

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y MANUFACTURA



Sistema Inteligente Para la Optimización De Los Parámetros Del Proceso De Die Casting Para Reducir El Exceso De Rebaba Utilizando El Bat Algorithm

Proyecto de Tecnología que presenta el alumno:

José Guadalupe Velázquez Ramírez

Con matrícula: 194549

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA

Directores del proyecto:

Dr. Carlos Alberto Ochoa Ortiz

Dr. Delfino Cornejo Monrroy

Ciudad Juárez, Chihuahua a 03 de junio del 2021.

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis se lo quiero dedicar principalmente a mi familia quienes fueron el motor que me impulso a continuar mis estudios de Maestría, mi esposa e hijos que estuvieron apoyándome día tras día alentándome incondicionalmente. A mi madre que siempre me ha apoyado durante mi vida y en el desarrollo educativo, también se lo dedico en especial a mis abuelos que ya no están conmigo en este mundo, pero gracias a sus enseñanzas he logrado alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Comenzaré agradeciendo a las personas que hicieron posible que llegara a esta posición en mi etapa de Maestría. Cada uno de los que voy a mencionar en este documento han desempeñado un papel importante y se que con estas cuantas líneas que les dedico no es suficiente para mostrarles el agradecimiento que les tengo y que siempre estaré en deuda con ellos.

En primer lugar, agradecerle al Dr. Carlos Alberto Ochoa Ortiz quien fue mi director de tesis durante el trayecto de mi formación dentro de la maestría. Le agradezco por tanta paciencia que me tuvo en tantas asesorías que tuvimos, gracias por los consejos que me proporciono para poder llevar a cabo este proyecto y principalmente gracias por haberme aceptado como su alumno, sé que fue difícil este periodo y le agradezco que me allá tenido fe y paciencia.

Otra de las personas que indudablemente me ayudaron a terminar este proceso y que no por colocarlo en esta posición lo hago menos, Dr. Delfino Cornejo Monroy, usted que es el coordinador de la Maestría en Tecnología le agradezco muchísimo que me allá aceptado como estudiante de esta generación y agradezco también los consejos y guía que me dio como coasesor durante el desarrollo de mi investigación. No hay palabras para mostrarle el agradecimiento enorme que le debo a usted y al NAB de la Maestría.

El agradecimiento enorme que le tengo a esta gran casa de estudios que me abrió la puerta para continuar realizando un posgrado de Maestría. A la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, mil gracias por recibirme en esta casa donde se crean personas con conocimientos excepcionales.

Índice

| | |
|--|-----|
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| 1.- Introducción | 1 |
| 1.1. Antecedentes..... | 3 |
| 1.2. Planteamiento del Problema..... | 5 |
| 1.2.1. Problema: Exceso de rebaba en las líneas de unión de la pieza | 6 |
| 1.2.3. Proceso De Rebabado Realizado Manualmente..... | 10 |
| 1.3. Objetivos..... | 11 |
| 1.3.1 Objetivo General | 11 |
| 1.3.2. Objetivos Particulares..... | 11 |
| 1.4. Hipótesis..... | 12 |
| 1.5. Justificación | 12 |
| 1.5.1. Piezas Rechazadas en Proceso de Rebabado | 13 |
| 1.5.2. Optimización del Proceso de Rebabado de Die Casting | 15 |
| 1.6. Delimitación o Alcance | 15 |
| 2.- Marco Teórico | 16 |
| 2.1. Die Casting (Moldeo a Alta Presión)..... | 16 |
| 2.2. Proceso De Die Casting | 17 |
| 2.3. El acabado..... | 19 |
| 2.4. Gran Exactitud De Medidas..... | 19 |
| 2.5. Superficies Limpias Y Lisas..... | 20 |
| 2.6. Porosidad en el acabado | 20 |
| 2.7. Fabricación Ecológica..... | 20 |
| 2.8. Procesos Secundarios..... | 23 |
| 2.8.1. Prensas Con Dados Separadores De Rebaba..... | 23 |
| 2.8.2. Máquina Lija banda | 24 |
| 2.8.3. Vibradora Tipo Tasón (Bowl)..... | 25 |
| 2.8.4. Tipos de Abrasivos Utilizados Para Retirar Rebaba..... | 26 |

| | |
|--|----|
| 2.8.5. Media Cerámica | 26 |
| 2.8.6. Media XM-(Bruñido) | 27 |
| 2.8.7. Media de Plástico- (Cut/Pre-Polish) | 28 |
| 2.8.8. Media De Porcelana-de Pulido..... | 29 |
| 2.8.9. Media de Cerámica-de Pulido | 30 |
| 3.- Metodología | 31 |
| 3.1. Equipos y Materiales | 31 |
| 3.1.1. Maquina Inyectora de Zinc Producer modelo DH-P 300TON..... | 31 |
| 3.1.2. Platinas..... | 32 |
| 3.1.3. Platina Fija..... | 33 |
| 3.1.4. Platina móvil | 33 |
| 3.1.5. Dado Para Modelo 12"x12" 1749A. | 34 |
| 3.1.6 Matlab Software de entorno de desarrollo a utilizar | 35 |
| 3.1.7. Equipo de Cómputo para Desarrollo | 36 |
| 3.2. Métodos..... | 37 |
| 3.2.1. Método Propuesto; Algoritmo inspirado en Murciélagos (Bat)..... | 43 |
| 3.2.2. Descripción del algoritmo de los murciélagos | 45 |
| 3.2.3. Problema De ejemplo con Algoritmo de Murciélago..... | 46 |
| 3.2.4 <i>Corte de piel en asientos de auto</i> | 46 |
| 3.2.5. Software De Simulación | 49 |
| 3.2.6 Función Objetivo | 50 |
| 3.2.6 Desarrollo de Función Objetivo del Proyecto | 51 |
| 3.2.7 Parámetros de Ajuste (Tuning Parameter)..... | 52 |
| 4.- Resultados | 58 |
| 4.1 Discusión de Resultados | 70 |
| 5.- Conclusiones y Recomendaciones | 75 |
| 5.1 Conclusiones | 75 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 77 |
| 6.- Bibliografía | 79 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Matriz de decisión. Fuente: (Olson, 2004). | 38 |
| Tabla 2. Descripción de componentes en. Fuente: (Zezzatti, Sánchez , & He, 2016) | 48 |
| Tabla 3. Los resultados de las pruebas realizadas en el experimento.Fuente: (Zezzatti, Sánchez , & He, 2016) | 49 |
| Tabla 4 Piezas A y B con Parámetros a Evaluar. Elaboración Propia | 53 |
| Tabla 5 Parámetros de Inyección Time y Shot Time. Elaboración Propia. | 54 |
| Tabla 6 Parámetros de Delay Time y Solidification Time. Elaboración Propia. | 54 |
| Tabla 7 Parámetros de Shot Speed y Pressure Time. Elaboración Propia..... | 55 |
| Tabla 8 Parámetros de Pressure y Temperature. Elaboración Propia..... | 55 |
| Tabla 9 Resultado de parametros optimizados. Elaboración Propia..... | 72 |
| Tabla 10. Resultado del peso arrojado por la simulación. Elaboración Propia. | 73 |
| Tabla 11 Se minaron 85 datos de búsqueda optima realizados por el algoritmo. Elaboración Propia..... | 74 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Línea de Union muy marcada. Elaboración propia. | 7 |
| Figura 2. Muestra una pieza con el defecto de rebaba en la línea de partición. Elaboración Propia..... | 8 |
| Figura 3. Pieza pintada, con defecto en líneas de unión. Elaboración Propia. | 9 |
| Figura 4. Cajas con piezas pintadas con el defecto de la línea de partición.Elaboración Propia. | 9 |
| Figura 5. Proceso de rebabado (Flsh). Elaboración Propia. | 11 |
| Figura 6. Lingotes de Aleación de Zinc. Fuente: (SoloStocks, 2020). | 17 |
| Figura 7. Zinc en barras para colocarse dentro del crisol para fundirlo. Fuente: (Alamy, 2020). | 18 |

| | |
|---|----|
| Figura 8. Escoria del Proceso de Die Casting. Fuente: | 23 |
| Figura 9. Lijadora para eliminar rebaba. Elaboración Propia | 25 |
| Figura 10. Vibrador circular tipo Bowl. Elaboración Propia. | 26 |
| Figura 11. Media de cerámica para corte. Fuente: (Incorporated, 2018). | 27 |
| Figura 12. Media para bruñido. Fuente: (Incorporated, 2018). | 28 |
| Figura 13. Media de plástico para corte y pulido. Fuente: (Incorporated, 2018) | 29 |
| Figura 14. Tipos de Media de porcelana tipo esfera. Fuente: (Incorporated, 2018) | 30 |
| Figura 15. Máquina Marca Producer modelo DH-P 300 toneladas..... | 32 |
| Fuente: (Producer, s.f.) | 32 |
| Figura 16. Platina móvil, Fija y Trasera de Maquina de Die Casting. | 33 |
| Fuente: (Zhafir, s.f.) | 33 |
| Figura 17. Dado requerido para la fabricación de piezas, modelo 12"x12" 1749 ^a . Fuente: Elaboración Propia. | 34 |
| Figura 20. Software evaluando el metodo TOPSIS. Fuente (Radar, 2018) | 40 |
| Figura 21. Entrada de parametros en el metodo TOPSIS. Fuente: (Radar, 2018) .. | 41 |
| Figura 22 Matriz de decición ponderada y normalizada. Fuente: (Radar, 2018) | 42 |
| Figura 23 Mejor resultado. Fuente: (Radar, 2018) | 42 |
| Figura 24. Algoritmo de murcielagos. Fuente: (Al-Betar, 2008-2021) | 46 |
| Figura 25. Proceso de toma de decisión del algoritmo en el problema de Die casting. Elaboración Propia. | 50 |
| Figura 26 Optimo de Pareto para definir el área factible de datos. Elaboración Propia. | 56 |
| Figura 27. App de presentación del sistema. Elaboración Propia..... | 59 |
| Figura 28. Formulario para colocar el usuario y la clave del sistema. Elaboración Propia. | 60 |
| Figura 29. Pantalla de aplicación principal del Dashboard. Elaboración Propia. | 61 |
| Figura 30. Área de parámetros. | 62 |
| Figura 31. Área de pieza..... | 62 |
| Figura 32. Grafica del algoritmo de murciélagos. Elaboración Propia. | 63 |
| Figura 33. Parámetros de sistema ya optimizados. Elaboración Propia..... | 64 |
| Figura 34. Se activa la opción de máquina de 350 toneladas. Elaboración Propia. | 65 |
| Figura 35. Resultado de la función objetivo y grafica de parámetros. Elaboración ropia..... | 66 |
| Figura 36. Aumento de Presión, genera exceso de rebaba. Elaboración Propia..... | 67 |
| Figura 37. Alta presión genero expulsión de material hacia atrás del equipo y partes con exceso de material. Elaboración Propia..... | 68 |
| Figura 38. Datos optimizados por el algoritmo de murcielagos. Elaboración Propia. | 75 |

Resumen

En esta investigación se diseñó una aplicación inteligente creada con el software Matlab en el entorno de designar (diseñador), el cual está basado en un algoritmo bio inspirado como ayuda en la planificación estratégica para mejorar la disminución de la rebaba en los procesos de moldeo de die casting. Esta aplicación se centra en un entorno de simulación que toma las previsiones necesarias más allá de los casos numéricos y procesos estadísticos para realizar una mejora en la cantidad de la inyección de zinc. La aplicación se basa en una función objetivo que toma un algoritmo avanzado denominado "Bat Algoritmo" que optimiza las estrategias a seguir para la eliminación o reducción de la rebaba en el moldeo de *die casting*, este software propuesto asociado al Algoritmo Bio inspirado es flexible, adaptativo, es amigable, robusto y proporciona la ayuda en la correcta toma de decisiones en la calidad del producto para conseguir una ventaja competitiva en el mercado. Este modelo propuesto se basa en la metodología asociada a los Algoritmos Bio inspirados que proporciona estrategias óptimas para mejorar la competitividad en una empresa, la capacidad del modelo puede proporcionar estrategias que no son obvias porque pueden encontrar relaciones no obvias entre las variables. Esta herramienta es una ayuda en el proceso de mejora de la competitividad porque apoya las decisiones estratégicas tomadas en los niveles tecnológicos administrativos de las empresas.

Palabras clave: Algoritmo bio inspirado, Die casting, flash, zinc, Parámetros de Proceso, Optimización.

1.- Introducción

En el presente documento se mostrará una investigación acerca del moldeo de *die casting* en el cual uno de sus mayores problemas es el exceso de material en la línea de separación de la pieza moldeada. La investigación se centra en este defecto y se darán a conocer algunos de los métodos que se utilizaron para poder minimizarlo.

El die casting es un proceso a alta presión muy versátil que sirve para producir piezas que se diseñan en metal. Estas son realizadas inyectando el metal fundido en moldes de acero reutilizables denominados dados, se pueden diseñar para producir formas complejas con un alto nivel de precisión y repetición. Las piezas se pueden definir rápidamente, con superficies lisas o texturizadas, y sirven para una amplia variedad de acabados atractivos y útiles (Guss, 2009).

En 2005, había aproximadamente 400 empresas de moldeo de Die Casting en América del Norte, con ventas de \$ 8 mil millones de dólares. El moldeo de Die Casting se produce a partir de aleaciones de aluminio, cobre, plomo, magnesio y zinc, así como diversos materiales compuestos

El *die casting* se encuentran entre los artículos de producción masiva de más alto volumen fabricados por la industria de la metalistería, y se pueden ver en miles de productos de consumo, comerciales e industriales. Las piezas moldeadas a presión son componentes importantes de productos que abarcan desde el área automotriz hasta simples juguetes (NADCA, Introduction to Die Casting, 2007).

Las piezas pueden ser tan sencillas como el grifo de un lavamanos o tan complejas como la carcasa de un conector. Este proceso es tan necesario que las empresas requieren tener su propia área de moldeo de die casting y así tener el control de sus propios diseños en sus productos.

Una de las tantas empresas que tienen este proceso de die casting dentro de sus áreas de producción es General Motors y en su planta en Bedford, Indiana, se producen las transmisiones y motores para su uso en automóviles y camiones fabricados por GM, mediante inyección de metal (NADCA, Introduction to Die Casting, 2007). Otro de los ejemplos, es la corporación IBM un fabricante de equipos originales quien, pueden contratar una empresa dedicada al *die casting* como moldeador personalizado, en este caso la empresa *Pace Industries*, es contratada para la fabricación de una carcasa electrónica (NADCA, Introduction to Die Casting, 2007).

El proceso a menudo se describe como la distancia más corta entre la materia prima y el producto terminado. En inglés, el término "*die casting*" (moldeo a alta presión) se usa también para describir el producto terminado, en este caso la pieza moldeada dentro de los procesos de fundición.

El término "moldeo a alta presión" se refiere a las piezas hechas en moldes de metal bajo la alta presión y la velocidad a la que el metal es inyectado dentro de la cavidad del molde. En EE. UU. y Canadá se conoce como moldeo a presión en molde permanente. Lo que en Estados Unidos es llamado "die casting", en Europa se conoce como "pressure die casting" (INDUSTRIES, 2019).

1.1. Antecedentes

El desarrollo de este proyecto es impulsado por los problemas que existen en la industria de la fundición, en este caso el moldeo de die casting el cual es un proceso primordial en el desarrollo de la área automotriz, eléctrica, electrónica y la industria del hogar, esto nos lleva al entendimiento de porque a pesar de ser uno de los mejores sistemas de proceso de moldeo ah alta presión, este tiene mucha carencia en su calidad final.

Este proceso siendo tan preciso al inyectar el metal líquido tiene diferentes variaciones, las cuales dependen de la temperatura de la inyección y la consistencia del metal cuando se inyecta. La velocidad del metal, la configuración de la compuerta y el estado de la cavidad del dado en el momento del paso del metal, todos estos factores son causantes de los defectos presentados en este tipo de moldeo (RADVER, 2015).

Los defectos internos son perjudiciales para la fundición a presión por varias razones ya que las propiedades mecánicas de una pieza moldeada son su resistencia a la tracción, alargamiento, dureza, resistencia al impacto y otras. Estas propiedades son medidas en muestras hechas de aleaciones para die casting y se publican para ayudar a los diseñadores a elegir un material que sea apropiado para su diseño. Estas propiedades se miden en muestras sólidas y densas (M. Y, J. J , W. L , H. Y, & J. T, 2016).

Si una muestra estuviera hecha de materiales porosos, los valores de las propiedades no serían tan altos. Para cumplir con los requisitos de diseño, la pieza fundida debe hacerse lo más densa y sólida posible con una buena aleación limpia. Los defectos

internos también afectan la maquinabilidad de la pieza fundida. Esto incluye defectos de porosidad y de inclusión. Hay dos tipos de defectos internos, inclusiones y porosidad (More, Baxi, & Jaju, 2011).

La rebaba es una condición que a menudo se experimenta en el proceso de die casting debido a las altas presiones, por lo que es necesario definir y discutir los diversos factores que influyen en su aparición. Estos factores incluyen el diseño del dado, el diseño del proceso, la aleación de fundición, las características de la máquina de fundición y sus parámetros de proceso (MEDINA, 2008).

Este exceso de metal también se llama "flash". Este flash es típicamente muy delgado, a veces delgado como el papel, pared de metal. Este exceso de material se presenta en varias formas diferentes en una pieza fundida, pero ¿qué son y por qué se causan?, la rebaba (flash) es frecuentemente agudo y puede cortar los dedos si no se maneja con cuidado. Después de que la pieza se enfríe lo suficiente, se debe quitar el flash antes de que podamos enviar la pieza de fundición a nuestro cliente. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos, hay un exceso de material para eliminar (Shubham , Shashank , Arun , Sameer , & Pravin , 2019).

La rebaba (flash) es el material que queda en la pieza fundida debido a la "línea de partición" del molde. El material entra ligeramente en el área del molde y, cuando se retira del molde, se adhiere una fina pieza de material (Thakare1 & Tidke2, 2013). En toda la industria del die casting, es habitual que los operadores de fundición a presión mantengan a mano una espátula para raspar las superficies de los dados. Muchos operadores incluso los mantienen en los bolsillos de las caderas, por conveniencia.

Si bien la rebaba puede ser un hecho de la vida de nuestro proceso, no es aceptable en los niveles que a menudo toleramos.

La rebaba es una porción delgada de metal en el exterior de una pieza moldeada que resulta de la compresión del metal fundido en los espacios entre las mitades del molde en la línea de separación, o en los espacios libres alrededor de los pernos centrales (cores) y los pernos expulsores. (MRTcasting, 2017)

La mayoría de las personas cree que si una pieza lleva un excedente (rebaba), esta pieza no cuesta nada. ¡Incorrecto!, la rebaba es solo un 20% recuperable, si eso es así en la mayoría de los casos no se recupera en su totalidad económicamente. Las piezas con excedentes son ejemplos de pérdida de material al momento de inyectarlo dentro de un dado (Kumar., Gupta, & Chandna, 2020).

En el área automotriz existen muchos ejemplos reales de problemas con los moldes al estar procesando el producto. Dentro del moldeo de piezas automotrices los problemas de rebaba son detectadas mediante algún dado con defectos en el sellado de alguna de sus cavidades, por lo que se corrige reparando el dado.

1.2. Planteamiento del Problema

El actual proyecto se basa en la investigación de uno de los mayores problemas que se genera en el moldeo de die casting, que es el exceso de material que las piezas moldeadas constantemente tienen y que es conocido como flash(rebaba). A pesar de lo preciso que es el moldeo de die casting, los procesos existentes y los materiales que se usan para eliminar el problema de la rebaba, aún se sigue generando en la

mayoría de los productos fabricados en cualquier empresa dedicada al moldeo de *die casting* (Shubham , Shashank , Arun , Sameer , & Pravin , 2019).

1.2.1. Problema: Exceso de rebaba en las líneas de unión de la pieza

La línea de separación es el perímetro de la pieza y es la zona comúnmente afectada por la rebaba, por lo que muchos diseñadores de moldes constantemente están innovando nuevas formas que les ayuden a eliminar parte del problema. Esta línea es la decisión para saber qué mitad será la "cubierta" y cuál será la mitad "expulsora", también influye en las tolerancias que se deben mantener en el área de la pieza (Madan, Ranjit, & Jatinder, 2010).

No es obvio dónde debe colocarse la línea de separación en un dibujo de fundición. Cuando el diseñador de la pieza indica la línea de separación, es necesario que le confirme y le dé la instrucción al diseñador del dado. El acuerdo sobre la ubicación óptima de la línea de separación es esencial para que la pieza se produzca con las especificaciones deseadas (Kalpaskjian, 1982).

En el caso de una pieza que debe tener una superficie cosmética, la mitad del dado que es la cubierta, generalmente se utilizará para producir la superficie que llevará el detalle cosmético. Esto permitirá que la mitad del dado sea la parte eyectora, pues esta contendrá los pernos de eyección, insertos y cualquier grabado que la parte diseñada para su moldeo este prediseñada.

En la figura 1 se muestra con claridad la línea de unión bien marcada, por lo que las piezas fabricadas de esta forma son rechazadas por este defecto debido al tipo de

diseño del dado. Este tipo de material la forma en que se rescatan es mandando el material a un proceso manual para retirarle el bordo de la línea de unión.



Figura 1. Línea de Union muy marcada. Elaboración propia.

Las operaciones secundarias a la superficie de la pieza, como el pulido, también se deben analizar para mantener las especificaciones de la pieza fundida (NADCA, Product-Standards-for-Die-Casting, 2015). En un proceso de die casting si cada pieza que se moldea es generada con rebaba, esto nos indica un gran problema con los parámetros, con el desgaste del molde o con su diseño, para esto se debe investigar cada uno de los disparos para saber la diferencia del grosor de la rebaba en cada una de las piezas.

La rebaba que se forma en la línea de partición de la pieza, nos indica los problemas que puede tener un mal cierre de molde por algún daño ya causado a la cara del mismo, y nos está provocando este defecto, en la Figura 3 se muestra la rebaba que tiene alrededor de la pieza por dentro y por la parte superior.

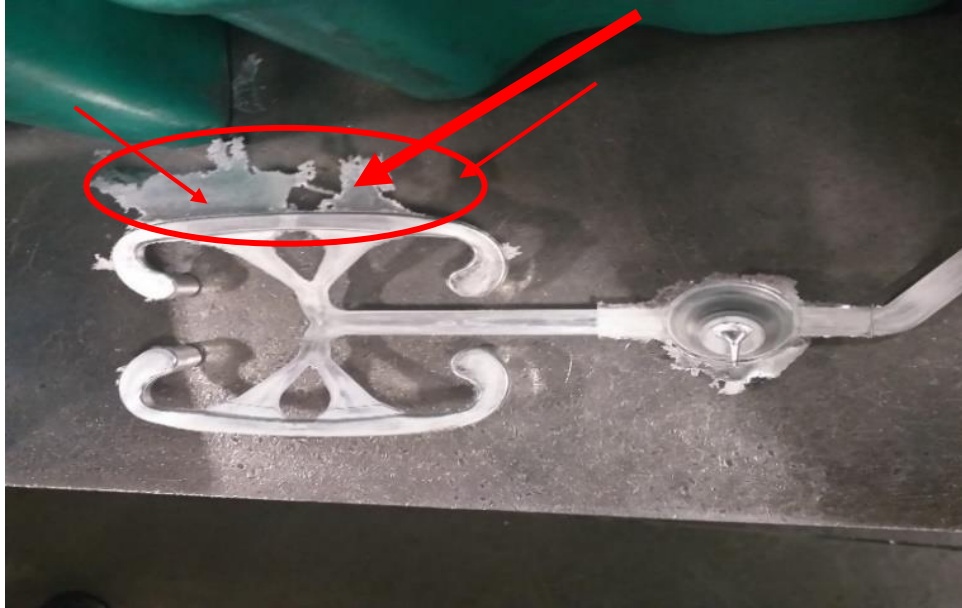


Figura 2. Muestra una pieza con el defecto de rebaba en la línea de partición.
Elaboración Propia.

El problema que se ve consiste en una pieza con un excedente de material en toda la línea de partición, en la imagen se puede ver que el excedente es una rebaba demasiado gruesa y abundante, que nos indica que un parámetro de fue demasiado alto o que el defecto fue por una deficiente fuerza de cierre en el molde o bien que el molde tenga problemas de sello (MEDINA, 2008)

En la figura 4 se muestra una rebaba menor pero que afecta la calidad del producto el cual es rechazado por el departamento de calidad. Este tipo de acabado en el proceso de pintura no se cubre en su totalidad, ocasionando un rechazo por el cliente ya que al tacto de la mano se siente el exceso de material y en algunas ocasiones puede quedar con filo y cortar al usuario.



Figura 3. Pieza pintada, con defecto en líneas de unión. Elaboración Propia.

Las piezas moldeadas que salen del proceso con este defecto comúnmente por falta de inspección o por personal operativo sin experiencia se envía al siguiente proceso que es pintura figura 5. La empresa que da el servicio de pintado es externa, por lo que al recibir los lotes las pinta sin importar si llevan o no defectos, generando mucho desperdicio y pérdida económico para la empresa.



Figura 4. Cajas con piezas pintadas con el defecto de la línea de partición. Elaboración Propia.

1.2.3. Proceso De Rebabado Realizado Manualmente

En la empresa Amesbury Truth para eliminar la rebaba que aparece en los productos se realiza un proceso secundario llamado rebabado y se realiza manualmente. los operadores toman las piezas y con una navaja de cerámica comienzan a retirar todo el exceso que presenten las partes moldeadas. Para retirar la rebaba de la pieza el personal debe utilizar un equipo de seguridad especial para esta actividad ya que el producto sale de la máquina a una temperatura de 100 a 150°F. E.

Es muy importante que se utilice guantes que resistan una temperatura de 900°F o mayor para evitar que se quemen las manos. Este material se va acumulando en la mesa de trabajo hasta que se enfría, lo cual hace un poco más difícil retirar la rebaba y esto genera un cuello de botella.

Una máquina inyectora de zinc de cámara caliente puede moldear hasta 2,160 piezas por turno y un operador retira el excedente (Flash) de 700 piezas por turno por lo que se quedan 1,460 acumuladas. Esto hace que durante la semana se acumulen 15000 piezas generando acumulamiento de material.

Para poder eliminar este acumulamiento se utilizan hasta 20 operadores que la mayoría de ellos no tiene experiencia en el proceso y al realizar el retrabajo del material lo hacen con baja calidad generando rechazos y daños al producto incremento su costo.



Figura 5. Proceso de rebabado (Flash). Elaboración Propia.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un software para hacer la simulación de la inyección de zinc con el fin de encontrar los parámetros óptimos para el proceso de die casting, esto se realizará mediante un algoritmo bio inspirado, en este caso el Bat algorithm (algoritmo del murciélago) para encontrar el punto de reducción de rebaba en el proceso.

1.3.2. Objetivos Particulares

- Seleccionar los parámetros esenciales del proceso del material a producir.
- Diseñar la función objetivo para obtener la optimización de las piezas seleccionadas
- Mediante el algoritmo de murciélagos realizar el cálculo metaheurístico de los datos para encontrar el punto óptimo del sistema.

- Diseñar el prototipo del software de mandos inteligentes para realizar las simulaciones del sistema.
- Encontrar las variables que afectan al exceso de material en la pieza mediante el diseño de experimentos.
- Encontrar los parámetros óptimos mediante el simulador
- Validar el sistema mediante hojas de proceso del producto

1.4. Hipótesis

La determinación de los parámetros óptimos del proceso de die casting en molde permanente inyectado por alta presión disminuirá al menos un 50% los rechazos debidos al exceso del material en su línea de separación.

Como consecuencia de esta implementación en la industria, varias empresas dedicadas al moldeo de Die Casting realizarán sus procesos secundarios de rebabado con más rapidez y se eliminarán los cuellos de botella, aumentando la eficiencia de productividad considerablemente.

1.5. Justificación

La presente investigación se enfocará en estudiar las diferentes alternativas que puedan existir para eliminar los defectos de rebaba generada en la línea de unión del dado. Así el presente trabajo permitirá mostrar todos los problemas causados por este defecto. El cual genera cuellos de botella y baja eficiencia en la productividad en la industria del die casting.

Mediante esta investigación se tomarán todos los datos necesarios para saber si existe una tecnología adecuada para implementarla en este tipo de procesos. Esto

debido a que estos defectos se eliminan de una manera manual, por lo que se generan riesgos de sufrir quemaduras por exposición a la alta temperatura con las que las piezas salen de fabricación.

Dentro de las alternativas se investigarán los diseños de los dados, los desgastes por el tipo de material del que están hechos, el tiempo de vida de un dado para ver si esto es una causa de la aparición de la rebaba en las líneas de unión de la pieza. Mediante el resultado de esta investigación, se pretende implementar un software que ayude a generar simulaciones del proceso mediante parámetros esenciales para evitar desperdicios en el moldeo de die casting, esto para eliminar el defecto de rebaba que se genera en la fabricación de una pieza elaborada a base de zinc.

1.5.1. Piezas Rechazadas en Proceso de Rebabado

En el mes de marzo del 2020, tan solo en la primera semana se dio una pérdida entre acumulación y material rechazado como scrap de 7,900 piezas de los diferentes tipos de material programadas para la fabricación en esta área de die casting. Para eliminar este acumulación y tratar de evitar la pérdida, se tendrá que realizar el retrabajo en horarios fuera de la jornada laboral normal.

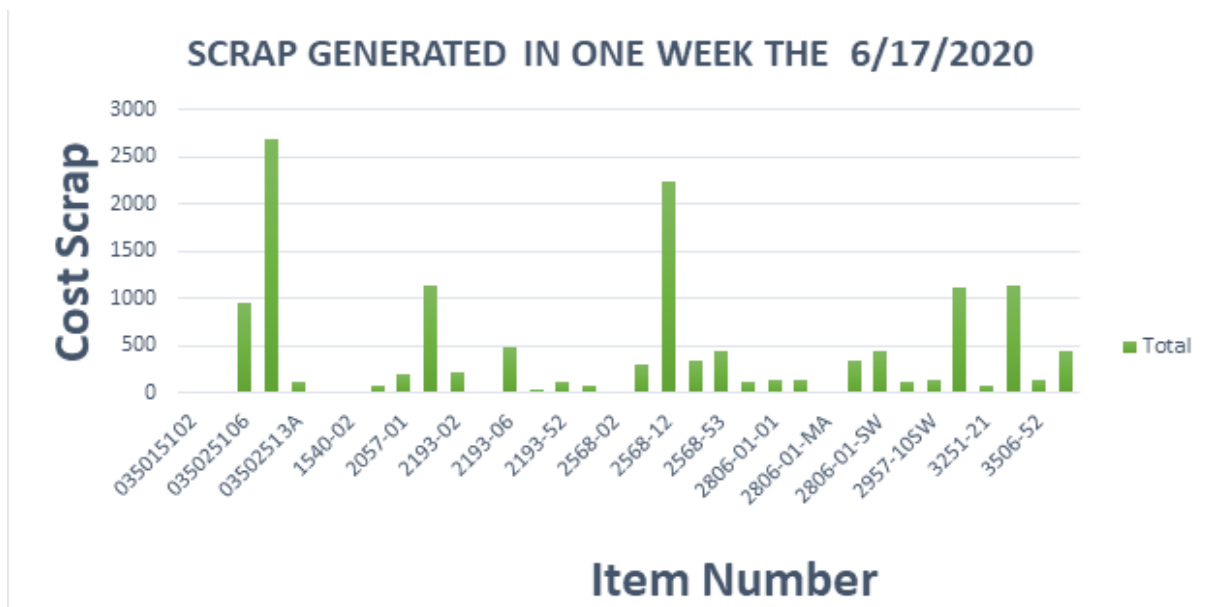
Durante el proceso normal de cada uno de los productos que se procesan en el área de die casting en la empresa Amesbury Truth, se están perdiendo cantidades enormes de material ya terminado por semana por la lentitud y la mala calidad en del proceso secundario que estas piezas deben de llevar.

La máquina inyectora de zinc arroja 4 piezas por cada minuto a una temperatura de 300⁰F, estas piezas ya moldeadas se van acumulando para que se enfríen y después son llevadas a un proceso de rebabado manual, realizado por personal operativo. En

este proceso la calidad del producto depende mucho de la habilidad del personal. Este tipo de proceso nos hace perder material ya fabricado debido a la mala calidad en el acabado que se le da a la pieza y aparte de tener material acumulado también contamos con el problema de las horas hombre que se utilizan en el proceso y aun así el producto sale mal.

En el periodo de 9 horas de trabajo, si los ciclos del proceso son perfectos y no existe ningún problema se llegan a fabricar 2,160 piezas por máquina de diferente modelo, teniendo una capacidad de 6 máquinas para realizar los diferentes modelos que el cliente solicita. De las 12,960 piezas fabricadas diarias, se quedan acumuladas para el siguiente turno más de 7,900 unidades sin el proceso secundario terminado. A continuación, se muestra una tabla con las piezas ya pintadas y que se rechazaron por este defecto de línea de partición. El costo total de la 2da semana del mes de junio 2020 fue de \$18,844.36 dólares.

Gráfica 1 Costo del scrap generado por rebaba. Elaboración Propia.



1.5.2. Optimización del Proceso de Rebabado de Die Casting

De acuerdo a los datos arrojados por los análisis de la gráfica, anterior, nos damos cuenta que los procesos secundarios que se realizan manualmente son necesarios e importantes someterlos a una optimización. Este método causará un beneficio enorme en la industria dedicada al die casting ya que los cuellos de botella serán eliminados y la eficiencia aumentará en la producción debido a que el proceso será más ágil y fluido. También los riesgos de seguridad disminuirán ya que el personal no estará constantemente en contacto con piezas calientes.

1.6. Delimitación o Alcance

La mayoría de los softwares, tienen características diferentes, pero pueden tener la misma funcionalidad, la de reproducir un conjunto de parámetros con mayor veracidad para el proceso generando una mejor calidad. Este tipo de características son las necesarias para que el sistema inteligente (Intelligent Dashboard) sea uno de los mejores dentro de un proceso de producción.

Mediante esta investigación se pretende cubrir solamente los siguientes puntos:

- Reducir el porcentaje de rechazos por exceso de material en las líneas de separación en las piezas moldeadas al tener los parámetros óptimos.
- Encontrar la combinación de parámetros que mejora la calidad de la pieza y genera menor cantidad de rechazos por la rebaba.
- Disminuir los retrabajos y recuperación de piezas por defectos.

2.- Marco Teórico

2.1. Die Casting (Moldeo a Alta Presión)

El die casting es un proceso de moldeo de metal, que se realiza inyectando metal fundido a una alta presión, por lo que se cree que los diferentes tipos de fundición a alta presión (die casting) comenzaron a mediados del siglo XIX. Según los registros, en 1849 se patentó la primer maquina manual para moldear piezas a base de die casting. Las primeras aleaciones de fundición a presión (die casting) fueron varias composiciones de estaño y plomo, sin embargo, su importancia y uso disminuyeron con el desarrollo de las aleaciones de zinc (Doehler, (1951)).

Durante la década de 1930, muchas de las aleaciones que conocemos hoy en día estaban disponibles. La ciencia y la tecnología modernas, los controles metalúrgicos y la investigación están haciendo posible aún más refinamientos que dan lugar a nuevas aleaciones con mayor resistencia y estabilidad.

El Zamak se fabrica en seis tipos (Zamak 2, 3, 4, 5 ,6 y 7) y varios subtipos y su composición básica contiene además de aluminio, magnesio y cantidades variables de cobre y níquel. Estos metales se agregan para mejorar las propiedades mecánicas del metal base, es muy importante para el proceso de die casting que los diseñadores del moldeo de alta presión, antes de realizar algún proyecto de aplicación, consulten las propiedades mecánicas de las aleaciones de Zamak

- Resistencia a la tracción (máxima).
- Fuerza de producción.
- Alargamiento (ductilidad).

- Módulo de elasticidad (MOE).

Estas propiedades predicen cómo reaccionará la aleación ante una condición de estrés. Una aleación “fuerte” tiene altos valores de resistencia a la tracción y es elástico, además de bajos valores de alargamiento. Una aleación "débil" tiene resistencias bajas y valores de alargamiento más altos.



Figura 6. Lingotes de Aleación de Zinc. Fuente: (SoloStocks, 2020).

2.2. Proceso De Die Casting

En el proceso de die casting al inyectar el metal líquido a alta presión en un dado de acero reutilizable tiene diferentes variaciones. Las variaciones dependen de la temperatura del bombeo del metal, la consistencia del metal cuando se inyecta, la velocidad del metal, la configuración de la compuerta y el estado de la cavidad del dado en el momento de la inyección del metal.

Los procesos de die casting convencionales inyectan metal en una cavidad del dado llena de aire. A medida que el metal pasa a través de la entrada de la compuerta, viaja a una velocidad muy alta, en el área de 60 a 100 millas por hora (95 a 160 k / h) (NADCA, Product-Standards-for-Die-Casting, 2015).

Las piezas fabricadas pueden ser de superficies lisas o texturizadas, y sirven para una amplia variedad de aplicaciones atractivas y útiles. La importancia del die casting radica en el hecho que las partes generadas no presentan degradación. Además, el material sobrante de este proceso se puede reciclar produciendo piezas nuevas dentro del mismo proceso de producción (Doehler, (1951)).

¿Cuánto tiempo tarda el plástico en biodegradarse? Según los científicos, los plásticos tardan al menos unos cientos de años en degradarse por completo. Esto significa que los productos de plástico obsoletos se acumulan en los vertederos, contaminando nuestras playas, matando a millones de animales marinos y causando riesgos para la salud de los habitantes de nuestros vecindarios (Cast Rite, 2011).



Figura 7. Zinc en barras para colocarse dentro del crisol para fundirlo.
Fuente: (Alamy, 2020).

A diferencia del plástico, las piezas de die casting a alta presión están hechas principalmente de material reciclado. En promedio, aproximadamente el 95% del metal se recicla de las partes recuperadas, lo que lo convierte en un material sostenible que se puede usar una y otra vez sin degradación (Spotlightmetal, 09.04.2019).

2.3. El acabado

El acabado de las piezas moldeadas se da con una excelente precisión dimensional, por lo general 0.1 mm para los primeros 2.5 cm y 0.02 mm por cada centímetro adicional. Con una superficie de fundición lisas de 0.04 a 0.10 mm. Reduce o elimina las operaciones de maquinados secundarios.

El diseño de la pieza es importante para la empresa moldeadora, ya que de este depende si este producto llevará un acabado con una textura lisa y brillante como espejo. Si la pieza será rugosa y opaca, el diseño indicará la simplicidad del producto o la dificultad que le tomará a la empresa moldeadora fabricar el producto final (NADCA, 20015)..

2.4. Gran Exactitud De Medidas

El moldeo de un producto mediante un proceso de die casting, es uno de los productos más exactos en cuanto a su dimensión se refiera, ya que este producto no cambia en su forma ni en su dimensión a temperaturas ambiente al terminar de ser moldeado. Estos productos de aleaciones de Zinc a diferencia de los de plástico, al ser desprendidos del molde no requieren ninguna clase de enfriamiento para evitar su deformación.

Los diseñadores escogen estos tipos de aleaciones de Zinc por su gran característica de dureza y elasticidad en el momento de estar como metal fundido. Por tal motivo saben que al diseñar la pieza que el cliente requiere, aunque sean muy pequeñas, las medidas pre establecidas por los diseñadores permanecerán intactas ciclo tras ciclo.

2.5. Superficies Limpias Y Lisas

El die casting es un proceso en el cual se introduce un metal fundido en una cavidad de un molde a una velocidad y presión muy altas, por lo que las piezas moldeadas, la mayoría de las veces serán fabricadas sin rugosidades. Durante los diseños de los moldes, se escogen los metales adecuados para crear cavidades sin poros y así obtener piezas lisas, las cuales no es necesario utilizar otro proceso secundario para pulirlas.

- Fundición De Piezas Con Agujeros Con Alta Precisión.
- Rapides De producción

2.6. Porosidad en el acabado

Las piezas de Die Casting o Inyección de zinc salen libre de poros ya que se inyecta a alta presión y la misma presión hace que los gases se liberen, así como también la colada absorbe el rechupe que pudiera tener la pieza final. Otra ventaja es que se pueden obtener producciones hasta de 2500 golpes por día, entonces el costo de la pieza se reduce considerablemente, y si el molde lo permite se pueden hacer varias impresiones duplicando o triplicando la producción (Guss, 2009).

2.7. Fabricación Ecológica

El zinc sigue un ciclo de vida complejo desde la extracción como mineral, pasando por el refinamiento y uso en la sociedad, hasta la eventual recolección y reciclaje de productos al final de su vida útil. Este ciclo de vida se puede caracterizar mediante la recopilación de información en varias etapas de producción, fabricación, uso y gestión de residuos. (Påhlsson, 1989) Además, la información sobre estas “existencias y

flujos” de material se puede utilizar para calcular indicadores de reciclaje a escala nacional, regional o mundial, ilustrando las tendencias temporales y las trayectorias futuras de las existencias en uso en áreas en desarrollo.

En cooperación con la Universidad de Yale, IZA completó un análisis de flujo y existencias globales del ciclo antropogénico del zinc en 2014, basado en cifras de producción (Association, 2010).

- Se dispone de datos de caudal y existencias mundiales, regionales y nacionales.
- La tasa de reciclaje al final de su vida útil para Europa y América del Norte fue superior al 50%.
- Las tasas de reciclaje al final de la vida útil para usos específicos del zinc pueden ser mucho más altas (láminas de zinc > 95%).

Al final de su vida útil, el zinc recuperado de los productos modernos puede reciclarse sin deteriorarse. Además de ser sustentable durante el uso, el zinc también juega un papel importante durante la fase de final de vida al reducir el uso de energía, reducir las emisiones y minimizar la eliminación de desechos.

Dos enfoques comúnmente utilizados para evaluar las tasas de reciclaje de zinc son el contenido reciclado, la fracción de zinc secundario en uso y la tasa de reciclaje al final de la vida útil, la fracción de zinc reciclado en relación con la cantidad disponible al final de la vida útil (Muriel , Camares , & Veisseir, 2000).

En los procesos de die casting es común que existan desecho o pérdidas de Zinc dedicado a la fabricación de algún producto que es requerido por el cliente. Estas pérdidas son como tirar dinero a la basura, y por tal motivo se requiere realizar varias

optimizaciones dentro de la empresa, para poder recuperar la mayoría de los desechos generados durante la fabricación o en los procesos existentes en el proceso.

A continuación, se nombran algunos desechos generados en el proceso, estos se pueden reciclar dentro del mismo para minimizar las pérdidas del metal utilizado. Un 40% del material de zinc que se pierde durante la producción normal se vuelve a recuperar dentro del mismo proceso de die casting (Association, 2010).

Este proceso no es costoso para la empresa siempre y cuando el desecho de zinc no esté contaminado con lodos, aceites u otros químicos que eviten que la pureza de la aleación siga activa en el metal. Si el caso es aleación de zinc contaminada, esta se envía a los depósitos de chatarra para que reciban un proceso hidrometalúrgico.

La escoria básicamente se forma del material que viene del horno o crisol, generada por la alta temperatura en el proceso de fundición, esta temperatura normalmente es de 800° Fahrenheit y es recuperado en forma impura de un 50% de zinc. Este material es una especie de espuma que se genera en la superficie del metal fundido dentro del contenedor (Crisol) (Alamy, 2020).



Figura 8. Escoria del Proceso de Die Casting. Fuente: **(Alamy, 2020)**.

Su composición química es básicamente zinc y hierro, que al mezclarse con aceite, tierra o lodos va contaminada y requiere mucho trabajo para retirar el zinc adherido a los químicos mencionados. Este tipo de material contaminado no se puede reutilizar dentro del mismo proceso del área de producción.

2.8. Procesos Secundarios

Se considera procesos secundarios a todas las actividades que se le realizan a un producto después de ser fabricado, esto por los defectos que puedan salir en el proceso principal. Para esto se crean nuevas actividades para eliminar los pequeños o grandes defectos que le ocasionan una falta de calidad a la pieza, en este caso si este defecto es estético (Joseph & Silma, 2006). Este tipo de defectos ocasionalmente afectan la funcionalidad de la pieza y si en el proceso de fabricación no se elimina, se tiene que utilizar un equipo o personal para eliminarlo.

- Prensas Con Dados Separadores (Trimers)
- Maquinas Lija Banda
- Vibradores Tipo Bowls(contenedor)
- Media De Diferentes Materiales Abrasivos

2.8.1. Prensas Con Dados Separadores De Rebaba

Dentro del die casting existen otros tipos de dados que no sirven para moldear zinc, si no como separadores de material excedente que sale como defecto de algunas piezas de gran tamaño (Trimers dies). (NADCA, Trim Dies, 2015) Estos dados se utilizan para separar las coladas, los sobrantes y la rebaba (Flash) de la parte moldeada. El diseño puede ser de una o múltiples cavidades.

Uso del dado de corte: este tipo de dados corta constantemente de .005 pulgadas a .010 pulgadas, cerca del borde de la pieza de fundición a presión como un cortador de galletas. Este tipo de cortadores es una de las la forma más rápida de eliminar la rebaba, sin embargo, es uno gasto más ya que se requieren dos dados para un mismo producto.

El dado de corte tiene dos partes y cada mitad está atornillada en la placa superior e inferior de una prensa de corte. La prensa de corte tiene típicamente de 15 a 20 toneladas de presión de cierre. La prensa sube y baja mientras el trabajador acciona los botones. La parte de fundición a presión encaja perfectamente en la parte inferior del troquel de corte, la mitad superior del troquel de ajuste se cierra en la parte y utiliza un navajo afilado para cortar el exceso de metal (flash) (Doehler, (1951)).

Debido a que el dado de corte corta el flash de la pieza de manera precisa y consistente, la calidad de la pieza siempre es mejor cuando se usa un troquel de corte para quitar el flash. Por lo tanto, se desperdicia menos dinero en piezas de baja calidad. La prensa de corte también funciona más rápido que la máquina de fundición a presión, por lo que la eliminación del flash requiere menos tiempo y mano de obra, lo que ahorra dinero en la producción parcia.

2.8.2. Máquina Lija banda

Uso de una lima o lijadora: algo laborioso y sujeto a "interpretación artística" del trabajador. No siempre es consistente en el proceso, se depende mucho de la habilidad del personal, de la experiencia de la operación del equipo, también depende mucho de la interpretación que un proceso de calidad se aplique a este trabajo artístico.



Figura 9. Lijadora para eliminar rebaba. Elaboración Propia

2.8.3. Vibradora Tipo Tasón (Bowl)

Este tipo de vibrador para el acabado de partes de zinc o aluminio, ha estado en uso comercial durante más de 40 años, se conoce relativamente poca información fundamental sobre el proceso, y la práctica industrial sigue basándose en gran medida en el empirismo y el ensayo y error (Domblesky, 2003).

Este vibrador es del tipo redondo o comúnmente llamado “VIBRATORY BOWL FINISHERS”, que son utilizados por su alto rango de vibración en partes pequeñas. Su potencia para retirar la rebaba de las piezas es muy eficiente, pero esto depende mucho del tipo de media(piedra) utilizada en el proceso. Las piezas al colocarse en este proceso quedan con un acabado brillante y pulido.



Figura 10. Vibrador circular tipo Bowl. Elaboración Propia.

2.8.4. Tipos de Abrasivos Utilizados Para Retirar Rebaba

Existe varios tipos de piedra o media para darle un acabado a los materiales de aluminio o zinc, su variedad la encuentra en cualquier figura que se requiera, circulares cuadradas, triangulares, la figura que se dese encontrar en el mercado de abrasivos y que mejor funcione para los acabados de sus piezas. Pueden ser de cerámica, plástico, sintética, porcelana y metálica.

2.8.5. Media Cerámica

Esta media es excelente para cortar, desbarbar y mejorar la superficie de las piezas. Este tipo de media contiene varios niveles de material abrasivo dependiendo de la aplicación. Seleccionar el tamaño y la forma dependerá del componente que se está terminando. Las medias pequeñas son menos agresivas que las medias más grandes y proporcionan un mejor acabado superficial. Los ángulos y los bordes son más agresivos que las formas redondas (Incorporated, 2018).



Figura 11. Media de cerámica para corte. Fuente: (Incorporated, 2018).

2.8.6. Media XM-(Bruñido)

Este tipo Media está compuesto de bauxita sinterizada. Es una pepita de abrasivo granular que viene en una variedad de tamaños en su figura. Es duro, duradero y pesa 140 libras por pie cuadrado, es extremadamente denso. MFI lo usa principalmente en aplicaciones de bruñido, pero también funciona bien para aplicaciones de rebabado o desbarbado ligero, así como también para conducir otros abrasivos sueltos para cortar y colorear piezas.



Figura 12. Media para bruñido. Fuente: (Incorporated, 2018).

2.8.7. Media de Plástico- (Cut/Pre-Polish)

La media de plástico para el vibrado de MFI son excelentes para todas las aplicaciones de acabado. La media de plástico para el desbarbado o rebabado son más livianos que sus contrapartes de cerámica y porcelana y vienen en una amplia variedad de formas. Su peso más ligero lo hace ideal para el acabado de metales más blandos como aluminio o acrílicos.

Las medias de plásticos se utilizan en metales no ferrosos en la primera y segunda etapa del proceso de acabado para la eliminación general de metales y para el pre

pulido de piezas. También se puede usar para cortes rápidos y pesados (Incorporated, 2018).



Figura 13. Media de plástico para corte y pulido. Fuente: (Incorporated, 2018)

2.8.8. Media De Porcelana-de Pulido

Las medias de porcelana funcionan muy bien para pulir y bruñir piezas. Este medio no contiene compuestos abrasivos y no elimina el material de las piezas. La IMF generalmente usa esto en el paso final de los procesos. También se puede usar en aplicaciones de desbarbado simples o para agregar un radio a los bordes de las partes.

El acabado en masa (Mass Finishing) ofrece cuatro formas diferentes en medios de porcelana. El tamaño y la forma correctos para su aplicación dependen de la geometría del componente. Si hay aberturas pequeñas, puede ser mejor elegir un tamaño más grande para evitar que los medios se alojen (Incorporated, 2018).



Figura 14. Tipos de Media de porcelana tipo esfera. Fuente: (Incorporated, 2018)

2.8.9. Media de Cerámica-de Pulido

Los abrasivos cerámicos son aquellos que están fabricados con cerámica natural, que suele mezclarse con otros abrasivos en polvo como corindones, cuarzo y carburo de silicio. Los abrasivos cerámicos presentan un acabado microcristalino y son muy uniformes en su estructura, lo que hace que puedan tener muchas aplicaciones distintas.

Como ocurre con el resto de abrasivos actuales, los minerales que se emplean para obtener abrasivos cerámicos son naturales, aunque se someten a distintos procesos de refinamiento, endurecimiento y purificación con el fin de mejorar sus propiedades físicas y de corte lo que los hace muy útiles en los procesos de pulido (Sarthak , Chua, & Sylvie ,, 2015).

3.-Metodología

3.1. Equipos y Materiales

Al seleccionar los tipos de materiales y equipos que se utilizaron en esta optimización, fue necesario ser muy cuidadosos, en el tipo de máquina que se tuvo que escoger para ver qué tipo de gastos se generaron para la empresa. Estos gastos fueron recuperables con la inversión del equipo o tecnología fabricado o adquirido. A continuación, se da una lista de los materiales necesarios, junto con el equipo o máquina que se requirió para realizar las pruebas de los procesos cuando ya son optimizados.

- Máquina Inyectora de Zinc marca Producer modelo DH-P 300 toneladas
- Molde para el tipo de material a moldear modelo 12"x12" 1749A.
- Material fabricado de die casting como muestras manivela 350251

3.1.1. Maquina Inyectora de Zinc Producer modelo DH-P 300TON

Para este proyecto se trabajará con una máquina de cámara caliente ya que se requiere inyectar metal de aleación de zinc fundido dentro de un molde para poder fabricar un producto diseñado para un cliente especificado. Estas máquinas se llaman, equipos convencionales para el moldeo de die casting a una alta presión, y para esto utilizaremos un equipo de la marca Producer (NADCA, Introduction to Die Casting, 2007).

Este tipo de máquina tendrá una capacidad de 300 toneladas de presión para el cierre de las dos placas que contienen las platinas ya mencionadas y en las cuales van

montados las dos mitades del molde en el cual se inyectará el metal fundido sin que se salga por las uniones del sistema de cierre del equipo.



Figura 15. Máquina Marca Producer modelo DH-P 300 toneladas.

Fuente: (Producer, s.f.)

La máquina de inyección de die casting, es muy compleja, consiste en sistemas mecánicos, eléctricos, hidráulicos y de seguridad que deben trabajar juntos. Este tipo de máquinas tienen componentes estructurales muy importantes, que vienen a ser desde el marco de la máquina, que es similar al esqueleto del equipo. A continuación, se mencionará la estructura de la máquina:

3.1.2. Platinas

Estos dispositivos son placas grandes que llevan las cargas de las dos mitades de los dados denominándolo platina estacionaria, platina móvil, platina trasera y estas placas descansan sobre la base del equipo. También lleva el sistema de presión que se utilizan para realizar los cierres de estas platinas en la máquina de die casting (NADCA, Introduction to Die Casting, 2007).

3.1.3. Platina Fija

La platina fija o estacionaria, se encuentra colocada en la parte delantera de la máquina de die casting y esta placa fija es la que contiene también una de las partes del dado el cual también se le llama matriz fija, en esta parte se encuentra el mecanismo por donde se realiza el disparo del material fundido hacia la cavidad del dado.

3.1.4. Platina móvil

Esta platina está ubicada entre las placas estacionaria y trasera, la cual en su interior contiene los platos expulsores de la matriz o dado. Esta platina móvil contiene las barras expulsoras que mueven hacia adelante y hacia atrás los pernos expulsores del molde y así arrojar la pieza fabricada. Tanto las platinas móviles como los traseros se mueven en cada ciclo, deslizándose hacia atrás y hacia adelante para abrir y cerrar el dado.



Figura 16. Platina móvil, Fija y Trasera de Maquina de Die Casting.

Fuente: (Zhafir, s.f.)

3.1.5. Dado Para Modelo 12"x12" 1749A.

Junto con la máquina inyectora, el dado o molde es el otro componente principal del sistema de die casting. El dado dedicado para la inyección a alta presión es una herramienta dedicada para una o varias piezas según el diseño del producto que el cliente está solicitando (AndersPersson, 2004), por lo que este tipo de dados tienen cuatro funciones:

- Mantiene el metal fundido dentro de la cavidad que tiene la forma de la pieza moldeada deseada.
- Proporciona un medio para que el metal fundido entre en la cavidad donde se encuentra la forma deseada a moldear.
- Eliminar el calor del metal fundido para solidificar el metal.
- Prever la eliminación del metal solidificado.

El molde que se estará utilizando para el proceso de fabricación de uno de los productos es un molde hecho de acero duro que es H13, el cual tiene características, que soportan las altas temperaturas, el desgaste al contacto con el zinc y tiene un grado de durabilidad muy alto.

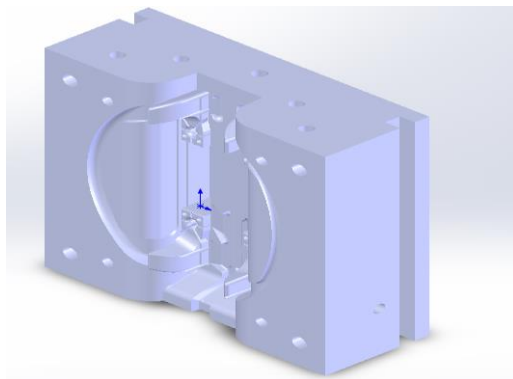


Figura 17. Dado requerido para la fabricación de piezas, modelo 12"x12" 1749^a.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.6 Matlab Software de entorno de desarrollo a utilizar

MATLAB es el nombre abreviado de “MATriz LABoratory”. En su versión R2018b para Windows 10, es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices, y por tanto se puede trabajar también con números escalares (tanto reales como complejos), con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas (Amos, 2006).

Matlab es un lenguaje de alto rendimiento para cálculos técnicos, es al mismo tiempo un entorno y un lenguaje de programación. Uno de sus puntos fuertes es que permite construir nuestras propias herramientas reutilizables. Podemos crear fácilmente nuestras propias funciones y programas especiales (conocidos como M-archivos) en código Matlab, los podemos agrupar en Toolbox (también llamadas librerías): colección especializada de M-archivos para trabajar en clases particulares de problemas (Cleve & Peter , 2010).

El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets) (Amos, 2006).



Figura 18. Logo de MatLab. Fuente: (MatWork, 2021).

3.1.7. Equipo de Cómputo para Desarrollo

El equipo de cómputo con el que se desarrolló este proyecto es un equipo con un procesador Intel CORE i3 de 8th generación con una memoria RAM de 16g, con un disco duro de 1 tera de capacidad, la cual cumple con los requerimientos necesarios para el uso del software ya mencionado para la programación de la aplicación. El equipo se muestra en la figura 19. Cualquier equipo de cómputo que cuente con características similares o superiores a éste, no debe presentar problema alguno para realizar el trabajo requerido por este proyecto.



Figura 19. Equipo de trabajo para desarrollo de proyecto.Fuente: (amazon, 2021)

3.2. Métodos

Como sabemos, existen muchas variedades de software en el mercado y probablemente, con el paso de los años, existirán más. El mayor problema de esta tendencia, es la implementación práctica. Las diferentes empresas que los desarrollan son las mismas que les dan soporte, obviamente venderán su producto lo mejor que puedan.

Y ahí es cuando llega el problema: sólo los sistemas que se han demostrado que funcionan en los entornos descritos pueden contemplarse para una tarea para proporcionar un control mediante software polivalente en una fábrica. Así que, por ahora, sólo se tendrán en cuenta algunas tecnologías como los algoritmos metaheurísticos muy utilizados hoy en día para toma de decisiones. Se utilizarán de acuerdo con la documentación disponible para los parámetros descritos anteriormente (Romero, 1996).

Existen diferentes métodos que podrían utilizarse para obtener excelentes resultados en los sistemas de decisión dentro de una empresa, estos métodos se desarrollan mediante algoritmos matemáticos de multicriterio, para obtener datos predictores de un producto o proceso.

Los métodos MCDM son herramientas poderosas que proporcionan ayuda en las tomas de decisiones para cualquier problema dentro de la economía y sistemas de procesos industriales, como el método TOPSIS. La técnica TOPSIS fue desarrollada por Hwang y Yoon en 1981, y es un método pragmático para tratar problemas reales de toma de decisiones con criterios múltiples.

En este método, la clasificación de las alternativas se basa en la distancia más corta a la solución ideal y la más lejana a la solución ideal negativa, por lo que se analizará su algoritmo para ver el comportamiento y si los posibles resultados son los convenientes con esta herramienta (Olson, 2004).

El algoritmo sigue los siguientes pasos:

1º -Construcción de la matriz de decisión: Partiendo de m alternativas $A_i, i = 1, 2, \dots, m$ que serán evaluadas a partir de los criterios $C_j, j = 1, \dots, 2, \dots, n$ se obtiene la siguiente matriz de decisión:

Tabla 1. Matriz de decisión. Fuente: (Olson, 2004).

| | | | | |
|-------|----------|----------|-----|----------|
| | w_1 | w_2 | ... | w_n |
| | C_1 | C_2 | ... | C_n |
| A_1 | x_{11} | x_{12} | ... | x_{1n} |
| A_2 | x_{21} | x_{22} | ... | x_{2n} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| A_m | x_{m1} | x_{m2} | ... | x_{mn} |

Donde X_{ij} representa la valoración de la alternativa A_i con respecto al criterio C_j , $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ es el vector de pesos asociado a los criterios.

2º -Normalización de la matriz de decisión: Los elementos de la matriz de decisión pueden no estar definidos en el mismo dominio y por ello han de ser normalizados.

La norma que se usa estará dada por la expresión (3):

$$n_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij})}, j = 1, \dots, n, i = 1, \dots, m \quad (3)$$

3º-Construcción de la matriz de decisión normalizada ponderada: Los elementos de la matriz de decisión normalizada ponderada V se calcularán con la expresión (4):

$$v_{ij} = w_j x_{nij}, j = 1, \dots, n, i = 1, \dots, m \quad (4)$$

donde w_j es el peso asociado a cada criterio.

4º -Obtención de la solución ideal positiva (PIS) y la solución ideal negativa (NIS): Los valores ideales positivos y negativos (A^+ y A^-) se determinan mediante las expresiones (5) y (6), respectivamente:

$$A^+ = \{V_1^+, \dots, V_n^+\} = \{(max_{j \in J} v_{ij}, j \in J)(min_{i \in J'} v_{ij}, j \in J')\} \quad (5)$$

$$A^- = \{V_1^-, \dots, V_n^-\} = \{(min_{j \in J} v_{ij}, j \in J)(max_{i \in J'} v_{ij}, j \in J')\} \quad (6)$$

donde J está asociado con los criterios de beneficio y J' está asociado a criterios de coste.

5º -Cálculo de las medidas de distancia: la distancia de cada alternativa a la solución ideal positiva, d^+ , y a la solución ideal negativa, d^- , está dada por (7) y (8) respectivamente:

6º -Cálculo de la proximidad relativa a la solución ideal: la proximidad relativa R_i a la solución ideal positiva se calculará mediante la expresión (9):

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, \dots, m \quad (9)$$

En la técnica TOPSIS el proceso de selección de alternativas, es realizado mediante el punto de vista multicriterio, en base al ordenamiento de acuerdo a preferencias que se le asignan a cada alternativa, en función de los criterios En el proceso de selección por medio de TOPSIS (García, S, & Figueroa, 2006).

El método directo de realizar la evaluación multicriterio para la elección de la mejor alternativa, consiste en elegir la alternativa que posea la menor distancia a la solución ideal de esta manera la alternativa elegida sería muy semejante a la solución ideal. Otra opción de elegir la mejor alternativa, sería eligiendo aquella que se encuentre alejada de la solución anti-ideal.

TOPSIS es una técnica que considera a la distancia la solución ideal y la distancia a la solución anti-ideal. Los algoritmos matemáticos, ayudan a los responsables de la toma de decisiones y a los ingenieros a comparar y clasificar un conjunto de decisiones alternativas (Schnitzler H.-U. and Kalko E. K. V., 2001). En estos métodos, la clasificación de las alternativas se basa en situaciones reales que le dan soluciones al costo y beneficio de gran importancia para una empresa.

En la siguiente figura 20, se muestra una aplicación llamada decisión radar, este software es basado en TOPSIS con el cual se evaluarán el problema de rebaba del proyecto para ver la diferencia que existe con este tipo de algoritmo de multicriterio.

En el formulario se colocan 4 piezas a evaluar para darles el peso del valor.

| choices | Name |
|---------|---------|
| 1 | pieza a |
| 2 | pieza b |
| 3 | pieza c |
| 4 | pieza d |

+ -

> Set Indicators

> Set Decision Matrix

Calculate With TOPSIS method

Figura 20. Software evaluando el metodo TOPSIS.Fuente (Radar, 2018)

En la siguiente etapa se colocan los parámetros del proceso y se les da un valor de rango específico, utilizando el mejor valor como el 1, es lo que tiene este método que se requiere escoger cual es el material u objeto con mejor característica o con mayor peso dentro de la evaluación, como lo muestra la figura 21.

| Choices | Name | Negative | Weight | Qualitative |
|---------|---------------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| 1 | Injection Time | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> |
| 2 | Shot Time | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> |
| 3 | Delay Time | <input type="checkbox"/> | 6 | <input type="checkbox"/> |
| 4 | Solidification Time | <input type="checkbox"/> | 5 | <input type="checkbox"/> |
| 5 | Pressure Time | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> |
| 6 | Shot Speed | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> |

[Set Decision Matrix](#)

Calculate With TOPSIS method

Figura 21. Entrada de parámetros en el método TOPSIS. Fuente: (Radar, 2018)

El siguiente paso del software es realizar la matriz de decisión ponderada y normalizada, mediante los datos ya calculados con las piezas y el número de parámetros, esto se muestra en la siguiente figura 22. Aquí se nota que el algoritmo de la aplicación le colocó el valor de uno a la mayoría de los parámetros, esto es la ponderación que se le está asignando al algoritmo

▼ Set Decision Matrix

| | injection time | shot time | delay time | solidification time | Pressure time | shot speed |
|---------|----------------|-----------|------------|---------------------|---------------|------------|
| pieza a | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| pieza b | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| pieza c | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| pieza d | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Calculate With TOPSIS method

Figura 22 Matriz de decisión ponderada y normalizada. Fuente: (Radar, 2018)

Por tanto, la mejor alternativa de decisión obtenida por el método TOPSIS, considerando los criterios de los parámetros de Inyección, Disparo, Retención, Solidificación, Presión y Velocidad de disparo consiste en seleccionar la alternativa con mayor jerarquía, en este caso el estudio nos indica que la mejor opción para ser elegido fue la pieza B como lo muestra la figura 23.

Best Choice is **pieza b**

pieza b with score **1**

pieza a with score **0.625933303851027**

pieza c with score **0**

pieza d with score **0**

Full Calculation Result

Figura 23 Mejor resultado. Fuente: (Radar, 2018)

Existe una gran diferencia entre los algoritmos de multicriterio y los algoritmos metaheurísticos, ya que pueden considerarse como metodologías de nivel superior para resolver problemas específicos de optimización (Talbi , 2009). Dos características importantes de las metaheurísticas son la intensificación y la diversificación. La intensificación, también denominada explotación, pretende utilizar la información de las mejores soluciones actuales. Este proceso busca en la vecindad de las mejores soluciones actuales y selecciona a los mejores candidatos.

La diversificación, también llamada exploración, garantiza que el algoritmo pueda explorar el espacio de búsqueda de manera más eficiente, a menudo mediante aleatorización. Este es el paso esencial que garantiza que el sistema pueda saltar de cualquier óptimo local y pueda generar nuevas soluciones de la manera más diversa posible. Los principales propósitos del desarrollo de algoritmos metaheurísticos modernos son: resolver problemas más rápido, resolver problemas grandes y complejos y obtener soluciones robustas (Gandomi AH, Yang XS, & Alavi, 2012).

3.2.1. Método Propuesto; Algoritmo inspirado en Murciélagos (Bat)

El método propuesto para la solución del problema de exceso de material comúnmente llamada rebaba, es el algoritmo inspirado en murciélagos. Este es un algoritmo de Bio-inspiración de reciente creación, fue propuesto por Yang en 2010 (Yang., 2010). Los murciélagos son animales y su capacidad avanzada para moverse en la oscuridad se debe a un sistema de ecolocalización.

Este sistema funciona como un tipo de sonar: los murciélagos emiten un pulso fuerte y corto de sonido, esperan que impacte en un objeto y, después de una fracción de

tiempo, el eco regresa a sus oídos (Griffin D. R., 1960), con esta acción pueden identificar objetos.

Así, los murciélagos pueden calcular a qué distancia se encuentran de un objeto concreto, para tomar medidas durante su vuelo sobre la velocidad y la dirección que debe tomar (Metzner, 1991). Además, este asombroso mecanismo de orientación hace que los murciélagos sean capaces de distinguir la diferencia entre un obstáculo y una presa, lo que les permite cazar incluso en completa oscuridad (Schnitzler H.-U. and Kalko E. K. V., 2001).

El Algoritmo del Murciélago, tal técnica ha sido desarrollada para comportarse como una banda de murciélagos que rastrean presas/alimentos utilizando su capacidad de ecolocalización. Para modelar este algoritmo, Yang describió algunas reglas que son básicas para el algoritmo, como sigue

- 1) Todos los murciélagos utilizan la ecolocalización para percibir la distancia, y también "conocen" la diferencia entre la comida/presa y las barreras del fondo de alguna manera mágica;
- 2) Un murciélago bi vuela aleatoriamente con velocidad vi en la posición xi con una frecuencia fija f_{min} , variando la longitud de onda λ y el volumen $A0$ para buscar presas. Pueden ajustar automáticamente la longitud de onda (o la frecuencia) de sus pulsos emitidos y ajustar la tasa de emisión de pulsos $r \in [0, 1]$, dependiendo de la proximidad de su objetivo;
- 3) Aunque la sonoridad puede variar de muchas maneras, Yang supone que la sonoridad varía desde un $A0$ grande (positivo) hasta un valor constante mínimo A_{min} .

3.2.2. Descripción del algoritmo de los murciélagos

En primer lugar, se inicializa la posición inicial x_i para cada murciélago b_i , con su velocidad v_i y frecuencia f_i . Para cada paso de tiempo t , siendo T el número máximo de iteraciones, el movimiento de los murciélagos virtuales viene dado por la actualización de su velocidad y posición mediante las ecuaciones 1, 2 y 3, como sigue

$$f_i = f_{\min} + (f_{\min} - f_{\max}) \beta, (1)$$

$$v_{ji}(t) = v_{ji}(t-1) + [\hat{x}_j - x_{ji}(t-1)]f_i, (2)$$

$$x_{ji}(t) = x_{ji}(t-1) + v_{ji}(t), (3)$$

β es un número normalizado generado aleatoriamente dentro del intervalo $[0, 1]$, $x_{ji}(t)$ denota el valor de la variable de decisión j para el murciélago i en el tiempo t . El resultado de f_i (Ecuación 1) se utiliza para controlar el ritmo y el alcance del movimiento de los murciélagos.

La variable \hat{x}_j representa la mejor ubicación global actual (solución) para la variable de decisión j , que se consigue comparando todas las soluciones proporcionadas por los murciélagos m . Para mejorar la variedad de las posibles soluciones, Yang ha propuesto emplear paseos aleatorios (Yang., 2010). Principalmente, se selecciona una solución entre las mejores soluciones actuales, y luego se aplica el paseo aleatorio con el fin de generar una nueva solución para cada murciélago que acepte la condición en la línea 5 del algoritmo:

$$x_{new} = x_{old} + \epsilon A(t), (4)$$

En el que $A(t)$ representa la sonoridad media de todos los murciélagos en el tiempo t , y $\epsilon \in [-1, 1]$ intenta la dirección y la fuerza del paseo aleatorio. Por lo tanto, para

cada una de las iteraciones del algoritmo, la sonoridad A_i y la tasa de impulsos de emisión r_i se actualizan, como sigue.

$A_i(t+1) = \alpha A_i(t)$ (5) y $r_i(t+1) = r_i(0) [1 - \exp(-\gamma t)]$, (6) donde α y γ son constantes ad-hoc. En el primer paso del algoritmo, la tasa de emisión $r_i(0)$ y la sonoridad $A_i(0)$ suelen elegirse al azar. Generalmente, $A_i(0) \in [1, 2]$ y $r_i(0) \in [0, 1]$. En la figura 24 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento de este algoritmo.

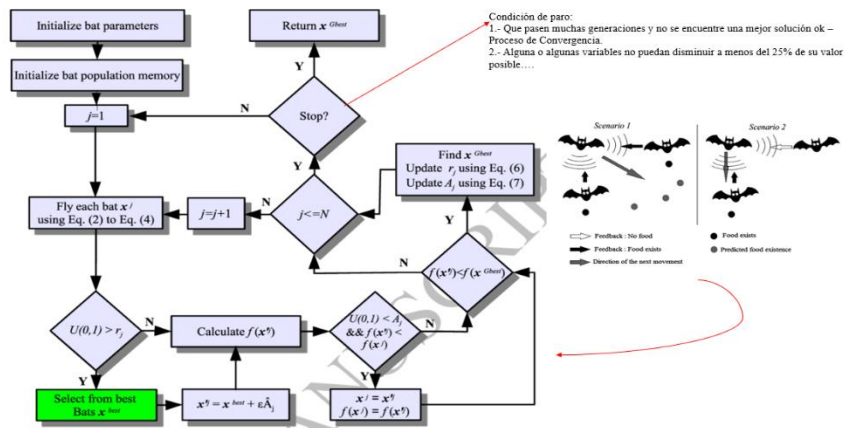


Figura 24. Algoritmo de murciélagos. Fuente: (Al-Betar, 2008-2021)

A continuación, se presenta un ejemplo de un problema resuelto por medio del algoritmo de murciélagos

3.2.3. Problema De ejemplo con Algoritmo de Murciélagos

3.2.4 Corte de piel en asientos de auto

El manejo de los materiales que componen la confección de los asientos, como las pieles que se utilizan en los autos deportivos de lujo y requieren una gran precisión para cumplir con la calidad requerida por los clientes de dichos autos. El proceso de perforación está directamente relacionado con la calidad de las prendas terminadas, asiento de vehículos de lujo producidos por la empresa Lear, a la que se le realizó esta investigación (Corbelio, 2005).

Por qué este trabajo busca optimizar este proceso, disminuyendo el porcentaje de defectos en partes por millón (Ppm), ya que los principales defectos ya mencionados están en la heterogeneidad de la separación de perforaciones, esto debido al avance de la banda de papel en la que el material que se está perforando está soportado.

Esta heterogeneidad disminuye la calidad y aumenta los desperdicios que resultan en una pérdida para la empresa, esta investigación tiene como objetivo reducir los defectos de las piezas. El efecto de un factor se define como el cambio observado en la variable de respuesta debido a un cambio en el nivel de dicho factor. En particular, los principales efectos son los cambios en el promedio de la variable de respuesta que se deben a la acción individual de cada factor (Corbelio, 2005).

En términos matemáticos, el efecto principal de una diferencia de factor dos entre los niveles se obtiene cuando el factor estaba en el segundo nivel, por ejemplo, para los datos de la Tabla 3, los efectos principales respuesta media están dados por:

$$\text{Effect } A = \frac{41 + 45}{2} - \frac{28 + 63}{2} = -2.5$$

$$\text{Effect } B = \frac{63 + 45}{2} - \frac{28 + 41}{2} = 19.5$$

Los resultados obtenidos de los offset de las piezas mecanizadas taladradas durante el experimento variaron de un mínimo de 4.9479 mm a un máximo de 5.7863 mm obteniendo un valor promedio de 5.2500 mm con una desviación estándar de +/- 0.2431 mm. La tabla 2 muestra el valor obtenido por la combinación realizado y utilizando nuestro algoritmo de bio inspiración (Yang., 2010). Aquí se muestra una solución diferente para reducir la pérdida de material utilizando nuestro algoritmo de análisis factorial único y bio inspirado.

El uso de nuestro modelo basado en un Algoritmo Bio inspirado puede reducir hasta un 43% el material que se desperdicia, mientras que si solo se hubiera realizado un modelo de análisis factorial se hubiera logrado solo el 17%, esto se debe principalmente a que matemáticamente no se puede explorar el espacio de búsqueda y comparar los valores detectados en diferentes partes del frente de Pareto y luego combinarlas para lograr una solución híbrida de acuerdo con la solución requerida (Zezzatti, Sánchez , & He, 2016).

Tabla 2. Descripción de componentes en. Fuente: (Zezzatti, Sánchez , & He, 2016)

| BLOQ | M1 | | | M2 | | | M3 | | | Total |
|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|--------|
| | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | |
| 1 | 7.51 | 8.00 | 7.50 | 7.06 | 6.97 | 6.86 | 6.10 | 7.03 | 6.93 | 63.96 |
| 2 | 7.74 | 6.86 | 7.43 | 7.03 | 6.29 | 6.71 | 6.97 | 6.29 | 6.20 | 61.51 |
| 3 | 7.11 | 7.09 | 7.40 | 6.11 | 6.29 | 6.89 | 5.77 | 6.00 | 6.46 | 59.11 |
| 4 | 6.64 | 6.91 | 7.66 | 7.60 | 6.06 | 7.09 | 6.80 | 6.17 | 6.80 | 61.73 |
| Total | 29.01 | 28.86 | 29.99 | 27.80 | 25.60 | 27.54 | 25.64 | 25.49 | 26.39 | 246.31 |
| | M1=87.86 | | | M2=80.94 | | | M3=77.51 | | | |
| | T1=82.46 | | | T2=79.94 | | | T3=83.91 | | | |

En la Tabla 3, podemos ver los diferentes componentes (factores) asociados con el proceso de corte de las prendas de un automóvil en la industria de autopartes. Cabe destacar que se mejoró el diseño experimental mediante el uso de nuestro algoritmo bio inspirado para determinar los valores adecuados asociados a la reducción de un factor que afecta el corte de las prendas y optimizar la reducción de desperdicio todo en función del tiempo asignado a las prendas de cada coche (Montgomery, 2004).

Tabla 3. Los resultados de las pruebas realizadas en el experimento. Fuente: (Zezzatti, Sánchez , & He, 2016)

| Order | Factor Levels | | | | Result (mm gap) |
|---------------------------|---------------|--------------------|---------|-------------|-----------------|
| | Speed Paper | Speed rolled paper | Voltage | Paper Radio | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.1943 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0.6122 |
| 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0.0266 |
| 4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0.07 |
| 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0.4457 |
| 6 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0.4762 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0.1358 |
| 8 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0.2451 |
| 9 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0.2019 |
| 10 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0.7683 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| 12 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0.3467 |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0.1943 |
| 14 | 2 | 2 | 1 | 2 | -0.0521 |
| 15 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0.3416 |
| Average 0.2500 | | | | | |
| Standard deviation 0.2431 | | | | | |
| Minimum Value -0.0521 | | | | | |
| Maximum Value 0.7683 | | | | | |

3.2.5. Software De Simulación

El método utilizado para resolver este problema de exceso de rebaba es un software de simulación para calcular los puntos óptimos donde habrá una reducción de material de acuerdo a los valores de los parámetros de ajuste del proceso de die casting a la hora de fabricar una pieza (Fang & Tang, 2013).

Este software esta desarrollado para simular un proceso mediante los parámetros más decisivos y reales de una hoja de procesos, para después mediante una función objetivo poder calcular la mejor opción de parámetros después de una simulación. Este está basado en un algoritmo Bio-inspirado el cual tomará los datos propuestos en la función matemática y realizará una búsqueda en el espacio adecuado para encontrar el punto óptimo donde habrá una reducción de material en la pieza moldeada (Metzner, 1991).

En la figura 25 se muestra el método a seguir para realizar la captura de parámetros de entrada en el sistema de simulación. Estos en conjunto con los datos obtenidos

por la función objetivo los tomará el algoritmo inspirado en murciélagos, el cual calculará un espacio de búsqueda por coordenadas el cual se detendrá en el momento que el mejor de los murciélagos encuentre la trayectoria y se posicione en el punto más óptimo de los valores generados por el algoritmo. En seguida se mostrará una gráfica con los puntos de búsqueda del algoritmo en el cual define cual es la coordenada donde se encuentra el punto óptimo, y al mismo tiempo nos da el valor de la optimización, en este caso se refiere al valor mínimo de la ecuación.

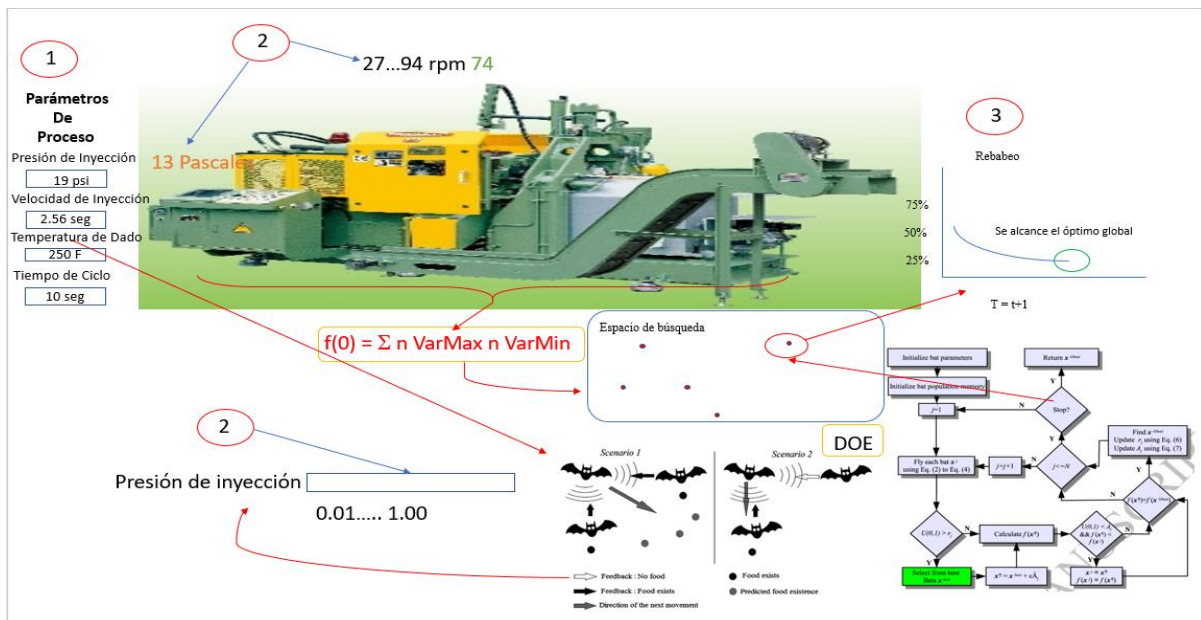


Figura 25. Proceso de toma de decisión del algoritmo en el problema de Die casting. Elaboración Propia.

3.2.6 Función Objetivo

Los procedimientos de diseño convencionales apuntan a encontrar un diseño aceptable o adecuado que simplemente satisfaga los requisitos funcionales y de otro tipo del problema. En general, habrá más de un diseño aceptable y el propósito de la optimización es elegir el mejor de los muchos diseños aceptables disponibles

(Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008). Por tanto, un criterio tiene que ser elegido para comparar los diferentes diseños alternativos aceptables y para seleccionar el mejor.

El criterio con respecto al cual se optimiza el diseño, cuando se expresa en función de las variables de diseño, se conoce como criterio o mérito o función objetivo. La elección de la función objetivo se rige por la naturaleza de problema. La función objetivo para la minimización se toma generalmente como el peso en los problemas de diseño estructural de aeronaves y aeroespaciales (RAO, 2009).

En los diseños de estructuras de obra civil, el objetivo suele ser la minimización de costes. La maximización de la eficiencia mecánica es la elección obvia de un objetivo en los sistemas de diseño de ingeniería mecánica. Por tanto, la elección de la función objetivo parece ser sencilla en la mayoría de los problemas de diseño. Sin embargo, puede haber casos en los que la optimización con respecto a un criterio particular puede conducir a resultados que pueden no ser satisfactorios con respecto a otro criterio.

3.2.6 Desarrollo de Función Objetivo del Proyecto

La función objetivo se generará de acuerdo con los siguientes datos, simulando el moldeo de dos piezas con diferentes parámetros de procesos de zinc, la pieza A y la pieza B tendrán un peso de acuerdo al ajuste de sus debidos parámetros, evitando que se genere exceso de material y provoque rebaba en las piezas, para esto deberá calibrar el equipo de inyección. Para la pieza A tendrá una Velocidad de Inyección de 0.20s y la pieza B de 0.15s, ya que como máximo parámetro tiene 10s. También su parámetro de Tiempo de disparo, para la pieza A será de 0.20s y para la pieza B de

0.10s y su valor máximo es de 10s, un tiempo de retención para la pieza A de 0.20s y para la pieza B de 15s, también el parámetro de tiempo de solidificación, para la pieza A será de 0.25s y para la B será de 0.20s.

Otro de los parámetros a considerar es el de Inyección de Presión que para la pieza A será de 250 psi y para la pieza B será de 300 psi con un máximo de valor de presión en el sistema de 600 psi. La temperatura de dado será para la pieza A de 230°C y para la pieza B de 200°C con un máximo de 600°C.

Después de la fabricación las piezas pasarán a un proceso manual de desbarbado debido al exceso de material en las piezas. ¿Cuál serán los parámetros óptimos del proceso para evitar que las piezas salgan con exceso de rebaba? El principal objetivo será minimizar la rebaba o sobrante de las piezas Minimizar material $F(X, Y) = 2X + 2Y$.

X Será la pieza A

Y Será la pieza B

3.2.7 Parámetros de Ajuste (Tuning Parameter)

Los parámetros de ajuste son parte de un proceso llamado regularización, que funciona sesgando los datos hacia valores particulares. Un parámetro de ajuste (λ), a veces llamado parámetro de penalización, controla la fuerza del término de penalización en la regresión de cresta y regresión de lazo. Es básicamente la cantidad de contracción, donde los valores de los datos se reducen hacia un punto central, como la media. La contracción da como resultado modelos simples y dispersos que son más fáciles de analizar que los modelos de datos de alta dimensión con una gran cantidad de parámetros.

Los parámetros de ajuste óptimos son "difíciles de calibrar en la práctica" (Lederer & Muller, 2015) y "no son prácticamente factibles" (Fang & Tang, 2013). Dependen de un sin fin de parámetros difíciles de cuantificar como los de moldeo de inyección de zinc. Las técnicas específicas tienen sus proponentes y oponentes, lo que hace que la tarea sea aún más difícil.

Por ejemplo, la validación cruzada es un método algo popular para encontrar parámetros de ajuste, una forma simple e intuitiva de estimar el error de predicción (Tibshirani, 2013). Aunque otras veces el método casi siempre falla en lograr una selección de variables consistente., por lo que sabemos que no existe un parámetro de ajuste "óptimo" para ningún escenario en particular y es necesario encontrar uno para cualquier análisis que involucre datos de alta dimensión (Chand, 2012).

En la siguiente tabla de la figura 20, se capturan los valores de los parámetros que se utilizarán para evaluar dos piezas diferentes, y mediante estos valores el algoritmo matemático realizará el cálculo de la zona factible y así decidir qué opción es la óptima matemáticamente.

Tabla 4 Piezas A y B con Parámetros a Evaluar. Elaboración Propia

| Tipos De piezas | PARAMETROS | | | | Shot Speed (s) | Pressure Time(s) | Temperature(F) |
|-----------------|-------------------|--------------|---------------|------------------------|----------------|------------------|----------------|
| | Inyección Time(s) | Shot Time(s) | Delay Time(s) | Solidificación Time(s) | | | |
| Pieza A | 0.20 | 0.20 | 0.50 | 0.40 | 0.78 | 0.64 | 300 |
| Pieza B | 0.15 | 0.10 | 0.30 | 0.10 | 0.15 | 0.25 | 250 |
| Maximo | 10(s) | 10(s) | 10(s) | 10(s) | 10(s) | 10(s) | 600psi |

Inecuaciones de restricciones

- 1.- $0.20x + 0.15y \leq 10$ 2.- $0.20x + 0.10y \leq 10$ 3.- $0.50x + 0.30y \leq 15$
 4.- $0.40x + 0.10y \leq 10$ 5.- $0.78x + 0.15y \leq 10$ 6.- $0.64x + 0.25y \leq 10$
 7.- $300x + 250y \leq 600$ 8.- $230x + 200y \leq 600$
 $X \geq 0$ $Y \geq 0$

El primer paso es resolver estas inecuaciones para poder obtener los puntos X, Y para poder realizar la gráfica de los mismos y poder encontrar el área de búsqueda, para después determinar el punto óptimo factible del sistema (Garcia, 2006). Se debe colocar valores a las variables para poder realizar la resolución de las ecuaciones. En las siguientes tablas 5, 6, 7 y 8 se colocan los resultados de las restricciones dándonos los valores de las coordenadas que se graficarán para obtener el área factible que en conjunto de la función objetivo se dará el punto de optimización.

Tabla 5 Parámetros de Inyección Time y Shot Time. Elaboración Propia.

| Inyección Time | | Shot Time | |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1.- $0.20x+0.15y=10$ | 1.- $0.20x+0.15(0)=10$ | 2.- $0.20X+0.10Y=10$ | 2.- $0.20x+0.10(0)=10$ |
| $0.20(0)+0.15y=10$ | $0.20x+0.15(0)=10$ | $0.20(0)+0.10y=10$ | $0.20x+0.10(0)=10$ |
| $y = \frac{10}{0.15}$ | $X = \frac{10}{0.20}$ | $y = \frac{10}{0.10}$ | $X = \frac{10}{0.20}$ |
| $y = 66.6$ | $X=50$ | $y = 100$ | $X=50$ |

Tabla 6 Parámetros de Delay Time y Solidification Time. Elaboración Propia.

| Delay Time | | Solidificación Time | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 3.- $0.50X + 0.30Y=10$ | 3.- $0.50X + 0.30Y=10$ | 4.- $0.40X + 0.10Y=10$ | 4.- $0.40X + 0.10Y=10$ |
| $0.50(0) + 0.30Y=10$ | $0.50X + 0.30(0)=10$ | $0.40(0) + 0.10Y=10$ | $0.40x + 0.10(0)=10$ |
| $0.30Y=10$ | $0.50X=15$ | $0.10Y=10$ | $0.40X=10$ |
| $y = \frac{10}{0.30}$ | $x = \frac{10}{0.50}$ | $y = \frac{10}{0.10}$ | $x = \frac{10}{0.40}$ |
| $y = 33.3$ | $x = 20$ | $y = 100$ | $x = 25$ |

Tabla 7 Parámetros de Shot Speed y Pressure Time. Elaboración Propia.

| Shot Speed | | Pressure Time | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 5.- $0.78X + 0.15Y=10$ | 5.- $0.78X + 0.15Y=10$ | 6.- $0.64X + 0.25Y=10$ | 6.- $0.64X + 0.25Y=10$ |
| $0.78(0) + 0.15Y=10$ | $0.78X + 0.15(0) =10$ | $0.64(0) + 0.25Y =10$ | $0.64X+0.25(0) =10$ |
| $0.15Y=10$ | $0.78X=10$ | $0.25Y=10$ | $0.64X=10$ |
| $y = \frac{10}{0.15}$ | $x = \frac{10}{0.78}$ | $y = \frac{10}{0.25}$ | $x = \frac{10}{0.64}$ |
| $y=66.6$ | $x=12$ | $y=40$ | $X=15.6$ |

Tabla 8 Parámetros de Pressure y Temperature. Elaboración Propia.

| Pressure | | Temperature | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 7.- $300X + 250Y=600$ | 7.- $300X + 250Y=600$ | 7.- $230X + 200Y=600$ | 7.- $230X + 200Y=600$ |
| $300(0) + 250Y=600$ | $300x + 250(0) =600$ | $230(0) + 200Y=600$ | $230x + 200(0) =600$ |
| $250Y=600$ | $300X=600$ | $200Y=600$ | $230X=600$ |
| $y = \frac{600}{250}$ | $x = \frac{600}{300}$ | $y = \frac{600}{200}$ | $x = \frac{600}{230}$ |
| $y =2.4$ | $x =2$ | $y =3$ | $x =2.6$ |

El segundo paso después de resolver las restricciones, mediante los resultados dados y los puntos obtenidos se procede a graficar realizando un óptimo de Pareto. El economista italiano Wilfredo Pareto (1938), formuló una serie de principios, que han imperado en la sociedad, llamado Óptimo de Pareto, quien según (Meiners & Leroy Miller, 1998), Pareto señala “que cualquier cambio de situación afectaría a una economía sin perjudicar a otra.

Es decir, las situaciones son eficientes, si al haber un cambio de esa situación, se beneficia a alguno, sin perjudicar a otro”. Esto es, una asignación de recursos tal, que cuando se compara con cualquiera otra, las partes involucradas están por lo menos en iguales condiciones de lo que estaban antes y por lo menos una de ellas está mejor de lo que inicialmente estaba.

El mismo autor manifiesta, que, si aumenta la utilidad de un individuo, sin que disminuya la utilidad de otro, aumenta el bienestar social de los individuos (*ceteris paribus*). En suma, el criterio de Pareto es, a la vez, una clasificación para ciertas situaciones de la economía y de rechazo a clasificar otras, por lo tanto, permite distinguir las situaciones óptimas y las subóptimas.

En una situación óptima es imposible mejorar el bienestar de alguien sin que disminuya el de otros. En una situación sub-óptima, por el contrario, estos cambios son posibles. Pero se rechaza como ilegítima toda clasificación de situaciones en las que el bienestar de unos y otros evoluciona de manera divergente a partir de cualquier cambio en la economía (Blanco & Franklin , 2014).

De lo anterior se deduce una demostración célebre, Pareto estableció que en una economía en que los individuos se dotan de un stock de bienes individuales, la racionalidad de sus elecciones les conducirá necesariamente hacia posiciones de equilibrio de los intercambios que, a su vez, son estados óptimos.

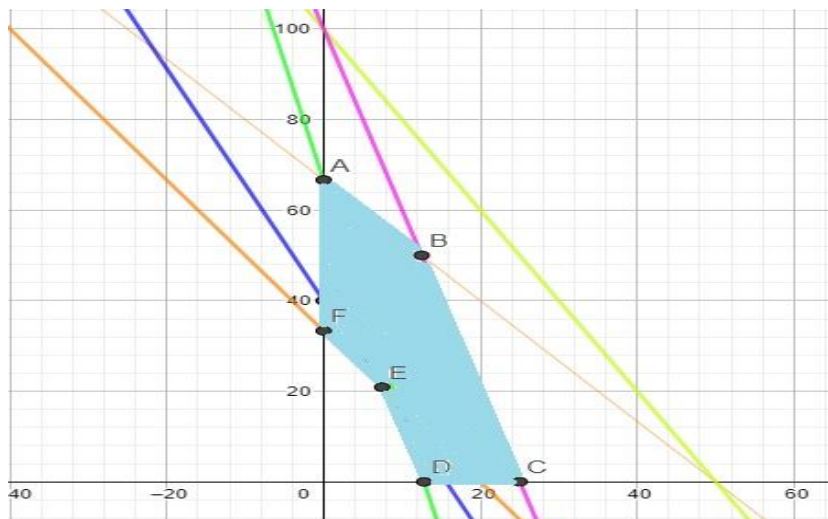


Figura 26 Optimo de Pareto para definir el área factible de datos. Elaboración Propia.

Como vemos el óptimo de Pareto figura 26, nos da una región, la cual se conoce como: *región experimental* esta es el espacio delimitado por los rangos de experimentación utilizados con cada factor. La *región de operabilidad* está delimitada por el conjunto de puntos o condiciones donde el equipo o proceso puede ser operado.

Es difícil delimitar con certeza el tamaño de la región de operabilidad, ya que aun cuando se conozca (por especificaciones del equipo) el rango en que se puede colocar cada factor individual, es necesario determinar esos límites considerando varios factores de manera simultánea. Por ejemplo, es posible que la *temperatura* se pueda correr en su nivel más alto de operabilidad, siempre y cuando los factores de los parámetros *velocidad* y *presión o inyección* se mantengan bajos (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008).

Finalmente, al obtener los puntos graficados de los parámetros, se procederá a calcular cada uno de los vértices que coinciden dentro del área achurada para conocer el valor óptimo del sistema algorítmico que nos dará los valores adecuados para la fabricación de un producto óptimo.

Para estos los valores se colocan en la función objetivo y así se obtiene los criterios de utilidad o costo beneficio, sin embargo, muchos productos están diseñados para trabajar en diferentes niveles de desempeño y de acuerdo a los deseos del usuario o consumidor.

En otras palabras, el usuario puede elegir la señal (o valor promedio de la respuesta) que desea en un momento dado del parámetro utilizado en el proceso. A esto se le

llama factor señal al dispositivo que permite cambiar el nivel de operación de acuerdo a los deseos del usuario (Blanco & Franklin , 2014).

Los factores de ruido que actúan sobre el producto o sobre el proceso se clasifican como: de ruido externo, ruido interno y de deterioro. El *ruido externo* se refiere al ambiente en el cual el proceso (o producto) se desempeña y a la carga de trabajo a que es sometido. Por ejemplo, es ruido externo la humedad ambiental, el polvo o los errores en la operación del equipo.

El *ruido interno* se refiere a la variación generada por el proceso de unidad a unidad producida, y que se debe a su propia naturaleza o tecnologías y la diversidad de sus componentes. El *deterioro* se refiere a efectos que aparecen poco a poco con el tiempo por la degradación paulatina del proceso y sus componentes, que pueden causar la aparición de fallas en el proceso/producto (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008).

4.-Resultados

Para desarrollar el análisis metaheurístico del murciélago descrito en la sección anterior, se diseñó y desarrolló una interface inteligencia en Matlab, utilizando librerías para graficar y además con diferentes recursos para obtener contenido visual para el diseño del front-end (lado cliente) con sus propias librerías. En este sistema se colocan los datos de la función objetivo, los datos del bat algorithm (algoritmo de Murciélagos) para realizar la obtención del punto factible para resolver el problema de la reducción de la rebaba. El panel de inteligencia consta de dos módulos creados en app Designer (Diseño de aplicación).

El primero de ellos figura 27, consiste en un formulario donde muestra el título de la aplicación y en el cual el usuario puede poner los atributos propios para tener acceso al sistema con la clave adecuada. En esta sección el usuario solo debe presionar el botón “SETTING PARAMETERS” para que aparezca la pantalla donde deberá colocar su nombre y contraseña de acceso al entorno.



Figura 27. App de presentación del sistema. Elaboración Propia.

En la siguiente aplicación que muestra la figura 28 aparece después de presionar el botón de color magenta con la leyenda “SETTING PARAMETERS”, en este formulario en la casilla correspondiente a “User Name” el usuario colocará “admin” en minúsculas para después presionar la tecla enter.

Después aparecerá un mensaje indicando que el usuario es el correcto, en caso de que no lo digite correctamente el mensaje indicará que el usuario es incorrecto. Enseguida se habilitará la casilla del password (clave), aquí colocará la clave del sistema la cual es 123, posteriormente presionará la tecla enter y aparecerá el

mensaje de password (clave)correcto, en caso contrario aparecerá password (clave) incorrecto.

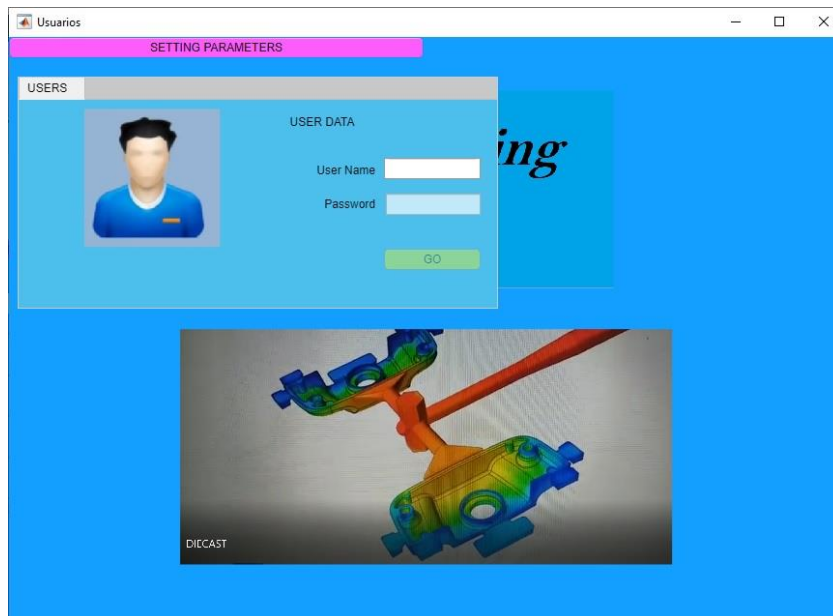


Figura 28. Formulario para colocar el usuario y la clave del sistema. Elaboración Propia.

En la figura 29 se muestra el panel principal del software en la cual se van a introducir los parámetros en el sistema, para que sean calculados en combinación de la función objetivo por el algoritmo metaheurístico de murciélagos. Esta aplicación consta de 8 áreas de las cuales se recibe información del proceso matemático interno realizado por el código fuente.

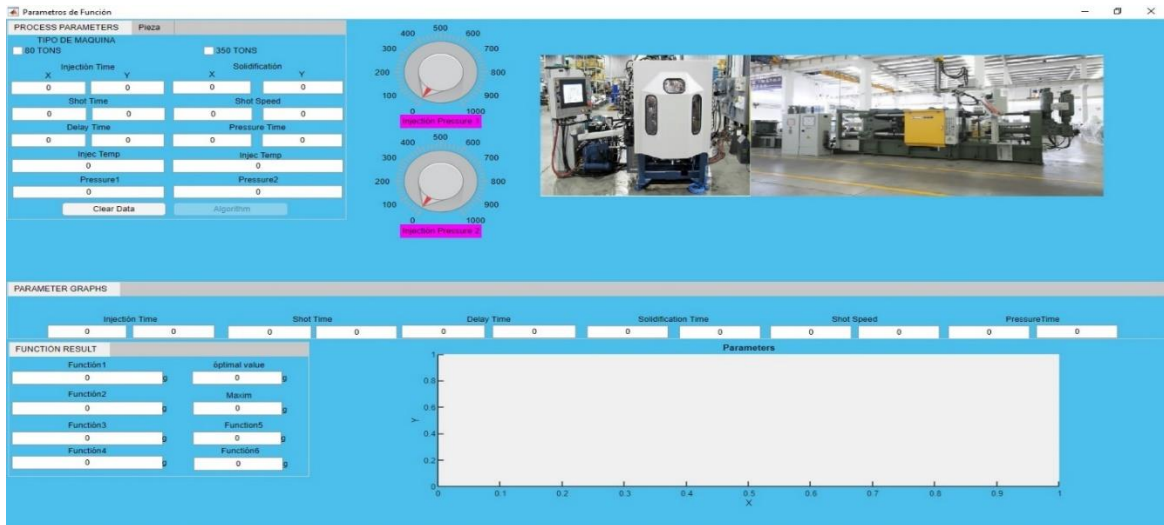


Figura 29. Pantalla de aplicación principal del Dashboard. Elaboración Propia.

Aquí se muestra la primera área del sistema, la cual es de suma importancia ya que es la de parámetros de proceso, aquí existen dos opciones de maquina a seleccionar, una es de 80 toneladas que es para partes más pequeñas con peso de 300 gramos y la otra es para máquinas de 350 toneladas, para piezas arriba de 700 gramos de peso.

En figura 30 se muestra el área de parámetros, estos están clasificados en x e y que son las variables que se utilizan para clasificar las piezas A y B del proceso que se estará evaluando, esta área se requiere que se llene cada casilla porque si no se hace el sistema no podrá iniciarse y arrojará un mensaje de error figura.

| PROCESS PARAMETERS | | Pieza | |
|---|------|-----------------------------------|------|
| TIPO DE MAQUINA | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> 80 TONS | | <input type="checkbox"/> 350 TONS | |
| Inyección Time | | Solidificación | |
| Y | | X | |
| 0.2 | 0.15 | 0.4 | 0.1 |
| Shot Time | | Shot Speed | |
| 0.2 | 0.1 | 0.78 | 0.15 |
| Delay Time | | Pressure Time | |
| 0.5 | 0.3 | 0.64 | 0.25 |
| Injec Temp | | Injec Temp | |
| 230 | | 230 | |
| Pressure1 | | Pressure2 | |
| 300 | | 252 | |
| Clear Data | | Algorithm | |

Figura 30. Área de parámetros. Elaboración Propia

Este mensaje le avisará que los parámetros de ajuste no han sido colocados, en caso de no hacerlo no podrá continuar habilitando el sistema. También deberá llenar el área de datos de pieza ya que es otra condición para poder habilitar el botón de algoritmo y pueda realizar el proceso matemático, esto se debe hacer al seleccionar cualquiera de las opciones de máquina figura 31.

| PROCESS PARAMETERS | | Pieza | |
|-------------------------|----|------------------|----|
| Cavities number | | Part weight | |
| 20 | 24 | 8 | 12 |
| Runner weight | | Over flow-weight | |
| 25 | 25 | 6 | 6 |
| Total Shot weight | | | |
| 191 | | 319 | |
| PESO TOTAL | | | |
| Pieza A con rebaba. | | | |
| Pieza B con tiro corto. | | | |

Figura 31. Área de pieza. Elaboración Propia.

Otro de los puntos importantes es colocar la presión del sistema con las perillas de ajuste con las que cuenta la aplicación, ya que es otra de las condiciones para que el sistema trabaje correctamente, todo esto es por seguridad del buen funcionamiento de este software, el cual evaluará dos piezas A y B, que corresponden a X, Y. Cuando ya todo está correctamente presione el botón con la leyenda “Algorithm” para iniciar el proceso de cálculo matemático mediante el modelo de murciélagos, algoritmo metaheurístico que calculará en que punto del área de búsqueda será la mejor opción de optimización y así darnos los parámetros óptimos del sistema. En la figura 32 se muestra la gráfica del algoritmo mientras se presiona el botón antes mencionado, esto nos indica que el cálculo matemático está en proceso.

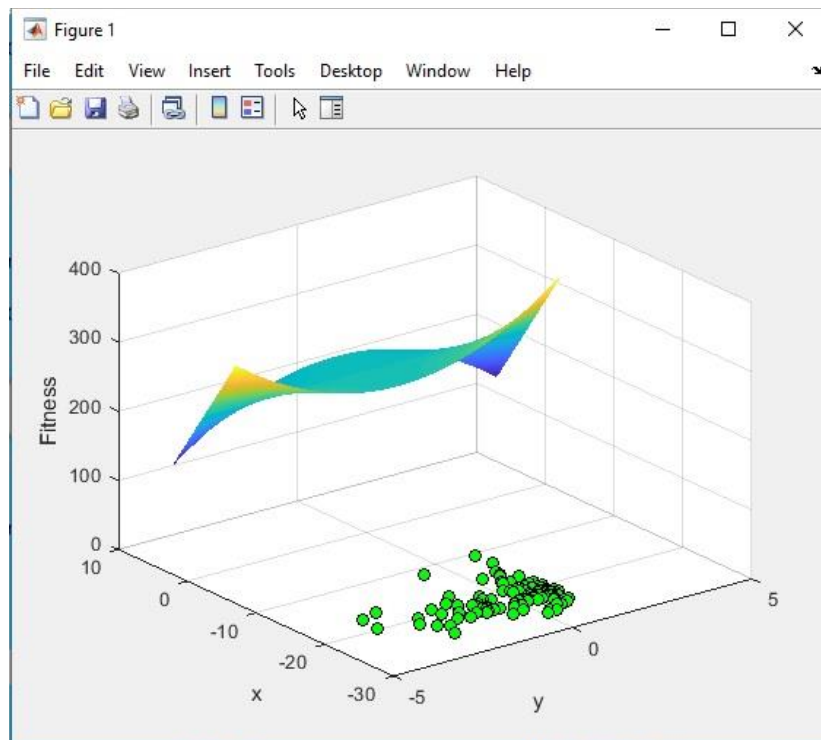


Figura 32. Grafica del algoritmo de murciélagos. Elaboración Propia.

La figura 32 muestran una grafica en 3d simulando mediante círculos verdes que son murciélagos buscando puntos de optimización dentro de un área factible creada por

coordenadas dentro del plano carteciano, las cuales se generan por los parámetros introducidos al datchboard inteigente. Al ir avanzando el tiempo de busqueda, solamente uno de los murcielagos encontrará la mejor opción, por lo que la grafica se extendera un poco más generando una visión óptica de un murcielago.

Después de que el algoritmo termina de realizar los calculos matematicos, la grafica se cierra y se muestran los resultados realizados por el proceso, en primer lugar la casilla de opción esta seleccionanda para el tipo de maquina de 80 toneladas, mostrando su imagen figura 33. Tambien tenemos los parametros de diferentes colores indicando la optimización de los mismo.

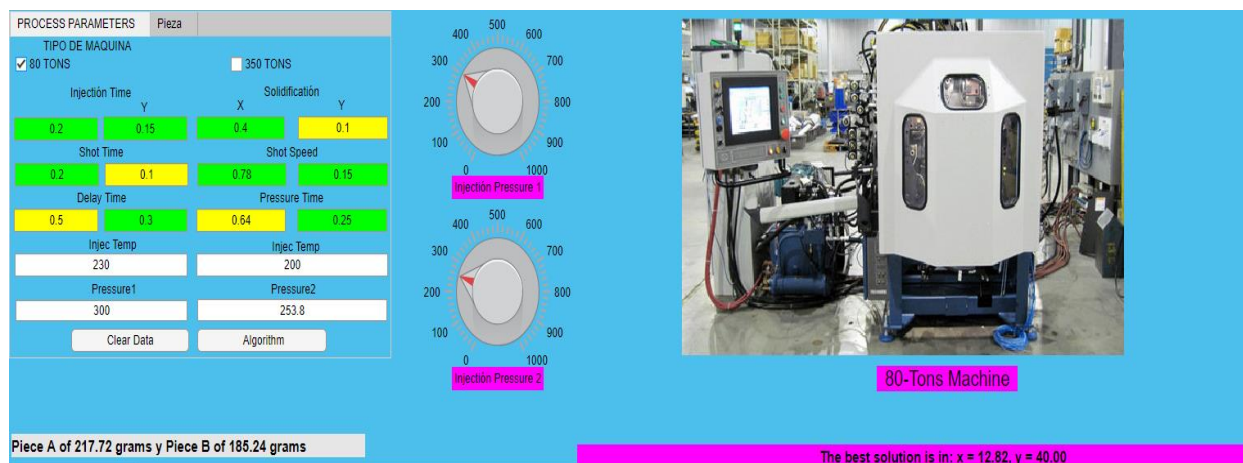


Figura 33. Parámetros de sistema ya optimizados. Elaboración Propia.

Los resultados dados son 8 parametros en color verde indicando que son la opción optima del sistema, estos son Injection Time, en x e y, Shot Time solo en x, Delay Time en y, Solidificación en x, Shot Speed en ambos ejes x e y, por ultimo el parametro de Pressure Time en y. En esta figura se muestran los valores de las presiones y temperaturas colocadas a la pieza A y B para realizar la correcta evaluación, al mismo tiempo da los resultados del lado izquierdo la cantidad de los pesos de las piezas A

y B y del lado derecho debajo de la imagen de la maquina la posición del punto óptimo que encontró el algoritmo.

Esto quiere decir:

- Se dio resultado de 8 parametros con valores óptimos para la reducción de la rebaba en las piezas A y B de analisis.
- El sistema muestra en esta área la cantidad de material inyectado al proceso al mostrar las cantidades de peso en piezas A y B.

En la siguiente fiugura 34, Cuando seleccionamos la opción de maquina de 350 TONS, nos aparece la imagen del equipo con el que se va a realizar la simulación, en este caso se toman los mismos parametros como ejemplo. Enel sistema las dos tipos de maquina son diferentes en condicion de presión, entonces al ajustar presiones con el control inteligente los limites de cada maquina son diferentes.

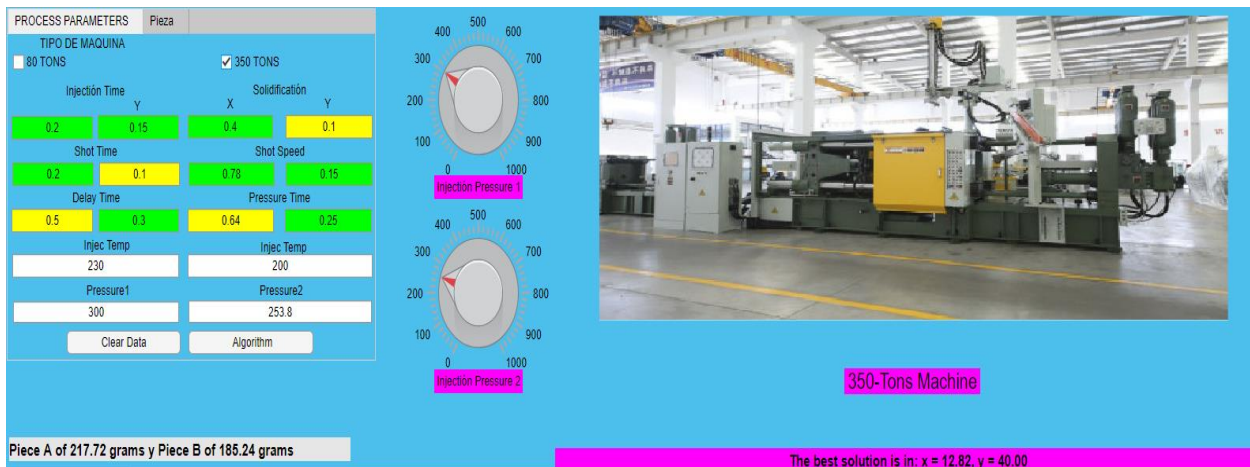


Figura 34. Se activa la opción de máquina de 350 toneladas. Elaboración Propia. Más resultados se muestran en la figura 35, área de la parte baja de la aplicación de del software, en esta imagen se muestran los parametros ya desarrollados por el algoritmo para después ser graficados. Aquí se muestran 6 funciones que indican que son los resultados de las inecuaciones que se usaron para generar los puntos de

optimización del problema. En esta área se muestra el valor óptimo en color verde junto con su función y un mensaje dando las coordenadas del punto del área óptima de búsqueda que realizó el algoritmo.

También se muestra un mensaje en la parte superior en verde indicando que la simulación del software se realizó en 12.43 segundos y que la búsqueda fue realizada por 50 murciélagos, encontrando el punto de optimización de reducción de rebaba en las siguientes coordenadas (X=12.82, Y=40.0), con una reducción de rebaba de 105.6 gramos, también podemos mencionar que se puede aumentar el número de murciélagos para que realicen la búsqueda de los puntos de optimización.

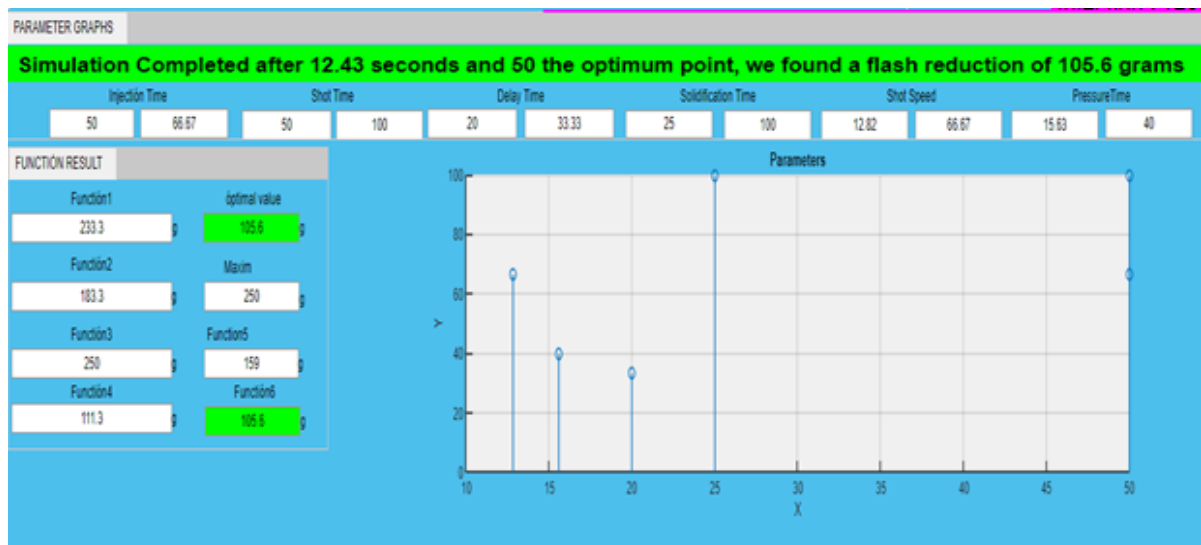


Figura 35. Resultado de la función objetivo y grafica de parámetros. Elaboración propia.

Los datos arrojados por el sistema inteligente nos indica, que mediante los parámetros ya optimizados de la pieza A se pueden moldear 12.82 partes y de la pieza B, se pueden moldear 40 partes con un desperdicio de 105 gramos entre las

dos. La pieza A, de acuerdo a los datos es de 191gramos, esto nos indica fabricar 12,82piezas que nos daría un total de 2448.62 gramos y solo desperdiciaríamos 105 gramos.

En la pieza B el sistema sugiere que se fabriquen 40 piezas cada una con un peso de 319 gramos, dándonos un total de 12760 gramos, con un desperdicio de 105 gramos, indicándonos que la mayoría de las piezas saldrán con un porcentaje de rebaba aceptable de acuerdo a los datos obtenidos por el sistema inteligente.

Otro de los resultados favorables que entrega el sistema inteligente al realizar la simulación, es; que permite una toma de decisiones óptimas, se da en el momento que al aumentar cualquiera de las presiones, presión1 o presión2, las condiciones del software son dadas para que se aumente la cantidad de material en el proceso y se genere piezas arriba del peso adecuado y te muestre en imagen simulando el problema que podría ocurrir en la realidad, figura 36.

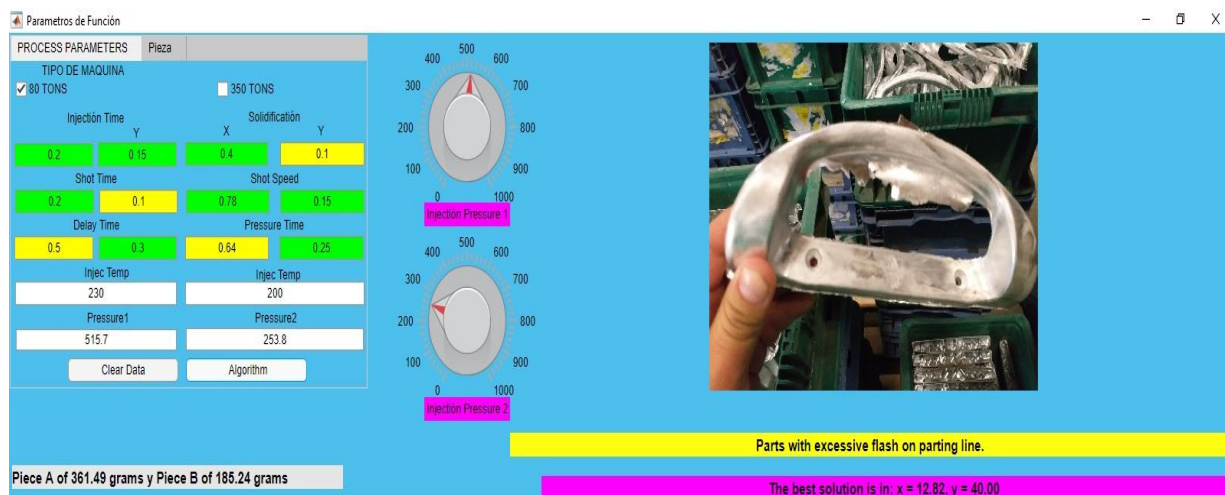


Figura 36. Aumento de Presión, genera exceso de rebaba. Elaboración Propia.

Entre más presión aumentes con los controles del simulador inteligente, tendrás diferente resultado en cuanto al peso de la parte moldeada, en la siguiente figura 36 vemos como se le aumentó a 759.7 psi a este parámetro y la simulación nos muestra una imagen donde las piezas moldeadas saldrán con una placa de material excedente y con derrame del mismo alrededor de la boquilla inyectora de la máquina.

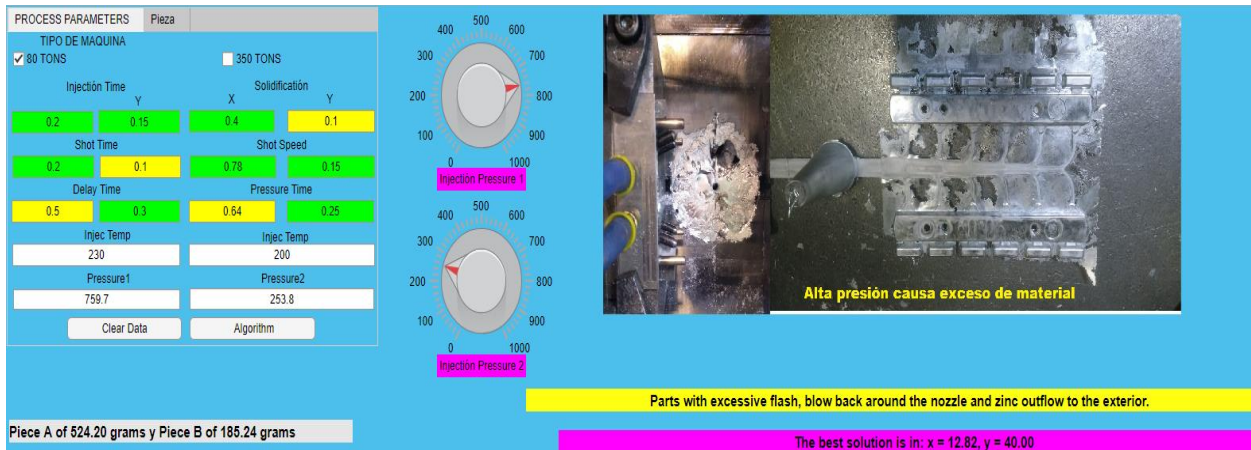


Figura 37. Alta presión generó expulsión de material hacia atrás del equipo y partes con exceso de material. Elaboración Propia.

El algoritmo de murciélago es bastante preciso en encontrar el máximo y mínimo de la función, por lo que puede ser empleado cuando un problema en particular así lo requiera (Schnitzler H.-U. and Kalko E. K. V., 2001). Los tiempos recorridos del algoritmo fueron relativamente breves para el número de murciélagos empleado durante las pruebas.

Durante esta investigación fue posible observar que el desarrollo del software alcanzó resultados altamente satisfactorios para el cálculo del punto óptimo mediante el algoritmo de murciélago, pero también arrojó resultados que alcanzan beneficios en el proceso y esto se muestra a continuación.

- La simulación arroja datos de la cantidad de reducción de rebaba en el proceso.
- Mediante la simulación se obtendrán procesos más fluidos, debido a los datos sobre parámetros optimizados.
- La repetitividad del proceso se podrá realizar en el simulador sin generar scrap.
- El software tiene la flexibilidad para procesar diferentes tipos de números de parte ya que es universal.
- De acuerdo a los datos optimizados por el software existe un Incremento en la calidad del producto terminado.
- Este tipo de software de simulación aumentarán la productividad en el proceso de un 60 a 80 % en operaciones secundarias.

En el área de *die casting* este software de simulación nos da otra ayuda muy importante a la hora de validar un producto nuevo, ya que nos podrá dar datos de peso, parámetros, posibles daños y cuanto material podremos utilizar antes de realizar una corrida piloto en tiempo real. Para las personas que están constantemente en el proceso les será de gran ayuda realizar varias simulaciones antes de utilizar el equipo.

Este sistema inteligente de los resultados que puede dar dentro y fuera de la industria es como un software educativo, pues mediante él se puede enseñar a estudiantes de *die casting* o se podrá dar entrenamiento al personal que no tiene mucha experiencia en los procesos reales, para que conozcan el comportamiento del ajuste de

parámetros, de los problemas que arrojan las altas presiones y así puedan dar solución a varios casos dados por el sistema.

4.1 Discusión de Resultados

En investigaciones previas se ha demostrado que los parámetros de *die casting* han sido estudiados por varios investigadores y algunos de los métodos unificados que puede optimizar todos los parámetros del proceso simultáneamente con respecto a un criterio o una combinación de criterios está todavía en su infancia (Krimpenis, Bernardos, Vosniakos, & Koukouvitaki, 2006). Estas optimizaciones se han logrado a base de diferentes algoritmos que han facilitado la resolución de problemas en la economía y la industria.

Los algoritmos de optimización meta-heurísticos se han hecho populares, debido a su simplicidad y facilidad de programación. Más aún, proporcionan buenos resultados (precisión y exactitud) al optimizar problemas con un relativo grado de complejidad, y pueden operar en sistemas con restricciones.

Para mapear la relación entre el proceso de *die casting* por parámetros de aleación de Zinc, tiempo de inyección y presión con lo que se ha desarrollado una red alimentadora multicapa utilizando tres algoritmos diferentes, para saber, el error del proceso, se utilizó el algoritmo de retro propagación, el impulso y adaptativo algoritmo de aprendizaje y aproximación de Levenberg-Marquardt algoritmo (Yarlagadda & Chiang , 1999).

Otra de las optimizaciones mediante algoritmos fue un relleno con cable AA5356 para soldar aluminio AA5182 y se utilizó un modelo de red neuronal para predecir la

resistencia a la tracción de la soldadura. Para optimizar los parámetros del proceso, como la potencia del láser, la velocidad de soldadura y la velocidad de alimentación del alambre, se formuló una función de aptitud para tener en cuenta la soldabilidad y la productividad. Se utilizó un algoritmo genético para optimizar los parámetros (Park & Rhee , 2008).

Para optimizar los parámetros del proceso de *die casting*, se diseñó una evaluación del sistema según métodos experimentales correspondientes a un total de 16 conjuntos de pruebas. Se consideró como un problema de dos clases, donde las piezas fundidas perfectas se indicaban con "1" y las piezas fundidas con defectos se indicaban con "2". Se utilizó un sistema de red neuronal para simular la relación entre los parámetros del proceso, el defecto y el tiempo de solidificación (Krimpenis, Bernardos, Vosniakos, & Koukouvitaki, 2006).

Los parámetros óptimos de *die casting* se pueden buscar en función de la red entrenada mediante un algoritmo genético que puede producir el conjunto de parámetros de entrada que logra los mejores valores de parámetros de salida. La calidad de una pieza en este proceso está relacionada principalmente con la temperatura del molde, la velocidad de inyección, la temperatura del vertido de material, y la combinación de estos parámetros del proceso afecta la calidad de la superficie de los componentes de die casting.

Por tal motivo se creó esta aplicación mediante un algoritmo metaheurístico de murciélagos, tecnología sugerida en las propuestas de mejoras establecidas en los diferentes proyectos desarrollados para el proceso de rebabado. Evaluando esta necesidad, mediante los parámetros de fabricación del producto, he desarrollado una

aplicación inteligente con la capacidad de calcular los valores de velocidad, inyección, presión y temperatura, para presentar los resultados de fabricación de una pieza con los datos adecuados sin desperdiciar material.

El objetivo de este proyecto fue completado al desarrollar un software que es fácil de usar, con contenido claro, conciso y directo de forma que los usuarios capten de manera favorable e inmediata la ayuda que está brindando a los involucrados en el proceso, pues los datos obtenidos son explícitos para el propósito de reducción de rebaba.

El sistema calcula los parámetros indicando cuales de ellos son la mejor opción para la fabricación de una pieza, después los marca en color verde para que el usuario se dé cuenta y los pueda capturar en una hoja de procesos e integrarlos a la base de datos de la empresa para usarlos en cualquier equipo que lo requiera y que lo aprueben los líderes del proceso.

Tabla 9 Resultado de parametros optimizados. Elaboración Propia.

| PARAMETROS | | | | | | | |
|-----------------|----------------------|-----------------|------------------|---------------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Tipos De piezas | Inyección Time(s) | Shot Time(s) | Delay Time(s) | Solidificación Time(s) | Shot Speed (s) | Pressure Time(s) | Pressure (psi) |
| Pieza A | 0.20 | 0.20 | 0.50 | 0.40 | 0.78 | 0.64 | 300 |
| Pieza B | 0.15 | 0.10 | 0.30 | 0.10 | 0.15 | 0.25 | 250 |
| Maxim | 10(s) | 10(s) | 10(s) | 10(s) | 10(s) | 10(s) | 600psi |

La simulación también nos da un resultado de la cantidad de peso que las piezas A y B tendrán al terminar el proceso, indicándonos si es el adecuado o si es necesario aumentar la cantidad de material. Y si es necesario esto se puede hacer aumentando

los parámetros que no están seleccionados como optimo o aumentando las presiones del sistema de inyección del proceso.

Tabla 10. Resultado del peso arrojado por la simulación. Elaboración Propia.

| PIEZAS | Weight during simulation | Cavities Number | Part Weight | Runner Weight | Overflow Weight | shot weight |
|---------|--------------------------|-----------------|-------------|---------------|-----------------|-------------|
| PIEZA A | 217.72 | 20 | 8 | 25 | 6 | 191 |
| PIEZA B | 185.24 | 24 | 12 | 25 | 6 | 319 |

El sistema nos da el resultado del algoritmo de murciélagos en un mensaje mostrándonos las coordenadas donde el punto óptimo factible de la función objetivo se presenta, el cual nos dice que este punto está en el área factible del óptimo de Pareto en $x=12.82$ y en $y=40$. Este punto fue encontrado en 12.43 segundos utilizando solo 50 murciélagos para realizar la búsqueda en movimientos guiados por ecolocalización.

También esto nos indica que dentro de la optimización de los parámetros el proceso se puede realizar con la fabricación de 12.82 piezas de la parte A Y 40 piezas de la parte B, obteniendo un desperdicio de material de 105 gramos en el proceso. Esto se muestra en la siguiente operación tomando los datos de la tabla 7 del peso total del disparo (Shot Weight) en ecuaciones 5 y 6.

$$12.82 \text{ partes} * 191 \text{ gramos} = 2448.62 \text{ gramos} - 105 \text{ gramos} = 2343.62 \text{ gramos} \quad (5)$$

$$40 \text{ partes} * 319 \text{ gramos} = 12760 \text{ gramos} - 105 \text{ gramos} = 12655 \text{ gramos} \quad (6)$$

Mediante esta simulación del proceso nos damos cuenta que el desperdicio será muy insignificante y la pérdida del material controlada ayudándonos a prever corridas con

excesos de inyección de zinc para las partes requeridas en el proceso, por lo tanto, será un proceso sin piezas con exceso de rebaba.

La tabla 11 muestra que algoritmo al estar realizando la búsqueda en el área factible para determinar el punto óptimo en los vértices del Pareto arroja 5426 datos y cada uno de ellos va analizando hasta tomarlos como si fueran la mejor posición, pero como la función de este tipo de algoritmo es generar otra mejor opción a partir de la que ya encontró continúa evolucionando, llevándolo a crear una nueva y mejor opción y así sigue hasta que encuentra la mejor de las opciones deteniéndose y mostrando el punto exacto.

Tabla 11 Se minaron 85 datos de búsqueda óptima realizados por el algoritmo. Elaboración Propia.

| Solución X | Solución Y | Reducción de Rebaba | Solución X | Solución Y | Reducción de Rebaba | Solución X | Solución Y | Reducción de Rebaba | Solución X | Solución Y | Reducción de Rebaba |
|------------|------------|---------------------|------------|------------|---------------------|------------|------------|---------------------|------------|------------|---------------------|
| 192.4 | 192.23 | 192.06 | 170.35 | 170.18 | 170.01 | 182.15 | 181.97 | 181.8 | 160.1 | 159.92 | 159.75 |
| 191.89 | 191.72 | 191.55 | 169.84 | 169.67 | 169.5 | 181.63 | 181.46 | 181.29 | 159.58 | 159.41 | 159.24 |
| 191.3 | 191.21 | 191.03 | 169.33 | 169.15 | 168.98 | 181.12 | 180.95 | 180.78 | 159.07 | 158.9 | 158.73 |
| 190.86 | 190.69 | 190.52 | 168.81 | 168.64 | 168.47 | 180.61 | 180.44 | 180.27 | 158.56 | 158.39 | 158.22 |
| 190.35 | 190.18 | 190.01 | 168.3 | 168.13 | 167.96 | 180.09 | 179.92 | 179.75 | 158.04 | 157.87 | 157.7 |
| 189.84 | 189.67 | 189.5 | 167.79 | 167.62 | 167.45 | 179.58 | 179.41 | 179.24 | 157.53 | 157.36 | 157.19 |
| 189.32 | 189.15 | 188.98 | 167.27 | 167.1 | 166.93 | 179.07 | 178.9 | 178.73 | 157.02 | 156.85 | 156.68 |
| 188.81 | 188.64 | 188.47 | 166.76 | 166.59 | 166.42 | 178.56 | 178.39 | 178.21 | 156.51 | 156.34 | 156.16 |
| 188.3 | 188.13 | 187.96 | 166.25 | 166.08 | 165.91 | 178.04 | 177.87 | 177.7 | 155.99 | 155.82 | 155.65 |
| 187.79 | 187.62 | 187.44 | 165.74 | 165.57 | 165.39 | 177.53 | 177.36 | 177.19 | 155.48 | 155.31 | 155.14 |
| 187.27 | 187.1 | 186.93 | 165.22 | 165.05 | 164.88 | 177.02 | 176.85 | 176.68 | 154.97 | 154.8 | 154.63 |
| 186.76 | 186.59 | 186.42 | 164.71 | 164.54 | 164.37 | 176.51 | 176.33 | 176.16 | 154.45 | 154.28 | 154.11 |
| 186.25 | 186.08 | 185.91 | 164.2 | 164.03 | 163.86 | 175.99 | 175.82 | 175.65 | 153.94 | 153.77 | 153.6 |
| 185.74 | 185.56 | 185.39 | 163.69 | 163.51 | 163.34 | 175.48 | 175.31 | 175.14 | 153.43 | 153.26 | 153.09 |
| 185.22 | 185.05 | 184.88 | 163.17 | 163 | 162.83 | 174.97 | 174.8 | 174.62 | 152.92 | 152.75 | 152.57 |
| 184.71 | 184.54 | 184.37 | 162.66 | 162.49 | 162.32 | 174.45 | 174.28 | 174.11 | 152.4 | 152.23 | 152.06 |
| 184.2 | 184.03 | 183.86 | 162.15 | 161.98 | 161.8 | 173.94 | 173.77 | 173.6 | 151.89 | 151.72 | 151.55 |
| 183.68 | 183.51 | 183.34 | 161.63 | 161.46 | 161.29 | 173.43 | 173.26 | 173.09 | 151.38 | 151.21 | 151.04 |
| 183.17 | 183 | 182.83 | 161.12 | 160.95 | 160.78 | 172.92 | 172.74 | 172.57 | 150.87 | 150.69 | 150.52 |
| 182.66 | 182.49 | 182.32 | 160.61 | 160.44 | 160.27 | 172.4 | 172.23 | 172.06 | 150.35 | 150.18 | 150.01 |

En la figura 36 se muestra el resultado de 80 datos que se graficaron para poder ver la forma en que el algoritmo va realizando su cálculo metaheurístico, en el cual los murciélagos van encontrando nuevos puntos de posición en el área determinada por las restricciones que se dieron en la función objetivo. En esta figura los colores de las líneas nos muestran la posición, en azul el eje x, en naranja el eje y, y por último en gris se muestra el resultado de la optimización.

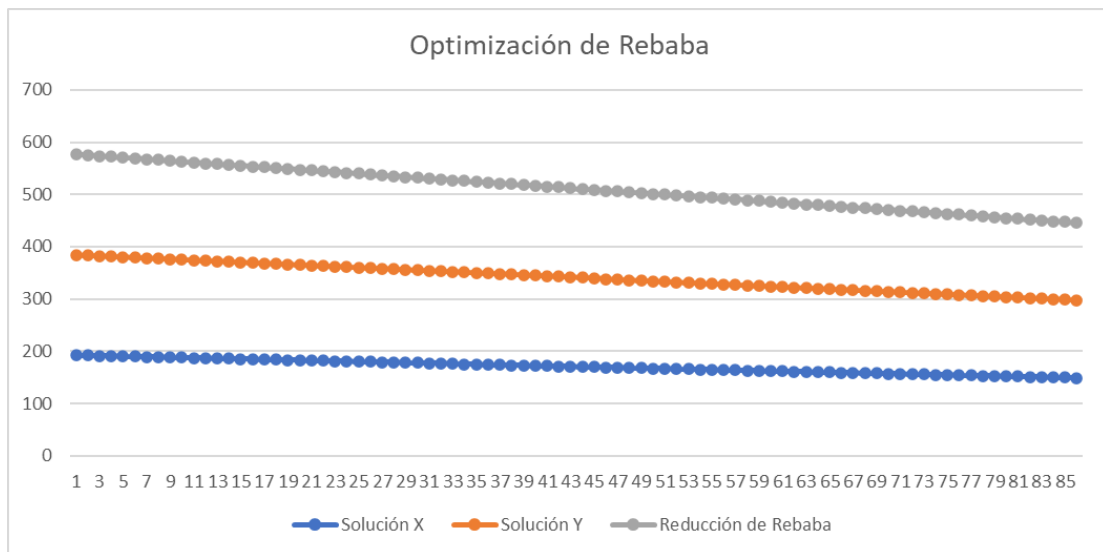


Figura 38. Datos optimizados por el algoritmo de murciélagos. Elaboración Propia.

5.- Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

En cuanto a la metodología propuesta de optimización para las condiciones del proceso, la forma más popular es la acumulación de experiencia y los conocimientos técnicos específicos de cada empresa. La optimización de procesos ha sido realizada por algunos investigadores, pero los criterios de optimización sólo se definían como

la ausencia o aparición de defectos. Aunque algunos defectos son difíciles de evitarlos por completo, pueden ser aceptados hasta cierto punto, lo que no se ha tenido en cuenta.

Por lo tanto, se desarrolló un software inteligente de evaluación para cuantificar la cantidad de rebaba que puede ser reducido en un sistema de inyección por medio de parámetros básicos del proceso, y se estudió a profundidad la combinación de varios defectos superficiales que nos ocasiona el exceso de material(rebaba).

Una vez clasificado los parámetros adecuados del proceso que se tomarán como caso de investigación, ya con ellos determinado sus valores mediante hoja de procesos, a continuación, se puede formular la función objetivo para optimizar los parámetros del proceso. Además, los parámetros del proceso son interdependientes y están en conflicto de forma compleja. Se puede observar que los parámetros óptimos para un tipo de defecto pueden no ser óptimos para otro.

El software de simulación inteligente basado en el algoritmo de murciélagos, puede establecerse para ayudar al ingeniero a cuantificar el nivel de gravedad de los defectos superficiales en este caso la rebaba en la línea de partición del producto. Esta aplicación puede dar los resultados de otros defectos como los generados por altas temperaturas, por altas presiones y por los errores de ejecución en el proceso. La clasificación de los defectos puede introducirse para cuantificar el nivel de gravedad, y el índice de defectos superficiales, también puede obtenerse basándose en el sistema de parámetros, que desempeña un papel importante para ayudar a la empresa a saber cómo minimizar los distintos defectos.

En el presente estudio, la metodología propuesta basándonos en el algoritmo metaheurístico es para optimizar la tecnología de fabricación. El método para establecer el sistema de evaluación puede aplicarse para varias tecnologías de conformación, incluyendo la fundición (Ching, 2000). El software de simulación puede utilizarse para asignar los parámetros del proceso a la gravedad de los defectos, lo que permite formular la función objetivo para conseguir los parámetros óptimos del proceso.

Especialmente cuando es difícil evitar los defectos por completo, como cuando se experimenta físicamente y se pierde material en desperdicio por tanta prueba que se realiza en el proceso, el software de simulación puede ayudar con la calidad, la mejora del producto que hará que la productividad aumente en gran medida sin un excesivo número de experimentos. Esta es la dirección hacia la que está dirigido el trabajo presentado.

5.2. Recomendaciones

Con la implementación de los parámetros óptimos obtenidos con el software inteligente permitirán un adecuado control y gestión de los activos de tecnología del proceso de rebabado de die casting, se recomienda que la distribución, asignación y movimientos de los parámetros para cada uno de los productos que se utilizan en estos equipos, se apliquen de manera rigurosa, ya que el uso eficiente y el registro de los mismos, aseguran que la disminución de la rebaba sea en un porcentaje de 80 % para los productos.

Se recomienda que todos estos nuevos parámetros sean registrados en hojas de procesos de acuerdo a los equipos en uso dentro del área. De acuerdo a los resultados, esta solución tecnológica implementada permite establecer una adecuada gestión de la información de los diferentes productos fabricados en las empresas dedicadas al moldeo de die casting.

Es necesario que para los sistemas de proceso que se encuentran con problemas en la actualidad, se analicen sus diferentes parámetros de ajuste para que se establezcan mecanismos o procedimientos de inteligencia como los algoritmos matemáticos para una integración de los datos generados dados por optimización de recursos de la empresa.

Estos datos nuevos deben ser distribuidos y posteriormente su uso pueda ser realizado de forma eficiente y dentro de los tiempos solicitados por los líderes del proceso de cada área, e incluso las autoridades de control, para esto se sugiere que, este tipo de procesos se le establezca una reingeniería, de tal forma que permita la integración de softwares inteligentes capaces de dar solución a problemas existentes en las empresas.

6.- Bibliografía

- Muriel , B., Camares , O., & Veisseir, P. (2000, Mayo 01). Effects of zinc and influence of Acremonium lolii on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass (Lolium perenne L. cv Apollo). *Journal of Experimental Botany*, 945–953. doi:<https://doi.org/10.1093/jxb/51.346.945>
- Tibshirani, R. (2013). *Linear Model Selection and Regularization*. New York, NY: Springer. doi:10.1007/978-1-4614-7138-7_6
- Alamy. (2020, 10 15). *Escoria de zinc en horno Eléctrico*. Retrieved from <https://www.alamy.es/la-escoria-de-hierro-de-horno-electrico>
- Al-Betar, M. A. (2008-2021). *Research Gate*. Retrieved from Research Gate: <https://www.researchgate.net/profile/Mohammed-Al-Betar>
- Amos, G. (2006). *Matlab*. Barcelona España: Reberte.s.a.
- AndersPersson, S. J. (2004). Temperature profiles and conditions for thermal fatigue cracking in brass die casting dies. *Journal of Materials Processing Technology*, Pages 228-236.
- Association, i. z. (2010). <https://www.zinc.org/>. Retrieved from <https://diecasting.zinc.org/>
- Blanco, O., & Franklin , S. O. (2014). Teoría del Bienestar y el Óptimo de Pareto como Problemas Microeconómicos. *Revista Electrónica De Investigación En Ciencias Económicas*, 2(3), 217-234.
- Bullon, X. A. (1991). *La Catalogación Cooperativa En el Entorno de la Interconexión de Sistemas Abiertos*. Madrid: Boletín de la ANABAD.
- Business, I. C. (2020). *blog de energías renovables*. Retrieved from <https://blogs.imf-formacion.com/blog/energias-renovables/articulos/mas-alla-del-reciclaje-concepto-cradle-to-cradle/>.
- Cast Rite, c. (2011). *What is die casting*. Gardena CA.: Cast Rite Corporation.
- Chand, S. (2012). *On tuning parameter selection of lasso-type methods - a monte carlo study*. Islamabad Pakistan: IEEE. doi:10.1109/IBCAST.2012.6177542
- Ching, C. T. (2000). "The optimization accuracy control of a die-casting product part". *Journal of Materials Processing*.

- Cleve, M., & Peter, J. C. (2010). MATLAB. *The MathWorks, Inc.* Retrieved from <http://www.mathworks.com>
- Corbelio, N. (2005). ¿Que es la Calidad? *conceptos y modelos fundamentales*. Custom part. (20017). *die casting*. Laytonsville Road.
- Doehler, H. ((1951)). *Die Casting*. New York: McGraw Hill Book Company.
- Domblesky, J. C. (2003). *Investigation of vibratory bowlfinishing*. Milwaukee, WI, 53233, USA: Editorial board.
- Dr.diecast. (June 2002). "*FLASH*", *it's not as cheap as you think*.
- Fang, Y., & Tang, C. (2013). *Tuning parameter selection in high dimensional penalized likelihood*. Denver, Colorado: JSTOR. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/24772736>
- Gandomi AH, A., Yang XS, X., & Alavi, A. (2012). Cuckoo search algorithm: a metaheuristic approach to solve structural optimization problems. *Eng Comput, in press*. doi:10.1007/s00366-011-0241-y
- García, J., S, N., & Figueroa, V. (2006). Evaluación multicriterio y multiatributos de robots industriales. *Revista Ergo Sum*, 13, 68-74.
- Garcia, R. (2006). *Sistemas Complejos*. Barcelona: © Editorial Gedisa, S.A.
- Griffin D. R., W. F. (1960). The echolocation of flying insects by bats. In W. F. Griffin D. R., *Animal Behaviour* (pp. 141 –154).
- Guss, K. B. (2009). *Die Casting* . druckguss: Series production for highly.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Analisis de Diseño de experimentos*. México D.F: McGraw Hill Interamericana.
- Incorporated, M. F. (2018). *Mass Finishing Incorporated*. Retrieved from A Leading Manufacturer of Finishing Machines & Supplies: <https://massfin.com/>
- Industrias, C. (2017). *Consideraciones Sobre Diseño De Fundición A Presión*. Tres Keng Road, Qinghutou, Distrito de Tangxia, Dongguan, Guangdong, China.
- INDUSTRIES, P. (2019). *INTRODUCCION AL MOLDE A PRESION*. CHICAGO.
- IPEA. (2017, 5 16). *Instituto de Productividad Empresarial Aplicada*. Retrieved from <https://www.ipeaformacion.com/productividad/las-tecnicas-smed/>

- Joseph, p., & Silma, T. A. (2006). A Process Model for Surface Material Removal in Vibratory. *Department of Mechanical Engineering, Marquette University.*
- Kalpaskjian, S. (1982). *Tool and Die Failures*. Ohio: ASM. doi:0871701499
- Kinetic. (2014). *How Trim Dies Save Money on Die Casting Parts*. California.
- Krimpenis, A., Bernardos, P., Vosniakos, G., & Koukouvitaki, A. (2006). *Simulation-based selection of optimum pressure diecasting process parameters using neural nets and genetic algorithms*. doi:10.1007/s00170-004-2218-0
- Kumar., S., Gupta, A., & Chandna. (2020). Optimization of Process Parameters during Pressure Die Casting of A380: a Silicon-Based Aluminium Alloy Using GA & Fuzzy Methodology. doi:10.1007/s12633-020-00594-z
- lean, p. (2014, 4 15). *Que es el SMED*. Retrieved from <https://www.progressalean.com/que-es-smed/>
- Lederer, J., & Muller. (2015). *Don't Fall for Tuning Parameters: Tuning-Free Variable Selection in High Dimensions With the TREX*. New York. Retrieved from <https://ojs.aaai.org/index.php/AAAI/article/view/9550>
- Madan, Ranjit, S., & Jatinder. (2010). Optimal selection of parting line for die-casting. *National conference on Precision Manufacturing, 1*.
- McDonough, W. (2002). Cradle to Cradle. In W. McDonough.
- MEDINA, M. A. (2008). *DISEÑO DE UN MOLDE DE FUNDICIÓN A PRESIÓN*. MEXICO: PETOLOMEOUNAM.MX.
- Meiners, & Leroy Miller, R. R. (1998). *MICROECONOMÍA*. Santa fe Bogota Colombia: Presencia Lida.
- Metzner, W. (1991). Echolocation behaviour in bats. In M. W, *Science Progress* (pp. 453–465). Edinburgh.
- Montgomery, D. (2004). Diseño y Analisis de Experimentos. *Limusa*.
- More, A., Baxi, R., & Jaju, S. (2011). Review of Casting Defect Analysis to Initiate the Improvement Process. *Mechanical Engineering Department*.
- MRTcasting. (2017). *Sprues, Flash and Runners Explained*. England.
- NADCA. (20015). p. 22.

- NADCA. (2007). *Introduction to Die Casting*. Wheeling, Illinois: North American Die Casting Associatio.
- NADCA. (2015). *Trim Dies*, pp. 22-23.
- NADCA. (2015, ENERO JUEVES). Product-Standards-for-Die-Casting. 2015, p. 272.
- nadca, n. n. (n.d.).
- Olson, D. (2004). Comparisons of Weights in TOPSIS Models. *ERGAMON Mathematical and Computer Modelling*.
- Påhlsson, A. (1989, Marzo 2). Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Springer*, 287–319. doi:<https://doi.org/10.1007/BF00279329>
- Park , Y., & Rhee , S. (2008). Process modeling and parameter optimization using neural network and genetic algorithms for aluminum laser. In *Int J Adv Manuf Technol* (pp. 37(9–10):1014–1021). doi:10.1007/s00170-007-1039-3
- Producer. (n.d.). *Producer*. Retrieved from Producer: <http://www.producer-tw.com/Zinc.htm>
- Radar, D. (2018). *TOPSIS*. Retrieved from <https://www.decision-radar.com/Topsis.html>
- RADVER. (2015). *DIE CASTING-INYECCION DE ALUMINIO Y ZAMAC*. Lerma de Villada Estado de México. C.P. 52000.
- RAO, S. S. (2009). *Engeneering Optimization*. New Jersey: John Wily & Sons.
- Rescigno y Segre. (1966). *Teoria de Systemas*. Blaisdell Publishing Company,.
- Romero, C. (1996). *ANÁLISIS DE LAS DECISIONES MULTICRITERIO*. Madrid: Gráficas Algorán, S.A. doi:84-89338-14-0
- Sarthak , S., Chua, Z. Q., & Sylvie ,, C. (2015, abril 18). Effect of Workpiece Orientation, Lubrication and Media Geometry on the. *Nanyang Technological University*. doi:10.1051/20153004001
- Schnitzler H.-U. and Kalko E. K. V. (2001). Echolocation by insect-eating bats. In Schnitzler H.-U. and Kalko E. K. V., *BioScience* (pp. 557–569).
- Shubham , G. S., Shashank , B. P., Arun , K., Sameer , D. W., & Pravin , E. (2019, Abril 4). Flash Reduction In Pressure Die Casting Using Taguchi's DOE.

International Research Journal of Engineering and Technology(IRJET).
doi:2395-0072

- SoloStocks. (2020). *solostocks*. Retrieved from solostocks:
<https://www.solostocks.com.mx/venta-productos/lingotes/lingotes-zinc/lingotes-de-zinc-3083103>
- Spotlightmetal. (09.04.2019). *Die Casting*. Alexander Stark.
- Syrcos, G. (2003). "Die casting optimization methods using Taguchi method".
Journal of Materials Processing Technology.
- Talbi , E. (2009). *Metaheuristics: from design to implementation*. WILEY,
HOBOKEN.
- Thakare1, A., & Tidke2, D. (2013, December 12). Data Mining for Casting Defects Analysis. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. doi:2278-0181
- Yang. (2010). Bat algorithm for multi-objective optimisation. In Yang., *International Journal of Bio-Inspired Computation* (pp. 267–274).
- Yarlagadda , P., & Chiang , E. (1999). A neural network system for the prediction of process parameters in pressure die casting. In *J Mater Process Technol* (pp. 89–90:583–590). doi:Technol 89–90:583–590 doi:10.1016/S0924-0136
- Yazad , N., Bhushan , T., & Aditya , M. (2013). Review of Optimization Aspects for Casting. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. doi:2319-7064
- Zezzatti, A., Sánchez , J., & He, A. (2016, Abril). Improving a Industrisal Problem Asociated With optimizing Material In carsr seats. *International Journal*. doi:2007-1558
- Zhafir. (n.d.). *Zhafir Zere series*. Retrieved from Zhafir Zere series:
<https://www.haitianiberica.com/en/zhafir-plastics-machinery/zhafir-zeres-series/>