Figura 29. Borne de batería (Autor, 2017).....	58
Figura 30. Medición de borne original (Autor, 2017).....	63
Figura 31. Modelado de borne negativo (Software Siemens Industry, 2017) .....	63
Figura 32. Línea de partición (Autor, 2017). ....	64
Figura 33. (a)Modelado de bornes positivo. (b) Modelado borne negativo (c) Borne Patrón (Autor, 2017).....	68
Figura 34. Entorno de trabajo Design Modeler borne positivo en ANSYS (Autor, 2017).....	68
Figura 35. Vista 3D de mallado en borne positivo (Autor, 2017).....	69
Figura 36. Grafica calidad del elemento en el mallado (Autor, 2017).....	70
Figura 37. Gráfico de condiciones de frontera para el llenado (Autor, 2017). ....	73
Figura 38. Solución de ecuaciones de estado estable (Autor, 2017).....	74
Figura 39. Post-procesamiento de datos en borne positivo (Autor, 2017).....	75
Figura 40. Estructura interna tipo panel (Autor, 2017).....	76
Figura 41. Impresora Rostock Max V3 (Imágenes Google, 2017).....	77

Figura 42. Flujograma CAD-CAM (Autor, 2017).....	77
Figura 43. Sistema de sujeción (Autor, 2017).....	82
Figura 44. Cero pieza (Autor, 2017). ....	83
Figura 45. Códigos G para la fabricación de molde permanente (Autor, 2017).....	87
Figura 46. Horno con crisol de hierro fundido recubierto térmicamente (Autor, 2017).....	88
Figura 47. Pre calentamiento del molde (Autor, 2017).....	89
Figura 48. Termómetro infrarrojo apuntando a moldes (Autor, 2017).....	90
Figura 49. Moldes con capa para desmoldeo (Autor, 2017).....	90
Figura 50. Moldes ensamblados (Autor, 2017).....	91
Figura 51. Colado en molde permanente (Autor, 2017). ....	91
Figura 52. Obtención de borne fundido (Autor, 2017). ....	92
Figura 53. Barra de escala en micrografía (Autor, 2017).....	94
Figura 54. Proceso de rayado en método de intersección (Autor, 2017). ....	95
Figura 55. Dimensiones de la mazarota borne positivo (Autor, 2017).....	100
Figura 56. Dimensiones de la mazarota borne negativo (Autor, 2017). ....	101
Figura 57. Simulación de proceso de llenado $t=0$ seg a $t=3$ seg en intervalos de 0.16seg (Autor, 2017). ....	105
Figura 58. Solidificación del material, $t=0$ seg a $t=4$ seg en intervalos de 0.36seg (Autor, 2017). ....	107
Figura 59. Secuencia de llenado con comportamiento de las temperaturas, desde $t=0$ a $t=3$ en intervalos de 0.33 seg (Autor, 2017).....	108
Figura 60. Posible formación de burbuja de aire (Autor, 2017). ....	109
Figura 61. Posible zona de rechupe (Autor, 2017).....	109

Figura 62. Despiece de molde permanente para bornes positivos de batería (Autor, 2017)..	112
Figura 63. Conjunto de molde permanente para bornes positivos de batería (Autor, 2017). .	113
Figura 64. Despiece de molde permanente para bornes negativos de batería (Autor, 2017).	115
Figura 65. Conjunto del molde permanente para bornes negativos (Autor, 2017). .....	115
Figura 66. Prototipo del molde impreso mediante FDM (Autor, 2017). .....	116
Figura 67. Resultado del mecanizado total de los moldes (Autor, 2017). .....	116
Figura 68. Temperatura de trabajo en pared interna del molde positivo.....	118
Figura 69. Resultados obtenidos de Tiempos de llenado en campana de Gauss. ....	119
Figura 70. Temperatura de trabajo en pared interna del molde negativo.....	121
Figura 71. Campana de Gauss Tiempo de llenado en molde para bornes negativos (Autor, 2017). .....	121
Figura 72. Toma de medidas referenciales. ....	123
Figura 73. Campana de Gauss medidas generales del borne positivo (Autor, 2017) .....	125
Figura 74. Campana de Gauss de dimensiones bornes negativos.....	128
Figura 75. Bornes positivo y negativo acoplados a batería convencional (Autor, 2017). .....	128
Figura 76. Solidificación del material en zonas delgadas (Autor, 2017). .....	132

**Índice de tablas**

Tabla 1. Anexo II de resolución N. 65 .....	23
Tabla 2. Electrodo conector de bateria.....	37
Tabla 3. Composición química de reactivo número 35.....	50
Tabla 4. Coeficientes de contraccion volumetrica del metal .....	57
Tabla 5. Propiedades químicas M238 .....	65
Tabla 6. Propiedades químicas IBCA: 718 .....	66
Tabla 7. Propiedades físicas IBCA: 718 .....	66
Tabla 8. Mallado en modulo mesh ANSYS.....	70
Tabla 9. Calidad del elemento en el mallado del borne de batería.....	70
Tabla 10. Configuracion de opciones generales.....	71
Tabla 11. Configuración del modelo multifase.....	71
Tabla 12. Configuración del modelo viscosidad.....	72
Tabla 13. Configuracion de ventana de solidificación y colado .....	72
Tabla 14. Ingreso de datos de aleaciones de cobre .....	73
Tabla 15. Método de solucion PISO .....	74
Tabla 16. Caracteristias de mecanizado .....	78
Tabla 17. Magazine de herramientas.....	79
Tabla 18. Dimensiones de herramientas .....	80
Tabla 19. Dimensiones Brutas de materiales .....	81
Tabla 20. Fase de trabajo para la fabricacion de molde permanente de borne de bateria.....	83
Tabla 21. Tiempos de mecanizado.....	86
Tabla 22. Costo de materiales .....	86

Diseño y construcción de un molde permanente	13
Tabla 23. Costo de mecanizado .....	87
Tabla 24 Especificaciones técnicas de termometro infrarrojo .....	89
Tabla 25. Resultados de ensayo metalografico .....	93
Tabla 26. Numero de intersecciones de límites de grano.....	95
Tabla 27. Tamaño de grano ASTM.....	96
Tabla 28. Elementos aleantes que componen el borne fabricado a nivel nacional .....	97
Tabla 29. Propiedades mecanicas de aleacion obtenidas mediante espectrometria.....	98
Tabla 30. Propiedades fisicas de aleacion obtenida mediante espectrometría.....	98
Tabla 31. Partes de molde permanente para bornes positivos .....	110
Tabla 32. Partes de molde permanente para bornes negativos.....	113
Tabla 33. Resultados de pruebas realizadas en molde para bornes positivos .....	117
Tabla 34. Resultados visuales bornes positivos .....	119
Tabla 35. Resultado de pruebas realizadas en molde para bornes negativos.....	120
Tabla 36. Resultados visuales bornes negativos .....	122
Tabla 37. Análisis dimencional de bornes positivos .....	123
Tabla 38. Análisis dimensional de bornes negativos .....	126
Tabla 39. Resultados comparativos del tiempo de llenado entre método analitico y método CFD .....	130
Tabla 40. Resultados comparativos entre método experimental y método CFD.....	130
Tabla 41. Porcentaje de tiempos de mecanizado .....	133

## Resumen

El siguiente trabajo de investigación se centra en el diseño de un molde permanente para la fabricación de bornes de batería en aleación de cobre. Se realizó estudios metalográficos y espectrométricos para determinar la aleación con la que está constituido el borne comercializado a nivel de Ecuador. Esto posibilita fabricar uno nuevo, con una geometría pre-establecida, con una aleación que se asimile a la original, se generó la geometría de la pieza a ser analizada en el software NX 10, además se optimiza el diseño del molde haciendo uso de un software de simulación CFD, ANSYS *Fluent*, que incluye el análisis de llenado y solidificación del material fundido, prediciendo fallas de funcionamiento, posteriormente se realiza las simulaciones necesarias, se interpretan los datos obtenidos comparando con los métodos de cálculo tradicional de las variables como velocidades de colado, caudales, tiempo de llenado, tiempo de solidificación, validando los resultados obtenidos, seguido de ello se manufactura los moldes mediante control numérico computarizado CNC para ejecutar este trabajo se usa NX CAM Software, empleando las estrategias de mecanizado que permitan obtener de un solo bloque las cuatro cavidades, para finalizar se realizaron protocolos de prueba en el molde obteniéndose el borne fundido, para validar su geometría y funcionamiento aplicando nuevas tecnologías como la implementación del uso de software para evitar reprocesos en la industria de la fundición de metales.

**PALABRAS CLAVE:** Molde permanente, CFD, simulación de llenado, fundición.

### **Abstract**

The following research work is focus in the design of a permanent mold for copper alloy terminal batteries casting. Metallographic and spectrometric studies were realized to determine the specific alloy that the battery terminal commercialized in Ecuador is constituted with. This allow to manufacture a new one with a pre-established geometry, and similar alloy, The geometry of the terminal was generate for analysis, using NX 10 Software, also the design of mold was optimized, using CFD, ANSYS Fluent software simulation which includes filling and solidification analysis of the casting material, predicting performance errors, After necessary simulation were realized, obtained data like casting speed, flow, filling time, solidification time was interpret in order to compare and validate with analytic methods. Then molds are manufacture using computerized numeric control CNC, NX CAM Software is used for this, applying milling strategies which allow to obtain in a single block the four cavities, finally, test protocols were made in the mold and the molten terminal is obtained, in order to carry out the geometric validation and operation, fulfilling, applying new technologies such as the implementation of the use of software to avoid reprocessing in the casting metals industry.

**KEY WORDS:** Permanent mold, CFD, filling simulation, casting.

## **Introducción**

### **Antecedentes**

Dentro del marco histórico la fundición de metales en el Ecuador no tiene fecha exacta, no obstante desde tiempos remotos los indígenas trabajaron y desarrollaron técnicas para elaborar sus herramientas de trabajo para la caza, pesca, agricultura, teniendo como evidencia objetos de oro encontrados en Loja y Esmeraldas, con la conquista española sobre el imperio Inca este se desarrolló debido al cambio de culturas, conociendo nuevas técnicas para fundir metales como el cobre el cual era fundido en hornos llamados huairas que se encontraban en las cimas de las montañas donde exista suficiente viento para crear combustión y poseer una llama capaz de mantener elevadas temperaturas, para la época colonial la fundición de metales se orientó en satisfacer necesidades religiosas como militares tales como cañones, ornamentos eclesiásticos, campanas, ventanas (Báez, 1995)

La industria metalúrgica en el Ecuador es uno de los motores de desarrollo económico fundamental, por lo que el mercado local e internacional exige cambios continuos en las estrategias de mejoramiento de tecnologías y transferencia de conocimiento, lo que obliga a las empresas a ser más competitivas en el ámbito tecnológico (Poluche S, y Quillupangui S, 2012).

Con el pasar del tiempo y el incremento de herramientas informáticas se hace posible el uso de software especializados en el área de la fundición de materiales, los cuales han facilitado la posibilidad de realizar simulaciones prediciendo irregularidades en el proceso de colado y solventar problemas específicos en el área. (Garces, 2016)

Actualmente son pocas las empresas que han integrado a su sistema de desarrollo tecnológico el uso de programas de simulación para optimizar los procesos de fabricación de moldes

permanentes (coquillas), sin embargo el conocimiento empírico aplicado en esta área, hacen ineficiente la producción de piezas, debido a la fabricación de moldes permanentes sin el diseño técnico previo, y mientras se va colando el material se detectan defectos con los cuales se hacen mejoras en los diseños, consumiendo horas hombre, materia prima, horas máquina, repercutiendo inicialmente en pocas proporciones que a la larga se traduce en un costo importante para las empresas que se dedican a la fundición de piezas en moldes permanentes así como también moldes en arena.

Los bornes de batería son fabricados y armados con el conjunto de cables (arnés) en Japón, se los importa hacia Colombia por la empresa YAZAKI CIEMEL FTZ LTDA y finalmente se los transporta para Ecuador (YAZAKI, 2017).



*Figura 1.* Bornes de batería con incorporación de arnés importados (Autor, 2017).

A continuación se resumirá algunos estudios realizados previamente sobre moldes permanentes.

Oviedo y Vinueza (2012), realizó el diseño y construcción de un molde permanente para fabricar mancuernas en aluminio mediante la utilización de análisis de elementos finitos para

predecir el comportamiento termomecánico y tiempos de solidificación. Los resultados numéricos muestran concordancia con resultados experimentales demostrando que el análisis de elementos finitos es una herramienta útil para analizar moldes permanentes (Oviedo y Vinueza, 2012)

Fernández (2011), realizó el diseño de un molde permanente utilizando el programa Vulcan como herramienta de simulación de un molde permanente para la fabricación de una pieza con acabados IT7, logrando mejorar el proceso de fundición por gravedad de forma rápida efectiva y alta calidad de los acabados sin necesidad de maquinarlo posteriormente (Fernandez, 2011).

Pons i Sans (2004) ejecutó el estudio del comportamiento de las simulaciones cuando hay un cambio en la cantidad de calor transmitido entre el molde y la pieza, determinando hasta qué punto influye la variación de los coeficientes de convección térmica en un proceso de fundición (Pons i Sans, 2004).

Garces M (2016) realizó el estudio CFD mediante el uso del software ANSYS *fluent* del llenado de un molde en arena en verde, en el cual logro predecir fallos como tensiones residuales y rechupes (Garces, 2016).

Oviedo y Vinueza (2012) argumentan. “En la actualidad existen varios software existentes en el mercado dedicado al análisis numérico de procesos de fundición como, Vulcan, Flow-3d cast, Magma Soft, Mavis, NovaCast, Solid Cast, ANSYS y ABAQUS” (p.7).

Trabajos similares en los que se realiza el análisis de elementos finitos usando software, sin embargo no se indica el diseño y construcción de un molde permanente para fabricar bornes de batería automotriz.

### **Planteamiento del problema**

Entre las innumerables piezas sometidas a un desgaste constante dentro de los sistemas de los vehículos, se tiene al borne de batería que permite el paso de energía eléctrica del acumulador hacia el sistema eléctrico del automotor.

Este elemento se encuentra sometido a constante sulfatación debido a la carga y descarga de la batería (Zabaleta, 2016). Pese a que su mantenimiento preventivo es únicamente engrase, este elemento con el paso del tiempo tiende a desgastarse siendo necesario su reemplazo para garantizar la máxima funcionalidad del vehículo. En una flota de camiones, camionetas, o vehículos de renta, este mantenimiento preventivo se traduce en la adquisición de un repuesto que se lo puede denominar de alta rotación, según el número de vehículos que la empresa disponga.

Además con el crecimiento del parque automotor existe una gran demanda de piezas y partes automotrices en el país, para cumplir con los estándares de producción se ha optado por la importación, sin probar y demostrar que muchos de estos productos pueden ser fabricados en el Ecuador con mejores beneficios, este es el caso singular de los bornes de batería los cuales son importados por la industria automotriz para vehículos ensamblados por ÓMNIBUS BB como los modelos Sail, Aveo, Grand Vitara SZ, Luv D-Max y AYMESA como Kia Sportage R, Kia cerato, Volkswagen Amarok.

El alto valor de las tasas arancelarias hace que este tipo de producto se encarezca creando un problema de importación, debido a que primero se los importa a Colombia desde Japón para posteriormente ser enviados a Ecuador, generando altos costos de amortización y tiempos de espera largos, es por ello que la industria automotriz en el Ecuador tiene la necesidad de fabricar los bornes para batería.

Al tener esta necesidad por parte del sector automotriz, la industria de la fundición debe innovar sus procesos de producción y la calidad de sus servicios.

En la actualidad la industria de la fundición en Ecuador en su totalidad tiene deficiencias debido al constante desarrollo tecnológico a nivel global, es así que se dedican a la producción de piezas bajo procesos caducos en base a prueba y error, en muchos casos con mala calidad, desperdiciando material e incrementando los costos de producción (Poluche S, y Quillupangui S, 2012)

Por lo tanto, es necesario la predicción del comportamiento durante el colado en el molde debido a que hoy en día existe software de simulación que buscan optimizar el proceso de fundición.

Por lo anteriormente referido el problema del caso de estudio sería:

¿Cómo diseñar y optimizar una coquilla para fabricar bornes de batería?

Para dar respuesta al problema se plantea en objetivo general: Construir un molde permanente para la fabricación nacional de bornes de aleación de cobre para baterías de 12 voltios de automóviles, a partir de un diseño basado en estudio metalográfico del material del borne y de los procesos de fundición para la optimización del sistema de llenado con estándares de calidad.

Para cumplir con el objetivo anteriormente planteado es necesario:

1. Identificar el porcentaje de las aleaciones con las cuales se fabricara el borne a través de un estudio metalográfico y espectrometría.
2. Realizar simulaciones del proceso de fundición del borne mediante ingeniería asistida por computador (CAE) donde se analizará la cantidad de piezas a fabricar, los defectos de llenado, tiempo de solidificación, la temperatura de trabajo, acabados superficiales del

molde para garantizar la optimización del proceso de fundición, evaluando condiciones termodinámicas del molde, por transferencia de calor de la pieza que se está colando.

3. Manufacturar el molde para bornes de batería mediante control numérico computarizado.
4. Realizar pruebas de diagnóstico del molde, evaluando su funcionalidad y geometría.

### **Justificación**

MAYPROM es una empresa especializada en proveer soluciones integrales, para el sector agroindustrial, textil, petrolero, automotriz, brindando servicios de mecanizado de partes y piezas ubicada estratégicamente en la ciudad de Quito en el sector del Inca, siendo proveedores de empresas como Vicunha Textil, General Motors OMNIBUS BB, AYMESA, Grupo Superior, entre otras.

El aporte entregado a esta empresa es la implementación de complementos para el uso de software de diseño y simulación computacional para las diferentes disciplinas a las que se dedica dicha empresa, una de ellas es el análisis CFD para el diseño de moldes permanentes (coquillas).

La propuesta de diseño de un molde permanente servirá para la producción en masa de bornes positivos como negativos de batería la cual al finalizar el proyecto de estudio será presentado ante representantes de General Motors OMNIBUS BB y AYMESA, presentando la propuesta de proveedores de esta autoparte.

El proyecto será factible debido a que en los meses de enero y febrero del 2017 se ensamblaron 4958 vehículos que incluyen automóviles, vehículos deportivos utilitarios SUV, camionetas, como se indica en la figura 2, por consiguiente se están produciendo alrededor de 2

500 unidades mensuales, esto significa que por cada automóvil se tiene que importar 1 borne positivo y 1 negativo dando un total de 5 000 unidades estimadas (COMEX, 2014).



Figura 2. Producción de vehículos de sector automotor en cifras (COMEX, 2014).

En el país se busca disminuir la importación y aumentar la producción nacional, es por ello que las ensambladoras del país basándose en la resolución N. 65, Art 9 del Ministerio del Comercio Exterior el cual explica que los componentes desarmados importados CKD pagaran el 100 % de arancel consolidado correspondiente al bien final, y podrá disminuir en medida que el porcentaje del producto ecuatoriano incorporado al bien ensamblado sea mayor, es así que las ensambladoras incorporan a su producción más del 20 % de CKD's producidos nacionalmente como lo indica la tabla 1, pagando un arancel de 4.38 % (COMEX, 2014).

Además apoyándose en el Art. 284 literal 2 de la Constitución de la República del Ecuador, en la cual manifiesta que el objetivo de la política económica será incentivar la producción nacional, la productividad y competitividad sistémica (Constitucion de la Republica Del Ecuador, 2008).

Tabla 1

*Anexo II de resolución N. 65*

<b>Subpartidas</b> <b>8703239080,8703231080,8703249080,8703241080</b>		
<b>% de Producto Ecuatoriano incorporado</b>	<b>Arancel a pagar Ad valorem</b>	<b>Observaciones</b>
<5	35%	
5	17.5%	
6	16.63%	
7	15.75%	
8	14.88%	
9	14.00%	
10	13.13%	
11	12.25%	
12	11.38%	
13	10.50%	
14	9.63%	
15	8.75%	
16	7.88%	
17	7.00%	
18	6.13%	
19	5.25%	
20	4.38%	Arancel mínimo a pagar

*Nota:* Anexo II de resolución N. 65. (COMEX, 2014)

Según los lineamientos del Plan Nacional Para el Buen Vivir (2013-2017) indica que:

“Los desafíos actuales deben orientar la conformación de nuevas industrias y la promoción de nuevos sectores con alta productividad, competitivos, sostenibles, sustentables y diversos, con visión territorial y de inclusión económica en los encadenamientos que generen. Se debe impulsar la gestión de recursos financieros y no financieros, profundizar la inversión pública como generadora de condiciones para la competitividad sistémica, impulsar la contratación pública y promover la inversión privada”. (p.359)

Según PROECUADOR (2017) el sector de la fundición es un pilar fundamental en el desarrollo de proyectos estratégicos y gran generador de empleo ya que necesita de operarios, mecánicos, técnicos, herreros, soldadores, electricistas, torneros e ingenieros en su cadena productiva.

Es así que en el Ecuador, los productos que agrupan la mayor cantidad de las exportaciones entre el año 2007 y 2011 son: Manufacturas de fundición, hierro o acero con un 27 %, le sigue reactores nucleares, calderas, máquinas, aparatos y artefactos mecánicos con un 26 % y máquinas, aparatos, material eléctrico y sus partes con un 15 % (PROECUADOR, 2017).

Debido a la alta demanda de bornes para batería en la industria ensambladora del país, genera la necesidad de la construcción de los mismos haciendo que las pocas empresas que se dedican a la fundición, los fabriquen manualmente en moldes de arena verde o a su vez en coquillas bajo el método prueba error, generando altos tiempos de fabricación y acabados de baja calidad, además se busca predecir mediante el análisis de elementos finitos los defectos de llenado, tiempo de solidificación, la temperatura de trabajo, la presente investigación se justifica debido a que se pretende establecer de manera técnica la optimización y validación de un procedimiento teórico-práctico efectivo, que permita definir la forma y dimensiones del molde permanente.

Además, se pretende disponer de una metodología y un modelo de elementos finitos en la que se establezca las características del mallado, cargas térmicas y condiciones de frontera donde, facilita el cálculo de nuevos modelos obtenidos a partir de modificaciones del diseño descritos en este documento con el fin de obtener modelos más eficientes y poder llevar a cabo un proceso de innovación.

En Ecuador, se posee la maquinaria y la materia prima para poder fabricar este elemento, presentando un área de oportunidad para solucionar el problema y presentaría un nicho de mercado en la fabricación de este elemento contribuyendo al cambio de matriz productiva y desarrollo de nuestro país.

Por lo tanto, se presenta un beneficio orientado a la industria de la fundición, solventando problemas técnicos que se presentan realmente, aplicando un diseño para mejorar un elemento de vital importancia para los vehículos, así también presentando un estudio que aportará con la aplicación y su validación que brindará mayor confianza del producto final.

## Estado del arte

### Molde permanente.

Este tipo de molde es sustancialmente más costoso que el moldeo por arena, pero resulta más barato para la fabricación de piezas en serie y de alta calidad (Gerling, 1979). Se pueden producir hasta 50. 000 partes antes de ser sustituidos (Timings, 2001).



*Figura 3.* Molde permanente (Imágenes Google, 2017).

A fin de incrementar la vida útil de los moldes permanentes las superficies de las cavidades del molde por lo general se recubren con grafito cada cierto número de coladas, que sirven como agentes de separación y como barreras térmicas, controlando las velocidades de enfriamiento de la fundición, sin embargo dependiendo de la complejidad de la geometría se hace necesaria la presencia de eyectores que están situados en puntos estratégicos del molde para la extracción de la pieza fundida y por lo general dejan una marca pequeña en la pieza obtenida (Kalpajian, Serope y Schmid , 2002).

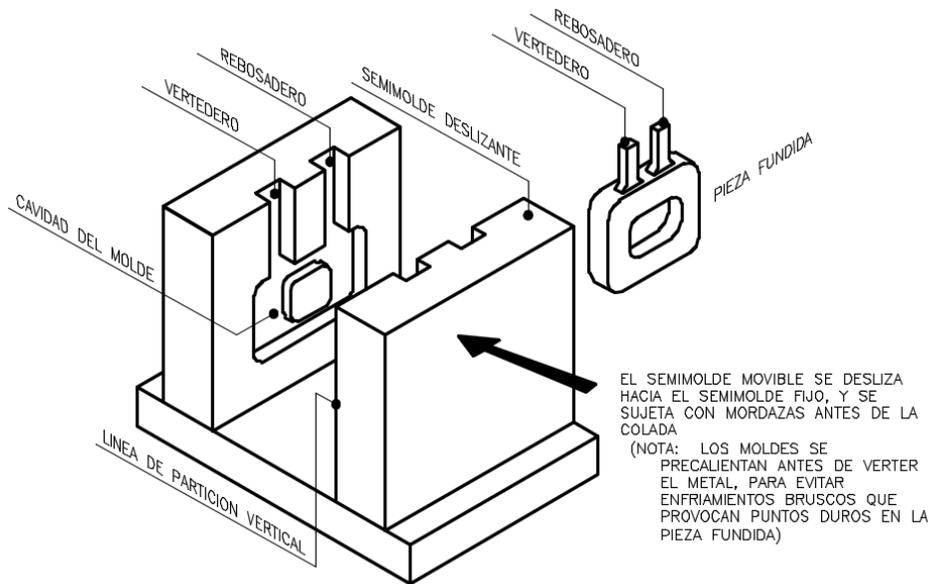


Figura 4. Molde permanente metálico (Timings, 2001).

Kalpajian, Serope y Schmid (2002) afirma que los moldes se sujetan por medios mecánicos y se calientan alrededor de  $150^{\circ}\text{C}$ - $200^{\circ}\text{C}$  esto con el fin de facilitar el flujo del metal y reducir el daño térmico a las cavidades internas debido a gradientes de temperatura elevados como se muestra en la figura 5.

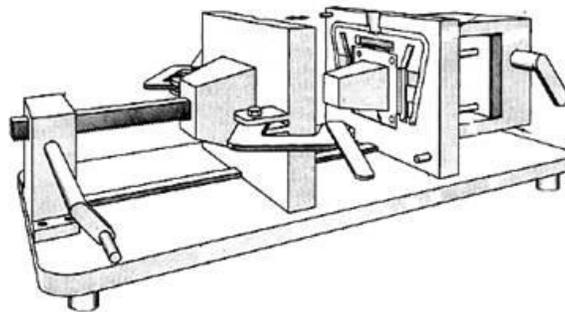


Figura 5. Clamp de acople para molde permanente (Guedes B., 2016) .

Para poder obtener una pieza fundida el material colado se vacía a través de los canales de alimentación como se muestra en la figura 6, para después de la solidificación abrir los moldes para extraer la pieza, para enfriar el molde se emplean medios como el agua o aletas de refrigeración (Kalpajian, Serope y Schmid , 2002).



*Figura 6.* Colado de material en molde permanente (FUNPIMET, 2016).

Este proceso produce un número alto de piezas, con un buen acabado superficial, tolerancias dimensionales y propiedades mecánicas uniformes, las piezas que se pueden fabricar generalmente pueden pesar hasta 25 kg (Kalpajian, Serope y Schmid , 2002).

### **Procesos de fundición con moldes permanentes.**

La clasificación de estos procesos se rige en la presión con la que ingresa la colada líquida en el molde y son tres tipos: baja presión, gravedad, alta presión.

#### ***Proceso de fundición a baja presión.***

Se caracteriza por tener una cámara hermética donde la presión interna es superior a la atmosférica, el molde se lo mantiene a presión atmosférica con una conexión al metal líquido a través de un ducto, como el metal líquido se encuentra sometido a una presión mayor a la atmosférica se lo fuerza a subir y llenar el vacío del espacio del molde (Oviedo y Vinuesa, 2012).

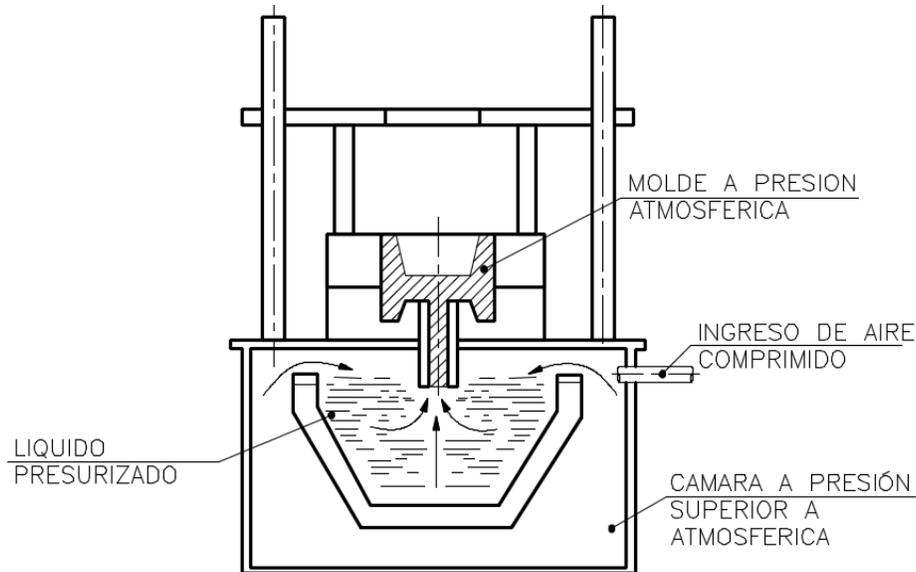


Figura 7. Molde a baja presión (Oviedo y Vinueza, 2012).

#### ***Proceso de fundición por gravedad.***

La fundición por gravedad en moldes permanentes, generalmente utiliza moldes metálicos también llamados coquillas, se utilizan varias veces y están diseñados para sacar las piezas fácilmente, generalmente se usan para fundir piezas de bajo punto de fusión como aluminio, zinc y aleaciones de cobre (Montes, Martínez, y del Real Romero, 2006).

#### ***Proceso de fundición alta presión.***

En este proceso la colada es forzada por un pistón hidráulico a alta presión, esta presión se mantiene hasta que la pieza se solidifique y se pueda retirar de la cavidad, brindando un mejor acabado superficial (Oviedo y Vinueza, 2012).

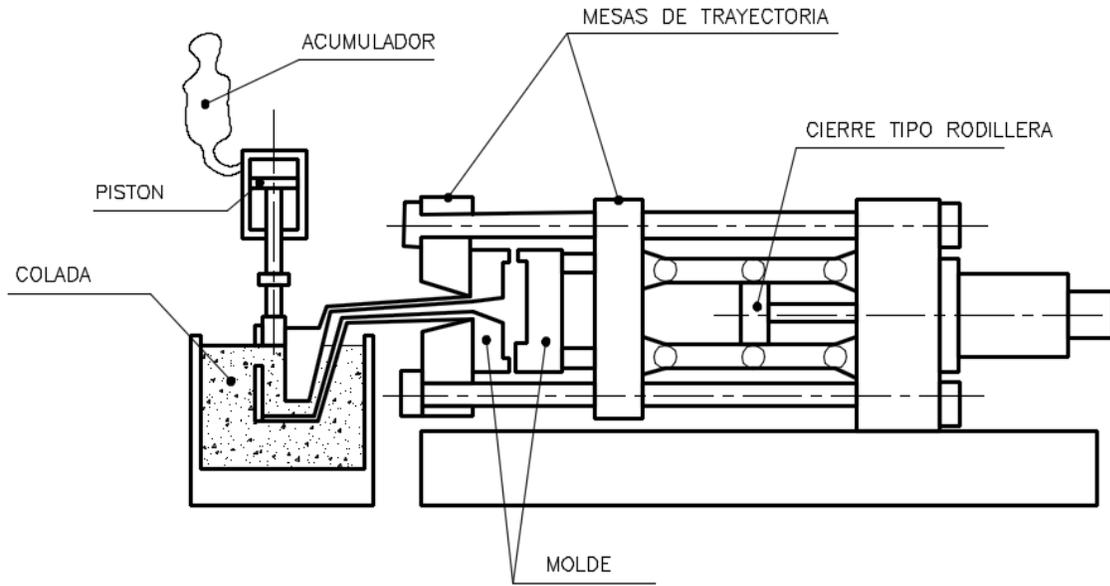


Figura 8. Fundición a alta presión (Oviedo y Vinuesa, 2012).

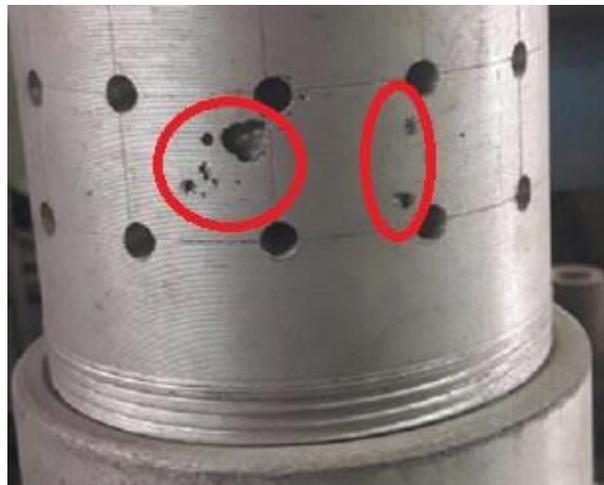
### Defectos.

Los principales problemas que se dan en el colado mediante moldes permanentes son los rechupes que básicamente son cavidades que se producen en el centro y parte superior de la pieza fundida, debido al cambio volumétrico en la solidificación que comienza por la zona superficial y va aumentando de espesor de manera paulatina a costa del metal que permanece líquido en el centro y el volumen del metal sólido es inferior al líquido, queda en el centro una cavidad que se localiza en la parte superior de la pieza en forma de cono, la contracción aproximada es del 8 % del volumen total de la pieza obtenida, este tipo de defecto se puede reducir colando con la base de mayor dimensión hacia arriba, disminuyendo la velocidad de enfriamiento recalentando la parte superior del molde por medio de arco eléctrico, carbón o polvo aluminotérmico o empleando mazarota en la parte superior, también se puede evitar un rechupe comprimiéndolo en una prensa hidráulica con una presión de 600 a 2000 kg por  $cm^2$  (Lasheras.E, 1981)



*Figura 9.* Pieza con rechupe en el centro del cuerpo (Fundiciones Fumbarri Durango, S.A, 2013)

Los defectos de porosidad de contracción que se producen en las fundiciones están fuertemente influenciados por las gradientes de temperatura que varían en el tiempo dentro de la fase de solidificación. Esto se debe a que los gradientes determinarían si una región que se está solidificando tiene acceso a cantidades suficientes de metal de alimentación a una temperatura más alta. Los poros de retracción surgirán en regiones que experimentan reducción de volumen debido al cambio de fase sin acceso al metal de alimentación (Gunasegaram, 2009).



*Figura 10.* Defecto de porosidad después del maquinado (Autor, 2017).

**Materiales para moldes permanentes.**

Los materiales para moldes permanentes deben tener las siguientes consideraciones.

El molde debe tener buena estabilidad dimensional, resistencia a altas temperaturas, resistencia al choque térmico y resistencia a la fatiga, no debe deformarse o cambiar de tamaño incontrolablemente durante el ciclo. El molde debe ser capaz de soportar ciclos térmicos prolongados y repetidos sin ablandamiento, agrietamiento u oxidación, (Ajay, Mahesh, Mukherjee, 2014)

El material del molde debe tener una maquinabilidad adecuada. El mecanizado de la cavidad suele ser el factor de costo más significativo. Las tasas de desgaste, rotura, avance de la herramienta influyen en el costo del molde (Ajay, Mahesh, Mukherjee, 2014)

El material de molde más común es el acero AISI P20 en condiciones pre endurecidas de 30 HRC. Las matrices de forja y los matrices de fundición a presión consisten principalmente en un acero AISI H13 con un rango de dureza de 45 a 60 HRC para matrices de forja y  $46 \pm 50$  HRC para matrices de fundición a presión (P. Fallbo, 2000) .

El material apropiado para la construcción de moldes permanentes es un acero para trabajos en caliente, según el manual de Ivan Bohman debe ser un acero con aleación de cromo-molibdeno-vanadio conocidos comercialmente en Ecuador como Acero Bohman 8407 o su similar Acero Bohler M238 que básicamente son el acero AISI H13 Y AISI P20 respectivamente , que se caracteriza por su buena resistencia a la abrasión, tanto a temperaturas altas como bajas, alta tenacidad y ductilidad, buena maquinabilidad, acabados uniformes y admita refrigeración con agua (Bohler, 2016).

### Temperatura de trabajo en moldes permanentes.

El calor del metal líquido se transfiere a las paredes del molde permanente por convección, una vez iniciado el proceso de colado se requieren varios ciclos de llenado en el molde para que paulatinamente vaya elevando su temperatura y alcance un estado estable estático, aun en este estado la temperatura del molde varia durante cada ciclo de colada, las piezas obtenidas antes de que el molde llegue a su estado estable estático generalmente se encuentran defectuosas, por lo tanto, se desechan y se las vuelve a ubicar en el horno para volver a ser utilizadas en un nuevo proceso de colado (Shepel y Paolucci, 2002), en los estudios que realizaron Shepel y Paolucci (2002), obtienen tres curvas de temperatura del molde mediante el método experimental (experiment), Algoritmo modificado por Shepel y Paolucci( PT), Método de elemento finito (MF), en la que el método experimental tiende a estabilizarse como lo indica en la figura 11.

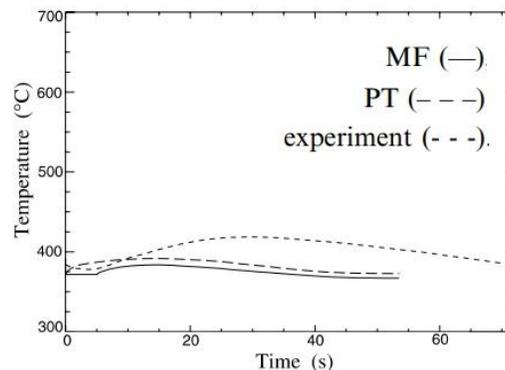


Figura 11. Estabilización de temperatura durante cada ciclo de colada (Shepel y Paolucci, 2002).

### Fabricación de moldes permanentes.

Según Meyers G & Graham D (2015), afirma que las técnicas de fresado y las tecnologías para herramientas continúan avanzando, aumenta el número de fabricantes de moldes que sacan provecho de estos desarrollos para optimizar las operaciones de mecanizado, reduciendo los tiempos de ciclo y produciendo acabados superficiales de mayor calidad. Sin embargo, factores como la capacidad de las máquinas para técnicas de fresado, programación, mesas de trabajo y

soportes, son una parte esencial de la ecuación durante la selección de la herramienta de corte. Igualmente importante, es la habilidad de analizar el desgaste de las plaquitas de corte, en un esfuerzo por maximizar la vida de la herramienta y contar con el uso de la misma en las aplicaciones de mecanizado de moldes.

Las cavidades de los moldes que poseen superficies convexas se puede mecanizar fácilmente con un centro de mecanizado de 3 ejes, mientras que por otra parte existen moldes que pueden tener superficies profundas en las que se dificulte ingresar a la herramienta de corte o a su vez sea una superficie muy compleja, se usa el método EDM por sus siglas en inglés Electrical Discharge Machining traducido al español Electroerosión (Luttervelte, 1993).

### **Metalografía.**

Al momento de caracterizar y estudiar los materiales, una de las aplicaciones importantes son: predecir las propiedades de los materiales una vez establecidas la relación entre estructura y defectos, diseñar nuevas aleaciones combinando propiedades, determinar si un material ha sido tratado térmicamente de manera correcta (Callister y Rethwisch, 2016). Sin duda, el microscopio es la herramienta más importante del metalurgista tanto desde el punto de vista científico como desde el técnico (Cad Cae Ingeniería Ltda, 2004).

### ***Microscopia óptica.***

En esta técnica se necesita normalmente una preparación cuidadosa para revelar los detalles importantes de la microestructura, debido a que se utiliza la luz para estudiar la microestructura, siendo sus elementos básicos los sistemas ópticos y la iluminación (Callister y Rethwisch, 2016).

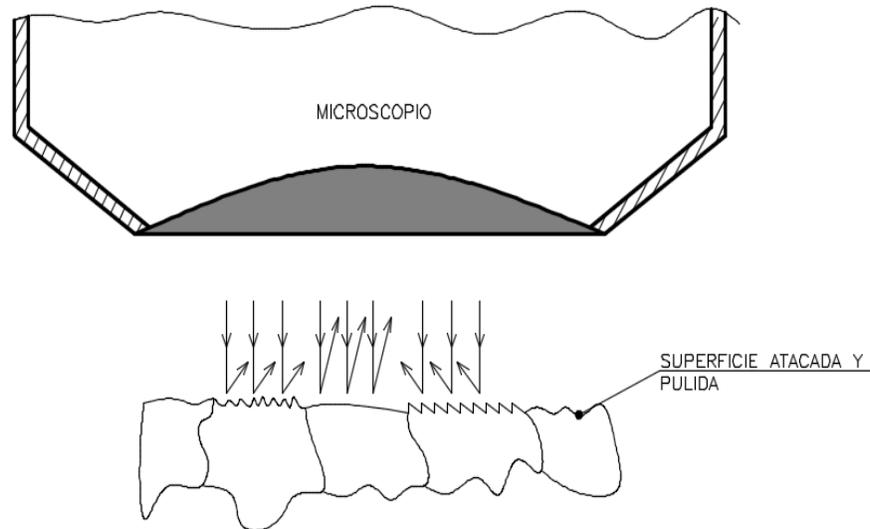


Figura 12. Sección que muestra cómo las características de ataque y la textura de la superficie resultante (Callister y Rethwisch, 2016).

### ***Microscopia electrónica.***

Este tipo de microscopio permite alcanzar aumentos de hasta X 1 000 000, lo que permite un nivel de resolución espacial que muchos investigadores de distintas ramas demanda, transformándose en una fuente inagotable de información por las capacidades de análisis de las técnicas asociadas a un microscopio, se basa en la utilización de haces de electrones en lugar de radiación de luz (Arenas A. Jesus, 2005).

### ***Microscopia de sonda de barrido.***

Este tipo de microscopio se lo denomina SPM por sus siglas en inglés, *Scanning Probe Microscopy*, este emplea una punta afilada que al colocarlo cercano a la superficie la escanea, generando un mapa topográfico, en una escala atómica, lo que permite examinar el espécimen a escala manométrica, creando imágenes tridimensionales (Callister y Rethwisch, 2016).

## **Espectrometría**

Según J. Lasema (2016) la espectrometría de chispa es una técnica de análisis más sencilla y completa entre las que se dispone en la actualidad para caracterizar muestras sólidas.

Esta técnica consiste en el uso de partículas cargadas de iones primarios que se aceleran e impactan sobre la superficie de la muestra, la energía cinética se transfiere a la muestra afectando a las capas más externas del material (J. Lasema, 2016).

Estos iones proporcionan información cualitativa y cuantitativa de la composición atómica y molecular, obteniendo espectros de masas en materiales sólidos, la interpretación de los espectros es sencilla y no requiere de algoritmos complejos (J. Lasema, 2016).

## **Borne.**

De acuerdo a la norma INEN 1497, el borne es el terminal del cual se hace la conexión eléctrica de la batería al circuito exterior del vehículo.



*Figura 13.* Borne de Batería (Imágenes Google, 2017)

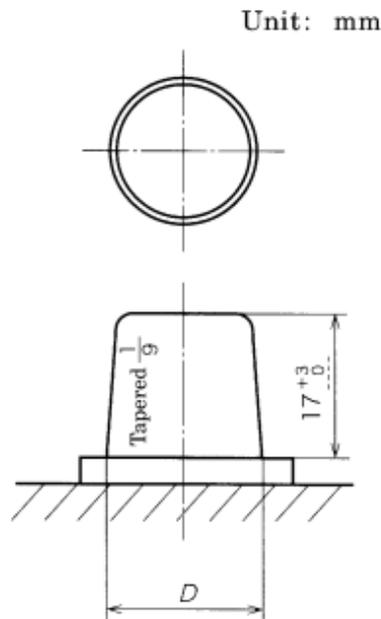
Según la norma los conectores de la batería deben tener las siguientes dimensiones mostradas en la tabla 2 y figura 14.

Tabla 2

*Electrodo conector de batería*

Clasificación de terminal	D dimensión	
	Terminal Positivo	Terminal Negativo
T1	14.7 +0/-0,3	<b>13.0 +0/-0.3</b>
T2	19.5 +0/-0.3	<b>17.9+0/-0.3</b>

*Nota:* Dimensiones de bornes (JIS D 5301, 2006)



*Figura 14.* Conector de batería (JIS D 5301, 2006)

### Aleaciones de cobre

Según Vernon, A (1944), las aleaciones de cobre y zinc son comercialmente muy importantes y se encuentra una aplicación variada dentro de la industria, esto debido a que estas aleaciones son resistentes a la corrosión, poseen una buena facilidad de maquinado y buena conducción eléctrica (Vernon, A, 1944).

Los puntos de fusión se encuentran en el intervalo de 900 °C- 1200 °C, el intervalo de solidificación es corto y la contracción de solidificación es inmediata, para ello es necesario dimensionar la mazarota, es importante que la temperatura de colado sea la adecuada ya que si no se calientan lo suficiente tienden a solidificarse antes de ingresar en las cavidades del molde, y si se colan a una temperatura superior tienden a contraerse notablemente (Ponciano, E y Venegas, E, 2011).

Uno de los factores de mayor interés es la influencia del tipo de molde debido a que la velocidad de enfriamiento está directamente relacionado con la transferencia de calor desde la colada a las paredes del molde y del molde al medio ambiente, ya que un molde metálico tiene un enfriamiento acelerado, en cambio los moldes en arena proporcionan un tiempo más largo de solidificación (Ponciano, E y Venegas, E, 2011).

### **Fundamentos FEM**

Los procesos de fundición son ampliamente utilizados para producir componentes metálicos, en varios sectores industriales como el automotriz y aeronáutico, se han dedicado muchas investigaciones al desarrollo de procesos para la producción de artículos de fundición de alta calidad a bajo costo, la demanda de piezas fundidas obliga a tener un mejor conocimiento de los fenómenos físicos que ocurren en las diferentes etapas del proceso (Ik-Tae, Woo-Seung Kim, Kwan-SooLee, 2001), para esto la simulación numérica provee un medio eficaz de análisis, ofreciendo una visión detallada del flujo del fluido dentro de la cavidad del molde, la transferencia de calor y la solidificación (Murcia, Ossa, Paniagua, 2011).

La utilización del software de elementos finitos en la actualidad está muy implantada en los distintos sectores, entre ellos la industria automotriz. La utilización de los software de elementos

finitos es fácil, sin embargo la obtención de resultados son representativos de los modelos reales, siendo necesario la utilización eficiente del software mediante analistas conocedores de este método de cálculo, para evitar altos costes se utilizan los programas de modelado y simulación en 3D debido a su fiabilidad y precisión a la hora de simular los procesos a los que están sometidas las piezas reales, evitando así la realización de una gran cantidad de ensayos destructivos. (Robert D. Cook, 2002)

Debido a la naturaleza de las ecuaciones que describen el problema, no es posible obtener una solución analítica, razón por la cual la simulación numérica provee un medio eficaz de análisis permitiendo observar y cuantificar aquellas características que no son visibles o medibles fácilmente durante los procesos de fundición, con el fin de acortar los procesos de diseño y su optimización, conduciendo a materiales de mejor calidad (Murcia, Ossa, Paniagua, 2011)

Según Caarrizosa I (2007), el cual efectuó un estudio usando un software basado en diferencias finitas para hacer los cálculos de transferencia de calor, combinado con un seguimiento de los cambios volumétricos en el metal, para predecir las variaciones de temperatura y volumen en el material al ser vaciado en el molde, solidificado y enfriado, de donde pudo obtener información como temperaturas, densidad del material en todos los puntos de la pieza, tiempo de solidificación y algunos otros elementos importantes para evaluar la calidad del diseño de la pieza.

Polianyn A (2002), manifiesta que los software especializados en dinamica computacional de fluidos usan la ecuación de Navier-Stokes en la que describe el movimiento de los fluidos tanto líquidos como gaseosos. Esta ecuación establece que los cambios en el momentum o cantidad de movimiento para volúmenes infinitesimales del fluido son simplemente la suma de

las fuerzas viscosas de disipación, similar a la fuerza de fricción, los cambios en la presión, gravedad y otras fuerzas actuando dentro del fluido, como una aplicación de la segunda ley de Newton.

Mediante el uso de métodos de elementos finitos se generan diferentes tipos de elementos de malla mediante discretización y, por lo tanto, se desarrollan matrices de rigidez para predecir la velocidad de la interfaz móvil sólido-líquido, la distribución tiempo-temperatura y la distribución de partículas en el caso de los compuestos que procesan la solidificación (Vijayaram, Sulaiman, Hamouda y Ahmad., 2006).

Muchos métodos de elementos finitos utilizan el método de malla langragiano, debido a que la malla y el líquido se mueven juntos, para ello es necesario modificar las ecuaciones de aproximación para incluir las condiciones de frontera apropiados, también se necesita modificar las ecuaciones para explicar el hecho de que en la realidad el líquido existe solamente en un lado de la superficie limite, si esto no se realiza, las asimetrías pueden provocar que no se encuentre la precisión deseada en la simulación (Esparza C, 2003).

El resultado del proceso de simulación ayuda a diseñar las piezas fundidas de manera efectiva mediante la identificación de las ubicaciones de los defectos a partir de las características geométricas de los componentes (Vijayaram et al., 2006).

Sin embargo puesto que el método de análisis de elementos finitos es una técnica numérica que convierte el dominio de una estructura en valores discretizados, los errores son inevitables, por lo tanto estos errores son:

Errores computacionales debido a errores de redondeo que provienen del cálculo de punto flotante de la computadora y de las formulaciones de los esquemas de integración numérica que se utiliza (Budynas y Nisbett, 2008).

Errores de conversión discreta el cual se refiere a los errores que existen al igualar la geometría y distribución del desplazamiento (Budynas y Nisbett, 2008).

### **Inspección de piezas**

Una de las metodologías de trabajo para conseguir la máxima eficiencia en los procesos se denomina SEIS SIGMA, el objetivo principal es llegar a un cero defectos basándose en la curva de distribución normal para conocer el nivel de variación de cualquier medición (Alderete y Colombo, 2003).

### ***Campana de gauss***

La campana de gauss se emplea en probabilidad y estadística, en la que representa la gráfica de la distribución normal de una muestra, este método se usa para la comparación entre dos o más elementos, ya sea para determinar formas geométricas o dimensiones entre puntos mediante análisis metrológicos (Alderete y Colombo, 2003).

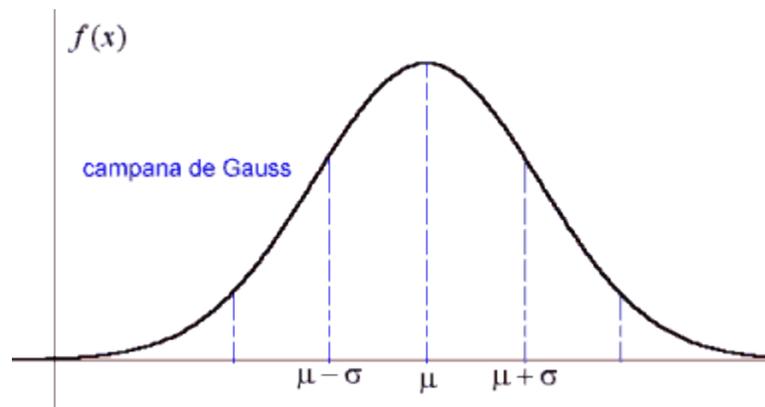


Figura 15. Representación gráfica de campana Gauss (Alderete y Colombo, 2003).

## **Método**

### **Tipo de estudio**

Se realiza el diseño y optimización de un molde permanente usando diferentes tipos de investigación existentes en busca de parámetros o condiciones de diseño preestablecidas, el estudio del presente trabajo utiliza una investigación exploratoria, debido a que, inicia desde conocimientos teóricos de ensayos metalográficos, espectrométricos, mecánica de fluidos y transferencia de calor, además se utiliza la investigación explicativa, debido a que, se analizará la relación entre las variables del diseño computarizado con el molde fabricado para dar explicación a los fenómenos que se dan durante el proceso de fundición.

### **Modalidad de investigación**

La modalidad a utilizar será de tipo mixta, debido a que, realiza un enfoque cualitativo que analiza los fenómenos que se presentan durante el colado del material en el molde obteniendo datos de documentos técnicos como artículos científicos, libros, revistas, manuales y tesis, referentes al tema en estudio, para luego utilizar una modalidad de estudio cuantitativa recolectando datos numéricos para encontrar posibles patrones de comportamiento.

### **Método Propuesto**

Inicialmente mediante la aplicación del método experimental se determina el porcentaje de aleaciones con las que está constituido el borne actual, a partir de ensayos metalográficos y espectrometría, con vista a evaluar posibles materiales disponibles en el Ecuador, con los cuales eventualmente se podría fundir el borne.

Posteriormente, como segundo paso, se aplican las ecuaciones de Nicolas Chvorinov para determinar el tiempo de solidificación, ecuación de Torricelli para calcular la velocidad de vertido, tiempo de llenado y ecuaciones de transferencia de calor como conducción-convección para determinar las condiciones teóricas bajo los cuales estará sometido el molde.

Como tercer paso se procede a diseñar el molde, modelando la pieza con el uso del software NX10, misma que incluirá asignación de los materiales obtenidos en la caracterización de los materiales del borne, posteriormente se describe cada componente del molde desarrollado justificando su finalidad.

En el cuarto paso se utilizará una herramienta computacional basada en elementos finitos especializado en procesos de fundición para realizar el análisis dinámico de llenado, con este software se puede predecir el comportamiento de la aleación dentro de la cavidad y se puede identificar posibles defectos e ineficiencias.

Como quinto paso se encuentra el Pos procesamiento, comparación e interpretación de resultados, con ayuda de la herramienta CFD se evaluarán los resultados obtenidos y serán comparados con los datos teóricos obtenidos en las primeras etapas del estudio, con el propósito de evaluar la convergencia y aproximación entre los resultados teóricos y simulados.

En el sexto paso se generan los planos de construcción y posteriormente su construcción.

Finalmente se realizaran pruebas de diagnóstico y validación, evaluando su funcionalidad y geometría convirtiéndose en una investigación ordenada, repetible hasta obtener el diseño óptimo, en esta etapa se generara una conclusión basándose en la información reunida en la investigación, garantizando y validando los resultados del modelo.

Se sintetiza el proceso como lo muestra la figura 16.

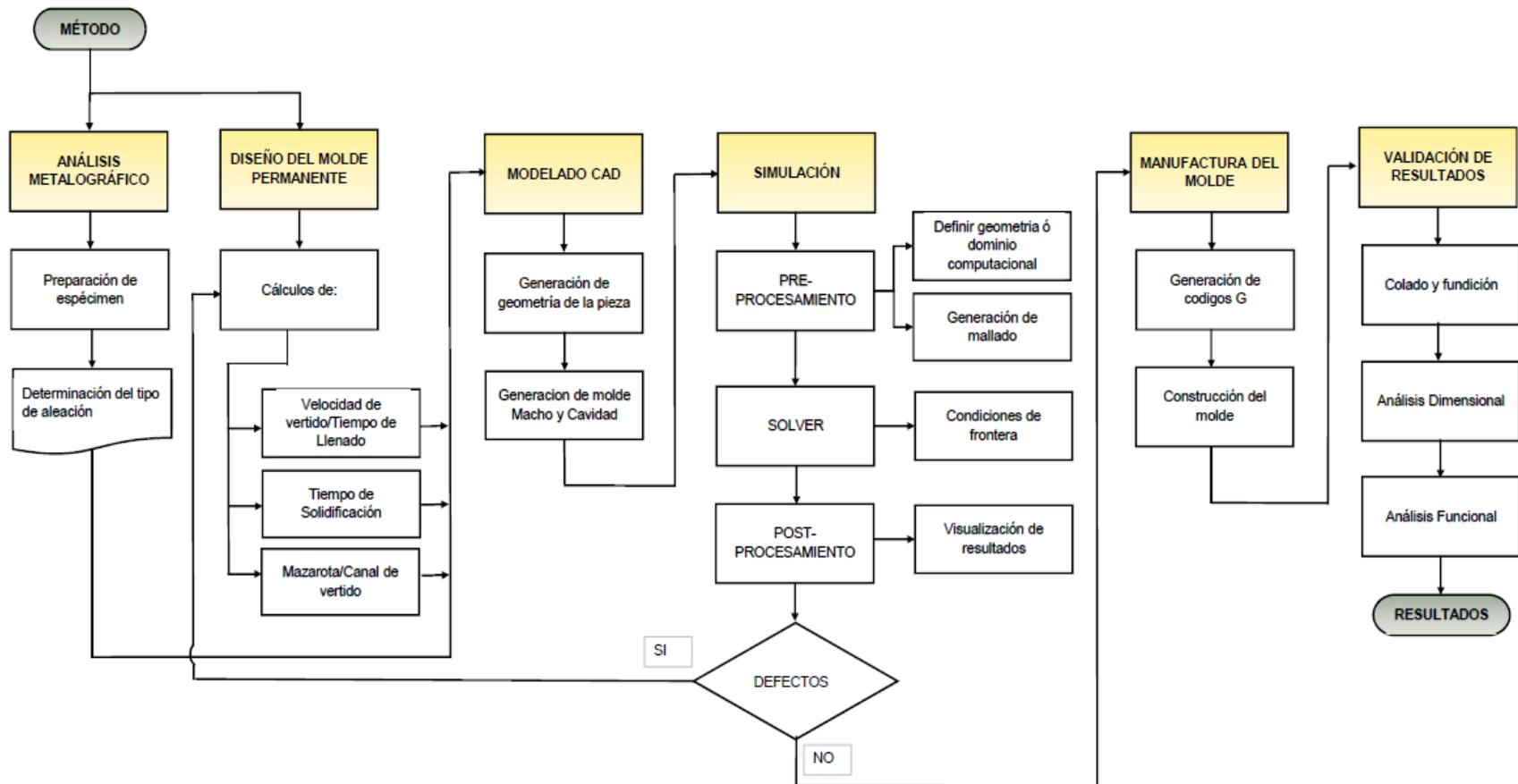


Figura 16. Método propuesto para la fabricación de un molde permanente (Autor, 2017).

### **Método experimental**

Con la aplicación de este método se determinan valores numéricos de campo en condiciones reales, a continuación se detallan las etapas que implica este método, las condiciones, instrumentos y herramientas usadas.

### **Análisis Metalográfico**

La práctica de la metalografía consiste en la remoción de una pequeña muestra del componente al que se va a evaluar, la parte seleccionada se somete a un proceso de pulido, el cual, necesariamente requiere de la aplicación de elementos químicos que permitan atacar al material y faciliten la visualización de la microestructura, la preparación incorrecta conduce a interpretaciones erróneas (Vander George, 1999).

El número de muestras requeridas para caracterizar un componente depende del tamaño, la complejidad de la pieza y la naturaleza de las condiciones del servicio. Básicamente, el muestreo debe ser adecuado para proporcionar una descripción estadísticamente confiable de la calidad del material, pero no tan extenso como para que los costos de prueba sean excesivos (Vander George, 1999).

Para no cometer errores hay que seguir el método de preparación de muestras metalográficas normalizadas por ASTM E3, son las siguientes:

#### ***Selección y extracción.***

Se procede a cortar el espécimen mediante el método más común llamado corte por abrasión o disco de corte, generalmente se recomienda cortar la muestra sumergida en refrigerante para que la superficie no se quemé y por lo tanto no cambie sus propiedades.



*Figura 17.* Corte de espécimen (Autor, 2017).

### ***Montaje.***

Se considera cuando la pieza es muy pequeña o se requiera una mejor manipulación de la muestra, para lo que se monta el espécimen en una inclusión.



*Figura 18.* Inclusiones para manipulación del espécimen (Autor, 2017).

### ***Esmerilado.***

Para poder eliminar el material de la superficie se usan abrasivos cada vez con partículas más finas, esto se lo puede realizar de forma manual o con ayuda de pulidoras mecánicas.



*Figura 19.* Esmerilado de probeta en pulidora mecánica (Autor, 2017).

*Esmerilado grueso.*

El objetivo de este proceso es eliminar las deformaciones existentes en la superficie debido al corte del espécimen, rebajándolo hasta un tamaño manejable y lograr un pulido plano, con sus caras paralelas, eliminando las aristas vivas para facilitar el trabajo de pulido grueso, se usa abrasivos de grano grueso (80-150-400) por 15 min cada lija, con agua para refrigerar y barrer partículas de la superficie como del abrasivo.



*Figura 20.* Desbastadora mecánica (Autor, 2017).

Para pasar de un papel a otro se debe obtener una superficie plana, uniforme y las rayas deben estar en una misma dirección. Una vez logrado esto, se gira la muestra 90° y se procede de la misma manera. Luego ya se está en condiciones de pasar a otra lija más fina. Se recomienda en esta etapa cambiar el agua para que no queden partículas en suspensión.

Para este proceso se utiliza las pulidoras de grano medio y de grano fino dando un acabado con rugosidades pequeñas. Se procede a lijar la probeta hasta un acabado con rugosidades mínimas.



*Figura 21. Pulidora de lija (Autor, 2017).*

#### *Esmerilado fino.*

El procedimiento es igual al anterior pero con lijas de (400-1000-1500), cuando se termina de lijar las marcas deben estar en la misma dirección y con una cara perfectamente plana, con rayas muy finas.

#### *Pulido.*

Las pulidoras de paño es un equipo cuya finalidad es dar un acabado en el orden de los micrómetros a las probetas, normalmente usan velocidades que se encuentran entre 150 a 600 rpm, para esto se requiere empapar al paño de un abrasivo pequeño con un pulimento  $Al_2O_2$  en pasta, la muestra se la traslada lentamente en sentido contrario al giro del disco para obtener una superficie con mejores resultados en cuanto a la planitud, también evitando el efecto cola de cometa. Este último paso de pulido sirve para revelar la microestructura.



*Figura 22.* Pulidora de paño (Autor, 2017).

### ***Ataque químico.***

El objetivo del ataque químico es remover el material distorsionado de la superficie mediante el uso de una solución acida o básica que ataca a la superficie a una velocidad que varía con la orientación cristalina para posteriormente observar la muestra bajo el microscopio, como los cristales tienen distintas direcciones, los cristales adyacentes se disuelven por la solución del ataque a distintas profundidades, produciendo el efecto de altiplano, como resultado se observara la posición de los límites de los cristales.

Se aplica el reactivo recomendado por ASTM E-407 para aleaciones de cobre - bronce, en este caso se usa el reactivo número 35 que contiene la siguiente composición química.

Tabla 3

*Composición química de reactivo número 35.*

Cant	Unidad	Composición Química
20	<i>g</i>	<i>FeCl<sub>3</sub></i>
5	<i>ml</i>	<i>HCl</i>
1	<i>g</i>	<i>CrO<sub>3</sub></i>
100	<i>ml</i>	<i>Agua</i>

*Nota:* La tabla mostrada se encuentra en la norma ASTM E-407, p.8.

El manipular este tipo de reactivos es un riesgo, por lo tanto, se recomienda el uso de guantes de látex y gafas de protección.



*Figura 23.* Aplicación de reactivo en probeta (Autor, 2017).



*Figura 24.* Visualización de probeta después de ataque químico (Autor, 2017).

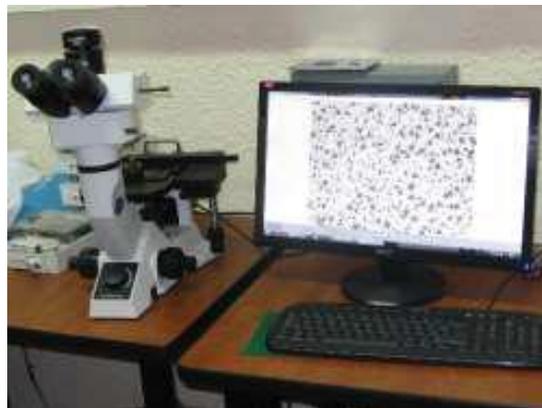
***Visualización en el microscopio óptico.***

Se observa en el microscopio las aleaciones de las que está constituido el espécimen y se procede a identificar sus microestructuras, identificando el tamaño del grano y forma.



*Figura 25.* Ubicación de muestra en microscopio (Autor, 2017).

Se usa un microscopio metalográfico compacto invertido GX41, posee una resolución espacial de 0.2mm, es un equipo portátil diseñado específicamente para la evaluación rápida y confiable de muestras metalográficas. El equipo permite evaluar las propiedades metalúrgicas de las probetas y compararlas con las especificaciones de fabricación.



*Figura 26.* Microscopio metalográfico (Autor, 2017).

***Determinación del tamaño del grano.***

El tamaño de grano se determina a menudo cuando se consideran las propiedades de los materiales policristalinos y monofásicos. Es importante darse cuenta de que, para cada material, los granos constitutivos tienen una variedad de formas y una distribución de tamaños.

Se utiliza el método de comparación, consiste en comparar las estructuras de grano con cartas de referencia basadas en áreas de grano, es decir, número de granos por unidad de superficie (ASTM E-112, 2012).

El tamaño de grano se expresa como el número de la carta con la que se fotografía tiene mayor coincidencia, por lo tanto, esta técnica considera una determinación visual relativamente simple, la asignación del número de tamaño de grano es el siguiente.

$$L = \frac{L_T}{P \cdot M} \quad (1)$$

Donde la suma del número total de intersecciones se representa por  $P$ , y la longitud total de todas las líneas por  $L_T$ , la magnificación  $M$ , la longitud media de intercepción  $L$  se la determina mediante la ecuación 1 propuesta por Callister y Rethwisch (2016).

La magnificación es igual a la siguiente expresión.

$$M = \frac{\text{Longitud de escala de medición}}{\text{Número que aparece en la barra de escala}} \quad (2)$$

La asignación del número de tamaño de grano a estas cartas es el siguiente, sea el número de tamaño de grano  $G$ , y  $n$  número medio de granos por pulgada cuadrada, con una ampliación de  $X$  100.

$$n = 2^{G-1} \quad (3)$$

Smith. F y Hashemi. J (2010) afirma que:

En terminos generales, un material puede clasificarse como grano grueso cuando  $n < 3$ ; de grano medio  $4 < n < 6$ ; de grano fino  $7 < n < 9$  y de grano ultrafino,  $n > 10$ . (p.120)

Para determinar el número de tamaño de grano ASTM se emplea la siguiente ecuación.

$$G = -6,6457 \log L - 3,298 \quad (4)$$

### **Espectrometría**

Este método consiste en una descarga eléctrica en una atmosfera de argón entre la superficie plana de la muestra y la punta de un electrodo semipermanente, el arco se enciende mediante una chispa de baja intensidad de corriente que ocasiona la formación momentánea de iones que transforman en conductor el espacio entre los electrodos, la energía de la descarga es suficiente para remover material de la superficie, las energías radiantes se convierten en señales eléctricas mediante tubos fotomultiplicadores para posteriormente digitalizarse mediante un computador, para la ejecución del análisis es necesario preparar la superficie de la muestra de tal manera que quede completamente plana, el acabado puede ser rugoso ya sea torneado o fresado (ASTM E1251, 2007).



*Figura 27.* Espectrometría en borne de fabricación nacional (Autor, 2017).

### **Método analítico**

Este método implica el uso de ecuaciones fundamentales que rigen el proceso de fundición, dentro de los procesos se tiene dos etapas importantes donde se tiene el metal fundido en estado líquido y la segunda etapa es la solidificación.

El metal fundido en estado líquido se puede analizar utilizando las ecuaciones de mecánica de fluidos tradicional, ya que el metal se comporta como un fluido newtoniano, esto significa que su viscosidad se puede considerar constante en el tiempo, cabe recalcar que la viscosidad depende de la temperatura.

Posteriormente después de llenarse el molde el metal empieza a solidificarse, en esta etapa el material pierde calor hacia las paredes del molde por convección y por conducción.

### **Llenado del molde**

Las leyes de conservación de masa, momento y energía son utilizadas para formular modelos matemáticos de llenado del molde y la solidificación de la pieza de fundición, estas ecuaciones tienen formulaciones de forma diferencial y también de forma integral, a las ecuaciones que vienen formuladas en forma diferencial se las conoce como ecuaciones de Navier-Stokes (Badano y Menéndez, 2014).

### **Ley de conservación de la masa**

Esta ley indica que un sistema cerrado contiene la misma cantidad de materia, es decir, su masa se mantiene constante, aplicándola a un fluido establece que la rapidez con que se acumula la masa es igual al flujo total neto en el elemento, y este flujo total neto es la diferencia entre el flujo de entrada y el de la salida de masa.

La ecuación de la continuidad que expresa la ley de la conservación de la masa en su forma diferencial según Potter M y David W (2008) es:

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot v = 0 \quad (5)$$

Donde el vector velocidad es  $v = ui + vj + wk$ , el escalar  $\nabla \cdot v$  es llamado divergencia del vector velocidad.

Para un fluido incompresible su densidad se mantiene constante.

$$\frac{D\rho}{Dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

### Ley de conservación de movimiento

Esta ley establece que la cantidad de movimiento total de un sistema cerrado que no se encuentra afectado por fuerzas externas y cuyas fuerzas internas no se disipan, estas permanecerán constantes en el tiempo, su forma diferencial se expresa:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot v) + \nabla \cdot (\rho \cdot v \otimes v) = \rho \cdot f + \nabla \cdot \tau \quad (7)$$

Momento en X:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{1}{Re_f} \left[ \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right] \quad (8)$$

Momento en Y:

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{1}{Re_f} \left[ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right] \quad (9)$$

Momento en Z:

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{1}{Re_f} \left[ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right] \quad (10)$$

### **Ley de conservación de energía**

Esta ley enuncia el balance de energía total, tanto la interna como la cinemática, sobre el volumen de control, esta puede ser obtenida de la ecuación de la energía total por sustracción de la energía cinemática, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_{vx} \frac{\partial T}{\partial x} + \rho C_{vy} \frac{\partial T}{\partial y} + \rho C_{vz} \frac{\partial T}{\partial z} = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + S \quad (11)$$

Donde k es la conductividad térmica del material y en este caso se puede considerar que no cambia dentro del material, C es la capacidad calorífica y S es una fuente de calor dentro del volumen si acaso está presente, para obtener la derivación completa de esta ecuación el lector puede consultar en el libro (Potter et al.,2008).

### **Cálculo de la mazarota y canal de vertido.**

La mazarota es un volumen de control que está ubicado en una zona estratégica con la finalidad de contener el mayor tiempo posible el metal fundido en estado líquido, el cual, debe actuar como reserva de material al momento de solidificación y contracción de la pieza fundida (Askeland, 2011).

Por lo tanto es necesario el cálculo de este elemento con la finalidad de obtener el diámetro y altura para que cumpla su función. Existen dos criterios para analizar las dimensiones de este elemento, el primero se basa en que el volumen total de la mazarota debe ser mayor al volumen de la contracción de la pieza, el segundo criterio propone que el módulo de enfriamiento de la mazarota debe ser mayor al módulo de enfriamiento de la pieza (Beckermann y Kent, 2009).

La expresión para el proceso de cálculo utilizado en el criterio de volumen de mazarota propuesto por Askeland (2011), es el siguiente:

$$Vm = Vp \cdot k \cdot c \quad (12)$$

Donde  $V_m$  es el volumen de la mazarota,  $V_p$  es el volumen de la pieza,  $c$  es el coeficiente de contracción volumétrica del metal se muestra en la tabla 4,  $k$  es el coeficiente dependiente del tipo de mazarota, si el camino de la mazarota a la pieza es largo normalmente se toma  $k = 2$  (Askeland, 2011).

Para determinar el volumen de la pieza se utiliza el Software NX10 en el que se verifica el volumen y superficie del sólido.

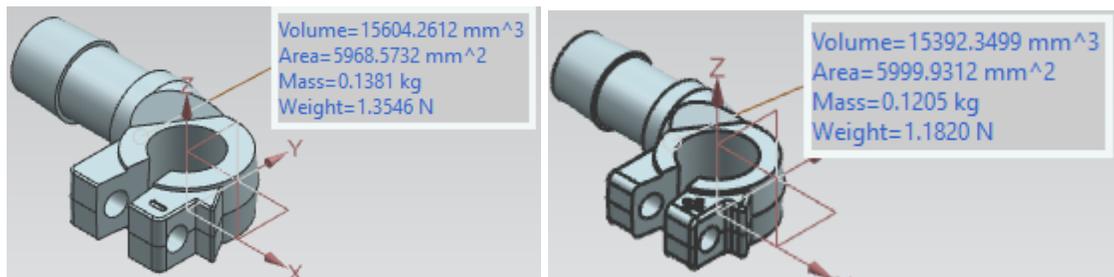


Figura 28. Volumen y área borse positivo y negativo en NX10 (Autor, 2017)

Tabla 4.

*Coefficientes de contracción volumétrica del metal.*

Metal o aleación	% de contracción
Fundición Gris	3-5
Fundición blanca	6-7
Fundición nodular	4-5
Aceros No Aleados	5-7
Aceros muy aleados	8-10
Bronces de Sn	5-7
Bronces de Al	4-5,5
Latones	6-7
Cobre	4-5
Aluminio	5-7
Aleaciones ligeras	5-8
Aleaciones de Mg	4-5
Níquel	5-6

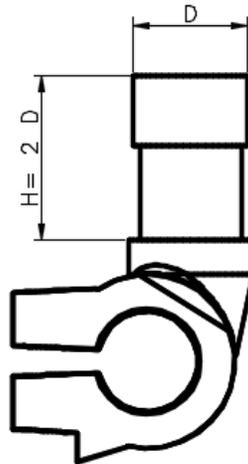
Cuproníquel	5-5,5
Cinc	4-4,5

*Nota:* Parte de la información de (Askeland, 2011)

Con el volumen de la mazarota se calcula el diámetro, el cual, será dado por el volumen de un cilindro como se muestra en ecuación 13, por lo general la altura es igual a 2 veces el diámetro de la mazarota como se muestra en ecuación 14 y la figura 29 (Askeland, 2011).

$$Vm = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot H \quad (13)$$

$$H = 2D \quad (14)$$



*Figura 29.* Borne de batería (Autor, 2017).

Reemplazamos en las ecuaciones 12, 13,14 y se determina el diámetro según la ecuación 15.

$$D^3 = \frac{2(Vp \cdot k \cdot c)}{\pi} \quad (15)$$

El criterio de módulo de enfriamiento es un parámetro geométrico que en alguna forma representa la velocidad o el tiempo de enfriamiento de la pieza, suponiendo un valor uniforme del coeficiente de transmisión de calor en toda la superficie, se determina a partir de la siguiente expresión.

$$M_{ep} = \frac{Vp}{Sp} \quad (16)$$

Donde  $M_{ep}$  es el módulo de enfriamiento de la pieza,  $Sp$  es la superficie de la pieza,  $Vp$  es el volumen de la pieza, esta ecuación es una simplificación de la regla de Chvorinov, fue concebido por Wlodawer el cual demostró que existe una relación entre el tiempo de solidificación y el parámetro del volumen con respecto a una superficie (Askeland, 2011).

Para el módulo de enfriamiento de la mazarota se recomienda un 25 % adicional del módulo de enfriamiento de la pieza (Askeland, 2011).

$$M_{em} = 1.25 \cdot M_{ep} \quad (17)$$

Donde  $M_{em}$  es el módulo de enfriamiento de la mazarota.

Para determinar el volumen de la mazarota se tiene la siguiente expresión:

$$Vm = M_{em} \cdot Sm \quad (18)$$

Donde  $Sm$  la superficie de la mazarota.

### **Cálculo de la velocidad de vertido**

Para poder definir la velocidad de vertido es necesario la utilización de la formulación de Torricelli, la expresión es:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (19)$$

Donde  $v$  es la velocidad de vertido,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $h$  es la altura entre el pico de descarga de la cuchara de vertido de colada al vertedero (Mott R, 2006)

Según Campbell (1991), la velocidad de vertido adecuada para que un metal fundido fluya laminarmente dentro del molde sin generar turbulencias que generen defectos en la pieza es de 0.25m/s y 0.5m/s, si esta velocidad sobrepasa de 1m/s, es muy probable que las piezas salgan defectuosas, además Esparza C (2003) afirma que el reducir la velocidad permite que en el

sistema los oxidados y otras inclusiones no metálicas floten y se mantengan alejadas del frente del metal.

### **Tiempo de llenado**

Para determinar el tiempo de llenado se procede a determinar el caudal con el que fluido se va a verter en el molde.

$$Q = v \cdot A \quad (20)$$

Donde  $Q$  es el caudal del fluido,  $A$  es el área transversal del bebedero.

Después de determinar el caudal se procede a calcular el tiempo de llenado del molde, la expresión es:

$$T_{llenado} = \frac{V_p}{Q} \times k \quad (21)$$

Según Garces (2016), este es el tiempo en el cual, el metal fundido se cola por toda el área transversal del vertedero, sin embargo esto no es viable debido a que el chorro de metal fundido que ingresa al molde es menor, como compensación el factor  $k = 2$ , estos valores fueron escogidos en base a un promedio de tiempos de llenado.

### **Cálculo del tiempo de solidificación**

Para determinar el tiempo de solidificación de la pieza se utiliza el concepto de la regla de Chvorinov (Jelinek, P. y Elbel, T. , 2010).

$$t_s = B \left( \frac{V}{A} \right)^n \quad (22)$$

Donde  $t_s$  es el tiempo de solidificación,  $V$  es el volumen de la pieza colada y representa la cantidad de calor que debe eliminarse antes de que ocurra la solidificación,  $A$  es el área de la superficie de la pieza colada en contacto con el molde y representa la superficie a partir de la

cual puede transferirse el calor fuera de la pieza colada,  $n$  es una constante, por lo regular alrededor de 2 y  $B$  es la constante del molde, esta constante depende de las propiedades y temperaturas iniciales del metal.

Para calcular  $B$  se usa la ecuación 23, como se mencionó anteriormente es la contante del molde, esta va a depender de las propiedades del molde y del metal que se va a colar (Jelinek, P et.al 2010)

$$B = \left[ \frac{\rho_m \cdot L}{(T_m - T_0)} \right]^2 \left[ \frac{\pi}{4 \cdot k \cdot \rho \cdot c} \right] \left[ 1 + \left( \frac{c_m \Delta T_s}{L} \right)^2 \right] \quad (23)$$

Donde  $\rho_m$  es la densidad del metal en  $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$ ,  $L$  es el calor latente de fusión del material en  $\left(\frac{J}{Kg}\right)$ ,  $T_m$  es la temperatura de fusión/solidificación del material en  $(^\circ K)$ ,  $T_0$  es la temperatura inicial del molde en  $(^\circ K)$ ,  $k$  es la conductividad térmica del molde en  $\left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)$ ,  $\rho$  es la densidad del material del molde en  $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$ ,  $c$  es el calor específico del molde en  $\left(\frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}\right)$ ,  $C_m$  es el calor específico del material  $\left(\frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}\right)$ ,  $\Delta T_s$  es la variación de temperatura del material entre  $(T_{vertido} - T_m)$  en  $(^\circ K)$ .

### **Numero de cavidades del molde.**

El número de piezas producidas va a ser igual a la sumatoria de tiempos empleados en obtener el borne.

$$tiempo\ total = T_{llenado} + t_s + t\ de\ armado + t\ de\ desarmado \left(\frac{min}{pieza}\right) \quad (24)$$

Esto significa que se realiza una pieza en el tiempo total de producción.

El número de piezas producidas debe ser mayor o igual al número de piezas requeridas.

$$\# \text{ piezas producidas} \geq \# \text{ piezas requeridas} \quad (25)$$

### **Diseño de partes del molde**

Para partir con el diseño de las partes del molde se sabe que se debe fabricar bornes positivos y negativo, además se posee la pieza requerida que fue provista por representantes de OMNIBUS BB, con estas premisas se ha optado por el diseño individual de los moldes tanto para bornes positivos como negativos.

Por lo tanto se necesita de los siguientes requerimientos.

- Fácil salida de los gases
- Facilidad de montaje y desmontaje de las piezas que conforman el molde.
- Fácil desmontaje de pieza fundida.
- Peso apropiado para maniobrarlo fácilmente
- Fácil mantenimiento.

### **Modelado CAD tridimensional.**

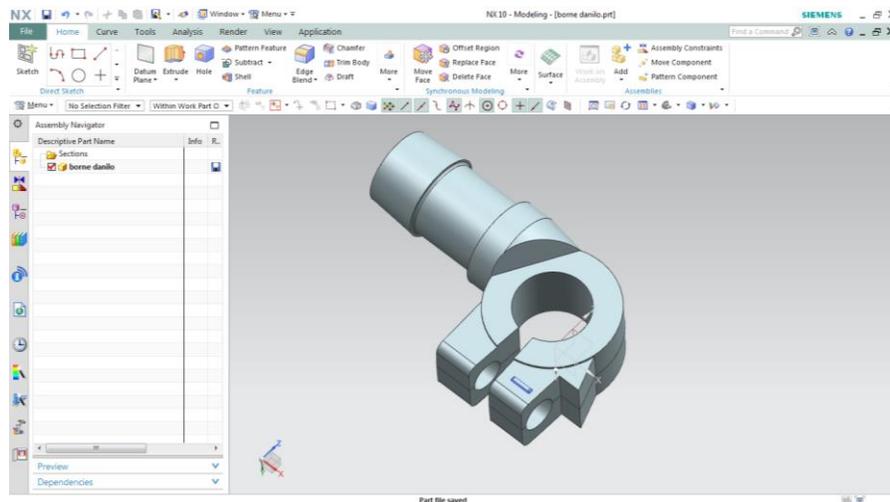
El modelado CAD trata de digitalizar la información física de la geometría de la pieza en estudio en base a las dimensiones originales del borne proporcionado por representantes de OMNIBUS BB, para el efecto se emplea el software del fabricante Siemens NX versión 10, como herramienta computacional se emplea un procesador Intel Core i7 de 2.5Ghz, con una memoria RAM de 8 Gb y un sistema operativo de 64 bits, cave recalcar que es de suma importancia la exactitud geométrica puesto que la diferencia entre medidas causan incertidumbre en los resultados de la simulación computacional.

El levantamiento de información física se la realiza con herramientas de precisión, como, Calibrador pie de rey.



*Figura 30.* Medición de borne original (Autor, 2017).

El entorno de trabajo para el modelado de los componentes del molde se muestra en la figura 31.



*Figura 31.* Modelado de borne negativo (Software Siemens Industry, 2017)

### Ubicación de la línea de partición.

Después de haber generado el sólido que se va a fundir se procede a revisar las línea de partición del molde, esta es una línea de separación entre las 2 caras de los moldes, es decir, sus dos mitades, generalmente se la ubica de tal manera que abarque un plano único y la pieza pueda ser desmoldada con facilidad, en nuestro caso se deberá tener 2 líneas de partición como se muestra en la figura 32.

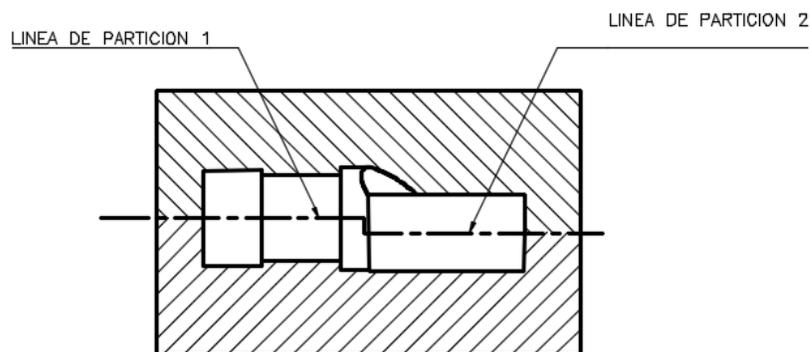


Figura 32. Línea de partición (Autor, 2017).

### Angulo de desmolde

Este ángulo ayuda con la extracción de la pieza sin dañar la superficie del molde, este varía entre  $3^\circ$  y  $6^\circ$  (Garces, 2016).

### Evacuación de gases

El sistema de evacuación de gases es uno de los elementos más importantes, debido a que, si no tiene una rápida evacuación del aire y los gases del interior, se presentan defectos como burbujas, estos respiraderos para evacuar los gases, según Campbell (1991) deben tener un espesor tal que no permita que la colada salga por estas aberturas.

### Selección del material para el molde.

Para la selección del material del molde permanente se debe considerar los siguientes aspectos:

- Temperaturas de colada.
- Temperatura de trabajo del molde
- Recubrimiento.
- Tratamiento térmico.

El material del molde debe ser un acero con buena resistencia para trabajos en caliente, resistencia al choque térmico, buena estabilidad dimensional, y resistencia a la fatiga, no debe deformarse o cambiar de tamaño incontrolablemente durante el ciclo (Ajay, Mahesh, Mukherjee, 2014).

A nivel de Ecuador existen 2 empresas que distribuyen aceros especiales en este caso el AISI P20 y cada casa comercial provee con materiales para moldes con distintos nombres, estos son:

BOHLER del Ecuador en sus manuales sugiere la utilización del acero M238 para moldes que van a ser sometidos a altas temperaturas, con buen acabado superficial, a continuación se muestra sus propiedades químicas en la tabla 5.

Tabla 5

#### *Propiedades químicas M238*

Análisis típico %	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
	0.38	0.30	1.5	2.0	1.10	0.2
Normal equivalentes	400CrMnNiMo8-6-4, AISI P20					

*Nota:* Se indica los valores porcentuales de las aleaciones del acero M238, con las normas equivalentes (Bohler, 2016)

IVAN BOHMAN sugiere la utilización del acero IBCA: 718, que posee alta resistencia al desgaste, resistencia al impacto en altas temperaturas, buen acabado superficial, a continuación en la tabla 6 y tabla 7 se muestra sus propiedades.

Tabla 6

*Propiedades químicas IBCA: 718*

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S
Análisis típico %	0.37	0.3	1.4	2.0	1.0	0.2	<0.010
Normas equivalentes	UNE F-5303, F-3404, AISI P20						
Estado de suministro	Templado y revenido a 290-330 HB						

*Nota:* Se indica los valores porcentuales de las aleaciones del acero IBCA: 718, con las normas equivalentes y el estado de suministro del acero (Ivan Bohman, 2015)

Tabla 7

*Propiedades Físicas IBCA: 718*

Temperatura	20°C	200°C
<b>Densidad</b>		
$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	7800	7750
<b>Módulo de elasticidad</b>		
$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	205 000	200 000
$\frac{\text{KPa}}{\text{mm}^2}$	20 900	20 400
<b>Coefficiente de dilatación Térmica</b>		
$\frac{1}{\text{C}^{\circ-1}}$	-	$12,7 \times 10^{-6}$

<b>Conductividad Térmica</b>		
$\frac{W}{m \text{ } ^\circ C}$	460	-
<b>Limite Elástico Rm</b>	1020	930
$\frac{N}{mm^2}$		
<b>Limite Fluencia Rp<sub>0,2</sub></b>	900	800
$\frac{N}{mm^2}$		

*Nota:* Se indica los valores porcentuales de las aleaciones del acero IBCA: 718, con las normas equivalentes y el estado de suministro del acero (Ivan Bohman, 2015)

### Método CFD

Después de haber generado el sólido en 3D de la pieza a fundir y del molde se procede a realizar la simulación de llenado y solidificación de la pieza, permitiendo evaluar los posibles defectos de llenado, para de esta manera modificar los diseños, optimizando el proceso con el uso de menos recursos que anteriormente eran utilizados para probar el molde.

Con la simulación computacional se demuestra que se logra realizar el diseño de piezas futuras con un ahorro significativo de dinero, debido a que, se evita los costos de horas hombre y materiales.

Para lograr este paso se debe realizar el modelado del patrón en 3D, usando el software NX versión 10, seguido del software ANSYS licencia educacional con el módulo Fluent, para realizar la simulación de llenado y solidificación de la pieza, permitiendo observar los fenómenos que suceden mientras se va llenando el molde.

El modelado como parte inicial del proceso se lo muestra en el anexo 2 con las dimensiones generales.

Se modela la pieza base incluyendo a la mazarota en la posición en la que se va a evaluar las cargas.

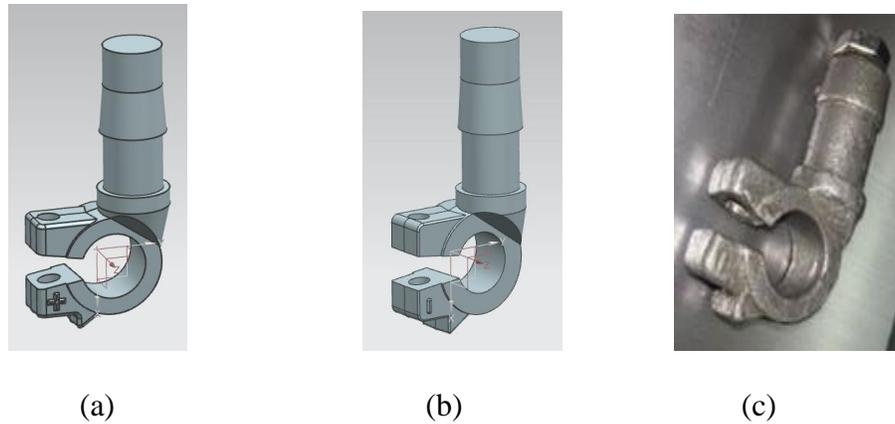


Figura 33. (a) Modelado de bornes positivo. (b) Modelado borne negativo (c) Borne Patrón (Autor, 2017).

Previo al procedimiento de mallado se debe tener en cuenta que el software solo analiza volúmenes, es decir, solamente el volumen del fluido que va a llenar el molde, además no es necesario incluir el molde ya que se crea un gasto computacional que no repercute en el resultado, además al ser parecidos los bornes en su geometría como en sus dimensiones solo se va a analizar el borne positivo, posteriormente se procede a importar el archivo al software ANSYS, para ello es necesario usar el módulo DesignModeler, como se muestra en la figura 34.

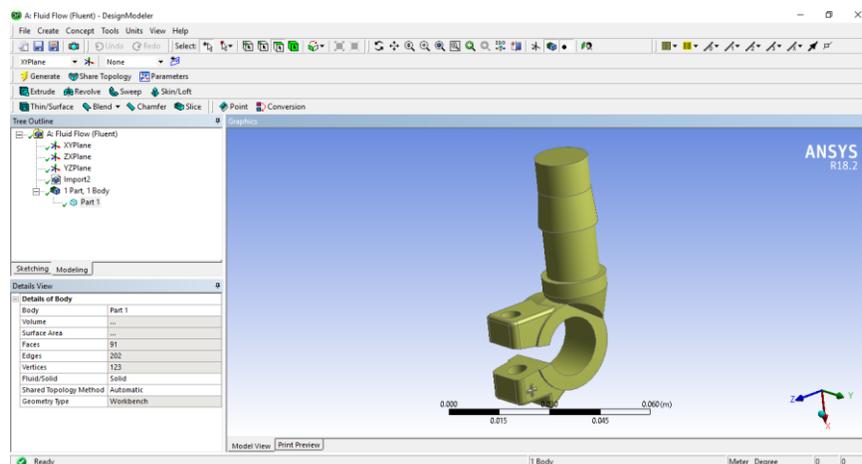
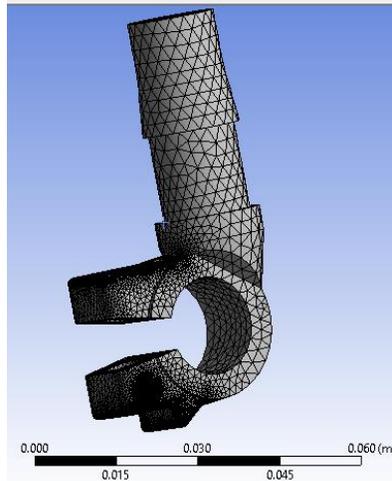


Figura 34. Entorno de trabajo Design Modeler borne positivo en ANSYS (Autor, 2017).

### Generación de malla numérica

Según J. Xamán (2016) juega un papel importante el tamaño de malla ya que está relacionado con la incertidumbre de la solución numérica, mientras más pequeño sea el tamaño de la malla, menor será el error de discretización, sin embargo esto causara un mayor gasto computacional que dependiendo del fenómeno a estudiar muchas veces es innecesario.

Cuando se trabaja con geometrías complejas es necesario considerar un mallado no estructurado ya que permite que los elementos se agrupen con mallados finos en zonas de radios cerrados, y un tamaño de malla más gruesa en zonas volumétricas con geometrías no tan complicadas, otro criterio a considerar es la suavidad de la malla ya que de esta dependen los cambios de volumen en el esquinamiento de los elementos adyacentes y puede conllevar un error por la diferencia existente en las derivadas parciales de las ecuaciones del flujo en su forma discreta (J. Xamán ,2016).



*Figura 35.* Vista 3D de mallado en borne positivo (Autor, 2017).

Los resultados obtenidos en el mallado se muestran en la tabla 8.

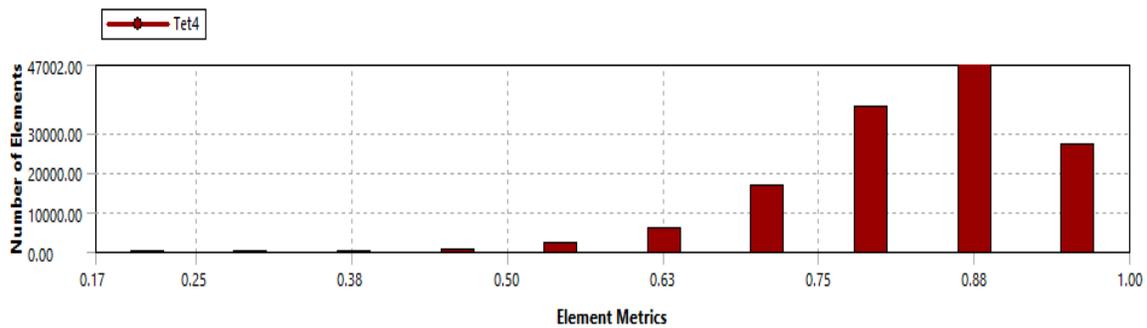
Tabla 8

*Mallado en módulo mesh ANSYS.*

Resultados de mallado	
Número Elementos	134986
Número Nodos	27165

*Nota:* Se indica los valores en el mallado (Autor, 2017).

La calidad del elemento en la malla se muestra en la figura 36, los elementos con buena calidad de malla se acercan a 1 y los de baja calidad tienden a 0 (ANSYS, Inc, 2009). En la tabla 9 se indican los valores mínimos y máximos de la calidad.



*Figura 36.* Grafica calidad del elemento en el mallado (Autor, 2017).

Tabla 9.

*Calidad del elemento en el mallado del borne de batería.*

	Resultado	Número de elementos
Mínimo	0.214	4
Máximo	0.999	47000
Promedio	0.8314	39079

*Nota:* Se indica la calidad en el mallado (Autor, 2017).

### Ingreso de condiciones físicas y de cálculo

Para el ingreso de los parámetros dentro del software hay que seguir los siguientes pasos pre-establecidos por el programa.

En la opción general se despliega una pantalla en la que se debe seleccionar el algoritmo que se va usar para realizar los cálculos, en nuestro caso de estudio se selecciona la solución basada en la presión, se especifica que el problema que se va analizar en el dominio del tiempo es transitorio, para las velocidades se usa la formulación velocidad absoluta, además se ingresa la gravedad, en la tabla 10 se muestra como se ingresaron los datos.

Tabla 10.

#### *Configuración de opciones generales*

General	
Type	Pressure-Based
Velocity Formulation	Absolute
Time	Transient
Gravity	9.81 m/s (X)

Como siguiente paso se tiene varios modelos de estudio, para este caso se usa el modelo multifase en el que se utiliza el volumen de fluido, el resto se ubica por default del programa.

Tabla 11.

#### *Configuración del modelo multifase.*

Multiphase Model	
Model	Volume of fluid
Volume Fraction Parameters	Implicit
Interface Modeling type	Sharp
Volumen Fraction Cutoff	1e-06

El modelo de la viscosidad con los que se simula el llenado del molde, se usa el parámetro  $k - \epsilon$  ya que este modelo usa dos ecuaciones, la primera ecuación describe el flujo de la energía cinética turbulenta  $k$  y la segunda ecuación representa la disipación de la energía que se genera por la turbulencia (ANSYS, Inc, 2009).

Tabla 12.

*Configuración del modelo viscosidad.*

Viscous Model	
Model	k-epsilon (2 eqn)
k-epsilon model	Standard
Near Wall Treatment	Standard Wall Function

El modelo de solidificación y fundición activa automáticamente el módulo de energía, ya que los dos van de la mano para resolver las ecuaciones de Navier-Stokes que gobiernan la solidificación y colado (ANSYS, Inc, 2009).

Tabla 13.

*Configuración de ventana de solidificación y fundición y configuración de ventana de energía.*

Solidification And Melting	
Solidification/Melting	√
Mushy Zone Parameter	100000
Energy Equation	√

Posterior a la selección de los modelos de estudio se procede a ingresar los materiales y sus respectivas fases, el material a usarse se lo definió como Cu60 Zn35 según el informe del anexo 1, las propiedades de ese material se las ingresa en el software como lo indica la tabla 14.

Tabla 14.

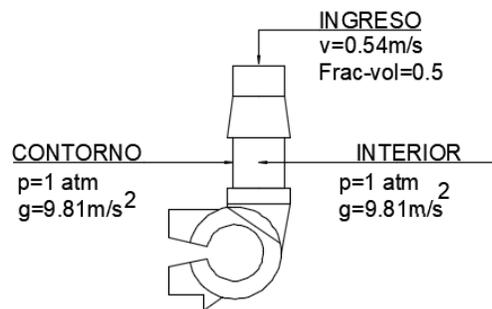
*Ingreso de datos de aleación de cobre.*

Solidification And Melting	
Density (Kg/m <sup>3</sup> )	8530
Cp (especific heat) (J/Kg-°K)	375
Termal Conductivity (W/m-°K)	120
Fusión point (°K)	1083

### Condiciones de frontera

Se seleccionan los límites geométricos y se configuran las distintas funciones para los dominios generados en el proceso de mallado, estas condiciones de frontera son necesarias para obtener un resultado preciso (ANSYS, Inc, 2009).

Se selecciona 2 fronteras, ingreso de la colada, pared, como lo indica la figura 37.



*Figura 37.* Gráfico de condiciones de frontera para el llenado (Autor, 2017).

### Condiciones de cálculo numérico

Dentro de las condiciones de cálculo tenemos los métodos de solución que posee ANSYS *fluent*, en este caso se escogió el método PISO, este es un método basado en el método SIMPLE y SIMPLC, (ANSYS, Inc, 2009).

Tabla 15.

*Método de solución PISO.*

Solution Methods	
Scheme	PISO
Skewness Correction	1
Neighbor Correction	1

Es necesario para esta simulación ajustar el valor de fracción volumétrica, en este caso dentro de la pieza sería 0 debido a que se indica que está vacío, en la simulación de solidificación se ajusta el valor de la temperatura inicial de las paredes, en nuestro caso es 473°K.

### Simulación

En este módulo se debe seleccionar el tamaño de tiempo adecuado para la solución y el número de pasos, en este caso se configuran 160 pasos y el tamaño de 0.1, el número de iteraciones por el paso de tiempo se puede definir como la cantidad de veces que el solucionador resuelve las ecuaciones para estabilizar la solución (ANSYS, Inc, 2009).

Después de iniciar el proceso de solución de las ecuaciones numéricas, las curvas permiten monitorear los residuos respecto a la solución exacta, en la figura 38 se observa si la solución converge.

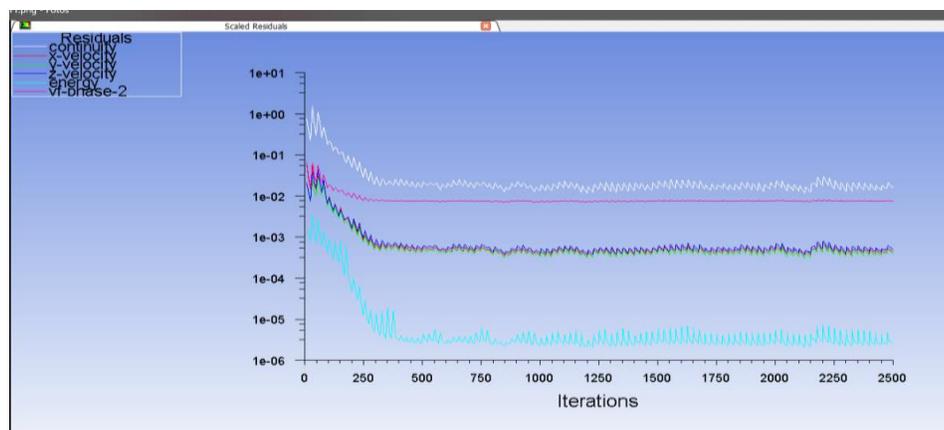


Figura 38. Solución de ecuaciones de estado estable (Autor, 2017).

Indicando con color blanco la convergencia de la solución a la ecuación de la continuidad o conservación de la masa, de color rosado la convergencia de la solución al cambio de estado líquido a sólido o fracción sólida, de color celeste indica la convergencia de la solución a la ecuación de la energía, como último los colores rojo, verde, azul se obtiene la convergencia a la ecuación de movimiento en los tres ejes x,y,z.

## Post-procesamiento

En este módulo, *Fluent* recoge los datos y los expresa en graficas en las cuales se analizan las variables, basándose en las gráficas se puede detectar posibles fallas en las distintas etapas de llenado, las cuales se pueden tomar como referencia para la optimización en el diseño del molde.

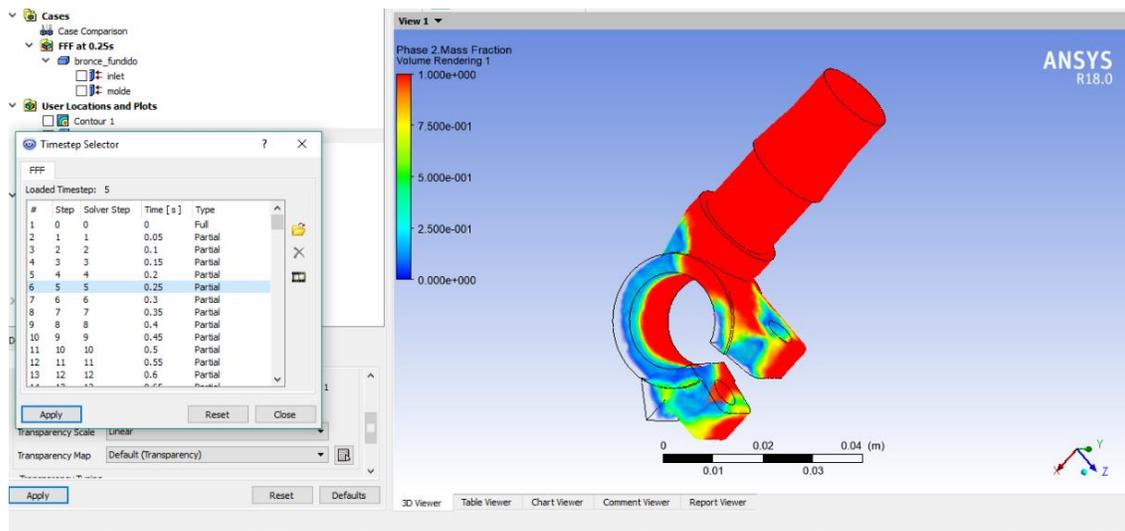


Figura 39. Post-procesamiento de datos en borne positivo (Autor, 2017).

## Manufactura de moldes para bornes positivos y negativos

Después de la generación del modelo en 3D del molde se procede a idealizar la pieza para poder verificar su geometría, a continuación se muestran los pasos a seguir para la manufactura del molde permanente.

## Prototipado

Nos permite comprobar que los mecanismos ejecuten de manera correcta sus movimientos, además se puede verificar montajes entre piezas y tolerancias adecuadas, ayudando en la toma de decisiones en cuanto a tiempos de producción, costos de producción y optimización de recursos (Diaz y Carmona, 2008). Además posibilita efectuar en un tiempo corto diversas pruebas geométricas para una pieza.

Previo al mecanizado de los moldes se usa manufactura aditiva mediante modelado por deposición fundida con una impresora 3D, para generar los componentes del molde y así comprobar su funcionalidad en una escala 1:1, para lograr este proceso se utiliza una estructura interna tipo panel para reducir el peso y disminuir el consumo de material polimérico en la pieza.

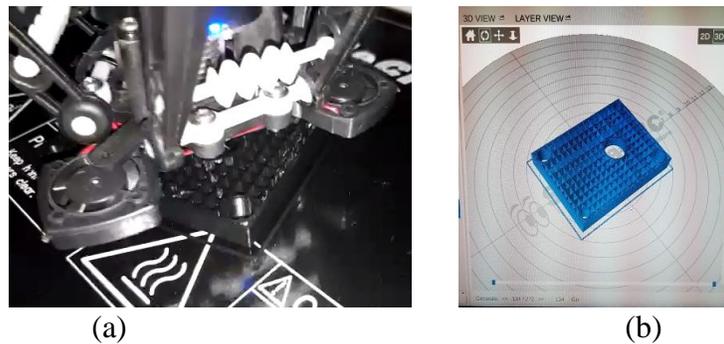


Figura 40. Estructura interna tipo panel (Autor, 2017).

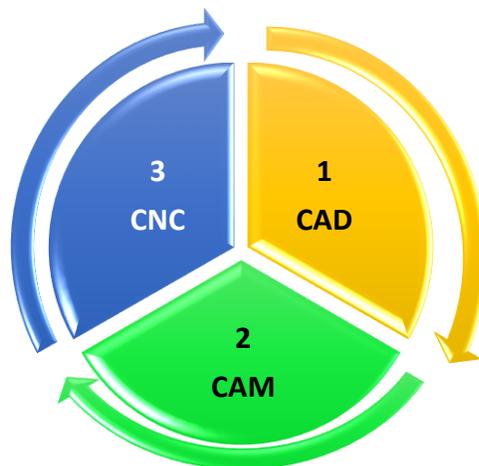
Para la ejecución de este proceso se usa una impresora Rostock Max V3, con una mesa de trabajo de diámetro 265mm y una altura de trabajo de 400mm, el material empleado en la impresión es ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) con un diámetro de alambre 1.75mm, el resultado se muestra en la figura 41.



*Figura 41.* Impresora Rostock Max V3 (Imágenes Google, 2017).

### **Mecanizado de Molde**

La manufactura se basa en el sistema CAD/CAM, por parte del CAD los moldes se definen mediante los planos, mientras que el CAM se basa en el uso de computadores para el manejo de equipos CNC, usa códigos numéricos y alfanuméricos para establecer posiciones entre la pieza y la herramienta.



*Figura 42.* Flujograma CAD-CAM (Autor, 2017)

La herramienta CAM obtiene el proceso de mecanizado, es decir, el lenguaje de programación de la geometría para mecanizar la pieza, en la que proporciona el tiempo de mecanizado y

permite una simulación del proceso, después de generar el código, este es exportado hacia la máquina.

Se utiliza el módulo de manufactura (NX CAM Software) que proporciona el fabricante Siemens NX versión 10, esta versión dispone de una amplia variedad de funciones, desde la sencilla programación de control numérico hasta el mecanizado de eje múltiple de alta velocidad, lo que permite realizar muchas tareas utilizando un único sistema. Gracias a la flexibilidad de NX CAM Software se pueden realizar fácilmente trabajos muy complejos (Software Siemens Industry, 2017)

Además, se usa un centro de mecanizado marca LEADWELL modelo V25 control FANUC 21-M, sus características principales se muestran en la tabla 16.

Tabla 16.

*Características centro de mecanizado.*

Características principales centro de mecanizado	
Orientación de husillo	Vertical
Numero de ejes	3
Dimensiones de mesa	30"x 15"
Desplazamiento en X	2"
Desplazamiento en Y	16"
Desplazamiento en Z	16"
Velocidad de husillo	8000 RPM
Potencia de motor	10 HP
Magazine de herramientas	20 estaciones

*Nota:* Se muestra las características principales del centro de mecanizado (LEADWELL CNC MACHINES MFG.,CORP., 2013)

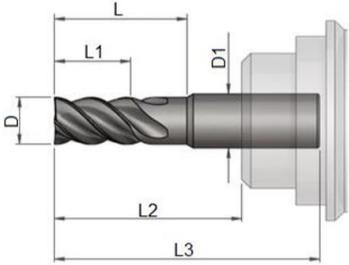
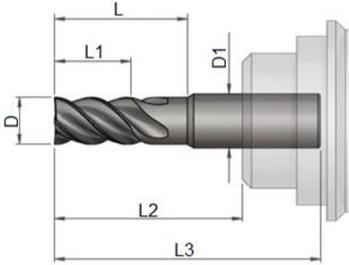
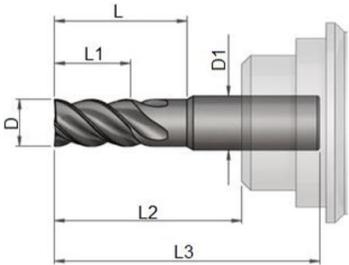
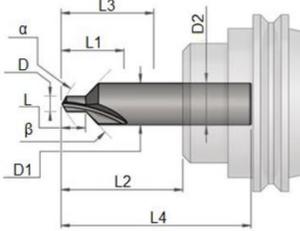
**Magazine de herramientas**

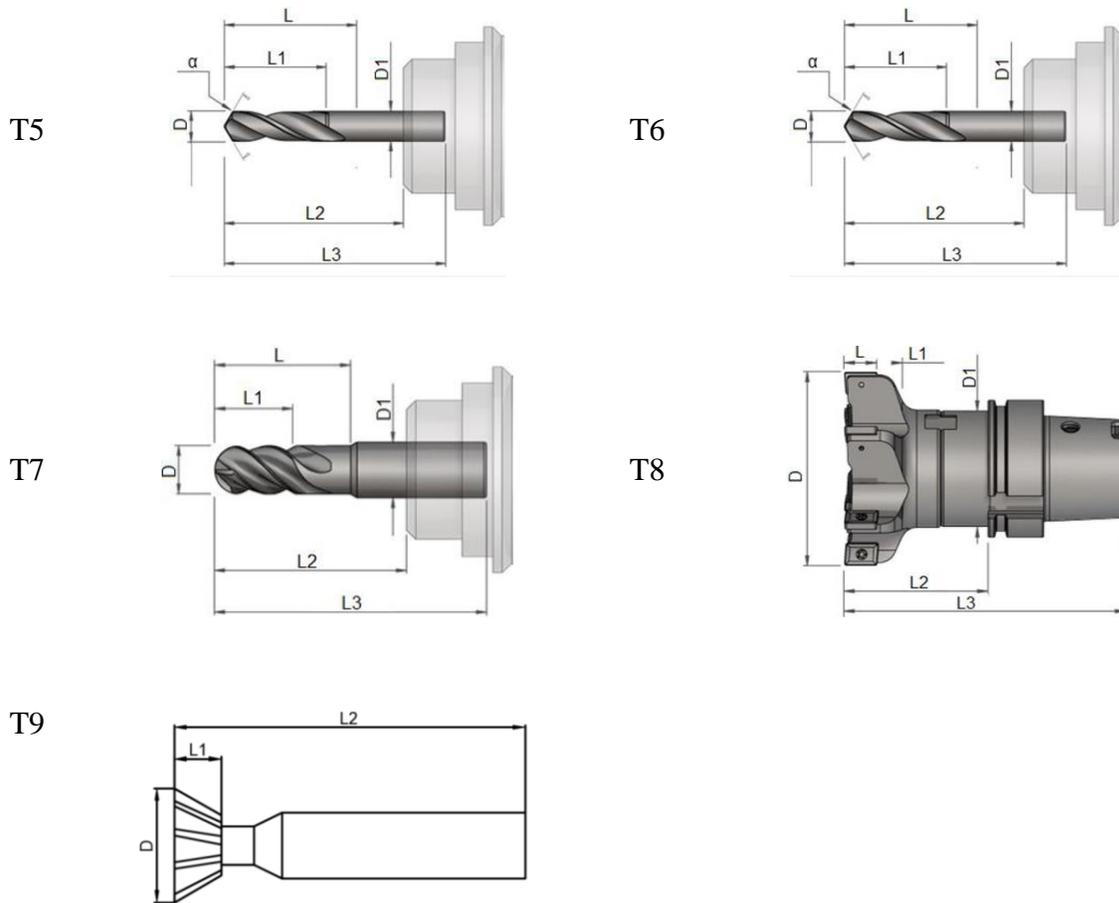
Las herramientas que se usan en el proceso de mecanizado son escogidas de acuerdo al material y el tipo de operación a realizar según el manual de Ivan Bohman.

En total son 9 herramientas, a continuación, se observan en la tabla 17 las dimensiones y forma de la herramienta, se utiliza la letra T seguida de un número para nombrar cada herramienta.

Tabla 17.

*Magazine de herramientas*

# T	Gráfico	# T	Gráfico
T1		T2	
T3		T4	



*Nota:* en esta tabla se indica el tipo de herramienta a utilizar en cada proceso para la obtención de los moldes permanentes (Autor, 2017).

Tabla 18.

*Dimensiones de herramientas*

Herramienta	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
D(mm)	20	6	12	4.7	9.5	6.5	3	50	14
L1(mm)	38	19	25	10	75	65	7	25	9
L2(mm)	104	57	73	20	105	90	38	35	45

*Nota:* Se indica las dimensiones de herramienta (Ivan Bohman, 2015).

### Material en bruto

El material en bruto se refiere a la provisión del material con sobre medida, en este caso el material a utilizarse es el P20 comercializado por Aceros Bohler con el nombre M238, las dimensiones brutas del material son:

Tabla 19.

#### *Dimensiones Brutas de materiales.*

	Dimensiones			
	Diámetro	Largo	Ancho	Espesor
Moldes	-	400	120	30
Insertos	-	140	75	20
Corazones	35.8	150	-	-

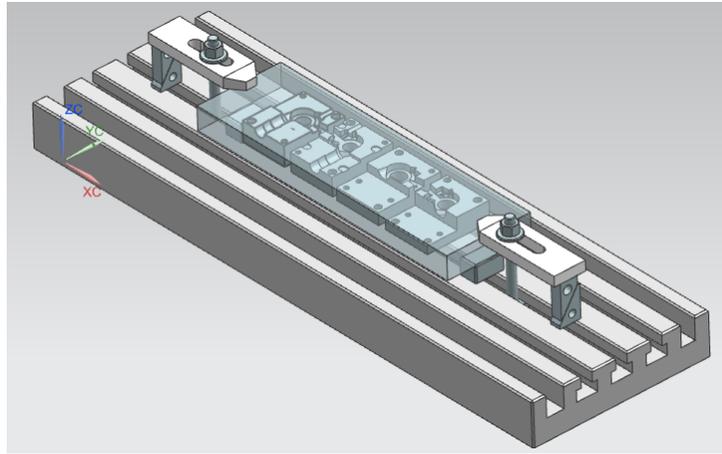
*Nota:* Se indica las dimensiones de herramienta (Ivan Bohman, 2015).

### Sujeción de la pieza

El centro de mecanizado posee elementos que ayudan a soportar y sostener la pieza mediante arranque de viruta, se utilizan espaciadores rectificadas que sirven para apoyar las placas, se encuentran ubicadas en el mismo lugar donde se van apoyar las bridas de sujeción, permitiendo el desahogo de la viruta y a la vez evita colisiones de la herramienta con la mesa manteniendo la integridad de la misma.

Las bridas tienen un apoyo escalonado en el otro extremo, permitiendo la regulación de altura y un apriete al mismo nivel, impidiendo la aparición de movimientos longitudinales y transversales en la pieza que se va a mecanizar, hay que tener en cuenta que la herramienta no colisione con los elementos de sujeción.

El sistema está compuesto por un esparrago, brida, tuerca y soporte escalonado de sujeción como se muestra en la figura 43.



*Figura 43.* Sistema de sujeción (Autor, 2017).

### **Fases de trabajo**

La mayor parte del trabajo se concentra en la parte superior de la placa, por lo que, se ha unido las 4 cavidades para ser mecanizadas en un solo bloque, además sirve como elemento de sujeción, facilitando el maquinado de las superficies de la pieza.

Por lo tanto se tienen 2 lados de mecanizado, girando el bloque  $180^\circ$  en su eje longitudinal, para ello se necesita tener el cero pieza en las mismas caras como referencia como se indica en la figura 44.

Las velocidades de corte y los avances de la herramienta con las que se van a mecanizar las cavidades internas, agujeros y ranuras están dados en el anexo 3.

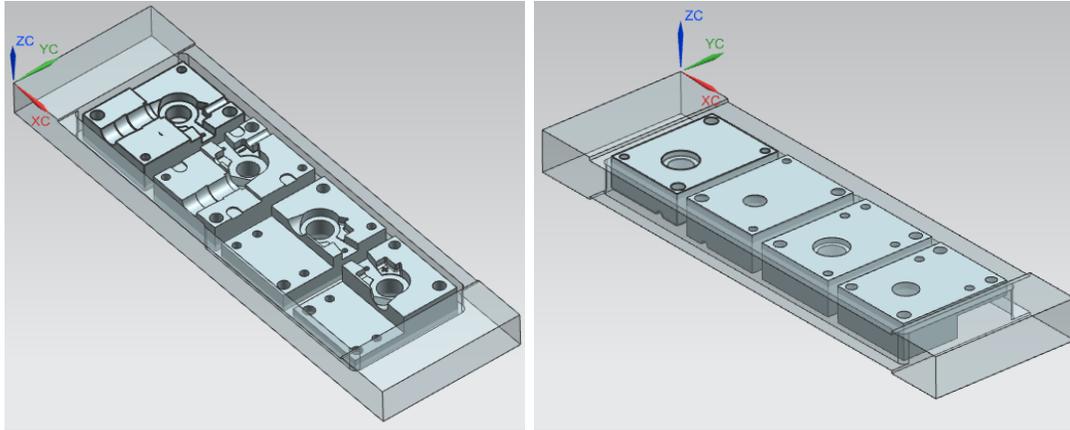


Figura 44. Cero pieza (Autor, 2017).

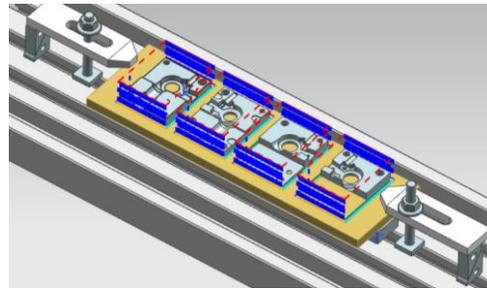
A continuación en la tabla 20 se detalla el proceso de fase de trabajo para obtener las cavidades.

Tabla 20

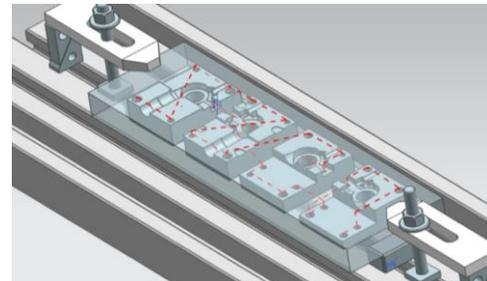
*Fase de Trabajo para la fabricación de molde permanente de bornes para batería.*

Fase	Operación	Grafico
<b>CARA SUPERIOR</b>		
1.1	El primer desbaste corresponde a la remoción de la mayor cantidad de material innecesario en las 4 piezas, dejando una sobre medida de pared y de fondo de 0.5mm, con la herramienta T1.	
1.2	Desbastar las cavidades internas del molde dejando una sobre medida de pared y fondo de 0.5mm con herramienta T2.	

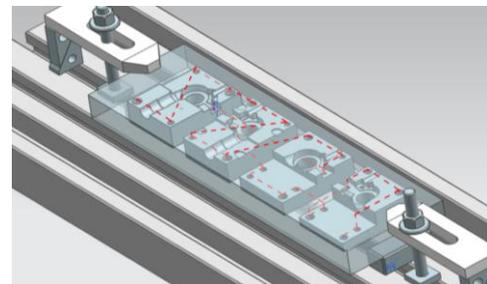
- 1.3 Desbastar el contorno de cada cavidad hasta llegar a un espesor de 5mm con T3.



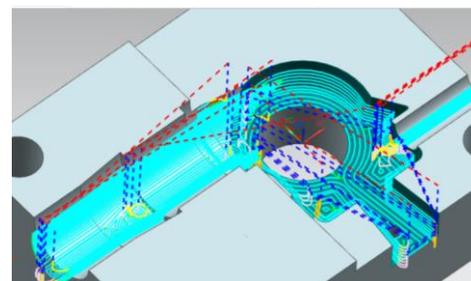
- 1.4 Perforación de agujeros superficiales con broca de centros T4.



- 1.5 Perforación de agujeros pasantes en las 4 cavidades de diámetro 9.5 y 6.5 con T5 y T6 respectivamente.



- 1.6 Afinado de las cuatro superficies cóncavas con fresa de punta esférica T7.

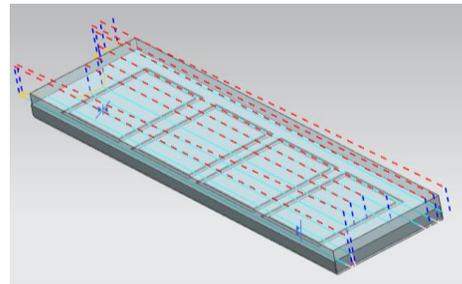



---

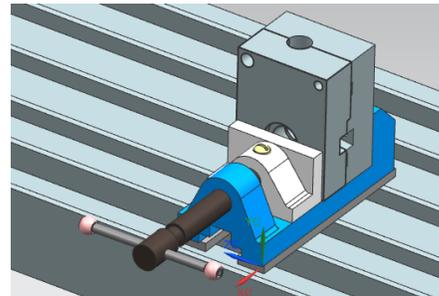
CARA POSTERIOR

---

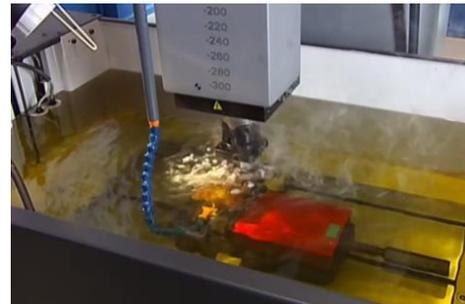
- 2.1 Se desbasta mediante planeado el material con la herramienta T8



- 2.2 Se afina la cavidad cilíndrica interna con herramienta T9



- 2.3 Electroerosión de la cavidad en forma triangular y signos positivo y negativo



### Tiempos de mecanizado

Tiempos de mecanizado registrados en el simulador son referenciales ya que no toma en cuenta los tiempos muertos en el cambio de herramienta, en la tabla 21 se muestra el tiempo empleado en cada operación.

Tabla 21.

*Tiempos de mecanizado*

Fase	Operación	Tiempo
1	Mecanizado de cara superior	1.9 hr
2	Mecanizado de cara posterior	0.9 hr
3	Mecanizado de corazones	2 hr
4	Electroerosión	9 hr
Tiempo Total		13.8 hr

**Presupuesto de fabricación.**

El presupuesto para la construcción del molde permanente para fabricación de bornes de batería se divide en dos partes, la primera en el costo de materiales y la segunda en el costo de mecanizado.

Tabla 22.

*Costo de materiales*

Ítem	Descripción	Material	Costo (USD)
1	Placa para mecanizar las cavidades de los 2 moldes.	M238	114.95
2	Placa para mecanizar insertos de moldes	M238	18.05
3	Eje para mecanizar los corazones de los moldes	M238	12.35
		TOTAL	145.35

*Nota:* El costo de los materiales no incluye IVA se lo puede revisar en el anexo 1 (Autor, 2017).



El programa generado, es procesado por el controlador del centro de mecanizado y traducido a los movimientos y acciones de los que dispone la maquina CNC, en el anexo 9 se encuentran los códigos para el mecanizado del molde.

### **Protocolo de pruebas**

Se selecciona la aleación Cu60 Zn35 elegida en el resultado de espectrometría, se eleva la temperatura en un horno a gas GLP con un crisol de hierro fundido recubierto térmicamente, llegando a la temperatura de fusión del material en 1.5 horas, este ensayo fue realizado en la empresa FUNDIALEACIONES donde disponen de las aleaciones de cobre para poder efectuar esta prueba.



*Figura 46.* Horno con crisol de hierro fundido recubierto térmicamente (Autor, 2017).

Paralelamente 10 minutos antes del colado se precalientan los moldes a una temperatura entre 150 °C y 200 °C como se muestra en la figura 47.



*Figura 47.* Pre calentamiento del molde (Autor, 2017).

Para medir la temperatura de los moldes se usa un pirómetro infrarrojo de marca ennoLogic, las características se las muestra en la tabla 24.

Tabla 24

*Especificaciones técnicas de termómetro infrarrojo.*

Características	Especificaciones
Modelo	eT650D
Rango	0 °C a 1050°C
Precisión	± 2 °C

*Nota:* en esta tabla se indica modelo, rango, precisión de termómetro eT650D (EnnoLogic, 2015).



*Figura 48.* Termómetro infrarrojo apuntando a moldes (Autor, 2017).

Posterior a calentar los moldes se procede a imprimir una capa de pintura térmica con yeso 60%, grafito 30% y 10% de carbón, esto con la finalidad de facilitar el desmoldeo (Shepel y Paolucci, 2002).



*Figura 49.* Moldes con capa para desmoldeo (Autor, 2017).

Para las pruebas del molde se requiere de un operario para que lo arme y desarme, es necesario el uso de guantes de napa, lentes de protección visual, martillo.



*Figura 50.* Moldes ensamblados (Autor, 2017).



*Figura 51.* Colado en molde permanente (Autor, 2017).

Posterior al colado se procede a desmoldar y se obtiene el borne fundido como se muestra en la figura 52.



*Figura 52.* Obtención de borne fundido (Autor, 2017).

## Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la aplicación de los métodos desarrollados en el capítulo anterior, a continuación se muestran los resultados obtenidos con el método experimental, posteriormente los resultados del método analítico y finalmente los resultados por el método CFD.

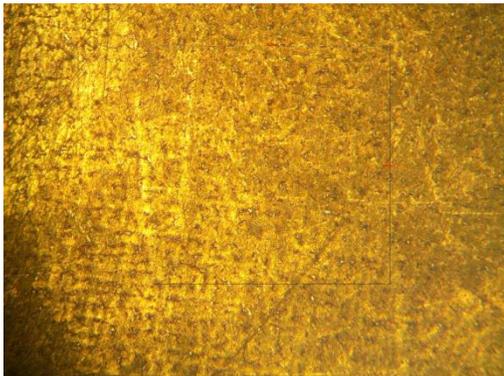
### Resultados método experimental

#### Ensayo metalográfico

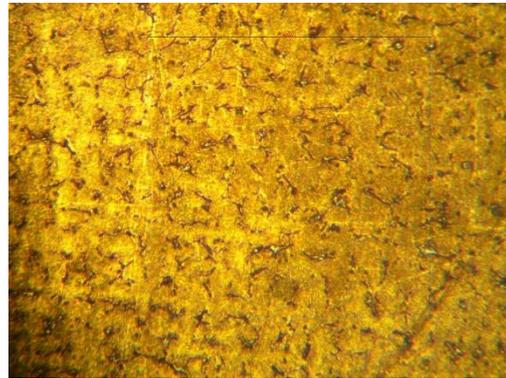
Como se indicó anteriormente la probeta se somete a varios procesos para la obtención final del espécimen y poderlo analizar en el microscopio, teniendo los siguientes resultados mostrados en la tabla 25.

Tabla 25.

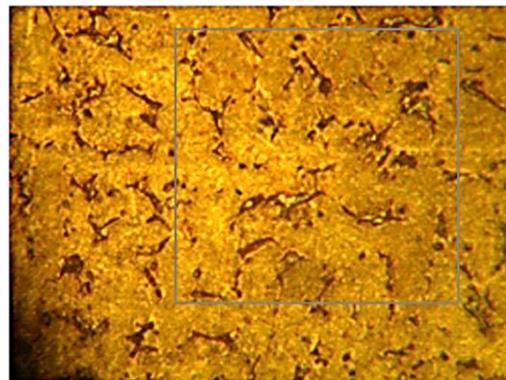
*Resultados de ensayo metalográfico.*

Descripción	Imagen
Especimen a 10 X	

Espécimen a 20 X



Espécimen a 100 X

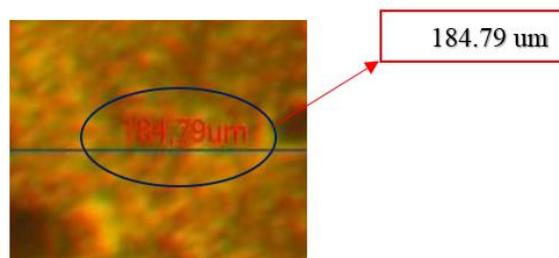


---

*Nota:* Imágenes captadas en el ensayo metalográfico (Autor, 2017)

### Determinación del tamaño de grano

Primero se determina el aumento de la micrografía utilizando la ecuación 2, al medir la longitud de la barra de escala de la imagen de la tabla 25 del espécimen a 100X y se encuentra que es 35mm ó 35 000 $\mu m$  y dado que la barra de escala es de 184.79  $\mu m$  como lo indica la figura 53 el aumento es:



*Figura 53.* Barra de escala en micrografía (Autor, 2017).

$$M = \frac{35\,000\ \mu\text{m}}{184.79\ \mu\text{m}} = 189$$

Con la ayuda de AutoCAD se aclaran los límites de grano y procedemos a rayar 7 líneas del mismo tamaño como lo indica en la figura 54, en este caso las líneas miden 50mm, por lo tanto

Lt en la ecuación 1 es:

$$L_T = (7\ \text{lineas}) (50\ \text{mm}/\text{línea}) = 350\text{mm}$$

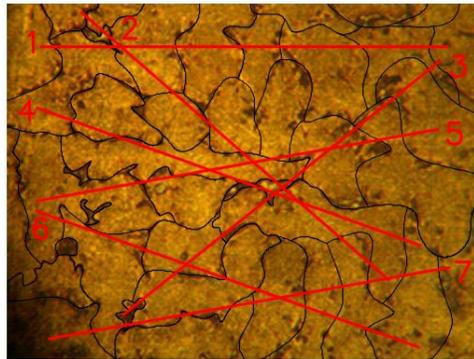


Figura 54. Proceso de rayado en método de intersección (Autor, 2017).

Posteriormente se cuenta el número de intersecciones que posee cada línea y se tabula, a continuación se indica en la tabla 26.

Tabla 26.

*Numero de intersecciones de límites de grano.*

Números de línea	Números de intersecciones de límites de grano
1	7
2	10
3	11
4	4
5	6
6	7
7	10
Total	55

*Nota:* Se muestra la cantidad de intersecciones de límites de grano (Autor, 2017).

Por lo tanto aplicando la ecuación 1 nos queda.

$$L = \frac{350 \text{ mm}}{(55 \text{ intersecciones del limite de grano}) \times (189)} = 0.0336 \text{ mm}$$

Este valor de L se lo reemplaza en la ecuación 4 para determinar el tamaño del grano y se obtiene el siguiente resultado.

$$G = 6.49$$

Para determinar el número nominal de granos se usa la ecuación 3.

$$n = 44.94$$

En la tabla 27 se indica el número de tamaño de granos establecida por la ASTM.

Tabla 27.

*Tamaño de grano ASTM.*

Número de tamaño de grano	Numero nominal de granos	
	Por $mm^2$ a 1 X	Por $in^2$ a 100 X
1	15.5	1.0
2	31.0	2.0
3	62.0	4.0
4	124	8.0
5	248	16.0
6	496	32.0
7	992	64.0
8	1980	128
9	3970	256
10	7940	512

*Nota: Se muestra número nominal de grano (Smith. F y Hashemi. J, 2010)*

### Espectrometría

Los resultados de este ensayo fueron realizados en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, a continuación se muestra en la tabla 28.

Tabla 28.

*Elemento aleantes que componen el borne fabricado a nivel nacional.*

Borne de batería		
Elemento	Símbolo	Valor (%)
Cobre	Cu	59.91
Zinc	Zn	34.36
Plomo	Pb	2.325
Estaño	Sn	1.2
Fosforo	P	0.138
Manganeso	Mn	0.025
Hierro	Fe	0.534
Níquel	Ni	0.569
Silicio	Si	0.295
Aluminio	Al	0.168
Azufre	S	0.06
Arsénico	As	0.165
Bismuto	Bi	<0.005
Selenio	Se	0.176

*Nota:* Son los valores obtenidos en el análisis de espectrometría por chispa, informe se encuentra en Anexo 8 (Autor, 2017).

Según los valores obtenidos se tratan de un latón bruto de colada utilizada en accesorios para lámparas y pinzas de baterías, resistente a la corrosión y buena maquinabilidad, sus propiedades mecánicas y propiedades físicas se muestran en la tabla 29 y 30 respectivamente.

Tabla 29.

*Propiedades mecánicas de aleación obtenida mediante espectrometría.*

Aleación	Número UNS	Condición	Propiedades mecánicas		
			Resistencia mecánica (MPa)	Limite elástico (MPa)	Ductilidad (%A 50 mm)
Latón amarillo	C85400	Bruto de colada	234	83	35

*Nota:* Se muestran los valores de propiedades mecánicas de aleación (Callister y Rethwisch, 2016).

Tabla 30.

*Propiedades físicas de aleación obtenida mediante espectrometría.*

Propiedades físicas		
Descripción	Unidad	Cantidad
Punto de fusión líquida	$^{\circ}F$	1725
Punto de fusión sólida	$^{\circ}F$	1700
Densidad	$lb/in^3$ at $68^{\circ}F$	0.305
Gravedad específica	-	8.44
Conductividad eléctrica	% IACS at $68^{\circ}F$	20
Conductividad térmica	$BTU/(h.ft.^{\circ}F)$	50.8
Calor específico	$BTU/(lb.^{\circ}F)$ at $68^{\circ}F$	0.09

*Nota:* Se muestran los valores de propiedades físicas (Copper Development Association Inc, 2017)

**Resultado método analítico****Calculo de la mazarota y canal de vertido*****Borne positivo***

A continuación se detalla el proceso de cálculo utilizando el criterio de volumen, aplicando la ecuación 15, con los datos de la tabla 4 y el volumen obtenido se tiene:

$$D = 1.11 \text{ cm}$$

La altura de la mazarota está dada por la ecuación 7, por lo tanto:

$$H = 2.22 \text{ cm}$$

Aplicando el criterio de módulo de enfriamiento se tiene:

$$M_{ep} = 2.56 \text{ mm}$$

Aplicando la ecuación 10 se tiene:

$$M_{em} = 3.2 \text{ mm}$$

Se sabe que la mazarota es cilíndrica por lo tanto se aplica la fórmula del volumen de un cilindro para obtener el diámetro

$$V_m = M_{em} \cdot S_m$$

Aplicamos la ecuación 7 que nos indica que  $H = 2D$ , la reemplazamos en la ecuación 11.

$$D = \frac{9 \times 3.2 \text{ mm}}{2} = 14.4 \text{ mm} = 1.4 \text{ cm}$$

Según Askeland (2011), regularmente en piezas pequeñas se usa como mazarota al canal de vertido, sin embargo se debe tener en cuenta que la mazarota tenga su propio volumen para evitar rechupes, además se toma el valor más alto calculado anteriormente para proceder a determinar las dimensiones de la mazarota, en este caso 1.4 cm de diámetro, sin embargo por motivos constructivos y como factor de seguridad se determina un diámetro de 16mm y una altura de 22mm.

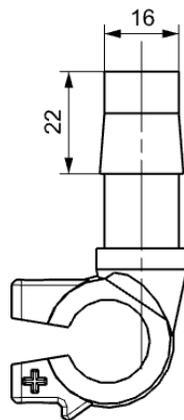


Figura 55. Dimensiones de la mazarota borne positivo (Autor, 2017).

### ***Borne negativo***

De la misma manera se procede a determinar el diámetro bajo el criterio de volumen, a continuación se detalla el proceso de cálculo, aplicando la ecuación 8, con los datos de la tabla 4 y el volumen obtenido se tiene:

$$D = 1.12 \text{ cm}$$

La altura de la mazarota está dada por la ecuación 7, por lo tanto:

$$H = 2.24 \text{ cm}$$

Aplicando el criterio de módulo de enfriamiento se tiene:

$$M_{ep} = 2.61 \text{ mm}$$

Aplicando la ecuación 10 se tiene:

$$M_{em} = 3.26 \text{ mm}$$

Se sabe que la mazarota es cilíndrica por lo tanto se aplica la fórmula del volumen de un cilindro para obtener el diámetro

$$V_m = M_{em} \cdot S_m$$

Aplicamos la ecuación 7 que nos indica que  $H = 2D$ , la reemplazamos en la ecuación 11.

$$D = \frac{9 \times 3.26 \text{ mm}}{2} = 14.67 \text{ mm} = 1.46 \text{ cm}$$

De la misma manera se toma el valor más alto calculado anteriormente para proceder a determinar las dimensiones de la mazarota, en este caso 1.46 cm de diámetro, sin embargo por motivos constructivos y como factor de seguridad se determina un diámetro de 16mm y una altura de 22mm.

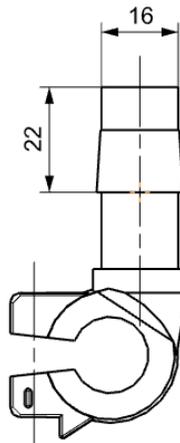


Figura 56. Dimensiones de la mazarota borne negativo (Autor, 2017).

### Calculo de la velocidad de vertido

Aplicando la ecuación 12 se determina la velocidad de vertido, la altura de cuchareta de vertido regularmente se la ubica a 10 mm para evitar turbulencia y proporcionar fluidez en el colado, por lo tanto la ecuación queda de la siguiente manera:

$$v = 0.44 \frac{m}{s} < 1 \frac{m}{s}$$

### Tiempo de llenado

Como ya se explicó anteriormente, para determinar el tiempo de llenado es necesario determinar el caudal, mediante la ecuación 13 se procede a calcular.

$$Q = 1.24 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Después de haber determinado el caudal, reemplazamos los datos en la ecuación 14, los volúmenes del borne positivo como el negativo son casi iguales, solo se hace un solo cálculo para determinar el tiempo de llenado.

$$T_{llenado} = 1.2 \text{ seg} \times 2 = 2.4 \text{ seg}$$

Cabe mencionar que este tiempo se basa en condiciones ideales en las que no existe fricción, ni afecta la geometría de colado del molde.

### Tiempo de solidificación

Para determinar el tiempo de solidificación es necesario encontrar el factor del molde, los datos para la resolución los encontramos en los anexos 4, 5, 6, además para el dato de temperatura inicial

del molde se sabe que se calientan alrededor de 150°C-200°C esto con el fin de facilitar el flujo del metal y reducir el daño térmico a las cavidades internas debido a gradientes de temperatura elevados, por lo tanto el valor obtenido es:

$$B = 0.75 \frac{\text{min}}{\text{cm}^2}$$

Con el dato anterior se lo reemplaza en la ecuación del tiempo de solidificación y los resultados son:

$$t_s = 0.0493\text{min} \rightarrow 2.96 \text{ seg}$$

### **Número de cavidades del molde**

De la ecuación 24 se puede calcular el tiempo que se demora en obtener un borne de batería, los tiempos de armado y desarmado del molde se los calculo con el prototipo, dando como resultado el tiempo de armado 25 y desarmado 45, con estos parámetros procedemos a calcular:

$$\text{tiempo total} = 74.16 \frac{\text{seg}}{\text{pieza}} \text{ ó } 1.23 \frac{\text{min}}{\text{pieza}}$$

Con el dato anterior se puede fabricar 48 piezas/hora, sin considerar tiempos muertos.

Se sabe que entre enero y febrero del 2017 según COMEX (2017), 4958 vehículos se ensamblan mensualmente, por lo tanto se estima la producción de alrededor de 5000 unidades mensuales entre bornes positivos y negativos ó 28 piezas/hora.

La razón de la ecuación 25 nos da:

$$48 \frac{\text{piezas}}{\text{hora}} \geq 28 \frac{\text{piezas}}{\text{hora}}$$

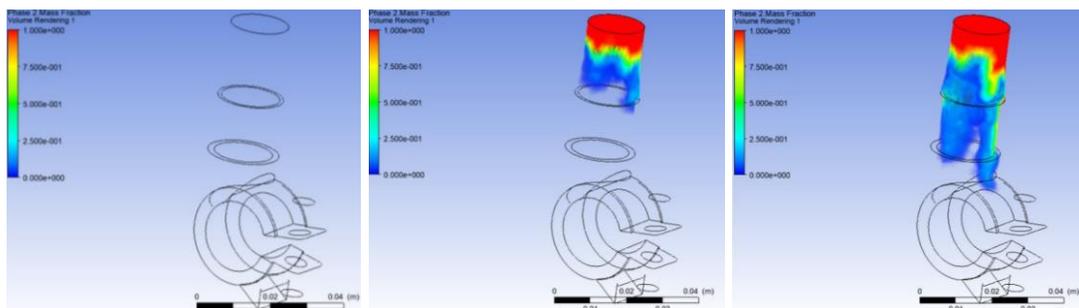
Por lo tanto teóricamente se puede usar 1 cavidad de borne positivo y negativo, para fundir las 28 piezas requeridas en una hora.

### Resultado método CFD

Se muestran los resultados obtenidos en la simulación CFD del borne de batería, se ha incluido las condiciones de borde y condiciones físicas que se realizaron previamente, a continuación se detallan los resultados de tiempo de llenado.

### Llenado

En la siguiente progresión de imágenes de la figura 57 se puede visualizar como el fluido ingresa y va llenando el molde, la fracción volumétrica, representa la cantidad porcentual de la primera fase que en nuestro caso es aire transparente y la segunda fase que es la aleación Cu60Zn35 color rojo, el tiempo de llenado total del molde es 2.22 seg,



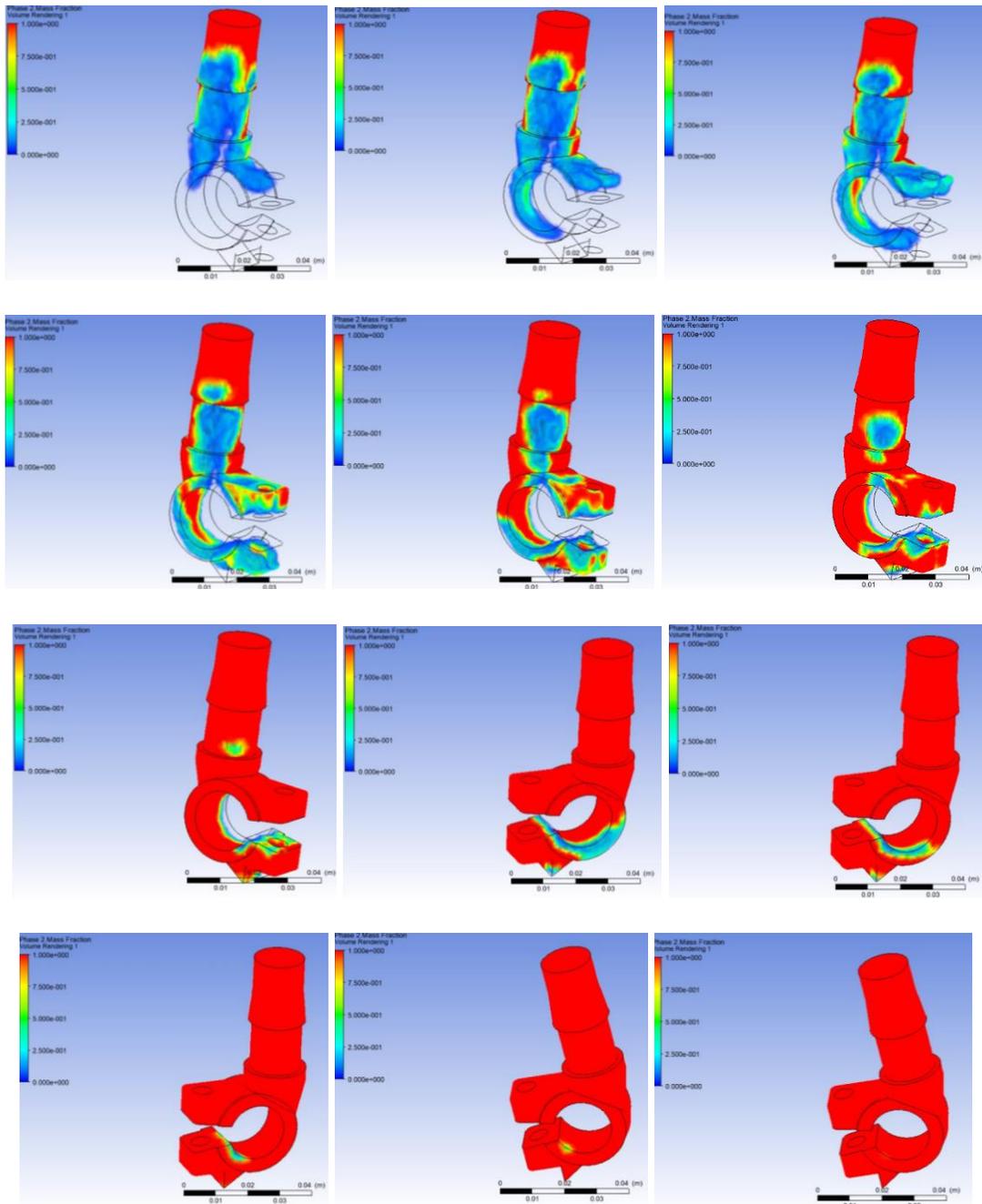
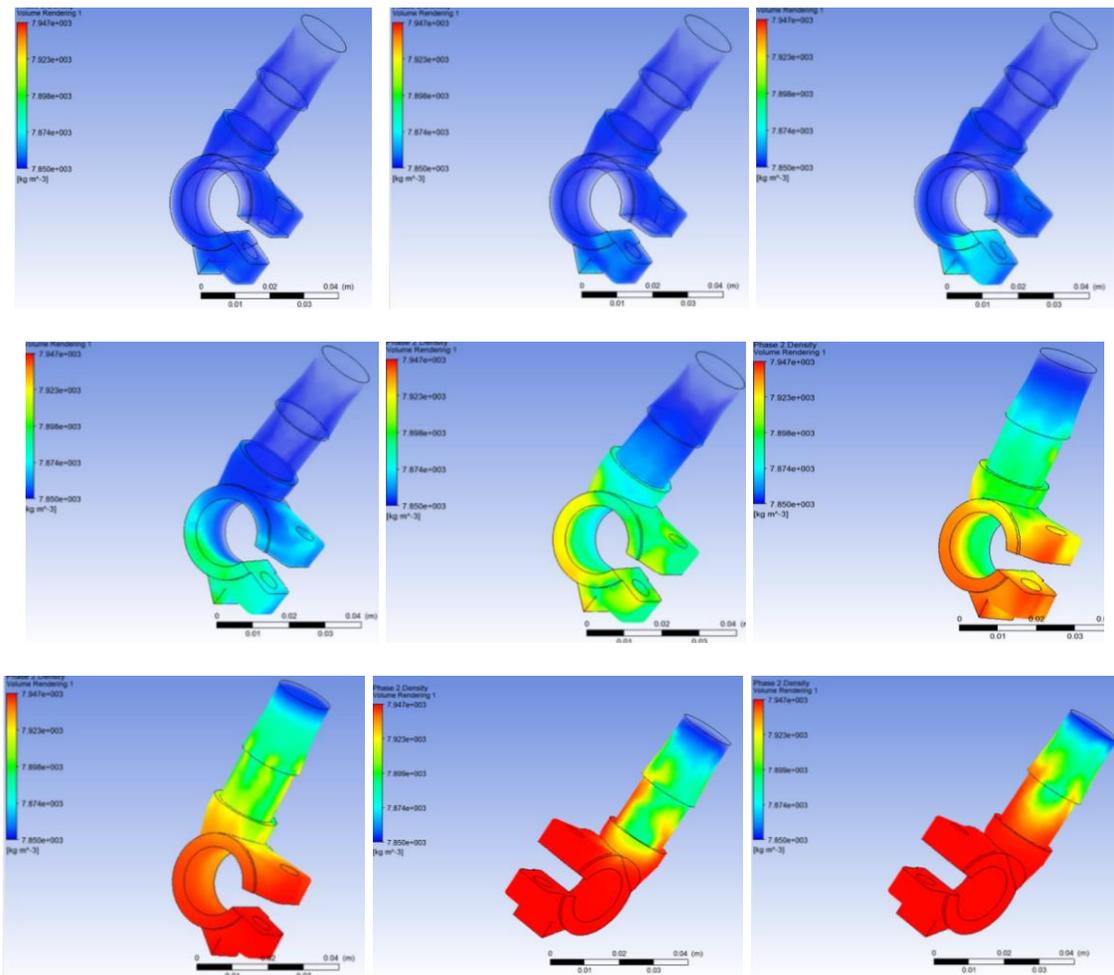


Figura 57. Simulación de proceso de llenado  $t=0$  seg a  $t=3$  seg en intervalos de 0.16seg (Autor, 2017).

### Solidificación

En la solidificación se interpreta que el cambio de densidad dentro del cuerpo en la que representa el avance de la fracción líquida de las fases en la pieza, la figura 58 muestra en escala de colores los resultados, siendo el color azul la densidad más baja y el color rojo la densidad más alta, se puede observar como la parte más rápida en iniciar con la solidificación es en las paredes delgadas, mientras que en la parte más gruesa tarda en solidificarse, cumpliendo con el objetivo de la mazarota que es solidificarse al último, el tiempo de solidificación es de 3 segundos.



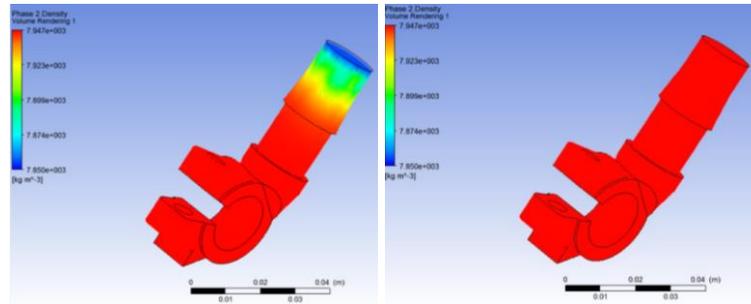
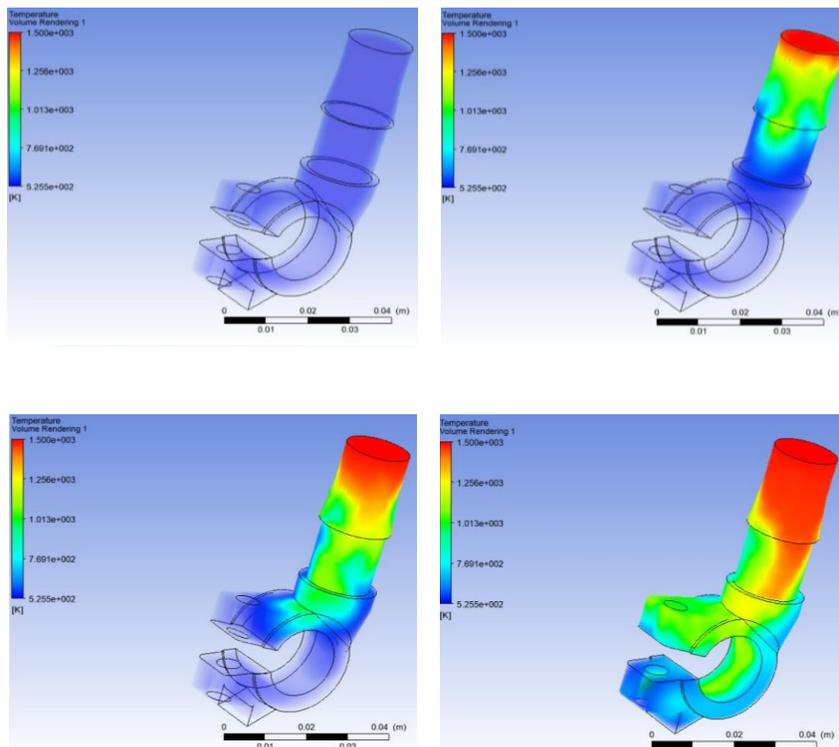


Figura 58. Solidificación del material,  $t=0$  seg a  $t=4$ seg en intervalos de 0.36seg (Autor, 2017).

### Distribución de temperatura

El molde inicialmente se encuentra a una temperatura de  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  ó  $473\text{ }^{\circ}\text{K}$  en color azul claro, se puede observar como la temperatura del fluido fluye por el canal de alimentación por lo que el cambio de temperatura a partir del colado color rojo se lo muestra a en la figura 59.



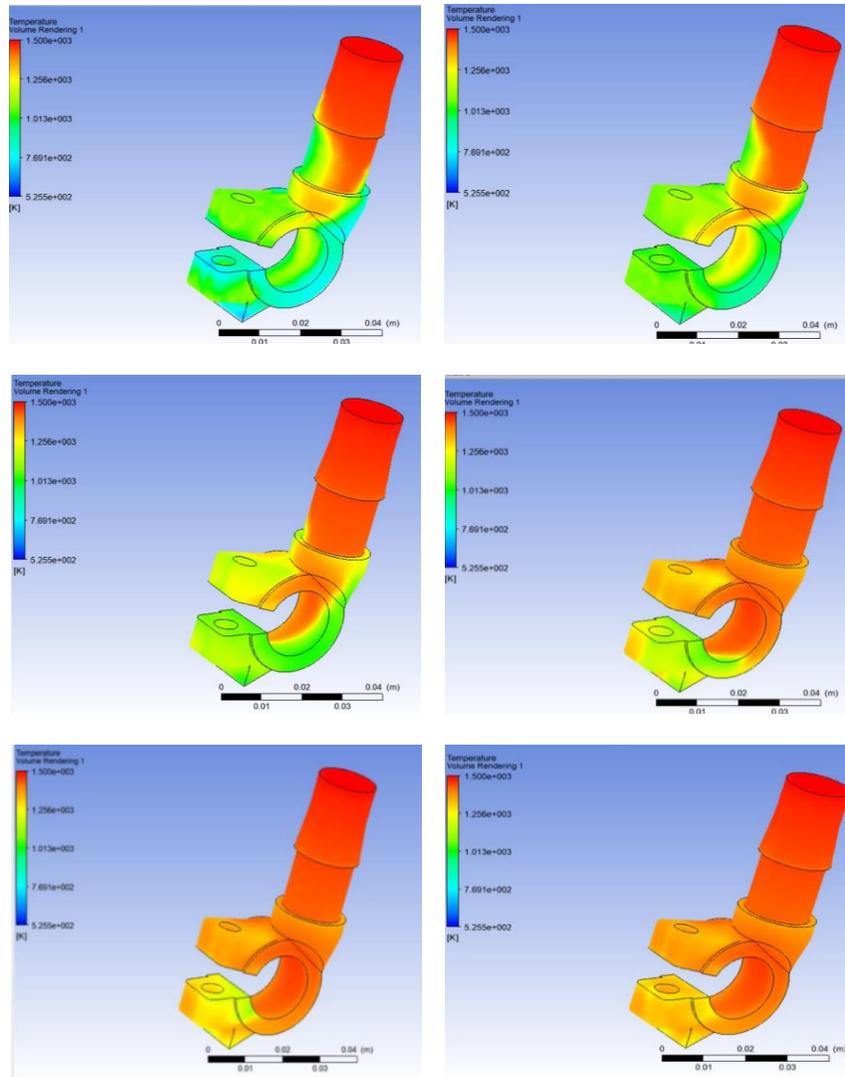


Figura 59. Secuencia de llenado con comportamiento de las temperaturas, desde  $t=0$  a  $t=3$  en intervalos de 0.33 seg (Autor, 2017).

### Posibles fallas

Uno de los objetivos de la aplicación de herramientas de simulación en la fundición es predecir posibles fallas al momento de llenar el molde y en su solidificación, a continuación se muestran las zonas posiblemente afectadas.

Al momento de llenar el molde en la figura 60 se señala una posible falla, por falta de evacuación de gases, por lo tanto en el diseño se añadieron ranuras de 0.5mm de profundidad en puntos estratégicos de la cavidad del molde.

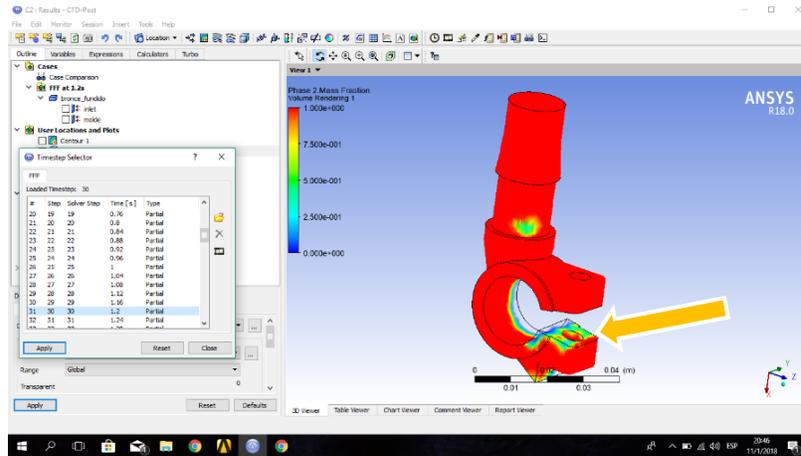


Figura 60. Posible formación de burbuja de aire (Autor, 2017).

En la figura 61 se muestra la solidificación de la pieza en un tiempo de 2.88 seg, mostrando que la densidad se mantiene baja en el canal de vertido, por lo tanto, esta parte se encuentra en un estado mayormente líquido y se puede suponer que posiblemente exista un rechupe, entonces la mazarota está cumpliendo con su trabajo.

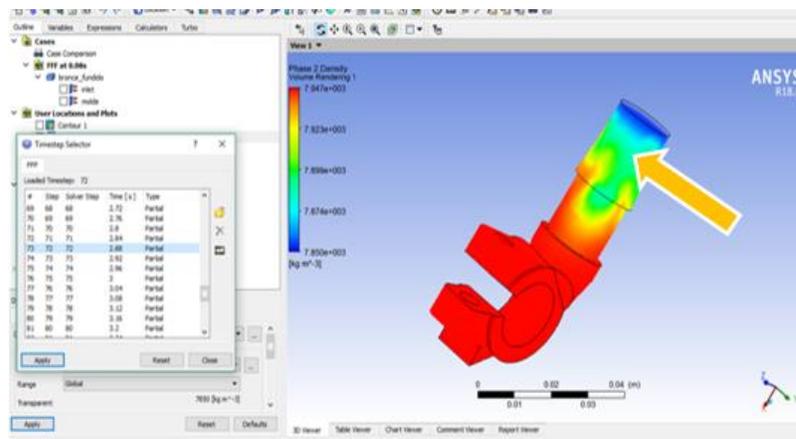


Figura 61. Posible zona de rechupe (Autor, 2017)

**Resultados del diseño**

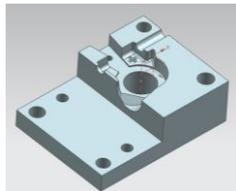
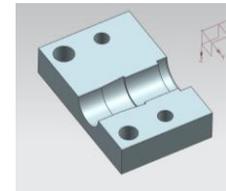
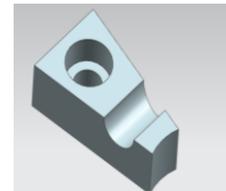
**Diseño de cavidad para borne positivo**

Con los parámetros anteriores y con las dimensiones de pieza requerida se procede a modelar el macho y cavidades del molde.

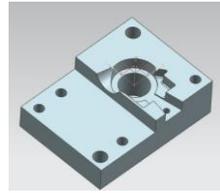
Se lo ha realizado en partes puesto que se requiere que sea desarmable para el recambio de piezas que se van de desgastar con el uso, para lo que se muestra en la tabla 31 las partes que conforman el molde permanente, para entender de mejor manera se nombra las piezas principales que constituyen el molde.

Tabla 31

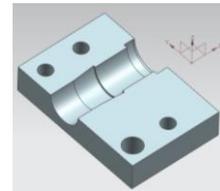
*Partes de molde permanente para bornes positivos.*

Descripción	Modelado 3D
Cavidad superior	
Inserto de cavidad superior	
Inserto superior	

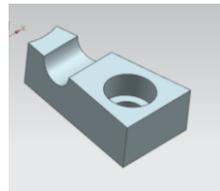
Cavidad inferior



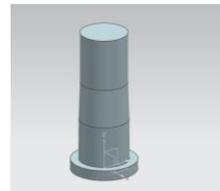
Inserto de cavidad inferior



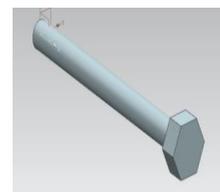
Inserto Inferior



Corazón



Pasador



---

*Nota:* En la tabla se muestran las piezas que constituyen el molde permanente para borne positivo de batería ,Autor, 2017.

El ensamble del molde queda como lo indica en la figura 62, la cavidad superior se une mediante dos pernos Allen M8 x 38mm con el inserto de cavidad superior, el inserto superior se une a la cavidad superior mediante un perno Allen M5x 15mm.

De la misma manera la cavidad inferior se une mediante dos pernos Allen M8 x 38mm con el inserto de cavidad inferior, el inserto inferior se une a la cavidad superior mediante un perno Allen M5x 15mm, para posteriormente introducir el corazón conjuntamente con el pasador en las cavidades y dar forma al borne positivo.

Para tener un amplio criterio del ensamble y funcionamiento, revisar los planos constructivos que se encuentran en el anexo 2.

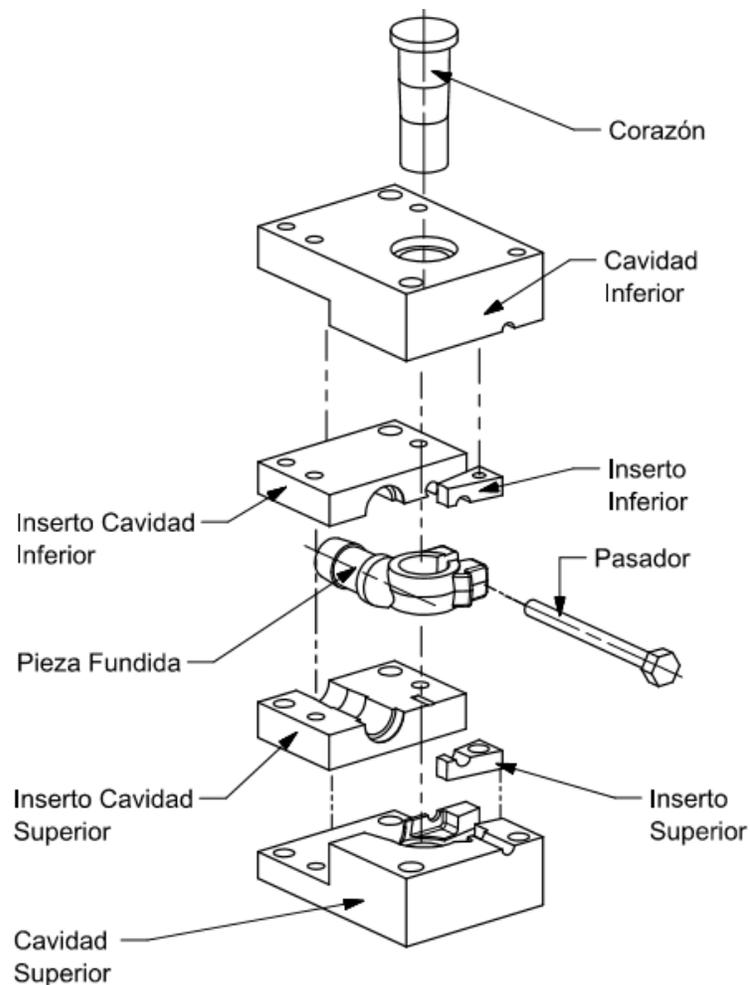


Figura 62. Despiece de molde permanente para bornes positivos de batería (Autor, 2017).

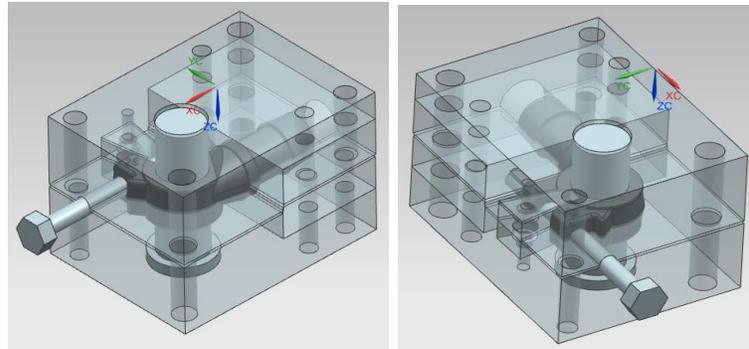


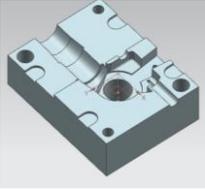
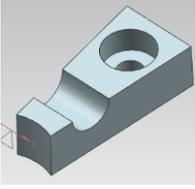
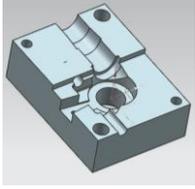
Figura 63. Conjunto de molde permanente para bornes positivos de batería (Autor, 2017).

**Diseño de cavidad borne negativo**

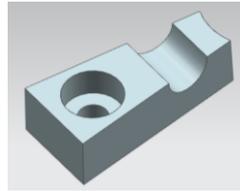
Para el diseño de este molde se ha tomado en consideración que por posteriores estudios de desgaste sea una sola pieza todo el conjunto y solo 1 pieza de inserto para el recambio.

Tabla 32

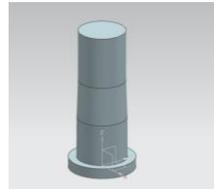
*Partes de molde permanente para bornes negativos.*

Descripción	Modelado 3D
Cavidad Superior	
Inserto superior	
Cavidad inferior	

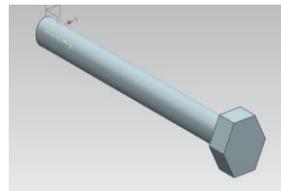
Inserto inferior



Corazón



Pasador



*Nota:* En la tabla se muestran las piezas que constituyen el molde permanente para borne negativo de batería (Autor, 2017).

El ensamble del molde queda como lo indica en la figura 64, el inserto superior se une a la cavidad superior mediante un perno Allen M5x 15mm, de la misma manera el inserto inferior se une a la cavidad superior mediante un perno Allen M5x 15mm, para posteriormente introducir el corazón conjuntamente con el pasador en las cavidades y dar forma al borne negativo.

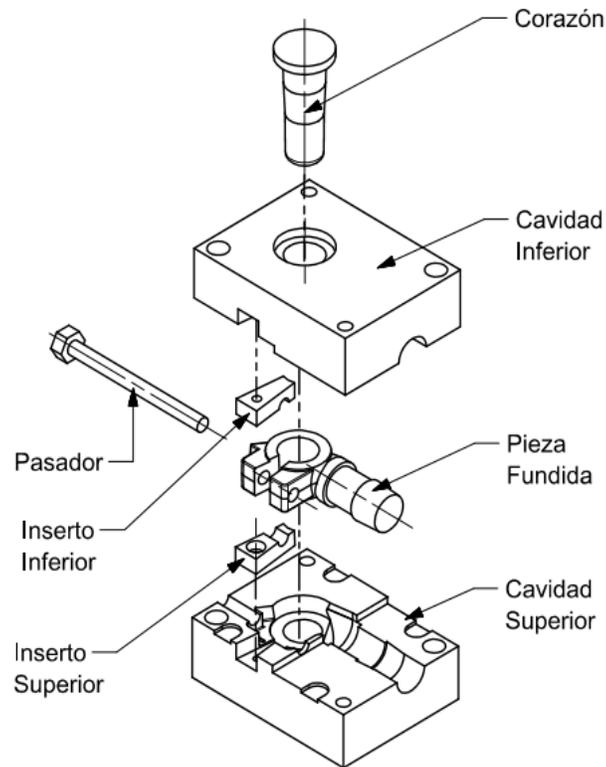


Figura 64. Despiece de molde permanente para bornes negativos de batería (Autor, 2017)

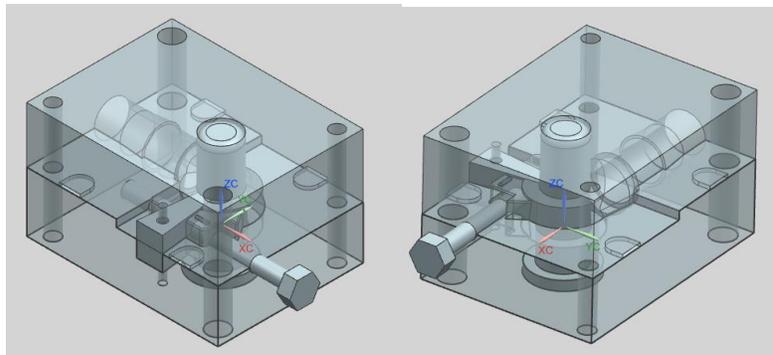
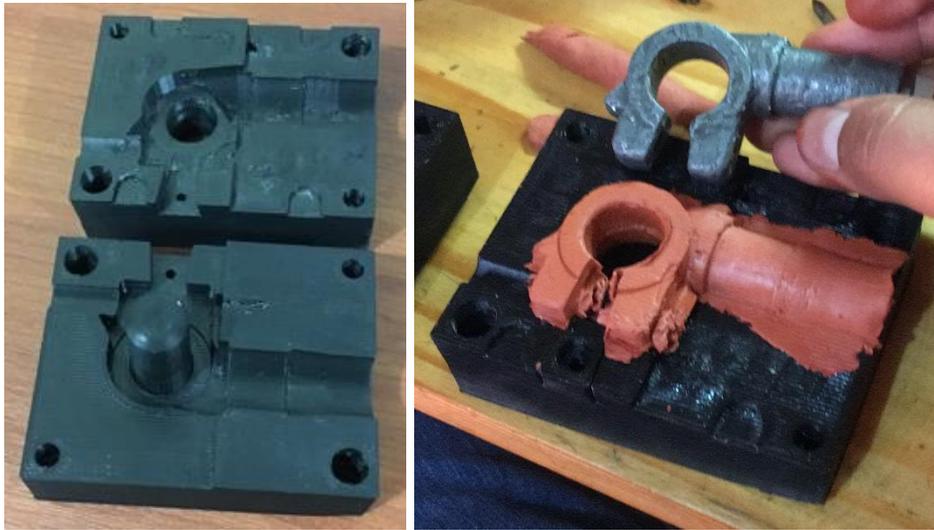


Figura 65. Conjunto del molde permanente para bornes negativos (Autor, 2017).

## Resultados de manufactura

### Prototipado

Se muestra el resultado de la impresión 3D del prototipo, esto se realizó con el fin de elaborar muestras, comprobando el desmoldeo y probar la maniobrabilidad del molde.



*Figura 66.* Prototipo del molde impreso mediante FDM (Autor, 2017).

### **Mecanizado del molde**

El mecanizado de las cavidades se realizó a satisfacción, utilizando estrategias que mejor se acomoden al desbaste de las cavidades, utilizando las herramientas necesarias optimizando los tiempos, el resultado de este ítem se muestra en la figura 67.



*Figura 67.* Resultado del mecanizado total de los moldes (Autor, 2017).

**Resultado de protocolo de pruebas.**

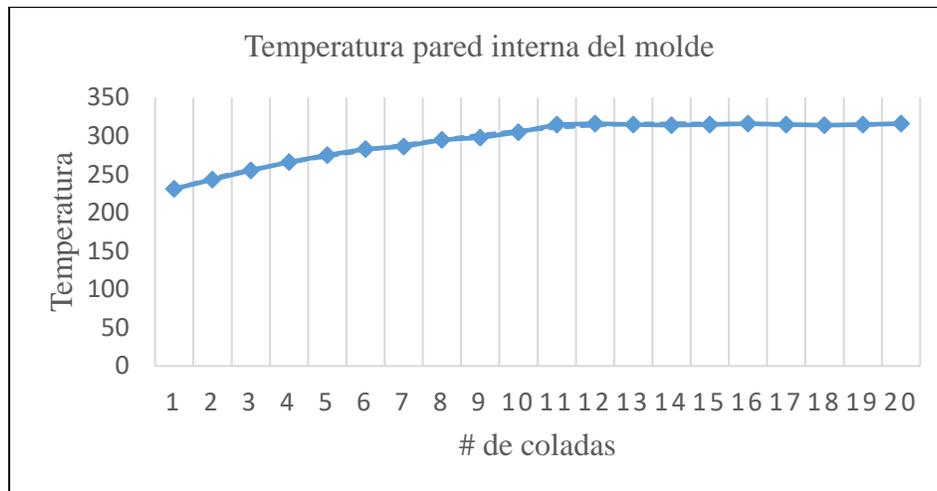
En este apartado se muestran los resultados obtenidos en el colado de bornes positivos y negativos, en la tabla 33 se muestran los datos necesarios para la tabulación.

*Tabla 33.*

*Resultados de pruebas realizadas en molde para bornes positivos.*

# Colado	Rechufe	Acabado	Temperatura de colada (°C)	Temperatura pared interna del molde (°C)	t de llenado (seg)
1	Pequeño	Regular	995	231	2.95
2	Pequeño	Regular	993	243	2.11
3	Pequeño	Regular	996	255	2.15
4	Ninguno	Regular	995	266	1.95
5	Ninguno	Medio	992	275	2.05
6	Ninguno	Medio	995	283	2.18
7	Ninguno	Medio	993	286	2.22
8	Ninguno	Medio	994	295	2.19
9	Ninguno	Medio	992	298	2.25
10	Ninguno	Medio	993	305	2.28
11	Ninguno	Bueno	991	315	2.22
12	Ninguno	Bueno	990	316	2.20
13	Ninguno	Bueno	995	315	2.17
14	Ninguno	Bueno	993	314	2.18
15	Ninguno	Bueno	994	315	2.13
16	Ninguno	Bueno	992	316	2.11
17	Ninguno	Bueno	991	315	2.09
18	Ninguno	Bueno	990	314	2.17
19	Ninguno	Bueno	991	315	2.25
20	Ninguno	Bueno	993	316	2.23

En la figura 68 se muestra la temperatura de trabajo del molde, en la cual indica la cantidad de temperatura ganada al momento que entra en contacto con la colada hasta llegar a un punto neutral en el que las temperaturas no fluctúan y se equilibra, en el colado # 11 se puede observar que la curva se estabiliza, por lo tanto la temperatura de trabajo se encuentra a 315 °C, como consecuencia del equilibrio de temperatura, las piezas coladas resultan con un acabado bueno, debido a que, el cambio de temperatura no es brusco, permitiendo una buena fluidez de la colada dentro del molde.



*Figura 68.* Temperatura de trabajo en pared interna del molde positivo (Autor, 2017).

Los tiempos de colado obtenidos son los mostrados en la campana de Gauss, la cantidad de coincidencias del tiempo de llenado se encuentra en 2.18 segundos.

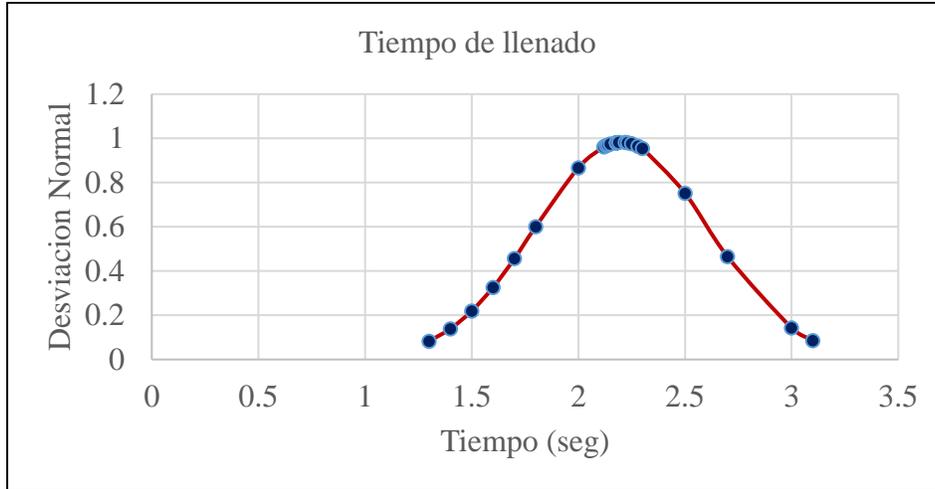


Figura 69. Resultados obtenidos de Tiempos de llenado en campana de Gauss (Autor, 2017).

**Resultados visuales de bornes positivos**

En la tabla 34 se puede verificar la transición de los resultados obtenidos en el colado del borne positivo.

Tabla 34.

*Tabla de resultados visuales bornes positivos.*

# de colada	Resultado visual	t de llenado (seg)
1		2.95
3		2.15
6		2.18

10



2.28

12



2.20

De la misma manera en la tabla 35 se muestran los datos obtenidos en el colado de 20 bornes negativos.

Tabla 35.

*Resultados de pruebas realizadas en molde para bornes negativos.*

# Colado	Rechupe	Acabado	Temperatura de colada (°C)	Temperatura superficial del molde (°C)	t de llenado (seg)
1	Pequeño	Regular	992	225	2.05
2	Pequeño	Regular	990	237	1.99
3	Pequeño	Regular	993	246	1.7
4	Ninguno	Regular	991	253	2.15
5	Ninguno	Medio	994	275	2.05
6	Ninguno	Medio	992	283	2.35
7	Ninguno	Medio	993	286	2.22
8	Ninguno	Medio	993	293	2.19
9	Ninguno	Medio	991	295	2.25
10	Ninguno	Medio	990	302	2.21
11	Ninguno	Bueno	990	311	2.22
12	Ninguno	Bueno	989	313	2.14
13	Ninguno	Bueno	990	315	2.23
14	Ninguno	Bueno	991	314	2.18
15	Ninguno	Bueno	992	315	2.24
16	Ninguno	Bueno	991	316	2.11

17	Ninguno	Bueno	993	315	2.15
18	Ninguno	Bueno	991	314	2.17
19	Ninguno	Bueno	993	315	2.25
20	Ninguno	Bueno	994	316	2.23

Se muestra la temperatura de trabajo del molde, en el colado # 12 se puede observar que la curva se estabiliza, por lo tanto la temperatura de trabajo se encuentra a 315 °C.

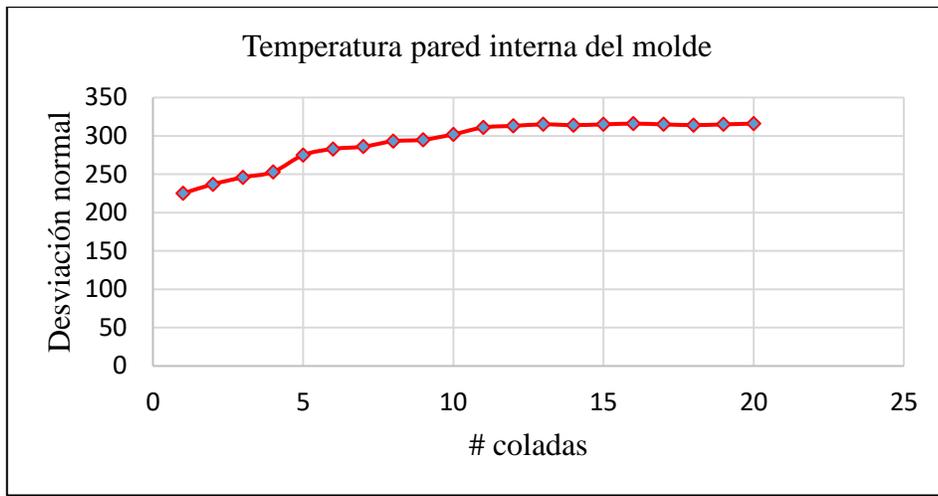


Figura 70. Temperatura de trabajo en pared interna del molde negativo (Autor, 2017).

Los tiempos de colado obtenidos son los mostrados en la campana de Gauss, la cantidad de coincidencias del tiempo de llenado se encuentra en 2.12 segundos.

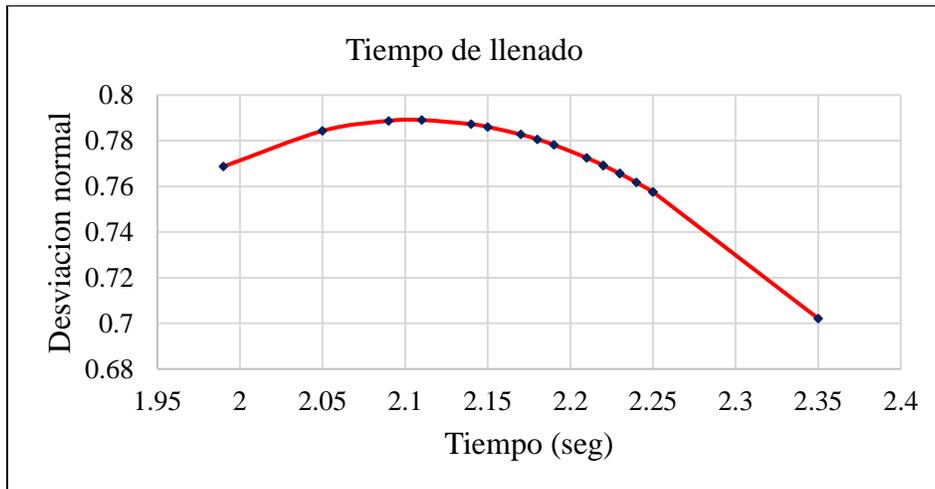


Figura 71. Campana de Gauss Tiempo de llenado en molde para bornes negativos (Autor, 2017).

**Resultados visuales de bornes negativos**

En la tabla 36 se puede verificar la transición de los resultados obtenidos en el colado de los bornes negativos.

Tabla 36.

*Resultados visuales bornes negativos.*

# de colada	Resultado visual	t de llenado (seg)
1		2.05
3		1.7
6		2.35
10		2.21
12		2.14

## Metrología

En este apartado se realiza el método de porcentaje de diferencia y distribución normal de medidas, para lo cual se toman distintas medidas en varios puntos del borse requerido como las muestras obtenidas en el proceso de colado en el molde, en la figura 72 se muestran los puntos donde se toman las medidas.

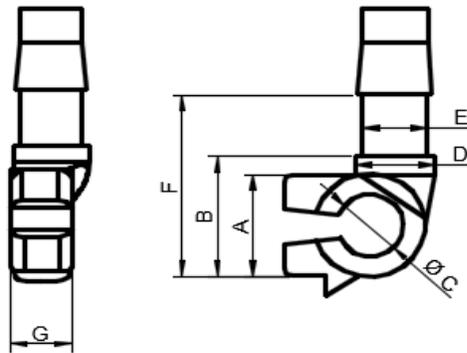


Figura 72. Toma de medidas referenciales (Autor, 2017).

Las medidas fueron tomadas en 20 borses positivos, en la tabla 37 se muestra las dimensiones obtenidas.

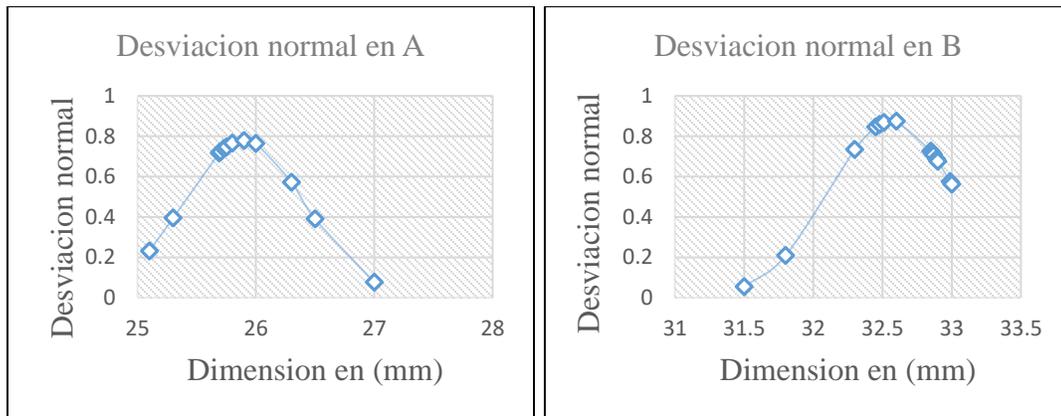
Tabla 37.

### *Análisis dimensional de borses positivos.*

Ítem	Dimensiones en (mm)						
	A	B	C	D	E	F	G
Pieza original	25.80	32.80	17.80	19.70	16.00	46.30	14.70
Pieza colada 1	25.68	32.7	17.5	19.65	15.79	46.22	14.60
Pieza colada 2	25.69	32.6	17.5	19.58	15.75	46.21	14.59
Pieza colada 3	25.69	32.7	17.6	19.58	15.76	46.24	14.58
Pieza colada 4	25.73	32.8	17.5	19.55	15.77	46.22	14.62
Pieza colada 5	25.69	32.8	17.6	19.57	15.78	46.23	14.63
Pieza colada 6	25.75	32.8	17.5	19.64	15.78	46.24	14.61
Pieza colada 7	25.75	32.7	17.5	19.58	15.77	46.22	14.64

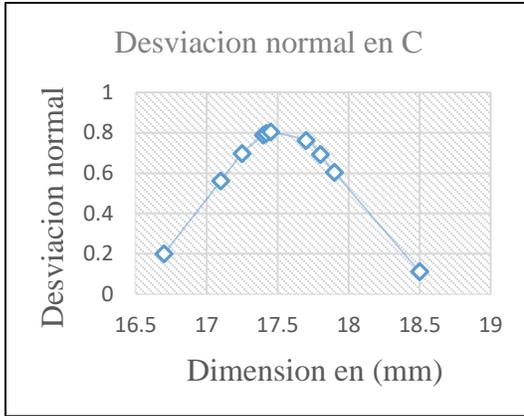
Pieza colada 8	25.80	32.8	17.5	19.69	15.75	46.25	14.64
Pieza colada 9	25.80	32.8	17.8	19.67	15.77	46.27	14.62
Pieza colada 10	25.8	32.7	17.8	19.66	15.78	46.26	14.66
Pieza colada 11	25.8	32.8	17.8	19.68	15.79	46.25	14.64
Pieza colada 12	25.7	32.8	17.7	19.67	15.79	46.26	14.65
Pieza colada 13	25.7	32.8	17.7	19.67	15.77	46.27	14.65
Pieza colada 14	25.9	32.7	17.7	19.68	15.76	46.26	14.66
Pieza colada 15	25.8	32.7	17.7	19.68	15.81	46.28	14.65
Pieza colada 16	25.9	32.7	17.8	19.69	15.83	46.28	14.64
Pieza colada 17	25.8	32.7	17.8	19.68	15.85	46.27	14.65
Pieza colada 18	25.8	32.7	17.8	19.69	15.86	46.29	14.68
Pieza colada 19	25.9	32.8	17.8	19.68	15.81	46.28	14.66
Pieza colada 20	25.8	32.8	17.8	19.69	15.82	46.29	14.68

Aplicando la campana de gauss nos da el siguiente resultado, en el cual se determina el promedio general y la desviación normal, con estos datos se puede generar la gráfica que se visualiza en la figura 73.

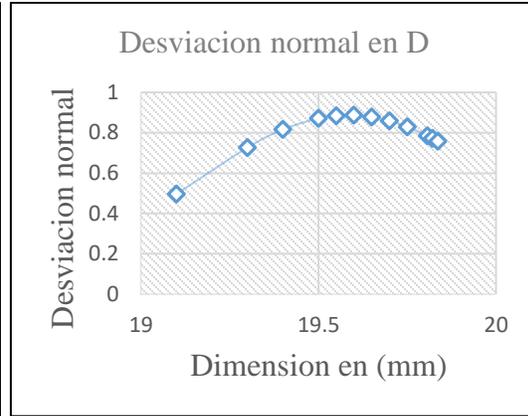


(a)

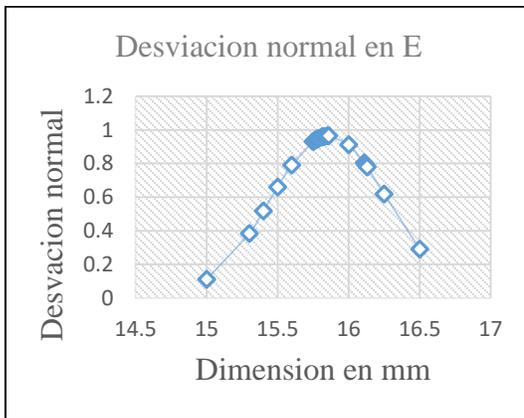
(b)



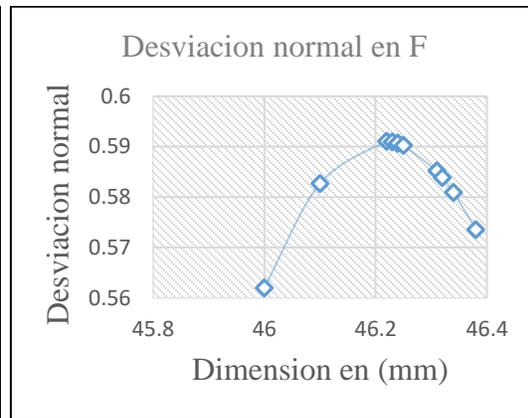
(c)



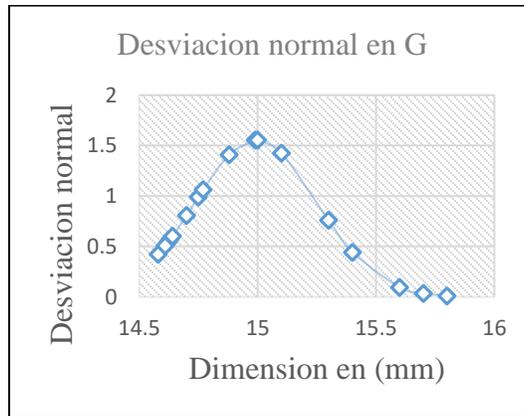
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 73. Campana de Gauss medidas generales del borne positivo (Autor, 2017)

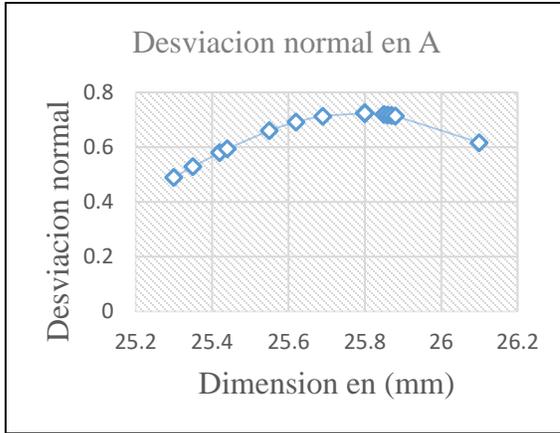
A continuación se procede a tabular los valores obtenidos en los bornes negativos.

Tabla 38.

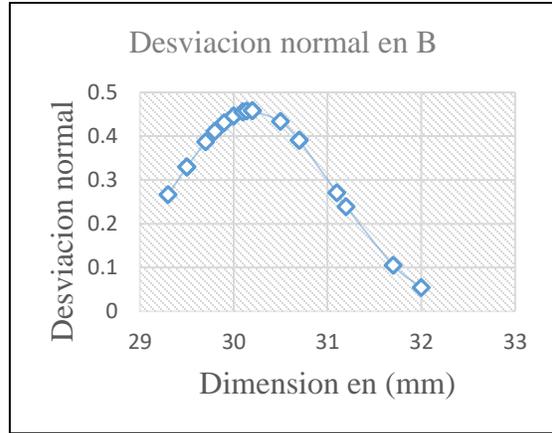
*Análisis dimensional borne negativo.*

Ítem	Dimensiones en (mm)						
	A	B	C	D	E	F	G
Pieza original	25.80	30.0	16.0	19.70	16.00	45.00	14.70
Pieza colada 1	25.3	30.2	15.7	19.65	15.85	46.22	14.4
Pieza colada 2	25.69	30.5	15.9	19.58	15.75	46.21	14.59
Pieza colada 3	25.42	30.7	15.8	19.58	15.81	45.15	14.58
Pieza colada 4	25.35	31.1	15.9	19.55	15.88	44.8	14.62
Pieza colada 5	25.44	29.5	16.5	19.57	15.86	44.95	14.63
Pieza colada 6	25.62	29.3	16.4	19.64	15.91	44.99	14.75
Pieza colada 7	25.55	29.5	16.2	19.58	16.25	45.12	14.89
Pieza colada 8	25.80	29.7	16.1	19.69	16.15	45.55	14.95
Pieza colada 9	25.80	29.8	16.0	19.70	16.28	45.75	14.75
Pieza colada 10	25.85	29.9	16.3	19.75	16.35	45.84	14.71
Pieza colada 11	25.9	30.0	16.1	19.8	16.30	46.25	14.65
Pieza colada 12	25.8	30.1	16.3	19.85	16.1	46.26	14.91
Pieza colada 13	25.9	30.0	16.1	19.67	16.0	46.27	14.62
Pieza colada 14	25.9	31.7	16.7	19.68	15.76	46.26	14.66
Pieza colada 15	25.8	31.2	16.4	19.68	16.15	46.28	14.65
Pieza colada 16	25.9	30.2	16.3	19.69	16.4	46.28	14.64
Pieza colada 17	25.8	30.7	16.1	19.68	16.3	46.27	14.65
Pieza colada 18	25.8	30.1	16.4	19.69	15.86	46.29	14.68
Pieza colada 19	25.9	30.14	15.7	19.68	15.81	46.28	14.66
Pieza colada 20	25.8	29.7	15.9	19.69	15.82	46.29	14.68

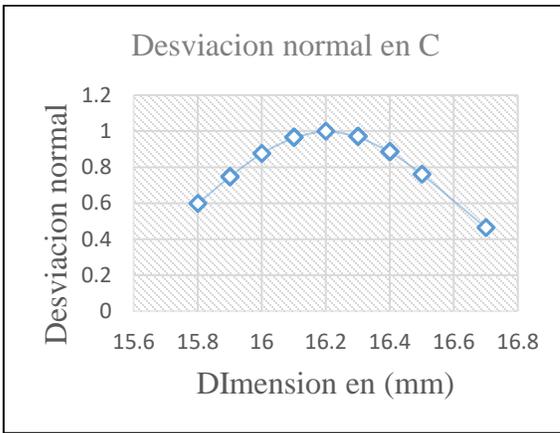
Aplicando la campana de gauss se obtienen los siguientes resultados.



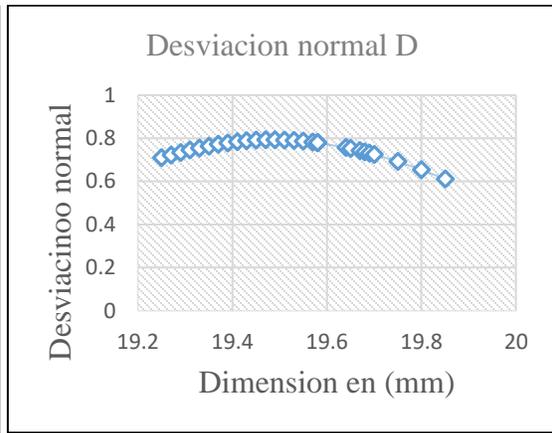
(a)



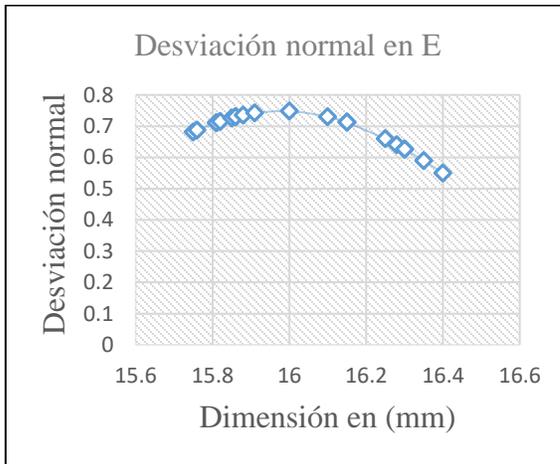
(b)



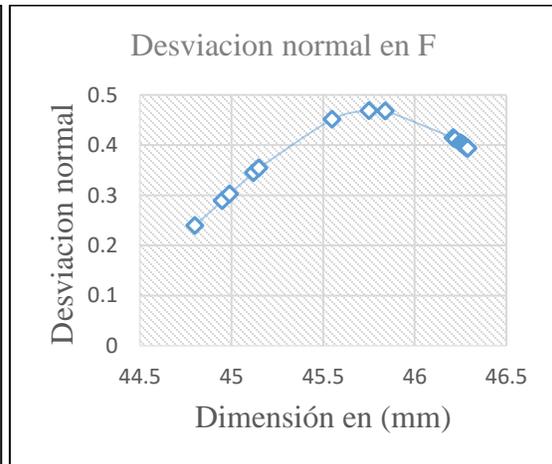
(c)



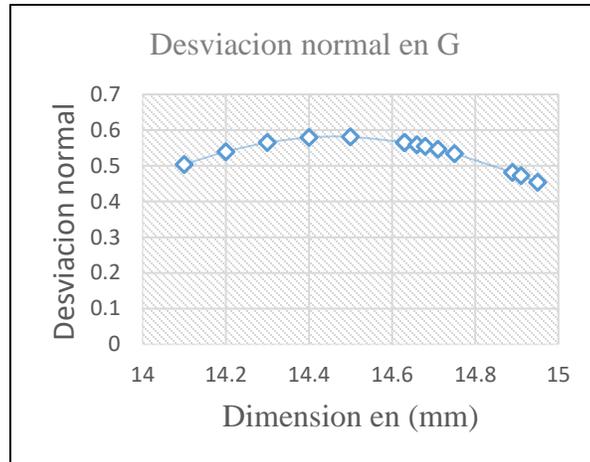
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 74. Campana de Gauss de dimensiones bornes negativos (Autor, 2017).

### Pruebas de montaje

Se procede a probar los bornes fundidos en baterías de distintas marcas, se los hace calzar en los postes de la batería, calzando perfectamente como se muestra en la figura 75.



Figura 75. Bornes positivo y negativo acoplados a batería convencional (Autor, 2017).

## Análisis y discusión de resultados

### Discusión de resultados

En este apartado se comparan los resultados obtenidos en los métodos analíticos, CFD y experimentales, partiendo de los datos obtenidos en el presente trabajo teórico práctico, se comprueba la justificación de la hipótesis planteada, confirmando el uso de software de simulación especializados en el área de la fundición con el propósito de validar el trabajo propuesto.

Con relación al cálculo de tamaño de grano Ponciano y Venegas (2011), en su estudio de colado en un coquilla logran caracterizar un Latón Cu60 Zn40 obteniendo un tamaño de grano de 6.6 que se asimila al resultado de este estudio que es un Latón Cu60 Zn35 con un tamaño de grano 6.49 dando por validado este dato importante dentro del estudio propuesto, este dato es de vital importancia ya que de esto depende el alivio de esfuerzos de un material, un material que tenga un tamaño de grano muy pequeño puede causar muchos esfuerzos concentrados.

Otro punto a comparar son las simulaciones ya que según Oviedo y Vinuesa (2012) con el uso del software *Vulcan* obtuvieron tiempo de solidificación, tiempos de llenado y temperatura de la pieza fundida, que en este estudio también se realizaron, en la tabla 39 se especifica la diferencia del error que se obtuvo en la investigación actual, entre el método experimental, analítico y CFD de un cálculo tangible, en este caso el tiempo de llenado y tiempo de solidificación.

Tabla 39

*Resultados comparativos del tiempo de llenado entre método analítico y método CFD.*

	Método analítico (seg)	Método CFD (seg)	Porcentaje de diferencia
Tiempo de llenado	2.4	2.22	7.5 %
Tiempo de solidificación	2.96	3.1	4.72 %

El tiempo de llenado, viéndolo desde un punto de vista lógico es aceptable y consecuente al principio de Bernoulli, estos resultados son muy próximos teniendo diferencias de error porcentual del 7.5 %, guardando suficiente similitud entre ellos, de igual manera el tiempo de solidificación con un porcentaje de 4.72 % también es un valor aceptable.

También se procede a evaluar el error entre el método experimental y el método CFD, en la tabla 40 se muestran los resultados.

Tabla 40.

*Resultados comparativos entre método experimental y CFD.*

	Método experimental (seg)	Método CFD (seg)	Porcentaje de diferencia
Tiempo de llenado	2.18	2.22	1.8 %

Se puede verificar que la diferencia entre los 2 métodos es de 1.8 %, por lo tanto, se validan los resultados, un factor muy importante para la obtención de los datos en el método CFD es el refinamiento de la malla.

Según Garces (2016), en su estudio de llenado y solidificación de un molde en arena en verde tiene un error en la simulación de llenado con respecto a resultados analíticos del 7.6 % y en el

tiempo de solidificación del 10 %, cabe mencionar que en sus conclusiones afirma el refinamiento de malla para una aproximación más cercana al resultado analítico, además al colarlo en un molde de arena dan un tiempo más largo de solidificación obteniéndose fluctuaciones en los resultados, con estos datos se puede comparar este estudio ya que se encuentra en un rango menor porcentual, esto debido al refinamiento de malla y a las 2 000 iteraciones que se lograron para obtener un error menor.

En los estudios realizados por Shepel y Paolucci (2002), en su estudio de simulación y llenado de un molde permanente para un pistón en aluminio, en el cual usaron termopares de cromel/alumel para la medición de la temperatura, afirman que la temperatura del molde en 13 ciclos de colado se estabiliza en 460 °C, teniendo como punto inicial una temperatura de 280 °C, sin embargo este molde posee canales internos de enfriamiento mediante agua, en el estudio actual el molde se estabiliza a una temperatura de 315 °C con una temperatura inicial de 200°C, esto debido a la geometría del molde ya que ayuda a disipar el calor rápidamente, las temperaturas fueron tomadas con un termómetro infrarrojo.

Según Pons I Sans (2004), en su estudio de fundición de un alabe de turbina pelton afirma que los lugares que se solidifican con mayor rapidez son los más delgados, mientras que en las partes que tienen mayor volumen de la pieza se demoran en solidificar, comparando con el estudio actual los resultados coinciden ya que la pared delgada del borne se enfría más rápido que el resto mientras que el cuerpo superior en este caso la mazarota se demora en solidificar y por lo tanto en contraerse, cumpliendo con su función primordial como se muestra en la figura 76.

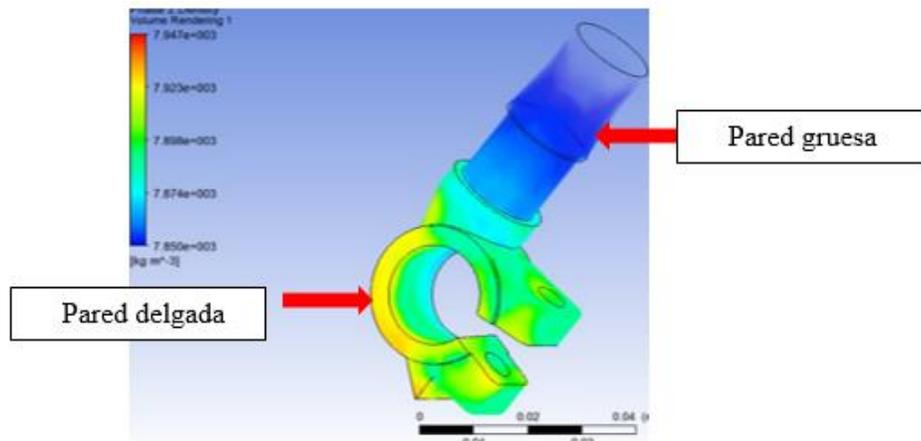


Figura 76. Solidificación del material en zonas delgadas (Autor, 2017).

Según Altan T, Lilly B y Yen Y (2001), el tiempo aplicado en la electroerosión (EDM) en moldes para fundición de metales o troqueles es igual al 50% del trabajo total, es decir que la mayor cantidad de trabajo se encuentra en mecanizar superficies donde no se pueda aplicar herramientas como, fresas, cuchillas o buriles Altan et al (2001). Comparando con los tiempos de mecanizado indicados en la tabla 41 en este estudio se encuentra que el 65 % del tiempo se lo aplica en la electroerosión, esto se debe a que el molde es pequeño, por ende, el trabajo es demoroso y de precisión.

Además Fallböhmer, Rodríguez, Özel y Altan (2000), afirman que el tiempo empleado en el mecanizado de las cavidades de un molde se encuentran entre el 25 % y 30 % del trabajo total Fallböhmer et al (2000), en comparación con los resultados obtenidos en este estudio según tabla 41 se obtiene el 34.78% lo que incluye el mecanizado de la cara superior, mecanizado de la cara posterior y mecanizado de los corazones.

Tabla 41

*Porcentaje de tiempos de mecanizado.*

Fase	Operación	Tiempo	%
1	Mecanizado de cara superior	1.9 hr	13.77
2	Mecanizado de cara posterior	0.9 hr	6.52
3	Mecanizado de corazones	2 hr	14.49
4	Electroerosión	9 hr	65.21
Tiempo Total		13.8 hr	100

Fallböhmer, Rodríguez, Özel y Altan, (2000), en la selección del material apropiado para moldes permanentes, matrices de fundición a presión, recomienda un acero AISI P20 en condiciones pre-endurecidas de 30 HRC con alta resistencia a la temperatura y al desgaste, debe soportar ciclos térmicos prolongados y repetidos, para este estudio se aplicó un acero M238 de la casa comercial BOHLER, las aleaciones con las que está constituido el material tienen las mismas características que el que se menciona anteriormente, dando como resultado un excelente acabado superficial y buena maquinabilidad.

Según Fernández (2011), en su estudio de diseño y construcción de una coquilla, obtuvo piezas con un error dimensional entre la medida obtenida y la nominal del 7% en todas sus cotas, debido a que su estudio se basó en el colado de aluminio y posee una contracción volumétrica del 6%, acercándose al resultado de este estudio obteniendo una variación dimensional del 3%, siendo este valor aceptable ya que el borne es una pieza relativamente pequeña y el material con el que se fundió es aleación de cobre, teniendo en cuenta que este material posee una contracción volumétrica del 4% con respecto a la que realizó Fernández (2011).

## Conclusiones

Las revisiones del estado del arte en el área de llenado y solidificación permitieron conocer los desarrollos actuales sobre el tema y de esta manera se pudo establecer una guía para un diseño acorde a las necesidades del problema.

Gracias al estudio metalográfico y espectrometría realizado, se logró identificar y analizar las características y aleaciones con las que está constituido el material del borne de batería, mediante el uso de normas internacionales ASTM.

El software ANSYS *Fluent* como herramienta de simulación es muy viable ya que se ha logrado realizar la simulación de manera real y acertada reproduciendo los fenómenos que se dan en el llenado y solidificación, logrando un error de variación en el llenado de 1.8 % con respecto al método experimental y del 7.5 % con respecto al método analítico, además en la simulación se muestra que necesita un análisis unificado de llenado y solidificación para modelar con mayor precisión los efectos acoplados durante las etapas de colado en el molde.

Durante el desarrollo de los moldes se aplicó manufactura aditiva, mediante proceso FDM lo que permitió la validación de la geometría y realizar pruebas de montaje del borne en una batería.

El uso de herramientas CAM permitió obtener ventajas en cuanto a tiempos de mecanizado y mejor calidad del producto.

Dentro de este estudio uno de los factores importantes es la implementación de la técnica “cero papel” ya que todos los archivos de diseño y manufactura se realizaron de manera digital.

Las pruebas de campo son importantes ya que se corrobora los resultados obtenidos mediante método analítico y método CFD.

Las principales dificultades encontradas en la elaboración de la aleación de cobre, se deben a la presencia de gas sobre el metal líquido, el hidrogeno es soluble con el cobre y crece bruscamente con la temperatura, por lo cual, durante la solidificación estos gases disueltos se mezclan creando porosidad superficial, dando como resultado una pieza con un acabado que visualmente no es bueno, posteriormente con el calentamiento progresivo del molde permanente, la temperatura se estabilizó dando como resultado piezas de buena calidad visual.

Dentro del protocolo de pruebas se concluye que la velocidad de llenado influye ya que si se cola muy rápido o muy lento se obtienen piezas defectuosas.

## **Recomendaciones**

Se recomienda seguir los pasos de la norma ASTM E-1251 para elaborar bien el espécimen a ser estudiado para que no exista una variación en los resultados, debido a que, un pequeño cambio en la estructura interna arroja resultados alterados que provocan errores en los estudios.

Se recomienda simplificar el modelo y dividirlo en procesos independientes para mejorar los tiempos de cálculo y gasto computacional.

Generar una buena calidad de malla ya que mientras más pequeño sea el tamaño de la malla, menor será el error de discretización.

Se recomienda controlar la temperatura mientras se encuentre en producción para evitar la carga térmica garantizando una mayor vida útil, evitando deformaciones y agrietamientos.

Es recomendable el control del fluido al verter la colada en el molde, debido a que un llenado muy rápido o muy lento da lugar a imperfecciones en la pieza a colarse.

Para fabricar bornes en gran cantidad se recomienda usar fundición bajo presión con un molde que posea varias cavidades de bornes de batería para eliminar todo tipo de poro o burbujas de aire.

**Referencias bibliográficas**

- AEADE. (12 de Abril de 2017). *Sector automotor en cifras*. Recuperado el 24 de Junio de 2017, de [http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2017/04/Sector-en-cifras\\_7-abril-2017-2.pdf](http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2017/04/Sector-en-cifras_7-abril-2017-2.pdf)
- Ajay, Mahesh, Mukherjee. (2014). Excellent Casting Method for Manufacture of Automotive Components. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 2254-2255.
- Alderete y Colombo. (2003). SIX SIGMA. *Congreso del instituto Argentini de profesores Universitarios 21*.
- ANSYS, Inc. (23 de 01 de 2009). *ANSYS Fluent Theory Guide [En linea]*. Obtenido de <http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node394.htm>
- Arenas A. Jesus. (2005). Contribuciones de la física en la historia de la microscopia. *Revista Digital Universitaria*, 3-11. Recuperado el 17 de Noviembre de 2017
- Askeland, P. W. (2011). *Ciencia e ingeniería de materiales*. México: CENCAGE.
- ASTM E-112. (2012). *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*.
- ASTM E1251. (2007). *Standard test method for analysis of aluminium and aluminium alloy by atomic emission spectrometry*. New York: ASTM International.
- Badano y Menéndez. (2014). Evaluación de metodologías para la modelación Reynolds-Averaged Navier Stokes (RANS) de la capa limite en conductos circulares. *Mecánica computacional*, 51-70.
- Báez, R. (1995). *Ecuador, pasado y presente*. Libresa.
- Beckermann y Kent. (2009). Prediction of shrinkage pore volume fraction using a dimensionless Niyama Criterion. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 163-175.
- Bohler. (2016). *Catalogo de materiales*. Quito: Bohler.

- Budynas y Nisbett. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8 ed.). México: Mc Graw Hill. Recuperado el 15 de Noviembre de 2017
- Cad Cae Ingenieria Ltda. (20 de Enero de 2004). *Cad Cae Ingenieria Limitada*. Recuperado el 17 de 11 de 2017, de <http://www.cad-cae.com/analisis04.html>
- Callister y Rethwisch. (2016). *Ciencia e ingeniería de Materiales*. México: Reverté.
- Campbell, J. (2015). *Complete Casting Handbook*. Birmingham: Elsevier.
- Cengel, Y. A. (2003). *Termodinámica*. México: McGraw Hill.
- COMEX. (2014). *Comite de Comercion Exterior*. Quito.
- Constitucion de la Republica Del Ecuador. (2008). *Articulo 284*. Quito.
- Copper Development Association Inc. (23 de 03 de 2017). *Copper Alloy Advanced Search*. Recuperado el 12 de 01 de 2018, de <https://alloys.copper.org/alloy/C85400>
- Diaz y Carmona. (2008). *Diseño y desarrollo de producto*. Colombia: Octavo Acto.
- Esparza C. (2003). *Tesis Doctoral: Optimización de un sistema de alimentacion para llenado de moldes con aleaciones de aluminio*. México: Universidad Autonoma Nuevo Leon.
- Fundiciones Fumbarri Durango, S.A. (10 de Enero de 2013). *Fumbarri Fundiciones*. Obtenido de <http://www.fumbarri.com/wp-content/uploads/2013/01/fumbarri-rechupes-en-nodular.pdf>
- FUNPIMET. (18 de Febrero de 2016). *FUNPIMET*. Obtenido de <http://www.funpimet.com.mx/>
- Garces, M. A. (2016). *Tesis Postgrado: Diseño, construccion y simulacion de llenado de un molde en arena en verde para fundicion de piezas de aluminio blanco*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Gerling. (1979). *Moldeo y conformación*. España: Editorial Reverté, SA.
- Guedes B. (04 de Mayo de 2016). *Ebah*. Recuperado el 08 de Julio de 2017, de <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABUn4AI/pf-molde-permanente>

- Gunasegaram, D. R. (2009). Identification of critical factors affecting shrinkage porosity in permanent mold casting using numerical simulations based on design of experiments. *Journal of materials processing technology*, 1209-1219.
- Ik-Tae, Woo-Seung Kim, Kwan-SooLee. (2001). A unified analysis of filling and solidification in casting with natural convection. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1507-1515.
- Imágenes Google. (22 de 01 de 2017). *Google Buscador* . Obtenido de <https://www.google.com/search?q=suspension+macpherson&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiJmYivl9XRAhWJ7SYKHfduBiQ>
- Ivan Bohman. (2015). *Catalogo de Productos*. Quito: IBCA.
- J. Lasema. (2016). *Análisis de materiales mediante espectrometría de masas de iones secundarios*. Malaga: Universidad de Malaga.
- Jelinek, P. y Elbel, T. . (2010). Chvorinov's rule and determination of coefficient of heat accumulation of moulds wuth non-quartz base sands. *Archives of foundry engineering*, 77-82.
- JIS D 5301. (2006). *Lead- Acid starter batteries*. Japan.
- Kalpajian, Serope y Schmid . (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson Educación.
- Larburu, N. (1989). *Prontuario de máquinas*. Madrid: Paraninfo.
- Lasheras.E. (1981). *Materiales Industriales*. Barcelona: Cedel.
- LEADWELL CNC MACHINES MFG.,CORP. (2013). *Guide User's*. Taiwan: LEADWELL.
- Luttervelte, T. (1993). Advanced Techniques for Die and Mold Manufacturing. *CIRP Annals*, 707-716.

- Montes, Martínez, y del Real Romero. (2006). *Procesos industriales para materiales metálicos* (Vol. 2). Madrid: Editorial Vision Libros.
- Mott R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson.
- Murcia, Ossa, Paniagua. (2011). Análisis de sensibilidad de flujos de aluminio en moldes permanentes al tamaño de malla y coeficiente de transferencia térmica. *Ninth Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, WE1- 1 , WE1-10.
- Oviedo y Vinuesa. (2012). *Tesis: Diseño y construcción de un molde permanente utilizando el software vulcan*. Quito: EPN.
- P. Fallbo. (2000). High-speed machining of cast iron and alloy steels for. *Journal of Materials Processing Technology*, 104-115.
- Plan Nacional Para el Buen Vivir. (2013-2017). *Plan Nacional Para el Buen Vivir*. Quito.
- Poluche S, y Quillupangui S. (2012). *Tesis pregrado: Competitividad en la industria de la fundición de piezas metálicas en Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Ponciano, E y Venegas, E. (2011). Caracterización del latón. *Revista Metalúrgica*, 57-64.
- Potter, M y David, Wiggert. (2008). *Fluid Mechanics*. New York: McGraw Hill.
- PROECUADOR. (21 de JUNIO de 2017). *PROECUADOR*. Obtenido de <http://www.proecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/metalmecanica/>
- Robert D. Cook, D. S. (2002). *Concepts and applications of finite elements analysis* (4 ed ed.). New York: Denvers.
- Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. (2014). *Basic dynamic analysis user's guide*. Plano TX, USA: Siemens Industry Software.

- Smith. F y Hashemi. J. (2010). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. México: McGraw Hill.
- Software Siemens Industry. (11 de Diciembre de 2017). *NX CAM Software*. Obtenido de <https://www.plm.automation.siemens.com/es/products/nx/for-manufacturing/cam/>
- Timings, R. (2001). *Tecnología de la Fabricación* (Primera ed.). Mexico: Alfaomega. Recuperado el 16 de Noviembre de 2017
- Vander George. (1999). *Metallography Principles and Practice*. New York: ASM International. doi:10.1361/mpap1999p060
- Vijayaram, Sulaiman, Hamouda y Ahmad. (2006). Numerical simulation of casting solidification in. *Journal of Materials Processing Technology*, 29-33.
- Zabaleta, J. G. (2016). *Tesis Pregrado: Cálculo del estado de carga en baterías*. Madrid: Universidad Publica de Navarra.

## Anexos

**Anexo 1.** Informe de espectrometría por chispa (continua).



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
DEPARTAMENTO DE MATERIALES  
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



### INFORME TÉCNICO

**Solicitado por:** Milton Danilo Jami Jami

**Tipo de Trabajo:** Espectrometría por chispa

**Proyecto:** Diseño y construcción de un molde permanente para la fabricación de bornes de batería automotrices

**Fecha:** 04 de enero del 2018

**Realizado por:** Ing. Oscar Sotomayor M.S., Ing. Luis Gustavo Huilca

**Descripción:** Ensayo de espectrometría por chispa en borne de batería.

#### 1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional una muestra suelta de bronce

Se solicita realizar la prueba con la finalidad de determinar los componentes presentes en la muestra entregada.

#### 2. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA.

La muestra para el análisis correspondiente es identificada como se muestra a continuación:



Nombre	Identificación de la probeta	Fotografía
Muestra de bronce	M - Borne de batería	



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE MATERIALES**  
**LABORATORIO DE FUNDICIÓN**



### 3. VALORES OBTENIDOS

El análisis de espectrometría por chispa se realiza empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION. Para el análisis se toman 3 mediciones por muestra promediando su valor.

<b>M - Borne de batería</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Valor [%]</b>
Cobre [Cu]	59,91
Zinc [Zn]	34,36
Plomo [Pb]	2,325
Estaño [Sn]	1,200
Fosforo [P]	0,138
Manganeso [Mn]	0,025
Hierro [Fe]	0,534
Niquel [Ni]	0,569
Silicio [Si]	0,295
Aluminio [Al]	0,168
Azufre [S]	0,060
Arsénico [As]	0,165
Bismuto [Bi]	<0,0050
Selenio [Se]	0,176

Ing. Luis Gustavo Huilca

**Técnico Responsable**

Ing. Oscar Sotomayor

**Jefe del Laboratorio de Fundición.**

**Anexo 2.** Planos

**Anexo 3.** Propiedades térmicas de diversos materiales (continua).

<i>Material</i>	<i>Thermal Conductivity</i>	
	<i>W/m-K</i>	<i>Btu/ft-h-°F</i>
<b>METALS AND METAL ALLOYS</b>		
<b>Plain Carbon and Low Alloy Steels</b>		
Steel alloy A36	51.9	30
Steel alloy 1020	51.9	30
Steel alloy 1040	51.9	30
<b>Stainless Steels</b>		
Stainless alloy 304 (annealed)	16.2	9.4
Stainless alloy 316 (annealed)	16.2	9.4
Stainless alloy 405 (annealed)	27.0	15.6
Stainless alloy 440A (annealed)	24.2	14.0
Stainless alloy 17-7PH (annealed)	16.4	9.5
<b>Cast Irons</b>		
Gray irons		
• Grade G1800	46.0	26.6
• Grade G3000	46.0	26.6
• Grade G4000	46.0	26.6
Ductile irons		
• Grade 60-40-18	36.0	20.8
• Grade 80-55-06	36.0	20.8
• Grade 120-90-02	36.0	20.8
<b>Aluminum Alloys</b>		
Alloy 1100 (annealed)	222	128
Alloy 2024 (annealed)	190	110
Alloy 6061 (annealed)	180	104
Alloy 7075-T6	130	75
Alloy 356.0-T6	151	87

<i>Material</i>	<i>Thermal Conductivity</i>	
	<i>W/m-K</i>	<i>Btu/ft-h-°F</i>
<b>Copper Alloys</b>		
C11000 (electrolytic tough pitch)	388	224
C17200 (beryllium-copper)	105–130	60–75
C26000 (cartridge brass)	120	70
C36000 (free-cutting brass)	115	67
C71500 (copper-nickel, 30%)	29	16.8
C93200 (bearing bronze)	59	34
<b>Magnesium Alloys</b>		
Alloy AZ31B	96 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>
Alloy AZ91D	72 <sup>a</sup>	43 <sup>a</sup>
<b>Titanium Alloys</b>		
Commercially pure (ASTM grade 1)	16	9.2
Alloy Ti-5Al-2.5Sn	7.6	4.4
Alloy Ti-6Al-4V	6.7	3.9
<b>Precious Metals</b>		
Gold (commercially pure)	315	182
Platinum (commercially pure)	71 <sup>b</sup>	41 <sup>b</sup>
Silver (commercially pure)	428	247

*Nota: Esta tabla contiene información de la conductividad térmica varios materiales (Callister y Rethwisch, 2016)*

**Anexo 4.** Densidad de diversos materiales (continua).

<i>Material</i>	<i>Density</i>	
	<i>g/cm<sup>3</sup></i>	<i>lb<sub>m</sub>/in.<sup>3</sup></i>
<b>METALS AND METAL ALLOYS</b>		
<b>Plain Carbon and Low Alloy Steels</b>		
Steel alloy A36	7.85	0.283
Steel alloy 1020	7.85	0.283
Steel alloy 1040	7.85	0.283
Steel alloy 4140	7.85	0.283
Steel alloy 4340	7.85	0.283
<b>Stainless Steels</b>		
Stainless alloy 304	8.00	0.289
Stainless alloy 316	8.00	0.289
Stainless alloy 405	7.80	0.282
Stainless alloy 440A	7.80	0.282
Stainless alloy 17-7PH	7.65	0.276
<b>Cast Irons</b>		
Gray irons		
• Grade G1800	7.30	0.264
• Grade G3000	7.30	0.264
• Grade G4000	7.30	0.264
Ductile irons		
• Grade 60-40-18	7.10	0.256
• Grade 80-55-06	7.10	0.256
• Grade 120-90-02	7.10	0.256
<b>Aluminum Alloys</b>		
Alloy 1100	2.71	0.0978
Alloy 2024	2.77	0.100
Alloy 6061	2.70	0.0975
Alloy 7075	2.80	0.101
Alloy 356.0	2.69	0.0971

<i>Material</i>	<i>Density</i>	
	<i>g/cm<sup>3</sup></i>	<i>lb<sub>m</sub>/in.<sup>3</sup></i>
<b>Copper Alloys</b>		
C11000 (electrolytic tough pitch)	8.89	0.321
C17200 (beryllium–copper)	8.25	0.298
C26000 (cartridge brass)	8.53	0.308
C36000 (free-cutting brass)	8.50	0.307
C71500 (copper–nickel, 30%)	8.94	0.323
C93200 (bearing bronze)	8.93	0.322
<b>Magnesium Alloys</b>		
Alloy AZ31B	1.77	0.0639
Alloy AZ91D	1.81	0.0653
<b>Titanium Alloys</b>		
Commercially pure (ASTM grade 1)	4.51	0.163
Alloy Ti-5Al-2.5Sn	4.48	0.162
Alloy Ti-6Al-4V	4.43	0.160

*Nota: Esta tabla contiene información de las densidades de varios materiales (Callister y Rethwisch, 2016)*

## Anexo 5. Calor específico (continua)

<i>Material</i>	<i>Specific Heat</i>	
	<i>J/kg-K</i>	<i>10<sup>-2</sup>Btu/lb<sub>m</sub>-°F</i>
<b>METALS AND METAL ALLOYS</b>		
<b>Plain Carbon and Low Alloy Steels</b>		
Steel alloy A36	486 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>
Steel alloy 1020	486 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>
Steel alloy 1040	486 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>
<b>Stainless Steels</b>		
Stainless alloy 304	500	12.0
Stainless alloy 316	500	12.0
Stainless alloy 405	460	11.0
Stainless alloy 440A	460	11.0
Stainless alloy 17-7PH	460	11.0
<b>Cast Irons</b>		
Gray irons		
• Grade G1800	544	13
• Grade G3000	544	13
• Grade G4000	544	13
Ductile irons		
• Grade 60-40-18	544	13
• Grade 80-55-06	544	13
• Grade 120-90-02	544	13
<b>Aluminum Alloys</b>		
Alloy 1100	904	21.6
Alloy 2024	875	20.9
Alloy 6061	896	21.4
Alloy 7075	960 <sup>b</sup>	23.0 <sup>b</sup>
Alloy 356.0	963 <sup>b</sup>	23.0 <sup>b</sup>

<b>Material</b>	<b>Specific Heat</b>	
	<b>J/kg-K</b>	<b><math>10^{-2} \text{Btu/lb}_m\text{-}^\circ\text{F}</math></b>
<b>Copper Alloys</b>		
C11000 (electrolytic tough pitch)	385	9.2
C17200 (beryllium-copper)	420	10.0
C26000 (cartridge brass)	375	9.0
C36000 (free-cutting brass)	380	9.1
C71500 (copper-nickel, 30%)	380	9.1
C93200 (bearing bronze)	376	9.0

*Nota: Esta tabla contiene información de los calores específicos de varios materiales (Callister y Rethwisch, 2016)*

## Anexo 6. Calor latente

**TABLA 20.2** Calores latentes de fusión y vaporización

Sustancia	Punto de fusión (°C)	Calor latente de fusión (J/kg)	Punto de ebullición (°C)	Calor latente de vaporización (J/kg)
Helio	-269.65	$5.23 \times 10^3$	-268.93	$2.09 \times 10^4$
Nitrógeno	-209.97	$2.55 \times 10^4$	-195.81	$2.01 \times 10^5$
Oxígeno	-218.79	$1.38 \times 10^4$	-182.97	$2.13 \times 10^5$
Alcohol etílico	-114	$1.04 \times 10^5$	78	$8.54 \times 10^5$
Agua	0.00	$3.33 \times 10^5$	100.00	$2.26 \times 10^6$
Azufre	119	$3.81 \times 10^4$	444.60	$3.26 \times 10^5$
Plomo	327.3	$2.45 \times 10^4$	1 750	$8.70 \times 10^5$
Aluminio	660	$3.97 \times 10^5$	2 450	$1.14 \times 10^7$
Plata	960.80	$8.82 \times 10^4$	2 193	$2.33 \times 10^6$
Oro	1 063.00	$6.44 \times 10^4$	2 660	$1.58 \times 10^6$
Cobre	1 083	$1.34 \times 10^5$	1 187	$5.06 \times 10^6$

Nota: Esta tabla contiene información de los calores específicos de varios materiales (Cengel, 2003)

**Anexo 7.** Velocidades de corte para distintas operaciones y diámetros.

Útiles de corte		<b>CUCHILLAS PARA TORNEADO</b>					TABLA 17 . 12					
		<b>VELOCIDADES DE CORTE CON UTILES DE ACERO RÁPIDO</b>										
Material a tornear	Resistencia Dureza	Avance <i>s</i> mm por vuelta										
		0,2	0,4	0,8	1,6	3,2						
		Velocidad <i>v</i> m por minuto										
Acero suave	45 kg/mm <sup>2</sup>	43	32	24	18	13						
Acero semiduro	60 kg/m <sup>2</sup>	34	25	19	14	10						
Acero duro	85 kg/m <sup>2</sup>	26	21	16	12	8						
Acero ligeramente aleado	90-110 kg/mm <sup>2</sup>	18	13	10	7,5	6						
Acero aleado	110-150 kg/mm <sup>2</sup>	17	12	8,5	6	4						
Acero fundido (moldeado)	50 kg/mm <sup>2</sup>	34	25	19	14	10						
Acero fundido duro	50-80 kg/mm <sup>2</sup>	27	18	13	10	7,5						
Fundición gris	HB 180	48	27	18	14	10						
Fundición dura	HB 220	32	18	13	10	8						
Fundición acerada	HB 250	22	14	11	7,5	5						
Cobre	60-80 HB	56	53	38	28	21						
Latón	80-120 HB	125	85	56	36	27						
Bronce	100 HB	63	48	40	32	24						
Aleaciones blandas de aluminio	20 HB	132	85	56	38	28						
Aleaciones duras de aluminio	25 HB	118	75	50	38	28						
Aleaciones de magnesio	20 HB	1000	900	800	750	700						
Plásticos		60-200										
Goma dura		100										
<p>NOTA. — Las velocidades de corte indicadas son de aplicación para profundidades de corte de <math>a \leq 5</math> mm; para profundidades <math>a \geq 5</math> mm los valores indicados se reducirán en un 10 a 20%. Estas velocidades corresponden a operación de acabado, para otros se afectarán de los coeficientes siguientes:</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Desbastado, 0,7;</td> <td>Tronzado, 0,6</td> </tr> <tr> <td>Taladrado, 0,3</td> <td>Mandriando 0,6</td> </tr> <tr> <td>Roscado 0,1 a 0,4</td> <td></td> </tr> </table>							Desbastado, 0,7;	Tronzado, 0,6	Taladrado, 0,3	Mandriando 0,6	Roscado 0,1 a 0,4	
Desbastado, 0,7;	Tronzado, 0,6											
Taladrado, 0,3	Mandriando 0,6											
Roscado 0,1 a 0,4												

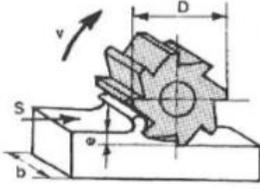
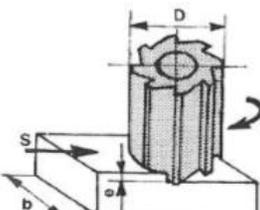
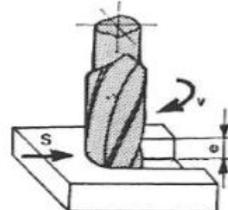
Nota: Esta tabla contiene información de velocidades de corte para torneado (Larburu, N, 1989)

Útiles de corte		<b>VELOCIDADES DE CORTE CON PLAQUITAS DE METAL DURO</b>					TABLA 18, . 12		
<b>CORTE CON PLAQUITAS DE METALDURO SOLDADAS</b>									
Grupo de empleo →			P01	P10	P20	P30	P40		
Material	Dureza Brinell HB	Resistencia a la tracción kg/mm <sup>2</sup>	Avance s, en mm por vuelta						
			0,3-0,05	0,7-0,3-0,1	1,2-0,3-0,15	2-0,4-0,2	3-0,4		
			Velocidad de corte v, m/min.						
Acero al carbono									
C 0,15%	125	45	280-440	170-240-330	100-200-260	60-150-200	35-125		
C 0,35%	150	60	235-370	140-200-280	80-165-210	45-120-160	25-100		
C 0,70%	250	85	185-300	110-155-220	60-130-170	35- 90-125	20-70		
Acero aleado recocido	150-200	50-65	185-300	110-155-220	60-130-170	40- 95-125	25-70		
Acero aleado tratado	200-275	65-95	145-240	85-120-175	50-100-130	30- 75-100	20-60		
Acero aleado tratado	275-325	90-110	115-180	65- 95-140	40- 80-105	25- 60-80	15-45		
Acero aleado tratado	325-425	110-150	90-150	35- 75-110	30- 65-85	20- 50-60	15-35		
Acero inoxidable martensítico				160-225	110-145-180	80-125-155	45-90		
Acero inoxidable austenítico					110-135	70-105-135	70-90		
Acero fundido (colado), no aleado,	150	50		125-160	65-105-125	45- 90-115	25-70		
poco aleado	150-250	50-80		90-125	45- 75-90	30- 60-80	15-45		
muy aleado	160-200				110-155	70-105-135	55-80		
Velocidades establecidas para una duración de la arista de corte (filo) de 35 minutos.									
<b>CORTE CON PLAQUITAS DE METAL DURO FIJADAS MECÁNICAMENTE</b>									
Grupo de empleo →			P01	P10	P20	P30	P40		
Material	Dureza Brinell HB	Resistencia a la tracción kg/mm <sup>2</sup>	Avance s, en mm por vuelta						
			0,3-0,05	0,7-0,3-0,1	1,2-0,3-0,15	2-0,4-0,2	3-0,4		
			Velocidad de corte v, m/min.						
Acero al carbono									
C 0,15%	125	45	350-540	200-290-410	130-260-330	80-190-250	45-160		
C 0,35%	150	60	290-460	170-240-350	100-210-270	65-150-200	35-125		
C 0,70%	250	85	230-370	130-190-280	80-160-210	45-115-160	25-95		
Acero aleado recocido	150-200	50-65	230-370	130-190-280	80-160-210	50-120-160	30-95		
Acero aleado tratado	200-275	65-90	180-290	105-150-220	65-130-170	40- 95-125	25-75		
Acero aleado tratado	275-325	90-110	145-230	85-120-175	50-100-130	30- 75-100	20-60		
Acero aleado tratado	325-450	110-150	115-150	65- 95-140	40- 80-105	25- 60-180	15-50		
Acero inoxidable martensítico				200-280	140-190-225	100-160-200	60-115		
Acero inoxidable austenítico					140-170	95-135-170	90-115		
Acero fundido (colado), no aleado,	150	50		160-200	80-135-160	55-115-145	35-90		
poco aleado	150-250	50-80		115-160	55- 95-115	35- 75-100	20-60		
muy aleado	160-200				140-200	100-135-170	70-105		
Velocidades establecidas para una duración de la arista de corte (filo) de 15 minutos.									

Nota: Esta tabla contiene información de velocidades de corte para torneado (Larburu, N, 1989)

Útiles de corte		<b>VELOCIDADES DE CORTE CON PLAQUITAS DE METAL DURO</b>					TABLA 18, . '2	
<b>CORTE CON PLAQUITAS DE METAL DURO SOLDADAS</b>								
Grupo de empleo →		K01	K10 M20	K10	K20	P20	P30	
Material	Dureza Brinell HB	Avance s, en mm por vuelta						
		0,2-0,1	1-0,5-0,2	1-0,5-0,2	1,2-0,7	1-0,7-0,3	1,2-0,7-3	
		Velocidad de corte v, m/min.						
Acero al 12% de Mn	200		15- 25-50		8-25			
Fundición maleable			45-135-180	35-100-135		135-155	45-90-135	
Fundición gris	180	125-160	65-145-180	50-110-145	50-70			
Fundición gris aleada	250	70-115	45-90-135	35- 65-100	35-50	60-100-135		
Fundición modular	250		35- 80-125	25- 60-90		80-125	25-45	
Fundición templada en coquilla	400	6-20	8- 15-25					
Cobre electrolítico			155-315-540		270-450			
Aleaciones de plomo con desprendimiento			200-270-400		180-250			
Latón, bronce rojo			155-200-270		135-180			
Bronce fosforoso			90-155-225		90-155			
Aleaciones de aluminio de tratamiento	80-120		1350-1800		900-1350			
de colada	100		225-450-625		180-270			
			225-450-625		90-180			
Velocidades establecidas para una duración de la arista de corte (filo) de 35 minutos.								
<b>CORTE CON PLAQUITAS DE METAL DURO FIJADAS MECÁNICAMENTE</b>								
Grupo de empleo →		K10 M20	K10	M20	P20	P30		
Material	Dureza Brinell HB	Avance s, en mm por vuelta						
		1-0,5-0,2	1-0,5-0,2	1,2-0,7	1-0,7-0,3	1,2-0,7		
		Velocidad de corte v, m/min.						
Acero al 12% de Mn	200	20- 30-60	45-130-175	10-30				
Fundición maleable		55-175-230	60-120-175		170-215			
Fundición gris	180	80-150-230	45- 85-130	65-90				
Fundición gris aleada	250	55-115-175		45-65	75-130-175		55-115	
Fundición modular	250	45-100-160	35- 75-120		100-160		30-55	
Fundición templada en coquilla	400		10- 20-30					
Cobre electrolítico		200-400-700		350-570				
Aleaciones de plomo con desprendimiento		290-350-500		230-350				
Latón, bronce rojo		200-260-350		175-230				
Bronce fosforoso		115-200-290		115-200				
Aleaciones de aluminio de tratamiento	80-120	1700-2300		1100-1700				
de colada	100	290-580-800		230-350				
		290-580-800		115-230				
Velocidades establecidas para una duración de la arista de corte (filo) de 15 minutos.								

Nota: Esta tabla contiene información de velocidades de corte para torneado (Larburu, N, 1989)

Útiles de corte		<b>OPERACIONES DE FRESADO</b>				TABLA 21 . 12
VALORES INFORMATIVOS						
Operacion de fresado	Material	Desbastado		Acabado		Observaciones
		Velocidad <i>v</i> m/min	Desplaza- miento 5 mm/min	Velocidad <i>v</i> m/min	Desplaza- miento 5 mm/min	
		Profundidad de pasada ≈ 5 mm		Profundidad de pasada ≈ 1 mm		
<b>CILINDRADO O PLANEADO</b>  <i>b</i> = ancho de la fresa	Acero no aleado hasta 80 kg/mm <sup>2</sup>	16...18	90...150	18...22	60...90	Toda clase de fresado hasta 100 mm de ancho en fresado normal
	Açero ligeramente aleado hasta 110 kg/mm <sup>2</sup> .	10...13	50...70	13...16	35...45	
	Fundición gris	12...14	10...170	14...18	70...100	
	Latón, bronce	30...40	160...220	40...60	100...160	
	Aluminio aleado	180...300	200...350	220...320	100...200	
<b>REFRENTADO</b>  <i>b</i> = 0,8 · <i>D</i>	Acero no aleado	20...25	80...120	25...30	45...70	Ancho del fresado = 0,8 · <i>D</i> , siendo <i>D</i> el diámetro de la fresa
	Acero ligeramente aleado	12...15 32...40	50...70 80...90	16...30 40...45	45...70 56...70	
	Fundición gris	16...20 50...63	110...160 140...200	20...25 63...70	50...80 125...180	
	Latón, bronce.	45...60	220...280	50...70	90...140	
	Aluminio aleado	240...320 400...500	240...360 350...400	260...380 500...630	90...170 250...350	
<b>RANURADO</b>  Fresas de manguito	Acero no aleado	16...18	35...55	20...24	75...100	Las fresas de alto rendimiento deben estar sólidamente fijadas
	Acero ligeramente aleado	12...14	15...25	16...28	40...55	
	Fundición gris	14...16	40...75	18...20	80...110	
	Latón, bronce	30...40	60...100	50...60	100...140	
	Aluminio aleado	160...200	60...100	180...240	80...120	

Nota: Esta tabla contiene información de velocidades de corte para fresado (Larburu, N, 1989)

MATERIAL		DIAMETRO DE BROCA MM						REFRIGERACION
		5	10	15	20	25	30	
Acero hasta 40 kg/mm <sup>2</sup>	S	0,10	0,18	0,25	0,28	0,31	0,34	T
	V	15	18	22	26	29	32	
Acero hasta 60 kg/mm <sup>2</sup>	S	0,10	0,18	0,25	0,28	0,31	0,35	T o C
	V	- 13	16	20	23	26	28	
Acero hasta 80 kg/mm <sup>2</sup>	S	0,07	0,13	0,16	0,19	0,21	0,23	T o C
	V	12	14	16	18	21	23	
Fundición gris hasta 18 kg/mm <sup>2</sup>	S	0,15	0,24	0,30	0,32	0,35	0,38	S
	V	24	28	32	34	37	39	
Fundición gris hasta 22 kg/mm <sup>2</sup>	S	0,15	0,24	0,30	0,33	0,35	0,38	S o C
	V	16	18	21	24	26	27	
Latón hasta 30 kg/mm <sup>2</sup>	S	0,10	0,15	0,22	0,27	0,30	0,32	T o C
	V			60 ÷ 70				
Bronce hasta 30 kg/mm <sup>2</sup>	S	0,10	0,15	0,22	0,27	0,30	0,32	T, C o S
	V			30 ÷ 40				
Aluminio puro	S	0,05	0,12	0,20	0,30	0,35	0,40	T o S
	V			80 ÷ 120				
Aleaciones de aluminio	S	0,12	0,20	0,30	0,40	0,46	0,50	T, C o S
	V			100 ÷ 150				

*Nota: Esta tabla contiene información de velocidades de corte para taladrado (Larburu, N, 1989).*

Anexo 8. Costos de



JAMI LEMA MILTON S. - MAYPROM  
Tel. 2419-685  
Fax 2419-685  
MADRESELVAS N74-111 Y EL INCA  
QUITO/KENNEDY

Fecha de oferta: 12.12.2017  
Nr. cliente: 59000810  
Solicitud Cliente:  
Vendedor: Carlos Serrano  
Oficina ventas: Quito Norte  
Cond. entrega: FV Quito Norte  
Válidez hasta: 11.01.2018  
Cond. de pago: CO-15 Dentro de 30 días sin deducción

**Oferta Nr. 591247936**

Agradecemos su consulta y ofertamos el siguiente material:

Item	Descripción	Cantidad	Precio	Valor USD
10	73114558 BÖHLER M238 ACERO BOHLER M238 LAMINA 30 00mm chapa 120 mm x 30 mm x 400 mm <b>Nº de piezas: 1,000</b>	12,100 KG	9,50 USD/KG	114,95
20	73114554 BÖHLER M238 ACERO BOHLER M238 LAMINA 20 00mm chapa 75 mm x 20 mm x 140 mm <b>Nº de piezas: 1,000</b>	1,900 KG	9,50 USD/KG	18,05
30	73001261 BÖHLER M238 ACERO BOHLER M238 DIAM 35 80mm redonda 35,8 mm x 150 mm <b>Nº de piezas: 1,000</b>	1,300 KG	9,50 USD/KG	12,35

Total posiciones: 145,35  
IVA 12,00 % 17,44  
145,35 USD

**TOTAL: 162,79**

Condiciones de pago: Crédito 30 días fecha factura

Atentamente

Web Site: www.bohlerandina.com

VE-FO-13 V-1.1 10-05-11

EMPRESA DE ORIGEN		APROBACIÓN DEL CLIENTE		MODO DE ENTREGA	
SOLICITADO POR		FIRMA		ENTREGA EN	
NOMBRE		FECHA		<input type="checkbox"/>	
TELÉFONO				<input type="checkbox"/>	
				<input type="checkbox"/>	
CONDICIONES ESPECIALES		TRÁMITE DE ENTREGA		ENTREGA LOCAL	
OTROS		OTROS		OTROS	
OTROS		OTROS		OTROS	
OTROS		OTROS		OTROS	
OTROS		OTROS		OTROS	

NOTA 1 - El comprador que se ofrece por transacción que no pertenecen a la Organización, paga por cuenta y riesgo de comprador.  
NOTA 2 - La empresa deberá indemnizar por el personal de la Organización cualquier daño causado por negligencia.  
NOTA 3 - El cliente acepta todas las condiciones y condiciones que se detallan en el contrato de compra y venta.

**FAVOR HACER SUS PAGOS A NOMBRE DE: ACRBOHLENER DEL ECUADOR S.A. BOHLER**

Mostr. QUITO NORTE  
De las Avellaneda C1. 112 y  
Manuel de Caceres Mar. Km. 5 102  
Tel: 02 2417080 02 2417081  
02 24170415 02 24170130  
02 2601887 02 2607599  
Fax: 02 2417318  
Caj. 02 4764047

Sucursal QUITO SUR  
Av. Montalvo  
570-151 y Taura  
Teléfono: 02 3901418 02 3903771  
02 3903730 02 3903740  
Caj. 02 4761130

Sucursal QUITO CA  
Av. Hurtado de Mendoza 298 y  
José Joaquín de Olmedo  
Teléfono: 02 2602360  
Caj. 02 4760880

Sucursal GUAYAS  
Vía Ocaña Km. 110  
FEB. 04 2107527  
Fax: 04 2151252  
Caj. 04 4762548

materiales.

**Anexo 9. Codigos G**

N1 G40 G17 G80 G90  
 N2 G91 G28 Z0.0  
 N3 G49  
 N4 M06 T01  
 N5 G54  
 N6 G0 G90 X87.5 Y13. M03 S1600  
 N7 G43 Z10. H01  
 N8 Z2.162  
 N9 G1 Z-.838 F70. M08  
 N10 Y0.0  
 N11 Y-66.5 F350.  
 N12 X61.  
 N13 Y0.0  
 N14 X87.5  
 N15 X78.5 Y-9.  
 N16 Y-57.5  
 N17 X70.  
 N18 Y-9.  
 N19 X78.5  
 N20 X100.5  
 N21 Z2.162  
 N22 G0 Z3.  
 N23 X51. Y13.25  
 N24 Z2.162  
 N25 G1 Z-.838 F70.  
 N26 Y0.0  
 N27 Y-66.5 F350.  
 N28 Y-79.75  
 N29 Z2.162  
 N30 G0 Z3.  
 N31 X87.5 Y13.  
 N32 Z1.325  
 N33 G1 Z-1.675 F70.  
 N34 Y0.0  
 N35 Y-66.5 F350.  
 N36 X61.  
 N37 Y0.0  
 N38 X87.5  
 N39 X78.5 Y-9.  
 N40 Y-57.5  
 N41 X70.  
 N42 Y-9.  
 N43 X78.5  
 N44 X100.5  
 N45 Z1.325  
 N46 G0 Z2.162  
 N47 X51. Y13.25  
 N48 Z1.325  
 N49 G1 Z-1.675 F70.  
 N50 Y0.0  
 N51 Y-66.5 F350.  
 N52 Y-79.75  
 N53 Z1.325  
 N54 G0 Z2.162  
 N55 X87.5 Y13.  
 N56 Z.487  
 N57 G1 Z-2.513 F70.  
 N58 Y0.0  
 N59 Y-66.5 F350.  
 N60 X61.  
 N61 Y0.0  
 N62 X87.5  
 N63 X78.5 Y-9.  
 N64 Y-57.5  
 N65 X70.  
 N66 Y-9.  
 N67 X78.5  
 N68 X100.5  
 N69 Z.487  
 N70 G0 Z1.325  
 N71 X51. Y13.25  
 N72 Z.487

N73 G1 Z-2.513 F70.  
 N74 Y0.0  
 N75 Y-66.5 F350.  
 N76 Y-79.75  
 N77 Z.487  
 N78 G0 Z1.325  
 N79 X87.5 Y13.  
 N80 Z-35  
 N81 G1 Z-3.35 F70.  
 N82 Y0.0  
 N83 Y-66.5 F350.  
 N84 X61.  
 N85 Y0.0  
 N86 X87.5  
 N87 X78.5 Y-9.  
 N88 Y-57.5  
 N89 X70.  
 N90 Y-9.  
 N91 X78.5  
 N92 X100.5  
 N93 Z-.35  
 N94 G0 Z.487  
 N95 X51. Y13.25  
 N96 Z-.35  
 N97 G1 Z-3.35 F70.  
 N98 Y0.0  
 N99 Y-66.5 F350.  
 N100 Y-79.75  
 N101 Z-.35  
 N102 G0 Z10.  
 N103 M05 M09  
 N104 G91 G28 Z0.0  
 N105 G49 G80  
 N106 G91 G28 Z0.0  
 N107 G49  
 N108 M06 T02  
 N109 G55  
 N110 G0 G90 X56.238 Y-72.352 M03  
 S1800  
 N111 G43 Z10. H02  
 N112 Z2.503  
 N113 G1 Z-.497 F74. M08  
 N114 X61.252 Y-63.592  
 N115 X57.649 Y-65.329  
 N116 G2 X54.581 Y-66.637 I-15.637  
 J32.427 F370.  
 N117 G1 X50.833 Y-68.033  
 N118 Y-74.496  
 N119 Z2.503  
 N120 G0 Z10.  
 N121 X57.649 Y-65.329  
 N122 Z2.503  
 N123 G1 Z-.497 F74.  
 N124 X57.399 Y-63.094  
 N125 X57.379 Y-62.916  
 N126 X57.245 Y-61.71  
 N127 X57.173 Y-61.083  
 N128 G2 X55.113 Y-62.097 I-15.161  
 J28.18 F370.  
 N129 G1 X51.464 Y-63.735  
 N130 X56.238 Y-72.352  
 N131 Z2.503  
 N132 G0 Z10.  
 N133 X57.173 Y-61.083  
 N134 Z2.503  
 N135 G1 Z-.497 F74.  
 N136 X57.155 Y-60.924  
 N137 X57.148 Y-60.843  
 N138 X57.147 Y-60.839  
 N139 X56.963 Y-59.19  
 N140 X56.93 Y-58.91  
 N141 X56.895 Y-58.584  
 N142 X56.689 Y-56.747  
 N143 G2 X55.643 Y-57.36 I-14.677  
 J23.845 F370.  
 N144 G1 X52.149 Y-59.308  
 N145 Z2.503  
 N146 G0 Z10.  
 N147 X56.689 Y-56.747

N148 Z2.503  
 N149 G1 Z-.497 F74.  
 N150 X56.501 Y-55.078  
 N151 X56.492 Y-55.001  
 N152 X56.486 Y-54.917  
 N153 X56.477 Y-54.649  
 N154 X56.474 Y-54.55  
 N155 X56.478 Y-54.455  
 N156 X56.501 Y-54.104  
 N157 X56.51 Y-54.032  
 N158 X56.536 Y-53.862  
 N159 X56.581 Y-53.635  
 N160 X56.625 Y-53.457  
 N161 X56.77 Y-53.02  
 N162 X56.987 Y-52.551  
 N163 X57.348 Y-51.986  
 N164 X57.872 Y-51.408  
 N165 X58.434 Y-50.969  
 N166 X58.629 Y-50.848  
 N167 X59.52 Y-50.456  
 N168 X59.581 Y-50.438  
 N169 X60.222 Y-50.3  
 N170 X60.407 Y-50.279  
 N171 X60.595 Y-50.265  
 N172 X60.805 Y-50.26  
 N173 X60.883  
 N174 X65.097  
 N175 G3 X65.238 Y-50.175 I0.0 J.16  
 N176 G1 X65.51 Y-49.663  
 N177 X65.911 Y-49.117  
 N178 X66.192 Y-48.819  
 N179 G3 X66.195 Y-48.602 I-.116 J.11  
 N180 G1 X65.971 Y-48.353  
 N181 X65.666 Y-47.885  
 N182 G2 X63.982 Y-50.26 I-23.654  
 J14.983 F370.  
 N183 G1 X61.503 Y-53.399  
 N184 Z2.503  
 N185 G0 Z10.  
 N186 X65.666 Y-47.885  
 N187 Z2.503  
 N188 G1 Z-.497 F74.  
 N189 X65.251 Y-47.251  
 N190 X65.007 Y-46.573  
 N191 X64.92 Y-46.168  
 N192 X64.869 Y-45.739  
 N193 X64.86 Y-45.456  
 N194 Y-45.067  
 N195 Y-44.369  
 N196 G3 X64.859 Y-44.347 I-.16 J0.0  
 N197 G1 X64.85 Y-44.288  
 N198 X64.858 Y-44.23  
 N199 G3 X64.859 Y-44.217 I-.159 J.021  
 N200 G1 X64.873 Y-43.955  
 N201 X64.954 Y-43.4  
 N202 X65.104 Y-42.863  
 N203 X65.249 Y-42.502  
 N204 X65.435 Y-42.137  
 N205 X65.493 Y-42.038  
 N206 X65.668 Y-41.776  
 N207 X65.764 Y-41.647  
 N208 X66.036 Y-41.328  
 N209 X66.307 Y-41.065  
 N210 X66.599 Y-40.825  
 N211 G3 X66.631 Y-40.614 I-.102 J.124  
 N212 G1 X66.262 Y-40.046  
 N213 G3 X66.255 Y-40.036 I-.134 J-.087  
 N214 G1 X66.194 Y-39.956  
 N215 X66.19 Y-39.942  
 N216 G3 X66.174 Y-39.909 I-.152 J-.05  
 N217 G1 X66.121 Y-39.821  
 N218 X66.019 Y-39.636  
 N219 X65.952 Y-39.5  
 N220 X65.914 Y-39.416  
 N221 X65.681 Y-38.761  
 N222 X65.582 Y-38.282  
 N223 X65.565 Y-37.509  
 N224 G2 X55.483 Y-52.765 I-23.554  
 J4.606 F370.

N225 G1 X52.172 Y-55.01	N294 G1 X42.116 Y-22.709	N369 G2 X55.647 Y-57.327 I-14.657
N226 Z2.503	N295 X42.077 Y-22.486	J23.858 F370.
N227 G0 Z10.	N296 X42.053 Y-22.302	N370 G1 X52.152 Y-59.272
N228 X65.565 Y-37.509	N297 G3 X42.028 Y-22.234 I-.159 J-.021	N371 Z2.005
N229 Z2.503	N298 G1 X42.005 Y-22.2	N372 G0 Z10.
N230 G1 Z-.497 F74.	N299 G2 X41.883 Y-22.226 I-.999 J4.382	N373 X56.686 Y-56.719
N231 X65.559 Y-37.191	F370.	N374 Z2.005
N232 G3 X65.948 Y-34.656 I-12.398	N300 X38.232 Y-24.067 I-3.629 J2.658	N375 G1 Z-.995 F74.
J3.199	N301 G1 X22.768	N376 X56.501 Y-55.078
N233 G2 X65.834 Y-35.816 I-23.936	N302 G2 X21.198 Y-23.796 I-.051 J4.394	N377 X56.492 Y-55.001
J1.754 F370.	N303 G1 X19.816 Y-27.55	N378 X56.486 Y-54.917
N234 G1 X65.349 Y-39.787	N304 G2 X19.439 Y-27.4 I2.901 J7.877	N379 X56.477 Y-54.649
N235 Z2.503	N305 G1 X17.773 Y-27.548	N380 X56.474 Y-54.55
N236 G0 Z10.	N306 X19.44 Y-27.698	N381 X56.478 Y-54.455
N237 X65.948 Y-34.656	N307 G2 X19.816 Y-27.55 I3.274 J-7.726	N382 X56.501 Y-54.104
N238 Z2.503	N308 G1 X21.198 Y-23.796	N383 X56.51 Y-54.032
N239 G1 Z-.497 F74.	N309 G2 X20.255 Y-23.312 I1.519 J4.124	N384 X56.536 Y-53.862
N240 G3 X65.439 Y-30.36 I-12.787 J.664	N310 G1 X11.731 Y-24.067	N385 X56.581 Y-53.635
N241 X65.435 Y-30.349 I-.153 J-.045	N311 X0.0	N386 X56.625 Y-53.457
N242 X61.71 Y-25.624 I-9.24 J-3.455	N312 G2 X-.159 Y-24.064 I0.0 J4.5	N387 X56.77 Y-53.02
N243 G2 X61.279 Y-27.539 I-19.705	N313 G3 X-.16 Y-24.089 I.159 J-.016	N388 X56.987 Y-52.551
J3.424 F370.	N314 G1 X-.123 Y-24.77	N389 X57.348 Y-51.986
N244 X51.91 Y-50.281 I-19.267 J-5.363	N315 X-.155 Y-27.584	N390 X57.872 Y-51.408
N245 G1 X48.434 Y-52.261	N316 Y-27.585	N391 X58.434 Y-50.969
N246 Z2.503	N317 Y-27.726	N392 X58.629 Y-50.848
N247 G0 Z10.	N318 Y-28.15	N393 X59.52 Y-50.456
N248 X61.71 Y-25.624	N319 Y-28.153	N394 X59.581 Y-50.438
N249 Z2.503	N320 X-.14 Y-28.796	N395 X60.222 Y-50.3
N250 G1 Z-.497 F74.	N321 X-.155 Y-29.273	N396 X60.407 Y-50.279
N251 G3 X57.893 Y-24.086 I-5.515 J-	N322 G3 Y-29.278 I.16 J-.005	N397 X60.595 Y-50.265
8.18	N323 G1 X-.152 Y-30.406	N398 X60.805 Y-50.26
N252 G2 X57.087 Y-27.542 I-15.888	N324 Y-30.407	N399 X60.883
J1.886 F370.	N325 X-.146 Y-31.036	N400 X65.097
N253 X47.543 Y-47.916 I-15.075 J-5.361	N326 G2 X.02 Y-31.033 I.156 J-4.508	N401 G3 X65.238 Y-50.175 I0.0 J.16
N254 G1 X45.666 Y-48.607	N327 G1 X11.729	N402 G1 X65.51 Y-49.663
N255 Z2.503	N328 X11.875 Y-31.031	N403 X65.911 Y-49.117
N256 G0 Z10.	N329 X20.253 Y-31.788	N404 X66.192 Y-48.819
N257 X57.893 Y-24.086	N330 G2 X22.771 Y-31.033 I2.462 J-	N405 G3 X66.195 Y-48.602 I-.116 J.11
N258 Z2.503	3.636	N406 G1 X65.971 Y-48.353
N259 G1 Z-.497 F74.	N331 G1 X38.229	N407 X65.661 Y-47.879
N260 G3 X53.833 Y-24.226 I-1.698 J-	N332 G2 X41.882 Y-32.875 I0.29 J-4.487	N408 G2 X63.967 Y-50.26 I-23.632
9.718	N333 X42.012 Y-32.902 I-.863 J-4.397	J15.017 F370.
N261 G2 X52.749 Y-27.545 I-11.828	N334 G1 X45.912 Y-33.788	N409 G1 X61.482 Y-53.394
J2.026 F370.	N335 Z2.503	N410 Z2.005
N262 X47.54 Y-43.553 I-10.737 J-5.358	N336 G0 Z10.	N411 G0 Z10.
N263 G1 X45.765 Y-44.474	N337 X56.238 Y-72.352	N412 X65.661 Y-47.879
N264 Z2.503	N338 Z2.005	N413 Z2.005
N265 G0 Z10.	N339 G1 Z-.995 F74.	N414 G1 Z-.995 F74.
N266 X53.833 Y-24.226	N340 X61.249 Y-63.563	N415 X65.251 Y-47.251
N267 Z2.503	N341 X57.645 Y-65.298	N416 X65.007 Y-46.573
N268 G1 Z-.497 F74.	N342 G2 X54.581 Y-66.602 I-15.616	N417 X64.92 Y-46.168
N269 G3 X53.821 Y-24.229 I2.362 J-	J32.437 F370.	N418 X64.869 Y-45.739
9.578	N343 G1 X50.832 Y-67.997	N419 X64.86 Y-45.456
N270 G1 X53.319 Y-24.308	N344 Y-74.496	N420 Y-45.067
N271 X52.731 Y-24.336	N345 Z2.005	N421 Y-44.369
N272 X52.15 Y-24.298	N346 G0 Z10.	N422 G3 X64.859 Y-44.347 I-.16 J0.0
N273 X49.822 Y-23.903	N347 X57.645 Y-65.298	N423 G1 X64.85 Y-44.288
N274 G2 X47.955 Y-27.548 I-7.817	N348 Z2.005	N424 X64.858 Y-44.23
J1.703 F370.	N349 G1 Z-.995 F74.	N425 G3 X64.859 Y-44.217 I-.159 J.021
N275 X47.465 Y-38.755 I-5.944 J-5.355	N350 X57.399 Y-63.094	N426 G1 X64.873 Y-43.955
N276 G1 X46.002 Y-40.119	N351 X57.379 Y-62.916	N427 X64.954 Y-43.4
N277 Z2.503	N352 X57.245 Y-61.71	N428 X65.104 Y-42.863
N278 G0 Z10.	N353 X57.17 Y-61.053	N429 X65.249 Y-42.502
N279 X49.822 Y-23.903	N354 G2 X55.117 Y-62.063 I-15.141	N430 X65.435 Y-42.137
N280 Z2.503	J28.192 F370.	N431 X65.493 Y-42.038
N281 G1 Z-.497 F74.	N355 G1 X51.467 Y-63.699	N432 X65.668 Y-41.776
N282 X45.87 Y-23.232	N356 X56.238 Y-72.352	N433 X65.764 Y-41.647
N283 G2 X44.514 Y-25.316 I-3.865	N357 Z2.005	N434 X66.036 Y-41.328
J1.032 F370.	N358 G0 Z10.	N435 X66.307 Y-41.065
N284 X41.173 Y-27.55 I-6.26 J5.748	N359 X57.17 Y-61.053	N436 X66.599 Y-40.825
N285 X44.501 Y-29.772 I-2.915 J-7.971	N360 Z2.005	N437 G3 X66.631 Y-40.614 I-.102 J.124
N286 X45.799 Y-34.188 I-2.49 J-3.131	N361 G1 Z-.995 F74.	N438 G1 X66.262 Y-40.046
N287 G1 Z2.503	N362 X57.155 Y-60.924	N439 G3 X66.255 Y-40.036 I-.134 J-.087
N288 G0 Z10.	N363 X57.148 Y-60.843	N440 G1 X66.194 Y-39.956
N289 X45.87 Y-23.232	N364 X57.147 Y-60.839	N441 X66.19 Y-39.942
N290 Z2.503	N365 X56.963 Y-59.19	N442 G3 X66.174 Y-39.909 I-.152 J-.05
N291 G1 Z-.497 F74.	N366 X56.93 Y-58.91	N443 G1 X66.121 Y-39.821
N292 X42.862 Y-22.722	N367 X56.895 Y-58.584	N444 X66.019 Y-39.636
N293 G3 X42.838 Y-22.72 I-.027 J-.158	N368 X56.686 Y-56.719	N445 X65.952 Y-39.5

N446 X65.914 Y-39.416	N515 G3 X42.04 Y-22.256 I-.159 J-.021	N589 G0 Z10.
N447 X65.681 Y-38.761	N516 G2 X41.879 Y-22.291 I-1.056	N590 X56.68 Y-56.669
N448 X65.582 Y-38.282	J4.391 F370.	N591 Z1.508
N449 X65.566 Y-37.551	N517 X38.228 Y-24.116 I-3.627 J2.691	N592 G1 Z-1.492 F74.
N450 G2 X55.471 Y-52.744 I-23.537	N518 G1 X22.772	N593 X56.501 Y-55.078
J4.689 F370.	N519 G2 X21.1 Y-23.813 I-.034 J4.565	N594 X56.492 Y-55.001
N451 G1 X52.157 Y-54.985	N520 G1 X19.665 Y-27.546	N595 X56.486 Y-54.917
N452 Z2.005	N521 X19.438 Y-27.455	N596 X56.477 Y-54.649
N453 G0 Z10.	N522 X18.382 Y-27.552	N597 X56.474 Y-54.55
N454 X65.566 Y-37.551	N523 X19.42 Y-27.647	N598 X56.478 Y-54.455
N455 Z2.005	N524 X19.665 Y-27.546	N599 X56.501 Y-54.104
N456 G1 Z-.995 F74.	N525 X21.1 Y-23.813	N600 X56.51 Y-54.032
N457 X65.559 Y-37.191	N526 G2 X20.23 Y-23.366 I1.638 J4.261	N601 X56.536 Y-53.862
N458 G3 X65.439 Y-30.36 I-12.398	N527 G1 X11.844 Y-24.136	N602 X56.581 Y-53.635
J3.199	N528 X11.65 Y-24.116	N603 X56.625 Y-53.457
N459 X65.435 Y-30.349 I-.153 J-.045	N529 X-.018	N604 X56.77 Y-53.02
N460 X61.749 Y-25.651 I-9.24 J-3.455	N530 G2 X-.159 Y-24.114 I.011 J4.492	N605 X56.987 Y-52.551
N461 G2 X61.318 Y-27.578 I-19.71	N531 G1 X-.123 Y-24.77	N606 X57.348 Y-51.986
J3.395 F370.	N532 X-.155 Y-27.584	N607 X57.872 Y-51.408
N462 X51.861 Y-50.278 I-19.289 J-5.284	N533 Y-27.585	N608 X58.434 Y-50.969
N463 G1 X48.378 Y-52.244	N534 Y-27.726	N609 X58.629 Y-50.848
N464 Z2.005	N535 Y-28.15	N610 X59.52 Y-50.456
N465 G0 Z10.	N536 Y-28.153	N611 X59.581 Y-50.438
N466 X61.749 Y-25.651	N537 X-.14 Y-28.796	N612 X60.222 Y-50.3
N467 Z2.005	N538 X-.155 Y-29.273	N613 X60.407 Y-50.279
N468 G1 Z-.995 F74.	N539 G3 Y-29.278 I.16 J-.005	N614 X60.595 Y-50.265
N469 G3 X57.934 Y-24.094 I-5.554 J-8.153	N540 G1 X-.152 Y-30.406	N615 X60.805 Y-50.26
N470 G2 X57.13 Y-27.574 I-15.894	N541 Y-30.407	N616 X60.883
J1.838 F370.	N542 X-.146 Y-30.986	N617 X65.097
N471 X47.545 Y-47.881 I-15.101 J-5.288	N543 G2 X.017 Y-30.984 I.156 J-4.507	N618 G3 X65.238 Y-50.175 I0.0 J.16
N472 G1 X45.668 Y-48.57	N544 G1 X11.724	N619 G1 X65.51 Y-49.663
N473 Z2.005	N545 X11.871 Y-30.975	N620 X65.911 Y-49.117
N474 G0 Z10.	N546 X20.248 Y-31.739	N621 X66.192 Y-48.819
N475 X57.934 Y-24.094	N547 G2 X22.775 Y-30.984 I2.408 J-3.451	N622 G3 X66.195 Y-48.602 I-.116 J.11
N476 Z2.005	N548 G1 X38.225	N623 G1 X65.971 Y-48.353
N477 G1 Z-.995 F74.	N549 G2 X41.886 Y-32.831 I.065 J-4.423	N624 X65.653 Y-47.865
N478 G3 X53.879 Y-24.215 I-1.739 J-9.711	N550 X42.029 Y-32.862 I-.873 J-4.401	N625 G2 X63.939 Y-50.26 I-23.595
N479 G2 X52.799 Y-27.569 I-11.839	N551 G1 X45.925 Y-33.767	J15.075 F370.
J1.959 F370.	N552 Z2.005	N626 G1 X61.444 Y-53.386
N480 X47.54 Y-43.521 I-10.77 J-5.292	N553 G0 Z10.	N627 Z1.508
N481 G1 X45.763 Y-44.44	N554 X56.238 Y-72.353	N628 G0 Z10.
N482 Z2.005	N555 Z1.508	N629 X65.653 Y-47.865
N483 G0 Z10.	N556 G1 Z-1.492 F74.	N630 Z1.508
N484 X53.879 Y-24.215	N557 X61.245 Y-63.512	N631 G1 Z-1.492 F74.
N485 Z2.005	N558 X57.639 Y-65.244	N632 X65.251 Y-47.251
N486 G1 Z-.995 F74.	N559 G2 X54.58 Y-66.542 I-15.582	N633 X65.007 Y-46.573
N487 G3 X53.821 Y-24.229 I2.316 J-9.589	J32.453 F370.	N634 X64.92 Y-46.168
N488 G1 X53.319 Y-24.308	N560 G1 X50.83 Y-67.933	N635 X64.869 Y-45.739
N489 X52.731 Y-24.336	N561 Y-74.496	N636 X64.86 Y-45.456
N490 X52.15 Y-24.298	N562 Z1.508	N637 Y-45.067
N491 X49.867 Y-23.911	N563 G0 Z10.	N638 Y-44.369
N492 G2 X48.024 Y-27.565 I-7.827	N564 X57.639 Y-65.244	N639 G3 X64.859 Y-44.347 I-.16 J0.0
J1.655 F370.	N565 Z1.508	N640 G1 X64.85 Y-44.288
N493 X47.461 Y-38.735 I-5.995 J-5.297	N566 G1 Z-1.492 F74.	N641 X64.858 Y-44.23
N494 G1 X45.993 Y-40.093	N567 X57.399 Y-63.094	N642 G3 X64.859 Y-44.217 I-.159 J.021
N495 Z2.005	N568 X57.379 Y-62.916	N643 G1 X64.873 Y-43.955
N496 G0 Z10.	N569 X57.245 Y-61.71	N644 X64.954 Y-43.4
N497 X49.867 Y-23.911	N570 X57.163 Y-61.	N645 X65.104 Y-42.863
N498 Z2.005	N571 G2 X55.124 Y-62.001 I-15.106	N646 X65.249 Y-42.502
N499 G1 Z-.995 F74.	J28.21 F370.	N647 X65.435 Y-42.137
N500 X45.916 Y-23.24	N572 G1 X51.473 Y-63.634	N648 X65.493 Y-42.038
N501 G2 X44.426 Y-25.466 I-3.877 J.984	N573 X56.238 Y-72.353	N649 X65.668 Y-41.776
F370.	N574 Z1.508	N650 X65.764 Y-41.647
N502 X41.317 Y-27.546 I-6.174 J5.866	N575 G0 Z10.	N651 X66.036 Y-41.328
N503 X44.503 Y-29.718 I-3.027 J-7.861	N576 X57.163 Y-61.	N652 X66.307 Y-41.065
N504 X45.802 Y-34.191 I-2.474 J-3.143	N577 Z1.508	N653 X66.599 Y-40.825
N505 G1 Z2.005	N578 G1 Z-1.492 F74.	N654 G3 X66.631 Y-40.614 I-.102 J.124
N506 G0 Z10.	N579 X57.155 Y-60.924	N655 G1 X66.262 Y-40.046
N507 X45.916 Y-23.24	N580 X57.148 Y-60.843	N656 G3 X66.255 Y-40.036 I-.134 J-.087
N508 Z2.005	N581 X57.147 Y-60.839	N657 G1 X66.194 Y-39.956
N509 G1 Z-.995 F74.	N582 X56.963 Y-59.19	N658 X66.19 Y-39.942
N510 X42.862 Y-22.722	N583 X56.93 Y-58.91	N659 G3 X66.174 Y-39.909 I-.152 J-.05
N511 G3 X42.838 Y-22.72 I-.027 J-.158	N584 X56.895 Y-58.584	N660 G1 X66.121 Y-39.821
N512 G1 X42.116 Y-22.709	N585 X66.68 Y-56.669	N661 X66.019 Y-39.636
N513 X42.077 Y-22.486	N586 G2 X55.653 Y-57.268 I-14.622	N662 X65.952 Y-39.5
N514 X42.053 Y-22.302	J23.879 F370.	N663 X65.914 Y-39.416
	N587 G1 X52.156 Y-59.21	N664 X65.681 Y-38.761
	N588 Z1.508	N665 X65.582 Y-38.282
		N666 X65.568 Y-37.614

N667 G2 X65.37 Y-38.493 I-23.51 J4.824  
 F370.  
 N668 X55.449 Y-52.707 I-23.313 J5.702  
 N669 G1 X52.13 Y-54.939  
 N670 Z1.508  
 N671 G0 Z10.  
 N672 X65.568 Y-37.614  
 N673 Z1.508  
 N674 G1 Z-1.492 F74.  
 N675 X65.559 Y-37.191  
 N676 G3 X65.439 Y-30.36 I-12.398  
 J3.199  
 N677 X65.435 Y-30.349 I-.153 J-.045  
 N678 X61.769 Y-25.665 I-9.24 J-3.455  
 N679 G2 X61.356 Y-27.539 I-19.716  
 J3.36 F370.  
 N680 X61.485 Y-37.542 I-19.298 J-5.251  
 N681 X51.773 Y-50.272 I-19.427 J4.752  
 N682 G1 X48.277 Y-52.215  
 N683 Z1.508  
 N684 G0 Z10.  
 N685 X61.769 Y-25.665  
 N686 Z1.508  
 N687 G1 Z-1.492 F74.  
 N688 G3 X57.952 Y-24.097 I-5.574 J-  
 8.139  
 N689 G2 X57.172 Y-27.541 I-15.899  
 J1.793 F370  
  
 N690 X57.599 Y-36.592 I-15.114 J-5.249  
 N691 X47.55 Y-47.818 I-15.542 J3.801  
 N692 G1 X45.671 Y-48.505  
 N693 Z1.508  
 N694 G0 Z10.  
 N695 X57.952 Y-24.097  
 N696 Z1.508  
 N697 G1 Z-1.492 F74.  
 N698 G3 X53.901 Y-24.21 I-1.757 J-  
 9.707  
 N699 G2 X52.849 Y-27.543 I-11.848  
 J1.905 F370.  
 N700 X53.714 Y-35.641 I-10.792 J-5.248  
 N701 X47.54 Y-43.465 I-11.656 J2.851  
 N702 G1 X45.761 Y-44.378  
 N703 Z1.508  
 N704 G0 Z10.  
 N705 X53.901 Y-24.21  
 N706 Z1.508  
 N707 G1 Z-1.492 F74.  
 N708 G3 X53.821 Y-24.229 I2.294 J-  
 9.595  
 N709 G1 X53.319 Y-24.308  
 N710 X52.731 Y-24.336  
 N711 X52.15 Y-24.298  
 N712 X49.889 Y-23.914  
 N713 G2 X48.098 Y-27.545 I-7.836 J1.61  
 F370.  
 N714 X49.828 Y-34.691 I-6.04 J-5.246  
 N715 X47.453 Y-38.697 I-7.771 J1.901  
 N716 G1 X45.976 Y-40.046  
 N717 Z1.508  
 N718 G0 Z10.  
 N719 X49.889 Y-23.914  
 N720 Z1.508  
 N721 G1 Z-1.492 F74.  
 N722 X45.941 Y-23.244  
 N723 G2 X44.514 Y-25.458 I-3.888 J.94  
 F370.  
 N724 X41.548 Y-27.544 I-6.231 J5.707  
 N725 X44.502 Y-29.624 I-3.219 J-7.707  
 N726 X45.943 Y-33.741 I-2.444 J-3.166  
 N727 X45.804 Y-34.193 I-3.885 J.95  
 N728 G1 Z1.508  
 N729 G0 Z10.  
 N730 X45.941 Y-23.244  
 N731 Z1.508  
 N732 G1 Z-1.492 F74.  
 N733 X42.862 Y-22.722  
 N734 G3 X42.838 Y-22.72 I-.027 J-.158  
  
 N735 G1 X42.116 Y-22.709  
 N736 X42.077 Y-22.486  
 N737 X42.053 Y-22.304  
 N738 G2 X41.904 Y-22.337 I-1.036  
 J4.361 F370.  
 N739 X38.224 Y-24.2 I-3.621 J2.586  
 N740 G1 X22.776  
 N741 G2 X20.225 Y-23.466 I-.054 J4.615  
 N742 G1 X19.059 Y-23.567  
 N743 X19.402 Y-27.552  
 N744 X19.382 Y-27.554  
 N745 X19.395 Y-27.555  
 N746 G2 X19.402 Y-27.552 I3.176 J-  
 7.302  
 N747 G1 X19.059 Y-23.567  
 N748 X11.723 Y-24.2  
 N749 X-.007  
 N750 G2 X-.154 Y-24.199 I-0.51 J4.441  
 N751 G1 X-.123 Y-24.77  
 N752 X-.155 Y-27.584  
 N753 Y-27.585  
 N754 Y-27.726  
 N755 Y-28.15  
 N756 Y-28.153  
 N757 X-.14 Y-28.796  
 N758 X-.155 Y-29.273  
 N759 G3 Y-29.278 I.16 J-.005  
 N760 G1 X-.152 Y-30.406  
 N761 Y-30.407  
 N762 X-.147 Y-30.903  
 N763 G2 X.016 Y-30.9 I.159 J-4.509  
 N764 G1 X11.718  
 N765 X11.864 Y-30.869  
 N766 X13.443 Y-31.02  
 N767 X20.243 Y-31.651  
 N768 G2 X22.783 Y-30.9 I2.329 J-3.206  
 N769 G1 X38.217  
 N770 G2 X41.894 Y-32.753 I.112 J-4.351  
 N771 X42.058 Y-32.79 I-.909 J-4.423  
 N772 G1 X45.943 Y-33.741  
 N773 Z1.508  
 N774 G0 Z10.  
 N775 X56.238 Y-72.353  
 N776 Z1.011  
 N777 G1 Z-1.989 F74.  
 N778 X61.238 Y-63.443  
 N779 X57.631 Y-65.172  
 N780 G2 X54.58 Y-66.466 I-15.562  
 J32.463 F370.  
 N781 G1 X50.829 Y-67.856  
 N782 Y-74.496  
 N783 Z1.011  
 N784 G0 Z10.  
 N785 X57.631 Y-65.172  
 N786 Z1.011  
 N787 G1 Z-1.989 F74.  
 N788 X57.399 Y-63.094  
 N789 X57.379 Y-62.916  
 N790 X57.245 Y-61.71  
 N791 X57.155 Y-60.93  
 N792 G2 X55.133 Y-61.921 I-15.086  
 J28.221 F370.  
 N793 G1 X51.481 Y-63.554  
 N794 X56.238 Y-72.353  
 N795 Z1.011  
 N796 G0 Z10.  
 N797 X57.155 Y-60.93  
 N798 Z1.011  
 N799 G1 Z-1.989 F74.  
 N800 Y-60.924  
 N801 X57.148 Y-60.843  
 N802 X57.147 Y-60.839  
 N803 X56.963 Y-59.19  
 N804 X56.93 Y-58.91  
 N805 X56.895 Y-58.584  
 N806 X56.672 Y-56.6  
 N807 G2 X55.662 Y-57.188 I-14.603  
 J23.89 F370.  
 N808 G1 X52.165 Y-59.13  
  
 N809 Z1.011  
 N810 G0 Z10.  
 N811 X56.672 Y-56.6  
 N812 Z1.011  
 N813 G1 Z-1.989 F74.  
 N814 X56.501 Y-55.078  
 N815 X56.492 Y-55.001  
 N816 X56.486 Y-54.917  
 N817 X56.477 Y-54.649  
 N818 X56.474 Y-54.55  
 N819 X56.478 Y-54.455  
 N820 X56.501 Y-54.104  
 N821 X56.51 Y-54.032  
 N822 X56.536 Y-53.862  
 N823 X56.581 Y-53.635  
 N824 X56.625 Y-53.457  
 N825 X56.77 Y-53.02  
 N826 X56.987 Y-52.5

