

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA EXTRACCIÓN DE  
CAMISAS DE LAS FUNDIDORAS CENTRIFUGAS DE LA SECCIÓN  
AUTOMOTRIZ EN LAVCO**

**LEIDY MARCELA DUEÑAS RAMÍREZ  
OSCAR GERARDO HERNÁNDEZ ORDUZ**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA  
2015**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA EXTRACCIÓN DE  
CAMISAS DE LAS FUNDIDORAS CENTRIFUGAS DE LA SECCIÓN  
AUTOMOTRIZ EN LAVCO**

**LEIDY MARCELA DUEÑAS RAMÍREZ  
OSCAR GERARDO HERNÁNDEZ ORDUZ**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
Carlos Borrás Pinilla.  
Ingeniero Mecánico Ph.D., M.Sc.**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA**

**2015**

## **DEDICATORIA**

A la manifestación más real y sincera de amor, al sacrificio, al servicio, a la rectitud, a los principios, a la abnegación, a la voluntad, a la disciplina, a la humildad, a la dignidad, al sentido de lucha, a la sabiduría, a la paciencia, al carácter, al respeto, a la inteligencia, a ella que reunió todas estas virtudes y más.

A mi Madre Claudia Emilia Ramirez Vesga. Promesa cumplida...!

Nos vemos al final del camino sé que me estarás esperando.

**LEIDY MARCELA DUEÑAS RAMÍREZ**

## **DEDICATORIA**

Primero a Dios, por ser mi todo.

A mis padres, mi familia por que sin ellos este camino hubiese sido más largo.

Al ingeniero Carlos Borrás, por su tiempo, dedicación y constante enseñanza.

A LAVCO LTDA, a la Dra. Olga Vesga, al ing. Ricardo Calderón que con sus aportes y experiencia en este campo para desarrollar este proyecto con éxito en su empresa.

Al Ing. David Fuente, por su apoyo incondicional e inigualable.

**OSCAR GERARDO HERNÁNDEZ ORDUZ**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por su infinito amor y por manifestármelo en cada paso que doy, a mi Familia fuente de apoyo y confianza, Marinita y Pablito mis viejos amados; a Lala por su inagotable incondicionalidad, a Mi Papa Fernando Dueñas por todo su apoyo y amor a Alex, Esteban, Andrés por ser esa familia que me alienta diario, a todas las personas que hacen parte de mi familia muchas gracias, a mi Abuelito Joaquin por su gran cariño, Al Profesor Carlos Borrás Pinilla por su infaltable confianza, apoyo, guía y toda su atenta colaboración en el desarrollo de este proyecto, a Paola Vargas por su sincera amistad, A mi Hermano del alma David Javier Fuentes Palomino sin su fe en mí y su total apoyo jamás hubiese culminado mi paso por la UIS, a Industrias Lavco por creer en nuevas ideas y en los procesos de la mano de la academia, a Ricardo Calderón por su tiempo, conocimientos y gestión para hacer posible este proyecto, a Olga Rodríguez por su fe inagotable en mí, a Oscar Fernández por todo el apoyo y la confianza a Adolfo León Arenas: Profe su conocimiento y apoyo sincero son invaluable, A Alfonso García Castro: Profe gracias por su incondicionalidad y colaboración constante en mi paso por la Escuela, a John Willian Branch por creer en mí y por todo lo que me enseñó estaré eternamente agradecida, a Jaime Otoniel Ayala por su infaltable palabra de aliento y ánimo, a Carmencita por su amor maternal e incondicionalidad, al Decanato de Ingenierías Fisicomecánicas, a la Oficina 328, a la Dirección de Admisiones y Registro Académico, a la Oficina de la Maestría de Ingeniería Mecánica, a todos sus colaboradores aprendí y crecí con ustedes mientras tuve la fortuna de trabajar a su lado, Carmencita, Kellito, Maye, Diana, Andrea, Doris, Margaret, Mónica, Marthica, Yolanda, Sildana, Marinita, Gloria, Viviana, Kathy, Sebas. A Fundeproyes por la oportunidad de aprender y servir a mis compañeros. Al Parche por su amistad sincera, Daniel, Edwin, Jarbin, Juan Carlos, Liseth, Andrés, Ana María, Martin, Sergio, Oscar Pico, Nathaly, Carolina por su paciencia, Roxana mi amiga, hermana y mis más valiosa compañía, Luisa mi vecina, mi amiga, mi incondicional apoyo, a la Escuela de Ingeniería Mecánica y a todos sus profesores por sus valiosos

conocimientos y orientación académica, a todos sus colaboradores, Janethsita, Leidy, Sofía, Yolanda. A Fabio Salah por toda su colaboración y para terminar dejo a quienes empezaron conmigo este camino en Mecánica a los 2052, David Fuentes, Carlos Porrás, Diego Gonzalez, Oscar Flórez, Oscar Rincón, Juan Diego, Juan Carlos, Adrián, Samir, Edgar, Cristian, Ramón, Libardo, Víctor, Danny, Julián, Rubén, Yuddy, Claudia y todos los demás de mi generación y a los que no lo fueron pero compartieron conmigo este camino.

Leidy Marcela Dueñas Ramírez

Gracias

## CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                              | <b>23</b> |
| <b>1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</b>                 | <b>25</b> |
| 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....                  | 25        |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIONAR EL PROBLEMA ..... | 26        |
| 1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO .....               | 28        |
| 1.3.1 Objetivo General. ....                           | 28        |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....                       | 28        |
| 1.4 Herramienta de modelado y simulación escogida..... | 29        |
| 1.5 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA .....                   | 29        |
| 1.5.1 Línea Automotriz .....                           | 31        |
| 1.5.2 Línea Industrial Industrias .....                | 34        |
| <b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>                           | <b>36</b> |
| 2.1 FUNDICIÓN CENTRIFUGA .....                         | 36        |
| 2.2 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES .....                     | 37        |
| 2.2.1 Fuerza Centrífuga. ....                          | 37        |
| 2.3 Solidificación y Alimentación. ....                | 40        |
| 2.4 Inclusiones.....                                   | 42        |
| 2.5 TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN .....                       | 42        |
| 2.5.1 Fundición Centrífuga real o pura.....            | 43        |
| 2.5.2 Producción de tubos largos. ....                 | 43        |
| 2.5.3 Producción de bujes.....                         | 44        |
| 2.6 VARIABLES DEL PROCESO Y CALIDAD DE FUNDICIÓN.....  | 45        |
| 2.6.1 Velocidad de Rotación. ....                      | 46        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 2.6.2      | Temperatura de Colada.....                                       | 47        |
| 2.6.3      | Velocidad de colada.....   | 47        |
| 2.6.4      | Temperatura del Molde.....                                       | 48        |
| <b>2.7</b> | <b>ESTUDIO DE TIEMPOS .....</b>                                  | <b>48</b> |
| 2.7.1      | Importancia del estudio de tiempo.....                           | 49        |
| 2.7.2      | Estudio de tiempos por Cronómetro.....                           | 49        |
| 2.7.3      | Pasos a seguir en un Estudio de Tiempos por Cronómetro.....      | 50        |
| 2.7.4      | Determinación del tamaño de la muestra.....                      | 51        |
| <b>2.8</b> | <b>EL DISEÑO EN INGENIERÍA.....</b>                              | <b>52</b> |
| 2.8.1      | Importancia del diseño en ingeniería.....                        | 53        |
| 2.8.2      | Modelos para el proceso de diseño en ingeniería.....             | 54        |
| <b>3</b>   | <b>PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS CAMISAS CENTRIFUGADAS .....</b> | <b>56</b> |
| <b>3.1</b> | <b>MATERIA PRIMA.....</b>  | <b>56</b> |
| 3.1.1      | Carga Metálica.....  | 56        |
| 3.1.2      | Ferroaleaciones.....   | 57        |
| 3.1.3      | Inoculantes.....   | 58        |
| 3.1.4      | Carga no Metálica.....   | 59        |
| 3.1.5      | Unto Refractario.....  | 59        |
| <b>3.2</b> | <b>SELECCIÓN DE LA CARGA .....</b>                               | <b>60</b> |
| <b>3.3</b> | <b>PREPARACIÓN DE LA CARGA.....</b>                              | <b>61</b> |
| 3.3.1      | Fusión.....  | 61        |
| 3.3.2      | Moldeo.....  | 62        |
| 3.3.3      | Máquina Centrifuga.....  | 62        |
| 3.3.4      | Colada y Llenado.....  | 64        |
| 3.3.5      | Solidificación y Enfriamiento.....                               | 64        |
| <b>3.4</b> | <b>Extracción.....</b>   | <b>64</b> |
| 3.4.1      | Método Utilizado En La Extracción.....                           | 64        |
| <b>4</b>   | <b>ESTUDIO DE MÉTODOS Y TIEMPOS .....</b>                        | <b>66</b> |
| <b>4.1</b> | <b>METODOLOGÍA UTILIZADA EN LA TOMA DE TIEMPOS .....</b>         | <b>67</b> |

|              |   |            |
|--------------|---|------------|
| <b>4.2</b>   | <b>ESTANDARIZACIÓN DE TIEMPOS</b> .....   | <b>70</b>  |
| <b>5</b>     | <b>DISEÑO CONCEPTUAL</b> .....  | <b>75</b>  |
| <b>5.1</b>   | <b>NECESIDADES DEL CONSUMIDOR</b> .....   | <b>75</b>  |
| 5.1.1        | Requerimientos .....  | 75         |
| 5.1.2        | Restricciones .....   | 76         |
| 5.1.3        | Especificaciones .....  | 76         |
| <b>5.2</b>   | <b>PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS CONCEPTUALES</b> .....                           | <b>76</b>  |
| 5.2.1        | Alternativa 1. Golpe de Ariete (Por impacto trasero) .....                        | 77         |
| 5.2.2        | Alternativa 2 expulsión mediante eje roscado unido a un disco (Por presión) ..... | 79         |
| 5.2.3        | Alternativa 3. Cono de extracción con soporte .....                               | 80         |
| 5.2.4        | Alternativa 4. Cono de extracción .....   | 82         |
| <b>5.3</b>   | <b>MATRIZ DE CALIDAD</b> .....  | <b>84</b>  |
| <b>5.4</b>   | <b>EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS</b> .....   | <b>85</b>  |
| 5.4.1        | Ponderación de Resultados .....   | 85         |
| <b>6</b>     | <b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO</b> .....                                  | <b>87</b>  |
| <b>6.1</b>   | <b>ANÁLISIS DE FUERZA EN EL EJE DEL CILINDRO</b> .....                            | <b>88</b>  |
| <b>6.2</b>   | <b>FACTOR DE SEGURIDAD</b> .....  | <b>91</b>  |
| <b>6.3</b>   | <b>PARTES DE LA MÁQUINA</b> .....   | <b>97</b>  |
| 6.3.1        | Sistema de Control.....   | 97         |
| <b>6.3.2</b> | <b>Sistema de Fuerza</b> .....  | <b>98</b>  |
| 6.3.3        | Sujetadores Internos .....  | 100        |
| <b>6.3.4</b> | <b>Cono Extractor</b> .....   | <b>101</b> |
| 6.3.5        | Eje de Ensamble .....   | 101        |
| <b>6.4</b>   | <b>CAE</b> .....  | <b>101</b> |
| <b>6.5</b>   | <b>PRUEBAS</b> .....  | <b>118</b> |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>7</b>   | <b>PROTOCOLO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....</b> | <b>119</b> |
| 7.1        | OPERACIÓN.....                                     | 119        |
| 7.2        | TAREAS DE MANTENIMIENTO .....                      | 123        |
| <b>8</b>   | <b>ANALISIS FINANCIERO DEL PROYECTO.....</b>       | <b>127</b> |
| 8.1        | SOTENIBILIDAD DEL PROYECTO .....                   | 127        |
| <b>9.</b>  | <b>CONCLUSIONES .....</b>                          | <b>129</b> |
| <b>10.</b> | <b>RECOMENDACIONES.....</b>                        | <b>132</b> |
|            | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                          | <b>133</b> |
|            | <b>ANEXOS.....</b>                                 | <b>136</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Extracción Manual De Cilindros En Lavco Ltda .....  | 25 |
| Figura 2. Distribución de las fundidoras centrifugas .....  | 26 |
| Figura 3. Fachada industrias lavco .....  | 30 |
| Figura 4. Distribución de insdustrias lavco.....  | 31 |
| Figura 5. Camisas secas - gasolina .....  | 32 |
| Figura 6. Camisas RENAULT .....   | 32 |
| Figura 7. Camisas diesel (dry & wet) .....  | 33 |
| Figura 8. Bujes Centrifugados.....  | 33 |
| Figura 9. Camisas para Grandes Motores Estacionarios.....   | 34 |
| Figura 10. Motor estacionario reparado en LAVCO.....  | 35 |
| Figura 11. relación entre la fuerza de rotación y el diámetro para varias magnitudes del factor G. .... | 39 |
| Figura 12. Relación de tolerancia de mecanizado con la geometría de la fundición. (Cumberland) .....    | 41 |
| Figura 13. Esencial de la máquina de fundición de tubos .....   | 44 |
| Figura 14. Esencial de la máquina centrifuga del eje horizontal .....                                   | 45 |
| Figura 15. Tipo de canal del vertedero utilizada en la colada centrífuga de eje horizontal .....        | 46 |
| Figura 16. Máquina de fundición centrifuga con eje para colada vertical (Thornton) .....                | 47 |
| Figura 17. Modelo de pal meitz, fuente Cross 2000.....  | 55 |
| Figura 18. Tanque mezclador de pintura y pistola de rociado .....                                       | 60 |
| Figura 19. Horno cubilote.....  | 62 |
| Figura 20. Máquina centrifuga previa al llenado .....   | 63 |
| Figura 21. Proceso de extracción. ....  | 65 |
| Figura 22. Alternativa 1. Vista isométrica.....   | 78 |
| Figura 23. Alternativa 1. Vista frontal .....   | 78 |
| Figura 24. Alternativa 2. Vista isométrica.....   | 79 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 25. Alternativa 2. Vista frontal .....                          | 79  |
| Figura 26. Alternativa 3. Vista Isométrica .....                       | 81  |
| Figura 27. Vistas alternativa 3.....                                   | 81  |
| Figura 28. Alternativa 4. Forma de operación .....                     | 82  |
| Figura 29. Alternativa 4. Dispositivo.....                             | 82  |
| Figura 30. Alternativa 4. Cono Extractor .....                         | 83  |
| Figura 31. Alternativa 4. Dispositivo instalado .....                  | 83  |
| Figura 32. Aspecto final del diseño. ....                              | 87  |
| Figura 33. Analisis de Fuerzas en el Punto A. ....                     | 88  |
| Figura 34. Diagrama de fuerzas.....                                    | 89  |
| Figura 35. Diagrama de fuerzas.....                                    | 90  |
| Figura 36. Diagrama de fuerzas Cortantes. ....                         | 91  |
| Figura 37. Diagrama de Momentos.....                                   | 91  |
| Figura 38. CAE barra de enganche. ....                                 | 94  |
| Figura 39. CAE Cono de enganche. ....                                  | 95  |
| Figura 40. CAE Platina Frontal. ....                                   | 96  |
| Figura 41. CAE Paral de sujección .....                                | 97  |
| Figura 42. Válvula direccional.....                                    | 98  |
| Figura 43. Manómetro mecánico .....                                    | 99  |
| Figura 44. Cilindro.....   | 100 |
| Figura 45. Sujetadores.....  | 100 |
| Figura 46. Cono extractor .....  | 101 |
| Figura 47. CAE Dispositivo de extracción .....                         | 102 |
| Figura 48. Dispositivo de extracción y polipasto móvil.....            | 119 |
| Figura 49. Dispositivo de extracción en la fundidora.....              | 120 |
| Figura 50. Dispositivo de extracción ubicado en la fundidora .....     | 120 |
| Figura 51. Detalle componentes dispositivo de extracción .....         | 121 |
| Figura 52. Detalle brazos del cono extractor .....                     | 121 |
| Figura 53. Extracción final de la camisa .....                         | 122 |
| Figura 54. Mangueras y abrazaderas de fijación de aire comprimido..... | 124 |

Figura 55. polea, guaya y anclaje del sistema extractor .....125  
Figura 56. Pistón del cilindro neumático .....126

## LISTA DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Distribución de carga metálica .....  | 56  |
| Tabla 2. Composición química aproximada de algún tipo de chatara de hierro colado y acero..... | 57  |
| Tabla 3. Ferroaleaciones .....   | 58  |
| Tabla 4. Toma de datos realizada en diciembre 11/2012 .....                                    | 68  |
| Tabla 5. Toma de datos realizada en diciembre 13/2012 .....                                    | 68  |
| Tabla 6. Toma de datos realizada en diciembre 13/2012 .....                                    | 69  |
| Tabla 7. Toma de datos realizada en enero 11/2013.....   | 69  |
| Tabla 8. Toma de datos realizada en enero 14/2013.....   | 69  |
| Tabla 9. Toma de datos realizada en enero 14/2013.....   | 69  |
| Tabla 10. Toma de datos realizada en enero 18/20/2013.....                                     | 70  |
| Tabla 11. Tiempos medidos en el proceso de extracción .....                                    | 71  |
| Tabla 12. Distribución normal .....  | 73  |
| Tabla 13. Distribución normal valores de mayor incidencia .....                                | 74  |
| Tabla 14. Matriz de calidad.....   | 84  |
| Tabla 15. Resultados ponderados .....  | 86  |
| Tabla 16. Características del Factor de Seguridad A, B y C .....                               | 92  |
| Tabla 17. Características del factor de seguridad D y E .....                                  | 93  |
| Tabla 18. Propiedades del sistema extractor .....  | 103 |
| Tabla 19. Propiedades del estudio.....   | 106 |
| Tabla 20. Unidades.....  | 107 |
| Tabla 21. Propiedades del sistema extractor .....  | 107 |
| Tabla 22. Cargas y sujeciones.....   | 110 |
| Tabla 23. Información de contacto.....   | 111 |
| Tabla 24. Información de malla.....  | 111 |
| Tabla 25. Información malla - detalles .....   | 112 |
| Tabla 26. Fuerzas resultantes.....   | 113 |
| Tabla 27. Resultado del estudio.....   | 114 |

Tabla 28. Presupuesto del proyecto .....127

## LISTA DE ANEXOS

|  |     |
|--|-----|
| ANEXO A Ficha Técnica del Cilindro Festo.....    | 137 |
| ANEXO B Ficha Técnica de la Electroválvula.....  | 138 |
| ANEXO C Planos del Prototipo de Extracción ..... | 139 |

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EXTRACCIÓN DE CAMISAS DE LAS FUNDIDORAS CENTRIFUGAS EN LA SECCIÓN AUTOMOTRIZ EN LAVCO LTDA

**AUTORES:** LEIDY MARCELA DUEÑAS RAMÍREZ, OSCAR GERARDO HERNÁNDEZ ORDUZ \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Metodológico, globalizado, innovación, cognitivos, modelo.

### DESCRIPCION:

La actividad de diseñar según diferentes fuentes y autores se concibe como un proceso metodológico mediante el cual se generan productos; pero además esas múltiples referencias proponen el diseño como la actividad central y distintiva de la ingeniería, mediante la cual se generan productos tecnológicos.

La competitividad de un país en el siglo XXI está relacionada con la capacidad de desarrollar productos tecnológicos de aceptación en un mundo globalizado. La ingeniería juega un rol preponderante en una sociedad innovadora ya que la ciencia, la tecnología y la ingeniería involucradas en procesos de diseño potencian la capacidad de invocación. La actividad del diseño en ingeniería es una actividad que requiere procesos cognitivos complejos. Diferentes modelos que representan el diseño como un proceso metodológico son propuestos.

Por consiguiente este trabajo busca profundizar en la actividad de diseño donde se articulen las diferentes categorías de pensamiento y se vean reflejadas en un modelo que represente un proceso metodológico para la actividad de diseñar. Además de dar respuesta a la industria en la necesidades que se plantean en este entorno de constante competitividad.

---

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Carlos Borrás Pinilla PhD. MsC.

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE FOR REMOVAL OF CENTRIFUGAL SMELTERS LINERS IN THE SECTION AUTOMOTIVE IN LAVCO LTDA.

**AUTHORS:** LEIDY MARCELA DUEÑAS RAMÍREZ, OSCAR GERARDO HERNÁNDEZ ORDUZ \*\*

**KEY WORDS:** Methodological, globalized, innovation, thought, model.

### DESCRIPTION:

The activity of design by different sources and authors is conceived like a methodological process whereby products are generated; but also these multiple references proposed the design as the central and distinctive activity of the engineering, by which technological products are generated.

The competitiveness of a country in the XXI century is related with the capacity of development technological products of acceptance in a globalized world. The design is tightly related with the innovation and this does not imply only make new objects but also achieve that these elements serve efficiently and be accepted as such by the society. The engineering play a preponderant role in an innovative society as since science, technology and the engineering involved in design processes enhance innovation capacity. The activity of design in engineering is an activity that requires complex cognitive processes. Different models represent the design as a methodological process are proposed.

Therefore this project seeks to deepen in the activity of design where articulate the different thought categories and are reflected in a model that represent a methodological process for the activity of design. Besides giving answers to the industry on the needs posed in this environment of constant competitiveness

---

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering. Director: Carlos Borrás Pinilla PhD. MsC.

## INTRODUCCIÓN

En la actual industria Colombiana son pocas las empresas dedicadas a la fabricación de cilindros y camisas industriales, LAVCO es una de las empresas líderes a nivel nacional enfocada a cubrir las necesidades de este sector industrial, adicionalmente Industrias LAVCO provee servicios integrales de reparación de estos elementos a todo tipo de empresas principalmente a compañías del sector energético. El proceso de fabricación de estos elementos requiere de altos estándares de calidad que garanticen la confiabilidad de sus productos así como tiempos óptimos de producción que permitan contrarrestar la gran demanda actual.

Así pues, al resaltar el compromiso misional de la Universidad Industrial de Santander de contribuir por medio de la relación Universidad – Industria en el afianzamiento y posición del buen nombre de las empresas Santandereanas teniendo como pilar fundamental el empeño de la Universidad Industrial de Santander en formar profesionales íntegros con alta competencia, se dio inicio meses atrás al presente proyecto que se titula: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA EXTRACCIÓN DE CAMISAS DE LAS FUNDIDORAS CENTRIFUGAS DE LA SECCIÓN AUTOMOTRIZ EN LAVCO”** este proyecto surge de la problemática actual de LAVCO de mejorar enfáticamente uno de sus procesos más críticos, con el montaje en línea productiva de un sistema extractor se logrará mejorar enfáticamente los tiempos actuales de producción y ayudara a contrarrestar las inconformidades generadas en sus productos desde la perspectiva de calidad.

El presente trabajo de grado está dividido en 8 capítulos donde:

**El capítulo 1** muestra la descripción general de proyecto, problemática, objetivos y la justificación de la solución.

**El capítulo 2** presenta el marco teórico general, maquinaria y técnicas de producción así como las variables más importantes para el proceso de fundición.

**El capítulo 3** muestra el proceso de fabricación utilizado en LAVCO, materias primas, selección de carga, preparación de la carga y proceso de extracción.

**El capítulo 4** presenta los métodos para los estudios de tiempos, Metodología de toma de tiempos continuos para el proceso de extracción y su respectiva estandarización.

**El capítulo 5** presenta la metodología actual de diseño, requerimientos, restricciones, planteamiento de alternativas y evaluación de las mismas.

**El capítulo 6** muestra el diseño, CAD-CAE y construcción del prototipo final seleccionado, procesos de fabricación de sus partes y las pruebas realizadas.

**El capítulo 7** presenta el protocolo para la operación y las tareas de mantenimiento a realizar al prototipo.

**El capítulo 8** se muestra el presupuesto y la inversión del proyecto

**El capítulo 9** se observan las conclusiones y recomendaciones finales del proyecto.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

A continuación se hará una recapitulación de los objetivos planteados, se analizará el contexto operacional de la aplicación con el único fin de determinar los alcances y proyecciones para el óptimo desarrollo del proyecto dentro de las instalaciones de la empresa LAVCO.

## 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Industrias LAVCO Ltda. Es una empresa Santandereana del sector Metalmeccánico especializada en la fabricación de camisas para cilindros automotrices (Línea Automotriz), y en la reparación integral de bloques de cilindros en el sector industrial principalmente a compañías del sector de petróleo y gas (Línea Industrial). En estos momentos LAVCO requiere un sistema de extracción para las fundidoras centrifugas, para así lograr mejoras importantes en la calidad de sus productos y tiempos óptimos de producción en un mercado competitivo.

**FIGURA 1. Extracción Manual De Cilindros En Lavco Ltda**



Fuente: Los autores

En la figura 1 se observa el actual método de extracción de las camisas en la línea productiva automotriz, este proceso de extracción de las fundidoras centrifugas es un proceso que realizan los operarios de forma manual lo que genera un aumento significativo en los tiempos de producción, industrias LAVCO actualmente atraviesa una etapa de crecimiento y expansión donde la demanda de sus productos ha aumentado significativamente, para LAVCO es fundamental reestructurar y automatizar algunos de sus procesos para poder reducir los tiempos muertos de producción y eliminar posibles inconformidades en sus productos.

## **FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DE LAS FUNDIDORAS CENTRIFUGAS**



Fuente: Los autores

### **1.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIONAR EL PROBLEMA**

Industrias LAVCO Ltda. Cuenta actualmente con un proceso de extracción manual descrito previamente, el cual tiene como principal herramienta la mano de obra del operario de producción, lo que lo convierte en un proceso poco tecnológico, ineficiente y peligroso desde el punto de vista de salud ocupacional. Adicional este proceso de extracción de las camisas de las fundidoras centrifugas representa un

notorio retraso en la producción lo que impide que la planta opere con una mayor eficiencia.

Industrias LAVCO es consciente de la problemática actual en sus líneas productivas y desea con ayuda de la Universidad Industrial de Santander (UIS), el personal técnico e Ingenieros de Industrias LAVCO y bajo la supervisión del Profesor Carlos Borrás mejorar la productividad de su línea Automotriz mediante el diseño y construcción de un prototipo de un sistema de extracción de camisas para las fundidoras centrifugas, con el fin de aumentar la eficiencia del proceso, eliminar las inconformidades del producto terminado y evitar cualquier tipo de riesgo al operario de producción.

Este proyecto es el inicio de múltiples mejoras e implementaciones que desea realizar la nueva gerencia de LAVCO al interior de sus instalaciones, mejoras que permitirán optimizar paulatinamente sus procesos internos para así alcanzar el tan anhelado éxito empresarial, esta nueva visión también permitirá fortalecer la tan debilitada relación Industria-Universidad que nunca deben separarse y que siempre deben crecer juntas.

### **1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

**1.3.1 Objetivo General.** Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander en la formación de personas de alta calidad profesional, en aras de contribuir al crecimiento y avance de la ciencia, mejorando la relación de la Escuela de Ingeniería Mecánica con la Industria Santandereana, desarrollando un proyecto interdisciplinar UIS–Empresa para el diseño y construcción de un prototipo que mejore el proceso de fabricación actual de las camisas de cilindros en Industrias LAVCO Ltda.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar y construir un prototipo de un sistema de extracción neumático de camisas para la línea automotriz de LAVCO Ltda. Con las siguientes características:
  - a. Sujeción interna de las camisas en las fundidoras centrifugas para su posterior extracción de la línea automotriz
  - b. Extracción mediante cilindro neumático de las camisas en las fundidoras centrifugas.
- Realizar un estudio de métodos y tiempos que permita evidenciar el estado actual del proceso de extracción de las camisas de la línea automotriz en miras de futuras mejoras y validándolo con el sistema extractor propuesto.
- Elaboración un manual operación que permita entender a los Operadores de línea el correcto uso del prototipo.
- Elaboración de un manual de mantenimiento que contenga las tareas a realizar para mantener y alargar la vida útil del prototipo.

#### **1.4 HERRAMIENTA DE MODELADO Y SIMULACIÓN ESCOGIDA**

Para el modelado de las piezas y componentes del prototipo diseñado, se escogió un software que cumpliera con el desarrollo del alcance de este prototipo. Se escogió **SolidWorks 2012** para desarrollar la geometría de todos los componentes que posteriormente serán analizados y finalmente construidos.

Finalmente, después del modelado de los componentes de la máquina a construir, desarrollaremos el análisis CAE en el software computacional **SolidWorks 2012**.

#### **1.5 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA**

INDUSTRIAS LAVCO LTDA., es una empresa manufacturera y de servicios perteneciente al sector metalmecánico, constituida legalmente desde Enero de 1.991. El objeto social de INDUSTRIAS LAVCO LTDA., es la fabricación de camisas centrifugadas para motores y barras o material centrifugado para fabricar asientos de válvulas, además de ofrecer servicios especializados para el sector industrial, especialmente energético, y Comercializar partes complementarias importadas.

Sus instalaciones se encuentran ubicadas en la ciudad de Bucaramanga, Colombia, en el Kilómetro 4 de la Autopista Floridablanca-Piedecuesta. En sus más de 2.000 metros cuadrados de construcción funcionan los salones de fundición, mecanizado y oficinas administrativas, Figura 3

La compañía se encuentra en capacidad de atender la fabricación de camisas bajo plano técnico o muestra física desde 25 milímetros hasta 50 centímetros de diámetro interno y hasta 1.25 metros de longitud, contando como una de sus fortalezas su enorme facilidad para el desarrollo de productos especiales, sin limitantes de tamaño o especificación. Además realizan la reparación de cilindros

compresores recíprocos de varias etapas, para los cuales se fabrican igualmente las camisas respectivas para la realización de esa exigente tarea.

En Colombia es líder del mercado, y distribuye sus productos por todo el territorio nacional con una excelente red comercial.

### FIGURA 3. FACHADA INDUSTRIAS LAVCO



INDUSTRIAS LAVCO LTDA.  
kilómetro 4 Autopista -Florida-  
Piedecuesta  
Tel: (57-7)638-1921  
Fax: (57-7)638-4993  
Bucaramanga - Colombia

Fuente: Manual de Calidad Industrias LAVCO

LAVCO ofrece una variedad de camisas de tipo húmeda y seca (Dry & Wet) fabricadas mediante el proceso de centrifugado, que es reconocido mundialmente por ser el mejor método para la obtención de camisas de gran calidad y alto desempeño. Este proceso le da al metal propiedades especiales que lo hacen resistente a la abrasión y su estructura es la más apropiada para retener y conservar la película de lubricante.

Las camisas fabricadas en LAVCO poseen una aleación especial con propiedades especiales de desempeño en cuanto a resistencia al desgaste, control de lubricación y transferencia de calor durante la operación del motor. Entre sus productos Industrias LAVCO cuenta con una línea industrial y una línea automotriz, Figura 4.

**FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE INDUSTRIAS LAVCO**



Fuente: Manual de Calidad Industrias LAVCO

**1.5.1 Línea Automotriz** Industria LAVCO LTDA La línea automotriz de LAVCO se enfoca en la fabricación de camisas para la totalidad de automóviles y motocicletas. Este tipo de camisa se entrega con el diámetro exterior terminado y el diámetro interior semi-terminado siguiendo los espesores y longitudes requeridos por el cliente.

- Línea de Camisas Secas para Motores a Gasolina: Aplica para la totalidad de automóviles y motocicletas. Figura 5.

**FIGURA 5. CAMISAS SECAS - GASOLINA**



Fuente: Manual de Calidad Industrias LAVCO

- Línea de Camisas Húmedas para Motores a Gasolina: Aplica para la fabricación de camisas para automóviles Renault. Se entregan completamente terminadas tanto en interior como exterior y en sus caras planas. Se venden como piezas sueltas, o como suministro completo para juegos o “kits” de reparación. Figura 6.

**FIGURA 6. CAMISAS RENAULT**



Fuente: Manual de Calidad Industrias LAVCO

- Línea de Camisas para Motores Diésel (Húmedas y Secas): Aplica para la fabricación de camisas para todo tipo de vehículos movidos por motor Diésel y con refrigeración directa. CAMISAS DIÉSEL (DRY & WET)

**FIGURA 7. CAMISAS DIESEL (DRY & WET)**



Fuente: Manual de Calidad Industrias LAVCO

- Línea de Bujes Centrifugados para Asientos de Válvulas: Se suministran lingotes producidos directamente para trabajar en gasolina admisión y escape, diésel liviano en admisión y escape. Se comercializan además asientos sinterizados para Diésel Turbo y Gas. Figura 8.

**FIGURA 8. BUJES CENTRIFUGADOS**



Fuente: Manual de Calidad Industrias LAVCO

**1.5.2 Línea Industrial Industrias LAVCO Ltda.** Industrias LAVCO Ltda., posee la experiencia y la tecnología en la fabricación de camisas en fundición gris centrifugada para cualquier motor estacionario. LAVCO fabrica camisas y pistones (aluminio o hierro gris) de compresores y motores, incluyendo aquellos cuyos repuestos ya no se encuentran en el mercado.

- Línea de Camisas para Grandes Motores: Se atienden compañías tan importantes como ECOPETROL, OXY y B.P. en varias referencias de camisas para grandes motores, y se han atendido clientes en el nicho de OEM, de gran relevancia en el ámbito mundial, Figura 9.

**FIGURA 9. CAMISAS PARA GRANDES MOTORES ESTACIONARIOS**



Fuente: Manual de Calidad Industrias LAVCO

- Línea de Servicios Especializados de Reparación de Cilindros Compresores: Se reparan cilindros compresores de diversas etapas, ya sea que esto incluya o no la fabricación de las camisas respectivas. Además se fabrican y/o reconstruyen partes relacionadas para los equipos de compresión en el sector Industrial.

**Figura 10. Motor estacionario reparado en LAVCO.**



Fuente: Manual de Calidad Industrias LAVCO

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 FUNDICIÓN CENTRIFUGA

El rasgo esencial de la fundición centrífuga es la introducción del metal fundido en un molde que gira durante el llenado, enfriamiento y la solidificación de la pieza. La fuerza centrífuga juega un papel importante en la eliminación de porosidades durante la solidificación y el enfriamiento de la pieza.

La fuerza centrífuga producida por la rotación es grande, comparada con fuerzas hidrostáticas normales. Actúa de dos modos. En primer término, la fuerza influye en la distribución del metal líquido sobre las superficies externas del molde, formando cilindros huecos y otras formas anulares. El segundo es el desarrollo de alta presión en la fundición durante la solidificación y el enfriamiento. Esto, en unión con la solidificación direccional, ayuda a la alimentación y acelera la separación de inclusiones no metálicas y gases inducidos. Las ventajas del proceso son: facilidad del metal líquido para llenar las formas externas de las piezas y alta calidad metalúrgica del producto.

Existen diferentes tipos de procesos de centrifugación: proceso de centrifugación pura, proceso de centrifugación semi-centrífuga y proceso de centrifugación a presión. La centrifugación pura puede ser de eje horizontal, vertical o inclinado y permite obtener piezas de revolución sin machos. La centrifugación semi-centrífuga también es de tres ejes pero las piezas de revolución con huecos, se obtienen por machos. La centrifugación a presión es de solo eje vertical y se puede obtener piezas de cualquier forma.

## 2.2 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

**2.2.1 Fuerza Centrífuga.** La fuerza centrífuga que actúa sobre un cuerpo en rotación es proporcional al radio de rotación y al cuadrado de la velocidad:

$$F_c = mr\omega^2 = \frac{mv^2}{r}$$

Donde:

$F$  = Fuerza centrífuga(N; pdl)

$m$  = Masa (kg;lb)

$r$  = Radio (m; ft)

$\omega$  = Velocidad angular (*rad/s*)

$v$  = Velocidad periférica (*m/s; ft/s*)

La fuerza gravitacional sobre la misma masa:

$$F_g = mg$$

Donde  $g$  = aceleración debido a gravedad (*m/s<sup>2</sup> ft/s<sup>2</sup>*).

De la relación entre la fuerza centrífuga y la fuerza gravitacional se obtiene el factor  $G$ :

$$G \text{ factor} = \frac{F_i}{F_g} = \frac{r\omega^2}{g}$$

Expresado en las unidades de velocidad más convenientes de revoluciones por minuto (N), luego la expresión se hace:

$$G \text{ factor} = \frac{r}{g} \left( \frac{\pi}{30} \right)^2 N^2 = \frac{0.011rN^2}{g}$$

$$N = \left( \frac{G \text{ factor}}{0.011r} \right)^{1/2} = 29.9 \left( \frac{G \text{ factor}}{r} \right)^{1/2}$$

$$= 42.3 \left( \frac{G \text{ factor}}{D} \right)^{1/2}$$

Donde  $D$  es el diámetro de rotación ( $m$ )

Estas relaciones entre la velocidad de rotación, el diámetro y la fuerza centrífuga se ilustran gráficamente en la Figura 11. Ellas permiten seleccionar la velocidad, según la magnitud de la fuerza centrífuga requerida.

Cumberland estableció una gama de velocidades mínimas requeridas. Estas son representadas por la línea de puntos sobrepuesta sobre la Figura 12 y más o menos equivale a una velocidad constante periférica de  $0.5 \text{ m/s}$  ( $1000 \text{ pies/ minutos}$ ). La fuerza requerida se disminuye con el aumento del diámetro.

$$\omega^2 = \frac{2gL}{r_t^2 - r_b^2}$$

Donde:

$L$  = Longitud axial (m; in)

$r_t$  = Radio superior (m; in)

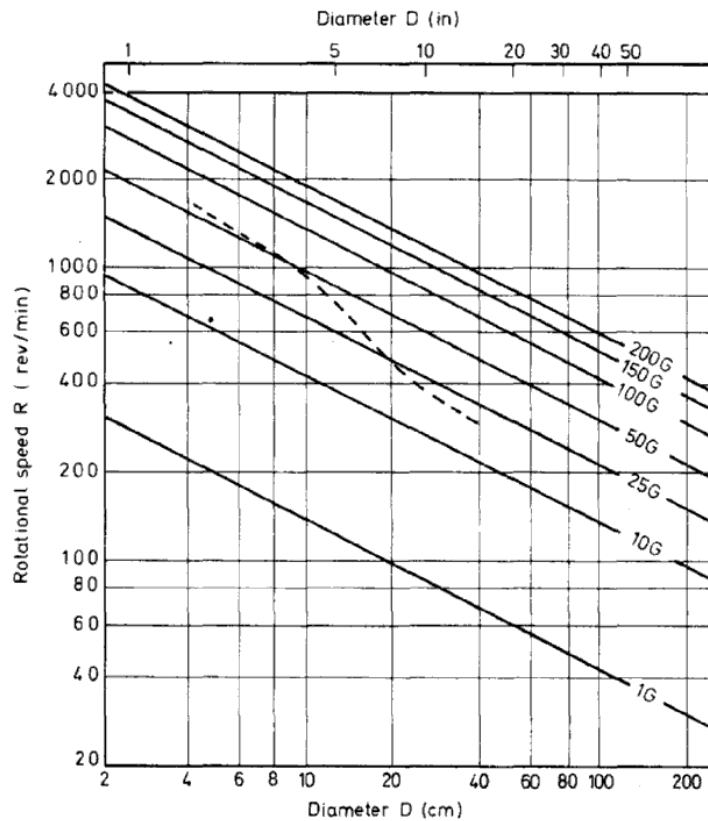
$r_b$  = Radio inferior (m; in)

Por lo tanto:

$$N = \frac{30(2g)^{1/2}}{\pi} * \left( \frac{L}{r_t^2 - r_b^2} \right)^{1/2} = 42.3 \left( \frac{L}{r_t^2 - r_b^2} \right)^{1/2}$$

Donde las dimensiones lineales son expresadas en metros.

**FIGURA 11. RELACIÓN ENTRE LA FUERZA DE ROTACIÓN Y EL DIÁMETRO PARA VARIAS MAGNITUDES DEL FACTOR G.**



Fuente: Rodríguez G, Natalia. La tabla 3, muestra la composición química y algunas características físicas de las ferroaleaciones usadas en el proceso de obtención de las camisas centrifugadas en LAVCO.

Otros factores relevantes en la selección de la velocidad son las capacidades mecánicas del equipo y las tensiones generadas en la solidificación de la fundición. Aunque se ha podido exceder el valor de 200G en algunos casos, la mayor parte de los casos se trabaja dentro de la gama de 10-150G. Los valores más altos son usados para los componentes cilíndricos de pequeño diámetro, y los más bajos, para fundiciones semi-centrífugas y de presión.

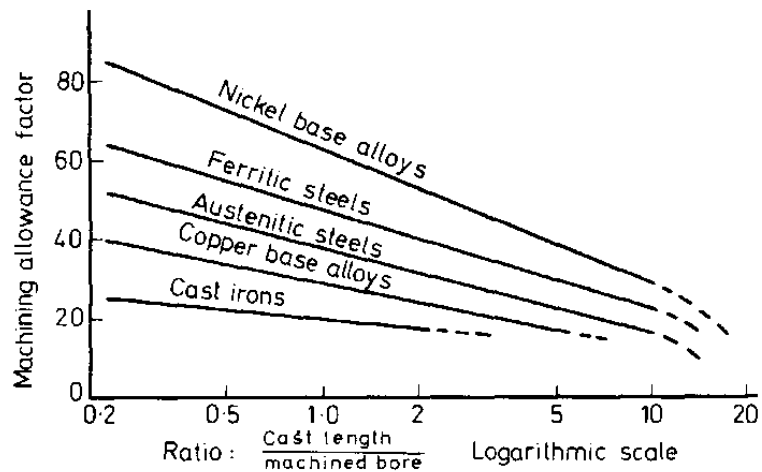
### **2.3 SOLIDIFICACIÓN Y ALIMENTACIÓN.**

La efectividad de la fuerza centrífuga promueve un alto estándar de calidad metalúrgica de la pieza, al establecer un modelo controlado de la solidificación, que está gobernado por el proceso usado, por la forma y dimensiones de la pieza.

Si se considera la colada de un cilindro simple, las condiciones pueden ser altamente favorables a la solidificación direccional debido al elevado gradiente de temperaturas radial que se extiende entre el centro y la pared de molde. Bajo estas condiciones, la masa central de metal líquido cristaliza bajo la acción de la fuerza centrífuga que ejerce la función de alimentador. Los gradientes más elevados y las mejores condiciones del enfriamiento ocurren en la zona exterior de la fundición, especialmente cuando se emplea un molde metálico cilíndrico. Otro factor importante es la relación entre la longitud y el diámetro del cilindro, una alta relación reduce al mínimo las pérdidas de calor por radiación y por convección. En estas condiciones, el calor es disipado casi completamente por la pared del molde y el enfriamiento es prácticamente unidireccional hasta la completa solidificación de la pieza.

Cuando se aumenta el espesor de la pared de la pieza, o si la relación de longitud al diámetro se reduce, los gradientes de temperaturas radiales se hacen menos pronunciados. En estas condiciones, una zona de porosidad interna es asociada con el último líquido para enfriarse, normalmente limitado con una delgada banda de metal cerca de la superficie. Para alcanzar un producto final totalmente sano, esta porosidad se suprime con un mecanizado. Por esta razón, una tolerancia apropiada de las dimensiones debe tenerse en cuenta sobre las dimensiones del molde. La Figura 12, muestra el factor recomendado de mecanización según la geometría de la fundición.

**FIGURA 12. RELACIÓN DE TOLERANCIA DE MECANIZADO CON LA GEOMETRÍA DE LA FUNDICIÓN. (CUMBERLAND)**



Fuente: Rodríguez G, Natalia. La tabla 3, muestra la composición química y algunas características físicas de las ferroaleaciones usadas en el proceso de obtención de las camisas centrifugadas en LAVCO.

Cuando la longitud excede en 15 al diámetro, el mecanizado es innecesario. El factor de forma es, sin embargo, menos crítico para las fundiciones de pared delgada que solidifican bajo los gradientes de temperaturas inducidos por efecto del enfriamiento inicial del molde.

Fabricar componentes de espesores gruesos y pesados, en los cuales la cavidad del molde es formada totalmente por material refractario (arena aglomerada), presenta un problema diferente. En estos casos no hay enfriamiento direccional. El cabezal del alimentador se coloca en la última región y tiene que ser suficientemente grande para inducir gradientes favorables de temperaturas en todas partes del enfriamiento. La expresión de la presión  $P$  proveniente de la rotación es:

$$P = \frac{\rho\omega^2(r_1^2 - r_2^2)}{2}$$

Donde

$\rho$  = densidad;

$\omega$  = velocidad angular:

$r_1$  = radio de rotación en un punto dado en el líquido;

$r_2$  = radio del agujero.

## 2.4 INCLUSIONES.

Otra función que ejerce la fuerza centrífuga es hacer que las inclusiones no metálicas segreguen en la superficie interna del cilindro. En la colada estática, la separación de las inclusiones depende de la fuerza neta gravitacional que actúa en cada partícula suspendida, en la fundición centrífuga, esta fuerza es aumentada en el valor:  $r\omega^2/g$ .

## 2.5 TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN

Las variaciones en la práctica de esta técnica de moldeo hace referencia en el eje de rotación, tipo de molde y manera de introducción del metal fundido: estos rasgos gobiernan el diseño de máquinas y equipos usados.

En general, las máquinas de eje horizontales son preferidas para las piezas de alta longitud en proporción al diámetro, mientras que para fundiciones de diámetro mayor a su longitud, se usan más comúnmente coladas en eje vertical, aunque existan excepciones en ambos casos.

El material de molde es determinado en parte por la forma y por el número de piezas requeridas. Para formas simples, el moldeo en coquilla metálica, por lo general es preferido sobre el moldeo en materiales cerámicos refractarios. Las coquillas

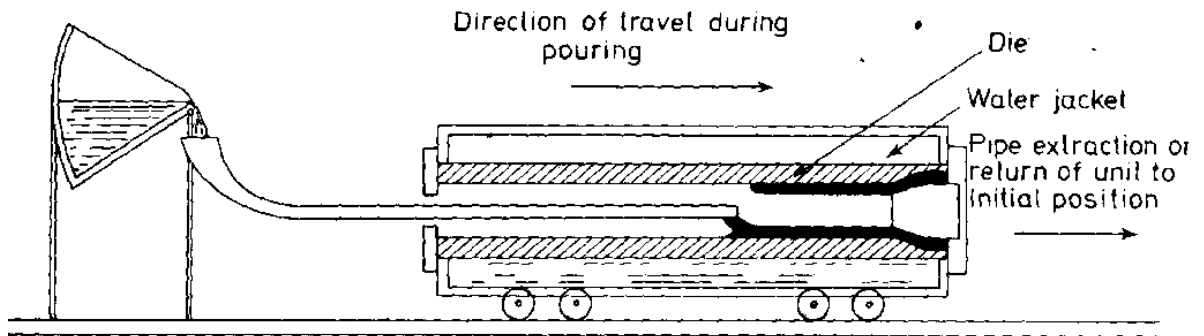
metálicas pueden ser de acero o de hierro fundido, apoyado en una lámina de acero. Ellos son usados con varios tipos de capa para la protección y la facilidad de remoción: sobre las capas de pinturas refractarias se encuentran mezclas que contienen grafito, ferrosilicio y otras sustancias, que sirven tanto como aislantes o inoculantes. Para formas más complejas o para partes requeridas en pequeñas cantidades, normalmente son usados moldes refractarios cerámicos. Los moldes de grafito también han sido usados para usos especiales.

**2.5.1 Fundición Centrifuga real o pura.** Como se indicó la centrifugación pura permite obtener piezas de revolución huecas sin necesidad de utilizar machos. El uso más amplio de fundición centrifuga es la producción de cilindros huecos, tubos sin costura, camisas y objetos simétricos. Los moldes se cuelan de manera uniforme y mientras que el molde gira sobre su eje de rotación.

**2.5.2 Producción de tubos largos.** La mayoría de los tubos largos son producidos sobre máquinas de eje horizontal, usando moldes de arena o metálicos. Uno de los problemas principales en la producción de tubos largos es alcanzar la distribución uniforme de metal sobre la extensa superficie del molde.

El proceso es ilustrado en la Figura 13, donde un canalón, provisto de una cuchara automática, introduce el metal hasta el extremo del molde. Durante el proceso de vertido el molde que rota, se desplaza por medio de unas rodachinas, tal como se muestra en la figura 14, para que el metal progresivamente llene completamente el molde. Cada máquina produce una fundición aproximadamente cada dos minutos.

**FIGURA 13. ESENCIAL DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN DE TUBOS**



Fuente: Rodríguez G, Natalia. La tabla 3, muestra la composición química y algunas características físicas de las ferroaleaciones usadas en el proceso de obtención de las camisas centrifugadas en LAVCO.

Para obtener velocidades lentas de enfriamiento, en el molde se usan moldes en arena. En este caso, las aleaciones de alta colabilidad pueden ser vertidas sin el sistema retractable de canalón. Existe otro sistema llamado Moore para la producción de tubos de fundición, utilizando moldes que emplean solo un forro de arena. El proceso es sobre todo conveniente para tubos grandes y en cantidades pequeñas. Con frecuencia para mejorar el acabado superficial se usa un revestimiento refractario.

**2.5.3 Producción de bujes.** Los bujes de longitud corta pueden ser producidos en máquinas de eje horizontal o vertical. Un tipo de máquina de eje horizontal es ilustrado en la Figura 14. Este principio es usado en la producción de cilindros.

El molde, por lo general, consiste en un dado de metal intercambiable apoyado dentro de un sostenedor de acero. Un material conveniente para el dado en si es la fundición de hematita, que muestra buena resistencia al choque térmico y a la distorsión.

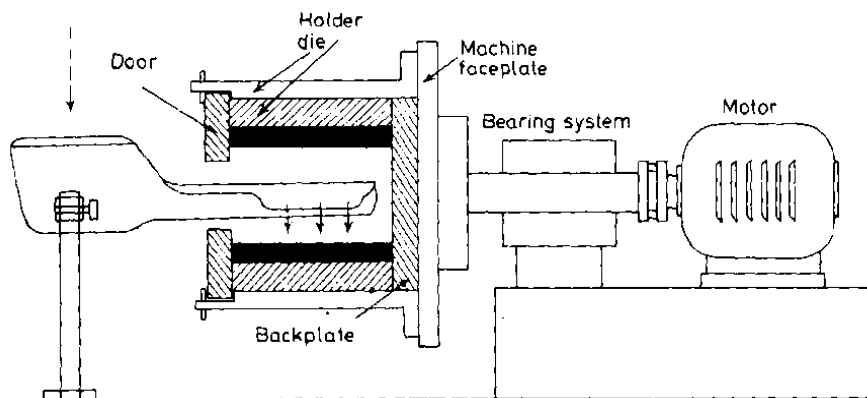
Varios tipos de mecanismos de colada son usados. Máquinas de eje horizontal son alimentadas comúnmente por una proyección de canalón ajustable por la cubierta al final del ensamble del molde para depositar el metal directamente sobre la pared del dado. Una variación de esta práctica es el uso de un canal de ranura amplia que permita un llenado rápido, Figura 15.

Para bujes de diámetro grande normalmente se prefiere la fundición con eje vertical. En este caso el metal puede ser introducido por un canalón que descarga tangencialmente dentro de la cavidad de molde Figura 16, o puede ser vertido directamente.

## 2.6 VARIABLES DEL PROCESO Y CALIDAD DE FUNDICIÓN

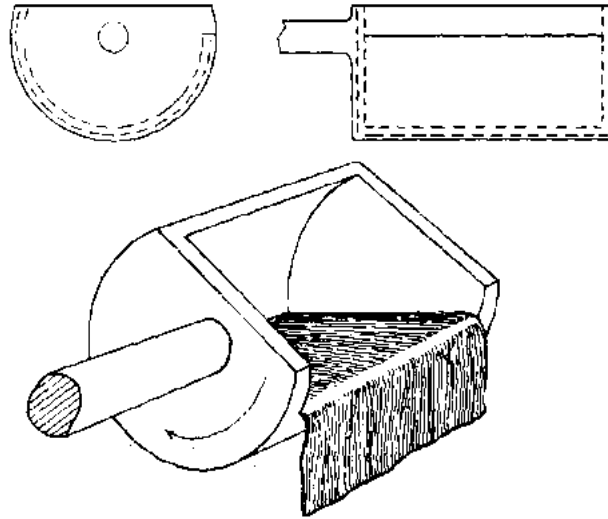
Una vez que el proceso ha sido establecido, las variables principales que controlan la calidad son: la velocidad de rotación, la temperatura de vertido, velocidad de vertido y temperatura del molde.

**FIGURA 14. ESENCIAL DE LA MÁQUINA CENTRIFUGA DEL EJE HORIZONTAL**



Fuente: Rodríguez G, Natalia. La tabla 3, muestra la composición química y algunas características físicas de las ferroaleaciones usadas en el proceso de obtención de las camisas centrifugadas en LAVCO.

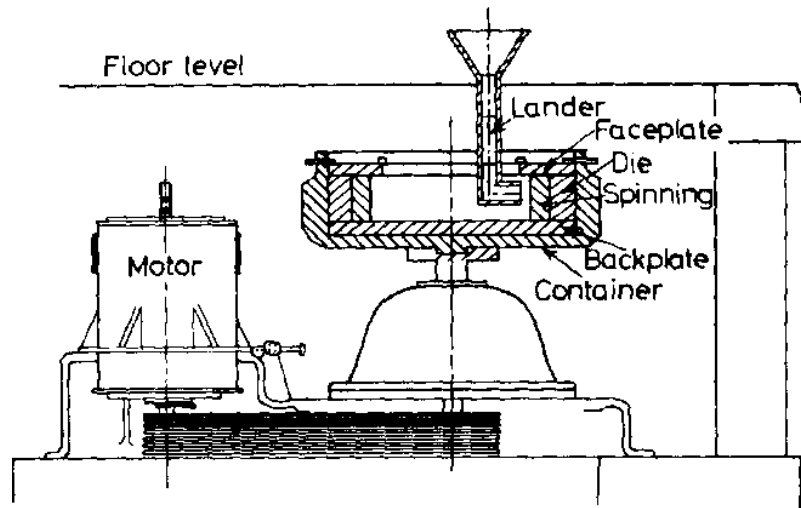
**FIGURA 15. TIPO DE CANAL DEL VERTEDERO UTILIZADA EN LA COLADA CENTRÍFUGA DE EJE HORIZONTAL**



Fuente: Rodríguez G, Natalia. La tabla 3, muestra la composición química y algunas características físicas de las ferroaleaciones usadas en el proceso de obtención de las camisas centrifugadas en LAVCO.

**2.6.1 Velocidad de Rotación.** Los factores principales que influyen en la selección de velocidad fueron indicados en los fundamentos del proceso. El factor que gobierna la fundición centrifuga real o pura es la obtención del espesor contra la gravedad, evitando la rasgadura longitudinal por la tensión excesiva del aro. En fundiciones semicentrífugas y de presión, la alimentación de la presión es el criterio principal. La velocidad rotatoria también ejerce una influencia sobre la estructura. El efecto más común del incremento de la velocidad es promover el afinamiento del grano, aunque esto pueda elevar la turbulencia inducida por la inestabilidad de la masa líquida a bajas velocidades.

**FIGURA 16. MÁQUINA DE FUNDICIÓN CENTRIFUGA CON EJE PARA COLADA VERTICAL (THORNTON)**



Fuente: Rodríguez G, Natalia. La tabla 3, muestra la composición química y algunas características físicas de las ferroaleaciones usadas en el proceso de obtención de las camisas centrifugadas en LAVCO.

**2.6.2 Temperatura de Colada.** La temperatura ejerce una influencia principal sobre el modo de solidificación y tiene que ser determinada, en parte, en relación con el tipo de estructura requerida. Las bajas temperaturas se asocian al refinamiento máximo del grano y con estructuras equiaxiales, mientras que temperaturas más altas, promueven crecimiento columnar en muchas aleaciones. Sin embargo, consideraciones prácticas limitan la gama disponible de temperatura de vertido, la temperatura debe ser suficientemente alta para asegurar un flujo metálico satisfactorio y libre de turbulencias, evitando estructuras con granos gruesos y el riesgo de desgarre debido al calentamiento excesivo.

**2.6.3 Velocidad de colada.** Está gobernada sobre todo por la necesidad de acabar el llenado antes de que el metal se solidifique, aunque, si es demasiado alta puede causar turbulencia y expulsión del metal. Una velocidad de colada lenta, ofrece

como ventaja permitir una solidificación direccional y una alimentación más adecuada.

**2.6.4 Temperatura del Molde.** La temperatura del molde es sólo de importancia secundaria en relación con la estructura. Su importancia principal está en su valor y el tiempo utilizado en el precalentamiento. La extensión de dicho tiempo disminuye el riesgo del agrietamiento de la pieza en la fundición centrífuga real.

## **2.7 ESTUDIO DE TIEMPOS**

El estudio de tiempos consiste en aplicar alguna técnica de registro, con el propósito de establecer la duración de una tarea específica. Entre las técnicas más conocidas para realizar el estudio de tiempos se tienen las siguientes:

- Cronometraje: como su nombre lo indica se basa en el empleo de un cronómetro.
- Tiempos predeterminados: se refiere a datos de tiempo estandarizados y organizados en tablas de fácil consulta.
- Muestreo del trabajo: es una técnica que permite calcular tiempos mediante el registro (en forma aleatoria) de las actividades realizadas por el trabajador durante su jornada de trabajo.

Para poder establecer la duración de una tarea, se debe partir de tres premisas elementales:

1. Debe existir un método previamente definido, el cual indica la manera como se ha de ejecutar el trabajo en cuestión.
2. El operario debe desarrollar su actividad a un ritmo de trabajo normal (no muy despacio, ni muy rápido).

3. El operario seleccionado para un estudio de tiempos debe ser "calificado" en cuanto a la habilidad para desarrollar el trabajo, es decir, no ser muy experto, ni tampoco inexperto.

**2.7.1 Importancia del estudio de tiempo.** Establecer tiempos puede considerarse como una labor básica que apoya el proceso de toma de decisiones en algunas dependencias de la organización. Al conocer el tiempo de fabricación se tendrán argumentos para:

- Estimar el costo de los productos elaborados
- Estimar la capacidad de producción de la planta
- Programar eficientemente la producción
- Asignar correctamente el trabajo a los operarios
- Calcular eficiencias (por ejemplo: producción esperada - producción real)
- Comparar métodos de trabajo.

**2.7.2 Estudio de tiempos por Cronómetro.** Esta técnica permite establecer la duración de una tarea a partir del registro de datos de tiempo que han sido cronometrados. Estos datos son el resultado de la observación de algunos ciclos de trabajo.

Un ciclo de trabajo es la sucesión completa de acciones necesarias para ejecutar una tarea y durante la cual se obtiene una unidad de producción (es importante recordar que unidad de producción no es necesariamente una unidad de producto, ya que es posible que en un ciclo se produzcan ocho piezas a la vez). El ciclo se inicia en un instante predefinido de la tarea (por ejemplo cuando el operario tome una herramienta) y continúa hasta el mismo punto en la siguiente repetición de la tarea; de esta forma comienza el siguiente ciclo y así sucesivamente.

Para desarrollar un estudio de tiempos basado en esta técnica, se debe iniciar fraccionando el ciclo de trabajo en varias etapas, a las cuales se les da el nombre

de elementos. Un elemento es una parte de la tarea que dura poco tiempo (segundos) y generalmente se compone por uno o varios movimientos básicos del operario o de la máquina.

En general, los elementos pueden ser de tres tipos:

- Repetitivos o regulares: son aquellos que aparecen en todos los ciclos de trabajo.
- No repetitivos o irregulares: son aquellos que aunque son periódicos, no se repiten en todos los ciclos de trabajo, por ejemplo: ir a traer material de la bodega (este elemento puede ser que se repita cada 10 ciclos).
- Extraños o aleatorios: como su nombre lo indica, son elementos eventuales, y por lo tanto no deben ser tenidos en cuenta al establecer el tiempo asignado, por ejemplo: la caída de una pieza.

Las siguientes son algunas normas para dividir un ciclo de trabajo en elementos:

- Los elementos deben ser de fácil identificación, con comienzo y fin claramente definidos. En lo posible que estén dados por señales auditivas.
- Los elementos no deben ser ni muy largos (máximo 20 segundos), ni muy cortos (mínimo tres segundos).
- Se deben separar los elementos del operario de los de la máquina, al igual que los repetitivos de los no repetitivos.
- Todos los movimientos del elemento deben perseguir el mismo objetivo.

**2.7.3 Pasos a seguir en un Estudio de Tiempos por Cronómetro.** El método para estimar tiempos por cronómetro tiene la característica de ser bastante preciso, razón por la cual es muy conocido. La técnica del cronometraje se utiliza preferiblemente en tareas que se repiten durante gran parte de la jornada de trabajo, sin embargo, no se descarta su aplicación en tareas poco frecuentes.

A continuación se presentan los pasos a seguir para obtener finalmente el tiempo tipo para la tarea:

- Selección de un trabajador "promedio", es decir, que no sea el más experto ni el más inexperto.
- Determinación del ciclo de trabajo (tarea a cronometrar)
- División del ciclo de trabajo en elementos, identificando claramente momentos de inicio y finalización.
- Determinar el número de ciclos (observaciones) que deben registrarse:

Para establecer el tiempo tipo, se deben observar varios ciclos de trabajo, de tal forma que se cuente con información suficiente para obtener una estimación más confiable de la duración de la tarea.

**2.7.4 Determinación del tamaño de la muestra.** El número de observaciones que harán parte de un estudio de tiempos por cronómetro depende básicamente de tres aspectos: del grado de variación que presenten los tiempos del ciclo, de la precisión que se exija a la estimación y del nivel de confianza del estudio.

Inicialmente, se debe registrar la duración de varios ciclos de trabajo ( $n$  entre 8 y 15 ciclos), a éste grupo de datos (tiempos de ciclo) se le llama "muestra preliminar" o "premuestra". Aquí no es necesario dividir el ciclo en elementos, sólo se registra el tiempo global de cada ciclo de trabajo.

Con los datos de tiempo de la premuestra se calcula la desviación estándar. Luego se fija el nivel de confianza del estudio, de tal forma, que un estudio a un nivel de confianza del 99% requerirá de más observaciones que un estudio a un nivel de confianza del 85%.

Posteriormente se fija la precisión del estudio, es decir, el margen de error que se desea tener en la estimación del tiempo del ciclo.

## 2.8 EL DISEÑO EN INGENIERÍA

Múltiples referencias proponen el diseño como la actividad central y distintiva de la ingeniería. (ABET, 2011; Dym, Agogino, Eris, & Leifer, 2005). (Crawley, Malmqvist, Lucas, & Brouder, 2011)

International Council of Societies of industrial Design (ICSID)<sup>3</sup> define el diseño de la siguiente forma:

El arte de imaginar y crear cosas útiles capaces de satisfacer necesidades.

El carácter polisémico de la palabra “diseño” representa en consecuencia una dificultad que debe ser resuelta por medio de una clara caracterización de su significado en un contexto dado, en este caso, en ingeniería.

El diseño en ingeniería es un proceso sistemático, creativo y flexible que incluye la generación, evaluación sistemática y puesta a prueba de especificaciones para la creación de artefactos, sistemas, procesos e infraestructura cuya forma y función permitan lograr unos objetivos establecidos y satisfacer una serie de restricciones especificadas a partir de una necesidad o situación problemática (Boccardo, 2006; Dym & Little, 2002). Surge además el reto de diseñar sistemas cada vez más complejos en lugar de diseñar solo partes aisladas (Engineers Australia, 2006; EUR-ACE, 2008).

Este conjunto de definiciones parece mostrar lo que significa el diseño en un contexto general y lo que implica el diseño en el contexto específico de la ingeniería. Del conjunto de definiciones que se presentaron, surgen algunos elementos fundamentales que caracterizan el diseño en ingeniería y que debe permitir identificar que problemas responden a un problema de diseño en ingeniería:

- 1) El diseño es una estrategia para resolver cierto tipo de problemas desde la perspectiva de la concepción de productos tecnológicos.
- 2) Es un proceso iterativo de toma de decisiones.

3) Un problema de diseño en ingeniería es un problema abierto, en general débilmente estructurado, con múltiples soluciones.

4) Para el caso de ingeniería el producto final de la actividad de diseño es un producto tecnológico, entendido este como un artefacto, un proceso o un sistema que debe ser operado económicamente y que cumple con especificaciones y restricciones.

5) El término artefacto se utiliza para designar una amplia gama de productos físicos, como una máquina, un dispositivo, un puente, un automóvil, un bien de consumo que involucra tecnología en su desarrollo y puesta en el mercado para satisfacer necesidades. Implica la transformación de la materia para generar elementos con funcionalidades y características nuevas que buscan resolver necesidades existentes o potenciales.

6) La utilización intensiva explícita o implícita del conocimiento matemático y científico es un pilar central de todo proceso de diseño en ingeniería.

7) El desarrollo cognitivo que se requiere para diseñar tiene un componente transversal a las especialidades de ingeniería.

**2.8.1 Importancia del diseño en ingeniería.** Ahora bien, por qué es importante el diseño en ingeniería en la sociedad. Un examen de las necesidades de la sociedad puede mostrar una respuesta apropiada.

El éxito de un país en el siglo XXI tiene una fuerte relación con la capacidad de producir productos y servicios de forma competitiva en un mercado cada vez más globalizado. El país, en consecuencia, requiere de infraestructura para educar, alimentar, brindar productos y servicios básicos, prestar servicios de salud, de esparcimiento, culturales, entre otros. Igualmente requiere de procesos y sistemas que generen productos y servicios competitivos y de calidad que sea valorado por el mercado nacional e internacional. Buena parte de todo esto es ingeniería, son productos del diseño de la ingeniería capaz de crear un mundo artificial que

responda a las necesidades humanas más diversas en un marco de desarrollo sostenible. La solución de problemas centrales de la sociedad está en manos de la ingeniería.

En el marco de una sociedad competitiva igualmente la capacidad para innovar es central. La innovación no puede ser considerada como una responsabilidad exclusiva de una profesión particular como la ingeniería, dado que ésta se produce en sociedades optimizadas para la innovación (Council of competitiveness, 2004):

Donde una vez optimizábamos las organizaciones para la eficiencia y la calidad, ahora debemos optimizar la sociedad entera para la innovación.

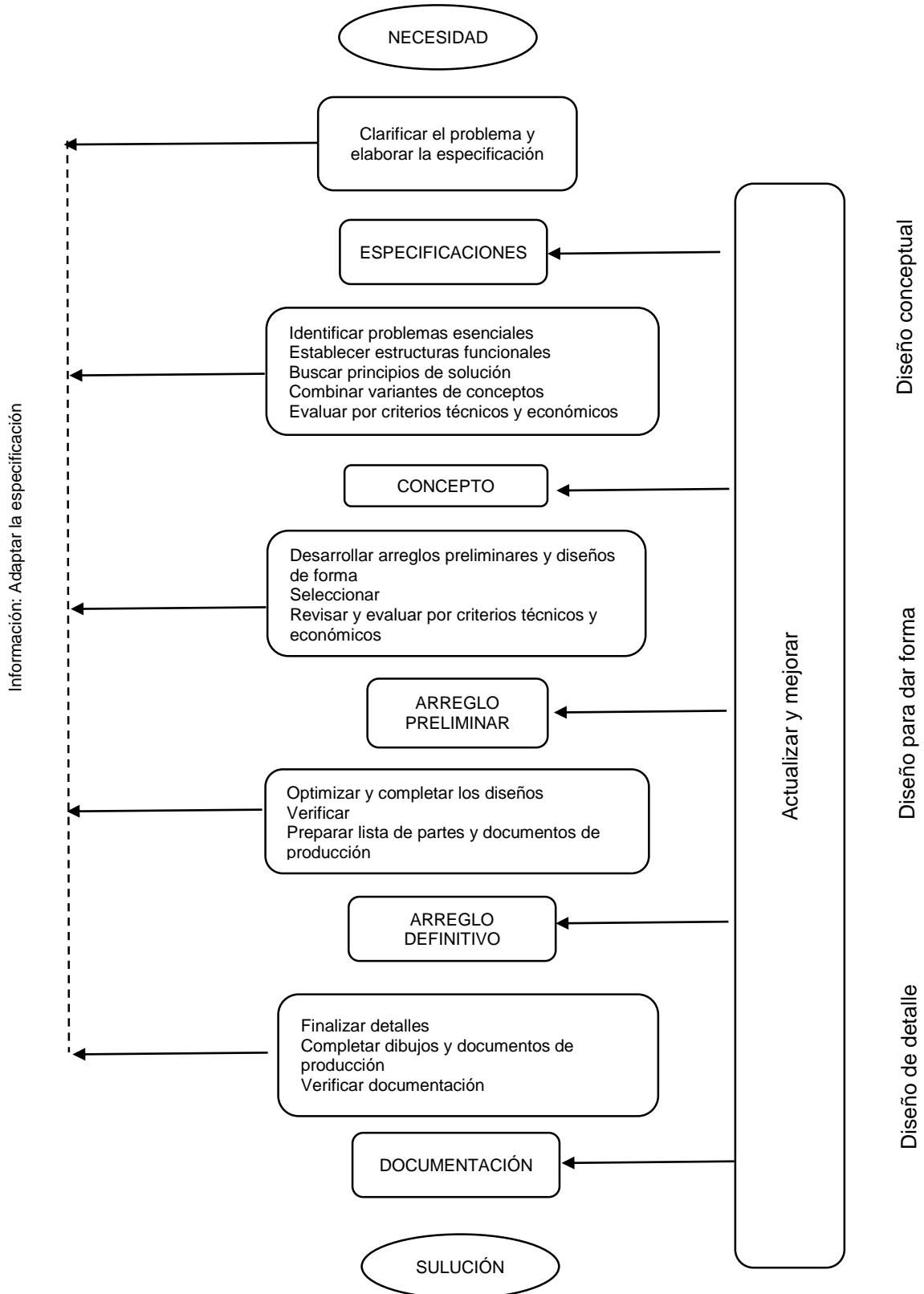
El rol de la ingeniería en el marco de una sociedad innovadora es central. Sin ciencia, tecnología e ingeniería enmarcadas en procesos de diseño, la capacidad de innovación se reduce.

Según Committee on Engineering Design Theory and Methodology (1991) al menos el 70% de los costos del ciclo de vida de operación de un producto tecnológico se define en el diseño. Esto tiene un impacto profundo en la productividad, la competitividad de las industrias y en la confiabilidad de la infraestructura desarrollada desde el diseño en ingeniería.

**2.8.2 Modelos para el proceso de diseño en ingeniería.** La actividad de diseño en ingeniería, como se ha mostrado, es una actividad compleja que enlaza diferentes habilidades individuales y sociales. Por ello, cualquier modelo que se proponga es una simplificación importante de la actividad de diseño y en consecuencia debe ser tomado con precaución.

Una representación más compleja de un modelo de diseño en ingeniería se presenta en la siguiente figura:

**FIGURA 17. MODELO DE PAL MEITZ, FUENTE CROSS 2000**



### 3 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS CAMISAS CENTRIFUGADAS

El procedimiento usado en la planta para obtener una camisa centrífuga a nivel industrial parte de la selección y preparación de la materia prima para elaborar la carga que permite desarrollar las demás etapas del proceso:

#### 3.1 MATERIA PRIMA

**3.1.1 Carga Metálica.** El material usado para la fabricación de las camisas centrífugas en cuanto a carga metálica es chatarra comprada en plaza, compuesta esencialmente por culatas, bloques y campanas. Estos componentes son bajos en fósforo ( $< 0.25\%$ ) aunque se prefiere que su contenido sea inferior a  $0.15\%$ . El contenido de silicio es aproximadamente entre  $2\%$  y  $2.25\%$  y el carbono entre  $3.2\%$  y  $3.4\%$ . El peso individual por pieza no puede superar los 500 kilos por la dificultad que representa para su partida y manejo dentro del patio de descargue. El peso de la carga es aproximadamente de 100 – 115 Kg, distribuida de la siguiente manera:

**TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE CARGA METÁLICA**

| MATERIA PRIMA   | CANTIDAD   |
|-----------------|------------|
| Chatarra        | 103,5%     |
| Retornos        | 11,5%      |
| Ferroaleaciones | 450-550 gr |

Fuente: Los autores

**TABLA 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA APROXIMADA DE ALGÚN TIPO DE CHATARRA DE HIERRO COLADO Y ACERO**

| TIPO DE CHATARRA                            | % DE COMPOSICIÓN DE CADA ELEMENTO |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | Si                                | C    | Mn   | P    | S    | Cr   | Ni   | Mo   |      |
| Maquinaria textil                           | 2,40                              | 3,40 | 0,75 | 0,20 | 0,12 | -    | -    | -    | -    |
| Fundición de                                | 2,25                              | 3,30 | 0,75 | 0,15 | 0,12 | 0,25 | 0,10 | Tr   | 0,15 |
| Chatarra agrícola                           | 2,25                              | 3,40 | 0,60 | 0,30 | 0,12 | Tr   | Tr   | -    | -    |
| Chatarra de ferrocarril                     | 1,90                              | 3,20 | 0,60 | 0,35 | 0,10 | -    | -    | -    | -    |
| Radiadores de calefacción                   | 2,30                              | 3,45 | 0,55 | 0,55 | 0,10 | -    | -    | -    | -    |
| Zapatillas de frenos                        | 1,15                              | 3,10 | 0,40 | 0,50 | 0,20 | -    | -    | -    | -    |
| Ruedas de vagón de ferrocarril              | 0,55                              | 3,50 | 0,55 | 0,30 | 0,13 | -    | -    | -    | -    |
| Chatarra de maleable agrícola y Automóviles | 0,95                              | 2,30 | 0,40 | 0,15 | 0,10 | -    | -    | -    | -    |
| Rieles de ferrocarril                       | 0,25                              | 0,60 | 0,80 | 0,05 | 0,05 | -    | -    | -    | -    |
| Chatarra de acero de automóviles            | 0,10                              | 0,30 | 0,70 | 0,03 | 0,03 | 0,15 | 0,20 | Tr   | Tr   |
| Chatarra de acero estructural               | 0,05                              | 0,12 | 0,20 | 0,03 | -    | 0    | -    | 0,10 | 0,10 |

Fuente: Rodríguez G, Natalia. La tabla 2, muestra la composición química y algunas características físicas de las ferroaleaciones usadas en el proceso de obtención de las camisas centrifugadas en LAVCO.

**3.1.2 Ferroaleaciones.** Las ferroaleaciones son otros de los componentes que forman parte de la carga, son usadas como desoxidantes y como aportadores de elementos de aleación, la más utilizada es el ferrosilicio y en algunas ocasiones se usan el ferromanganeso ferrocromo, ferroníquel y ferromolibdeno.

**TABLA 3. FERROALEACIONES**

| FERROALEACIONES | COLOR         | PRESENTACION  | COMPOSICION QUIMICA |       |       |       |       |        |       |       |      |
|-----------------|---------------|---------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|------|
|                 |               |               | Mn%                 | Si%   | Cr%   | Ni%   | C%    | S%     | P%    | Co%   | Cu%  |
| Ferromanganeso  | Gris metálico | Piedras/polvo | 75.87               | 0.11  | -     | -     | 6.75  | 0.0006 | 0.228 | -     | -    |
| Ferrosilicio    | Gris metálico | Polvo fino    | -                   | 75.67 | -     | -     | 0.097 | 0.001  | 0.019 | -     | -    |
| Ferromanganeso  | Metálico      | A granel      | -                   | 0.38  | 0.03  | 32.49 | 0.030 | 0.010  | 0.02  | 0.730 | 0.06 |
| Ferrocromo      | Gris metálico | Piedras       | -                   | 2.39  | 67.85 | -     | 7.88  | 0.026  | 0.028 | -     | -    |

Fuente: Rodríguez G, Natalia. La tabla 3, muestra la composición química y algunas características físicas de las ferroaleaciones usadas en el proceso de obtención de las camisas centrifugadas en LAVCO.

**3.1.3 Inoculantes.** Los inoculantes usados son el ferrosilicio y el IM-22. El inoculante IM 22. Este inoculante es un fuerte grafitizante por contener grandes elementos promotores del grafito como: zirconio, calcio y bario, además del silicio, que en presencia del azufre tiene una fuerte acción inoculante, afinando así la textura por proporcionar un mayor número de células eutécticas. El calcio se formador de gérmenes de cristalización del grafito. Lo anterior es válido también para el Bario, el cual tiene un efecto adicional de retardo al descomponerse. El Bario sumado al calcio, amplía el rango de temperatura en el cual actúa este inoculante.

Este inoculante es producido en hornos de arco inmerso en una de las plantas más modernas del mundo donde gracias a la utilización del carbón vegetal y mineral de hierro como materias primas, los niveles residuales de elementos indeseables son extremadamente bajos.

**3.1.4 Carga no Metálica.** El coque es el elemento principal en la carga no metálica, el cual interviene en el grado de grafitización, el efecto de los carburos, la estructura del grafito y afecta la formación de la matriz. El coque proviene de Zipaquirá. A su vez forman parte de esta carga algunos minerales usados como fundentes tales como la caliza y la fluorita utilizada para aumentar la fluidez de la escoria.

**3.1.5 Unto Refractario.** El recubrimiento refractario es una parte integral en la fabricación y promueve un amplio rango de beneficios como son: el mejoramiento del acabado superficial de la pieza ya que las partículas refractarias se depositan entre y sobre la superficie del molde, creando una superficie tersa para el contacto con el metal, con el objetivo de reducir microporosidades por contracción o microrechupes, eliminar erosión, proteger a los moldes permanentes y facilitar el desmolde.

Estos untos o pinturas refractarias contienen una variedad de ingredientes combinados los cuales aportan características deseadas a la fundición. En este caso específico el unto contiene como agente refractario la arena sílica ( $\text{SiO}_2$ ), el agua es usada como solvente, adicional a estos contiene aglutinantes que mejoran la adhesión de las partículas refractarias entre si y mejorar la adhesión del recubrimiento a la superficie del metal como la dextrina  $((\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n \cdot \text{H}_2\text{O})$  formada de la hidrólisis de un almidón a glucosa y la bentonita una arcilla compuesta esencialmente de montmorillonita. Con el fin de promover la humectación del refractario con el solvente e impedir la separación de partículas refractarias fuera del solvente, se adiciona el arylon que combina tensoactivos aniónicos y no aniónicos con propiedades humectantes y dispersantes

La aplicación del unto se realiza con un rociado de pistola, en el cual se encuentra la mezcla anteriormente mencionada como una pasta, lo cual se muestra en la figura 18; se aplican dos capas de refractario a cada pieza fundida. La desventaja es la

dificultad para pintar eficientemente los huecos profundos, mantenimiento del equipo y emisiones que significan desperdicios.

**FIGURA 18. TANQUE MEZCLADOR DE PINTURA Y PISTOLA DE ROCIADO**



Fuente: Los autores

### **3.2 SELECCIÓN DE LA CARGA**

La selección de la chatarra o carga metálica depende de tres factores la homogenización de la composición química, la naturaleza y su origen, estos deben tenerse en cuenta a la hora de buscar la mejor calidad del producto. A su vez hay otros componentes de la carga que tienen mucha influencia como son la carga no metálica y la caliza que actúan como fundente. El coque empleado en producir la cama del horno debe ser de la mayor calidad posible y el tamaño de los trozos, debe oscilar entre  $1/10$  y  $1/12$  del diámetro interior del horno.

El coque que se emplea en el cubilote y particularmente en la cama, debe poseer buena resistencia mecánica, ya que tiene que soportar el peso de las cargas

metálicas que se introducen por la puerta de carga. Un valor adecuado de resistencia mecánica se considera el siguiente 15 MPa. El término resistencia mecánica aquí también puede entenderse como la mayor o menor tendencia al fraccionamiento de los trozos de coque.

### **3.3 PREPARACIÓN DE LA CARGA**

Una vez seleccionada y preparada la chatarra en varios tamaños con el fin de facilitar su manejo, se escogen las ferroaleaciones convenientes para el proceso; en este caso el ferrosilicio y el inoculante el cual va ser aplicado directamente al chorro. De igual manera se tiene preparada la carga de coque seguido del fundente es decir piedra caliza y fluorita. Por último es importante regular el soplo con la cantidad de coque quemado por hora. La preparación de la carga se realiza un día antes del día de fundición y la introducción de la carga se realiza manualmente.

**3.3.1 Fusión.** La fusión se lleva a cabo en un cubilote de revestimiento ácido con una sola hilera de toberas, con una longitud de más de 3 metros y con un diámetro interno de 60 cm, fabricado por industrias LAVCO mostrado en la figura 19. El método de colada es intermitente. Se carga por la parte superior con camas de chatarra de hierro, coque y piedra caliza. Para la combustión del coque se inyecta aire con unos ventiladores de alta presión, este accede al interior por unas toberas ubicadas en la parte inferior del horno.

Por cada kilogramo de coque que se consume en el horno, se procesan 10 veces los kilogramos de hierro y por cada tonelada de hierro fundido se requieren 1/3 Kg de la carga de coque en cuanto a la piedra caliza, dependiendo su calidad.

**FIGURA 19. HORNO CUBILOTE**



Fuente: Los autores

**3.3.2 Moldeo.** El metal fundido sale una vez ha sido picado el horno y se adiciona el inoculante directamente al chorro mientras se llena el caldero a una temperatura de colada de  $1243^{\circ}\text{C}$ , con el caldero a tope se pone el tapón refractario para impedir que continúe saliendo metal. El caldero es transportado por el puente grúa hasta el lugar donde se encuentra la coquilla que ya se encuentra instalada en la maquina centrifuga y se ha precalentado por un tiempo y temperatura determinado con el fin de evitar el fuerte choque térmico. Se dispone a realizar el vaciado donde se debe verificar que la maquina centrifuga esté en funcionamiento y se llena tratando de evitar al máximo que se desperdicie metal.

**3.3.3 Máquina Centrifuga.** Este equipo es diseñado y fabricado por industrias LAVCO para el centrifugado de tubos en fundición gris y para camisas de la línea industrial. El equipo tiene un mecanismo electromecánico mediante el cual un motor alimentado eléctricamente genera un movimiento de rotación, que es transmitido a

través de un eje a un troquel cilíndrico en el cual se moldea la aleación obtenida en el cubilote como el mostrado en la figura 20. Está conformado por chumaceras en las cuales se encuentran montadas las ruedas que soportan la coquilla, esta rueda es al mismo tiempo conducida en el sistema de transmisión por correas al cual le genera potencia un motor eléctrico a una velocidad de 1760 rpm y una potencia de 10 HP, las demás ruedas sirven de soporte y su movimiento es inducido por la coquilla la cual gira en sentido horario.

Los ejes no deben ser alineados paralelamente, se deben dejar ligeramente cerrados en la parte delantera para mantener la coquilla haciendo presión contra las ruedas.

**FIGURA 20. MÁQUINA CENTRIFUGA PREVIA AL LLENADO**



Fuente: Los autores

Se limpia la coquilla con presión de aire y se pone a girar a una velocidad determinada, se aplica doble capa de refractario a una temperatura alrededor de 250°C para evitar que el metal se pegue a las paredes de la coquilla y produzca defectos característicos en las piezas, se disminuye la velocidad centrifuga hasta cero y con la ayuda del puente grúa y del operario se coloca la tapa a la coquilla. Una vez verificado que la tapa esta puesta correctamente se procede a poner un dispositivo adicional para el llenado.

**3.3.4 Colada y Llenado.** El metal fundido es vertido al molde empleando un bebedero o tetera previamente dispuesto en la entrada del molde. El tiempo de llenado por pieza es 49 segundos. La temperatura de colado promedio es 1241 °C y el tiempo total de centrifugación es aproximadamente 10.01 minutos. La coquilla excede algunos mm de las dimensiones requeridas por la pieza las cuales son ajustadas por mecanizado.

**3.3.5 Solidificación y Enfriamiento.** Después de la colada, se debe esperar que la pieza se solidifique y se enfríe en el molde. Este proceso de solidificación y enfriamiento preliminar comienza a una temperatura promedio de 900°C. El inicio de la solidificación es apreciable por los cambios de tonalidades alrededor de la camisa y por la formación de aros, una vez solidificada se extrae a una temperatura de 956°C, para esto hay que retirar la tapa de la coquilla. El enfriamiento final se da por fuera del molde y tarda aproximadamente 6 horas.

### **3.4 EXTRACCIÓN.**

Luego de haber solidificado, la pieza se extrae de la coquilla a una temperatura promedio de 884°C. La pieza es llevada a una cama de arena para realizar un proceso de mecanizado hasta lograr las dimensiones requeridas.

Actualmente la extracción es realizada por el operario de forma manual utilizando unas pinzas como herramienta.

**3.4.1 Método Utilizado En La Extracción.** El estudio de trabajo comprende dos tipos de análisis: uno enfocado al método empleado para ejecutar el trabajo y el otro enfocado al tiempo empleado en la ejecución de dichas tareas.

**FIGURA 21. PROCESO DE EXTRACCIÓN.**



Fuente: Los autores

En este caso se analizó la tarea específica de la extracción de cilindros y se determinó que el único método utilizado en la extracción de cilindros es realizado manualmente utilizando pinzas, Figura 21.

## 4 ESTUDIO DE MÉTODOS Y TIEMPOS

Desde varios años atrás se ha venido manejando el tema de los procesos en las diferentes clases de organizaciones. Este ha experimentado un gran auge debido a los beneficios que ofrece a la administración tanto de procesos productivos como de procesos administrativos.

Como prueba está la exigencia de la norma ISO 9001 en muchas compañías; al documentar y estandarizar los procesos, los clientes perciben una mayor calidad y un mayor compromiso de la empresa hacia ellos.

El estudio de tiempos es una técnica permite establecer un estándar de tiempo asignado a la ejecución de una tarea determinada. Se basa en la medición del contenido de trabajo en el método prescrito, con la debida consideración a la fatiga y a los retrasos personales e inevitables.

El estudio de métodos se utiliza para:

- Encontrar un mejor método de trabajo.
- Establecer el estándar de tiempo.
- Reducir esfuerzos y costos.
- Mejorar la disposición de la planta.
- Control de producción para seguimiento de procesos y planificación.

En LAVCO, El proceso de fundición esta ceñido por las siguientes operaciones:

- a. Limpieza con aire a la coquilla
- b. Se coloca la tapa en la coquilla
- c. Apriete de los tornillos de la tapa en la coquilla
- d. Encendido de la Fundidora Centrifuga

- e. Echar Pintura al interior de la coquilla
- f. Untar la tetera para la colada
- g. Echada de la colada a la Fundidora Centrifuga
- h. Apagado de la Fundidora Centrifuga
- i. Se quita la tapa de coquilla
- j. Extracción del cilindro

#### 4.1 METODOLOGÍA UTILIZADA EN LA TOMA DE TIEMPOS

El equipo mínimo requerido para llevar a cabo un programa de estudio de tiempos incluye un cronometro, formato de registro de tiempos, calculadora, y de ser posible un equipo de video<sup>1</sup>

Se puede usar una de las siguientes técnicas para registrar los tiempos. El método de *tiempos continuos*, en el que se toma una hora de inicio y se lee el reloj al final de cada procedimiento. En la técnica de *regresos a cero*, después de leer el cronometro al terminar cada proceso, el tiempo se reestablece a cero, reiniciando cada vez que se inicie la labor.

Para el caso particular, se aplica la técnica de tiempos continuos y el estudio de métodos y tiempos, se enfoca en un proceso en especial: *La Extracción de los Cilindros en las Fundidoras Centrifugas de la Línea Automotriz de LAVCO*, que como se dijo en el capítulo anterior es un proceso es realizado manualmente utilizando pinzas; con el objetivo de implementar propuestas que aumenten la capacidad de la planta, de manera que su capacidad de respuesta en tiempos de alta demanda, sea mayor

---

<sup>1</sup> Nievel, Freivalds. Ingenieria Industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo. 11 Ed. AlfaOmega, pg

Se realizaron 7 tomas de datos con el fin de medir tiempos de extracción de los cilindros en diferentes fechas, para observar las variables que influyen en dicho proceso; registrando los siguientes tiempos de extracción en los días que se hicieron las respectivas tomas.

**TABLA 4. TOMA DE DATOS REALIZADA EN DICIEMBRE 11/2012**

|        |        |         |         |         |
|--------|--------|---------|---------|---------|
| 5 seg. | 4 seg. | 12 seg. | 17 seg. | 4 seg.  |
| 4 seg. | 5 seg. | 21 seg. | 6 seg.  | 4 seg.  |
| 5 seg. | 4 seg. | 4 seg.  | 25 seg. | 11 seg. |
| 6 seg. | 4 seg. | 5 seg.  | 4 seg.  | 5 seg.  |
| 4 seg. | 8 seg. | 8 seg.  | 6 seg.  | 8 seg.  |
| 7 seg. |        |         |         |         |

Fuente: Los autores

Para esta toma de tiempos tenemos: **26 EXTRACCIONES EN 44:35 min**

**TABLA 5. TOMA DE DATOS REALIZADA EN DICIEMBRE 13/2012**

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 5 seg.  | 4 seg.  | 24 seg. | 10 seg. | 5 seg.  |
| 33 seg. | 7 seg.  | 8 seg.  | 4 seg.  | 92 seg. |
| 15 seg. | 24 seg. | 9 seg.  |         |         |

Fuente: Los autores

Para esta toma de tiempos tenemos: **13 EXTRACCIONES EN 26:26 min.**

**TABLA 6. TOMA DE DATOS REALIZADA EN DICIEMBRE 13/2012**

|         |         |        |        |        |
|---------|---------|--------|--------|--------|
| 46 seg. | 15 seg. | 4 seg. | 4 seg. | 4 seg. |
| 4 seg.  |         |        |        |        |

Fuente: Los autores

Para esta toma de tiempos tenemos: **6 EXTRACCIONES EN 15:56 min.**

**TABLA 7. TOMA DE DATOS REALIZADA EN ENERO 11/2013**

|        |        |         |         |        |
|--------|--------|---------|---------|--------|
| 5 seg. | 4 seg. | 12 seg. | 17 seg. | 4 seg. |
| 4 seg. | 5 seg. | 21 seg. | 6 seg.  | 4 seg. |
| 5 seg. | 4 seg. |         |         |        |

Fuente: Los autores

Para esta toma de tiempos tenemos: **12 EXTRACCIONES EN 25:57 min.**

**TABLA 8. TOMA DE DATOS REALIZADA EN ENERO 14/2013**

|        |         |        |        |        |
|--------|---------|--------|--------|--------|
| 5 seg. | 25 seg. | 6 seg. | 4 seg. | 8 seg. |
|--------|---------|--------|--------|--------|

Fuente: Los autores

Para esta toma de tiempos tenemos: **5 EXTRACCIONES EN 12:58 min.**

**TABLA 9. TOMA DE DATOS REALIZADA EN ENERO 14/2013**

|         |         |        |        |         |
|---------|---------|--------|--------|---------|
| 58 seg. | 19 seg. | 9 seg. | 5 seg. | 10 seg. |
| 33 seg. | 14 seg. | 5 seg. | 4 seg. |         |

Fuente: Los autores

Para esta toma de tiempos tenemos: **9 EXTRACCIONES EN 32:38 min.**

**TABLA 10. TOMA DE DATOS REALIZADA EN ENERO 18/20/2013**

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 4 seg.  | 13 seg. | 7 seg.  | 6 seg.  | 14 seg. |
| 20 seg. | 4 seg.  | 10 seg. | 35 seg. | 27 seg. |
| 4 seg.  |         |         |         |         |

Fuente: Los autores

#### **4.2 ESTANDARIZACIÓN DE TIEMPOS.**

Según las muestras tomadas, hay diferencias en los tiempos de extracción de los cilindros, aun cuando el operario aplica el mismo procedimiento, ante esta situación lo mejor es aplicar un método estadístico que permita el análisis de todas las variables. Una de las herramientas de mayor uso en las empresas es la utilización de la curva normal o curva de Gauss, para describir situaciones donde podemos recopilar datos. Esto nos permite tomar decisiones que vayan a la par con las metas y objetivos de la organización<sup>2</sup>

En este método, la mayoría de los valores estarán cercanos al promedio mientras que una menor cantidad de valores estarán ubicados en los extremos, para determinar el tiempo del proceso de extracción de cilindros, se realiza la distribución normal de los tiempos obtenidos, realizando los siguientes pasos:

1. Se determina el promedio de todos los tiempos que se registraron para el tiempo de extracción:

---

<sup>2</sup> Anderson, S. (2006). Estadísticas para administración y economía, Thomson, Newbold, P. (2003)

**TABLA 11. TIEMPOS MEDIDOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN**

| <b>Fecha</b>             | <b>Tiempos Medidos en el proceso de extracción</b> |         |         |         |         |
|--------------------------|--|---------|---------|---------|---------|
| <b>Diciembre 11/2012</b> | 5 seg.   | 4 seg.  | 12 seg. | 17 seg. | 4 seg.  |
|                          | 4 seg.   | 5 seg.  | 21 seg. | 6 seg.  | 4 seg.  |
|                          | 5 seg.   | 4 seg.  | 4 seg.  | 25 seg. | 11 seg. |
|                          | 6 seg.   | 4 seg.  | 5 seg.  | 4 seg.  | 5 seg.  |
|                          | 4 seg.   | 8 seg.  | 8 seg.  | 6 seg.  | 8 seg.  |
|                          | 7 seg.   |         |         |         |         |
| <b>Diciembre 13/2012</b> | 5 seg.   | 4 seg.  | 24 seg. | 10 seg. | 5 seg.  |
|                          | 33 seg.  | 7 seg.  | 8 seg.  | 4 seg.  | 92 seg. |
| <b>Diciembre 13/2012</b> | 15 seg.  | 24 seg. | 9 seg.  |         |         |
|                          | 46 seg.  | 15 seg. | 4 seg.  | 4 seg.  | 4 seg.  |
|                          | 4 seg.   |         |         |         |         |
| <b>Enero 11/2013</b>     | 5 seg.   | 4 seg.  | 12 seg. | 17 seg. | 4 seg.  |
|                          | 4 seg.   | 5 seg.  | 21 seg. | 6 seg.  | 4 seg.  |
|                          | 5 seg.   | 4 seg.  |         |         |         |
| <b>Enero 14/2013</b>     | 5 seg.   | 25 seg. | 6 seg.  | 4 seg.  | 8 seg.  |
| <b>Enero 14/2012</b>     | 58 seg.  | 19 seg. | 9 seg.  | 5 seg.  | 10 seg. |
|                          | 33 seg.  | 14 seg. | 5 seg.  | 4 seg.  |         |

| Fecha                | Tiempos Medidos en el proceso de extracción |         |         |         |         |
|----------------------|---|---------|---------|---------|---------|
|                      | 4 seg.                                      | 13 seg. | 7 seg.  | 6 seg.  | 14 seg. |
| <b>Enero 18/2013</b> | 20 seg.                                     | 4 seg.  | 10 seg. | 35 seg. | 27 seg. |
|                      | 4 seg.                                      |         |         |         |         |

Fuente: Los autores

Se introduce los datos en una hoja de cálculo y se determina el promedio  $\tilde{X}$ , de los tiempos obtenidos:

$$\tilde{X} = 11,62195122 \text{ s}$$

- El siguiente paso es medir la cercanía de cada uno de los valores respecto al promedio. Para ello se determina la desviación estándar  $\sigma$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i - \tilde{X})^2}{n}}$$

Por cada número resta la media y la diferencia elevada al cuadrado.

$$\sigma = 13,56888256$$

- Se determina la distribución Normal Z, para cada uno de los tiempos de la medidos durante el cronometraje, utilizando la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{(X_i - \tilde{X})}{\sigma}$$

En la Tabla 12, se muestra el resumen de los tiempos relacionándolos con su respectiva distribución

**TABLA 12. DISTRIBUCIÓN NORMAL**

| <b>Tiempo<br/>(s)</b> | <b>Distribución<br/>Normal</b> |
|-----------------------|--------------------------------|
| 4                     | 0,02511013                     |
| 5                     | 0,02610048                     |
| 6                     | 0,02698293                     |
| 7                     | 0,02774411                     |
| 8                     | 0,02837225                     |
| 9                     | 0,02885745                     |
| 10                    | 0,02919196                     |
| 11                    | 0,02937039                     |
| 12                    | 0,02938985                     |
| 13                    | 0,02925003                     |
| 14                    | 0,02895318                     |
| 15                    | 0,02850411                     |
| 17                    | 0,02718024                     |
| 19                    | 0,02536085                     |
| 20                    | 0,02429858                     |
| 21                    | 0,0231547                      |
| 24                    | 0,01939371                     |
| 25                    | 0,01808355                     |
| 27                    | 0,01546867                     |
| 33                    | 0,00849864                     |
| 35                    | 0,00666465                     |
| 46                    | 0,00118707                     |
| 58                    | 8,5416E-05                     |
| 92                    | 7,0568E-10                     |

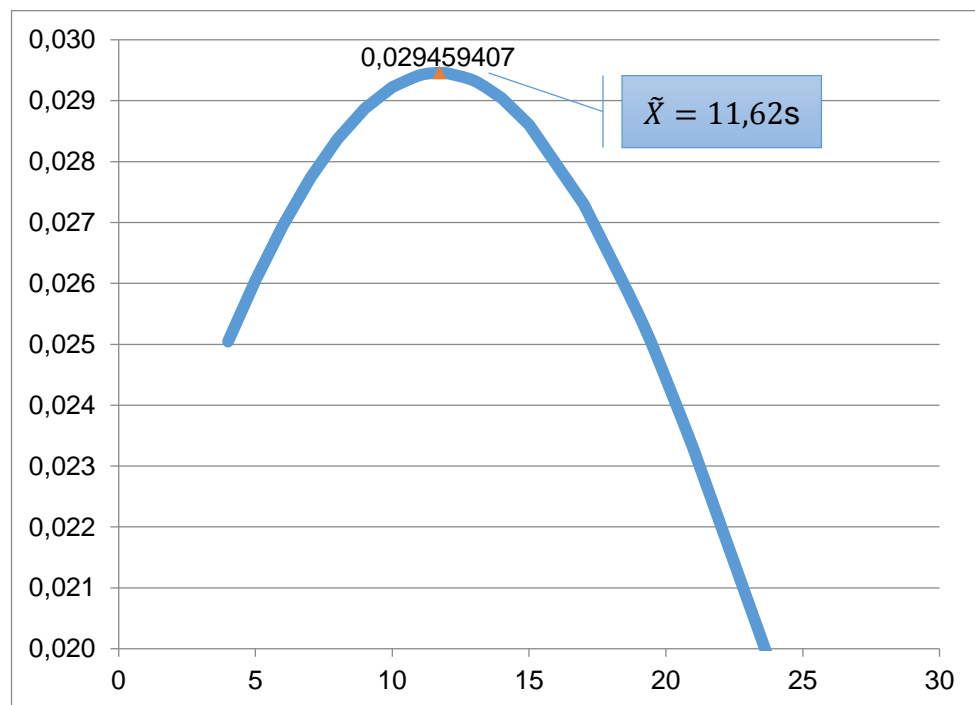
Fuente: Los autores

Graficando estos datos se obtienen la curva de Gauss como lo muestra la siguiente figura, la cual permite concluir que hay una familia de distribuciones con una forma común Tabla 13, donde la desviación estándar ( $\sigma$ ) determina el grado de apuntamiento de la curva, cuanto mayor sea el valor de  $\sigma$ , más se dispersarán los datos en torno a la media y la curva será más plana<sup>3</sup>.

Los tiempos de mayor incidencia del operario en el proceso de extracción de los cilindros están entre 5 y 30 segundos y con menor frecuencia entre tiempos mayores a 30 segundos, Tabla 14

Si se logra estandarizar o en mejor resultado disminuir el tiempo promedio de procesamiento en esta operación, esta mejora se verá reflejada en todo el sistema, aumentando la capacidad de producción de la planta.

**TABLA 13. DISTRIBUCIÓN NORMAL VALORES DE MAYOR INCIDENCIA**



Fuente: Los autores

<sup>3</sup> <http://www.aulafacil.com/CursoEstadistica/Lecc-34-est.htm>

## **5 DISEÑO CONCEPTUAL**

Este proyecto de grado pretende mejorar el proceso de extracción de cilindros de las fundidoras centrifugas horizontales, mediante la aplicación de nuevas tecnologías que permitan un trabajo más efectivo en el proceso de fabricación de cilindros; mejorando el aspecto ergonómico en las labores que desempeña el operario, teniendo en cuenta el ambiente de trabajo y presentando una propuesta viable económicamente para Industrias Lavco Ltda.

Para resolver las necesidades planteadas anteriormente, se realizó un estudio de las diferentes alternativas posibles por medio del despliegue de la función calidad (QFD), como un primer paso en la metodología de diseño.

En primer lugar determinamos los requerimientos, las restricciones y las especificaciones del diseño.

### **5.1 NECESIDADES DEL CONSUMIDOR**

Se establecen las demandas básicas de los interesados en el prototipo de extracción:

#### **5.1.1 Requerimientos.**

- Debe ser de fácil mantenimiento y reparación para las piezas que componen el sistema de extracción
- El sistema de extracción debe producir la menor contaminación auditiva posible.
- El dispositivo extractor debe tener una vida útil no inferior a 15 años
- Bajos costos de fabricación
- Bajos costos de mantenimiento

- El dispositivo debe funcionar mediante activación automática

### **5.1.2 Restricciones.**

- No exceda el tamaño de la fundidora centrífuga.
- El dispositivo debe ser fácil de manejar
- Se debe tener en cuenta la Temperatura a la que se funden los cilindros para seleccionar los materiales del dispositivo extractor
- Los espacios para realizar la extracción son limitados por la distribución de las fundidoras centrífugas en la planta, deben tenerse en cuenta para la realización del diseño.

### **5.1.3 Especificaciones.**

- El tiempo de extracción debe ser menor a 10 segundos
- Extracción de camisas de diámetros entre 2 y 4 pulgadas
- El peso no debe superar los 30 kilos

De acuerdo a la investigación bibliográfica realizada, se exponen varias alternativas de diseño del extractor neumático.

## **5.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS CONCEPTUALES**

Procedemos a plantear alternativas de solución, de las cuales se escogerá la que más se ajuste al perfil según los requerimientos del cliente tomando como referencia algunos modelos existentes.

### **5.2.1 Alternativa 1. Golpe de Ariete (Por impacto trasero).**

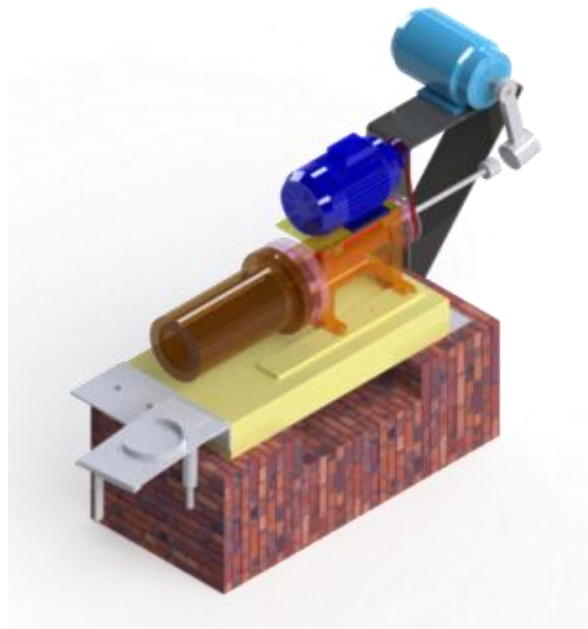
#### **Descripción:**

Este dispositivo consta de un eje con una de sus puntas roscada a su tuerca y arandela, además de un disco y un mazo unido a un motor para generar el impacto, Figuras 24 y 25.

#### **Caracterización:**

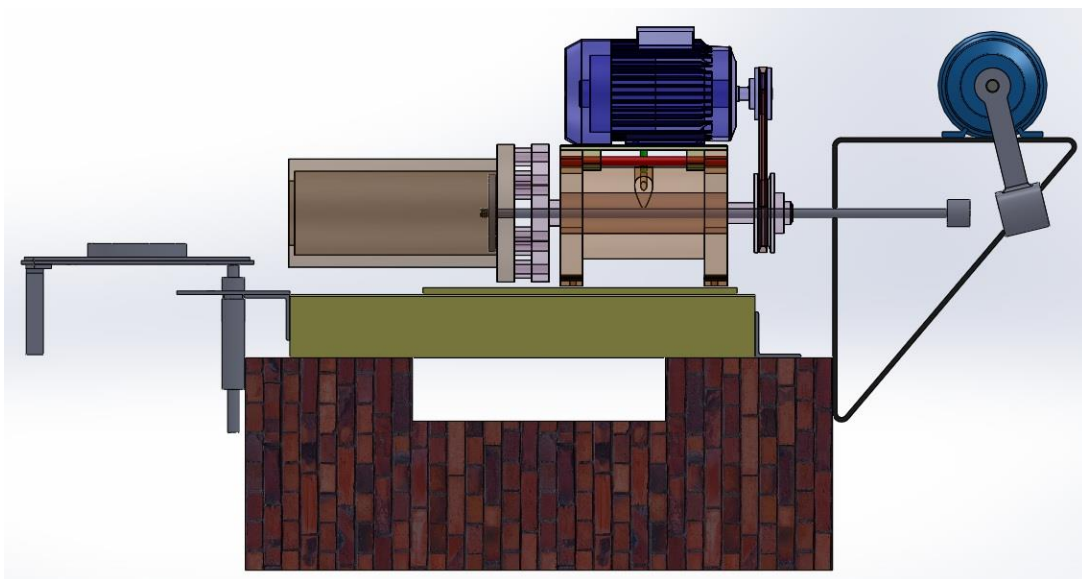
- Un dispositivo por cada fundidora centrífuga, FIJO.
- Este dispositivo formaría parte de la fundidora centrífuga
- Poca disposición de espacio para el montaje del eje que lleva el impacto.
- Fácil instalación pero debe realizarse diariamente en cada coquilla
- Se necesitan fabricar 30 dispositivos para todas las fundidoras centrífugas.
- Se deben agrandar los orificios de las coquillas
- Poco espacio para el funcionamiento del dispositivo.
- Debido al poco contacto en el impacto podríamos decir que la camisa quedaría a mitad de la coquilla
- Costo de fabricación altos.

**FIGURA 22. ALTERNATIVA 1. VISTA ISOMÉTRICA**



Fuente: Los autores

**FIGURA 23. ALTERNATIVA 1. VISTA FRONTAL**



Fuente: Los autores

### 5.2.2 Alternativa 2 expulsión mediante eje roscado unido a un disco (Por presión).

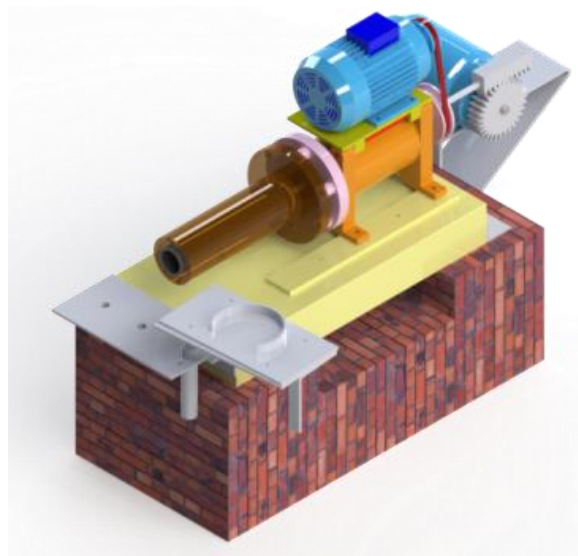
#### Descripción:

Este dispositivo consta de un disco o plato además de un eje con una de sus puntas roscadas y el otro extremo consta de un sistema cremallera-piñón unido a un motor.

#### Caracterización:

- Se necesita un dispositivo por cada fundidora centrífuga. FIJO
- La disposición de espacio de funcionamiento se optimiza pero sigue siendo una limitante.
- La camisa sale por la presión ejercida sobre el sinfín-corona.
- Aun por disposición de espacio, la camisa no sale completamente.

**FIGURA 24. ALTERNATIVA 2. VISTA ISOMÉTRICA**



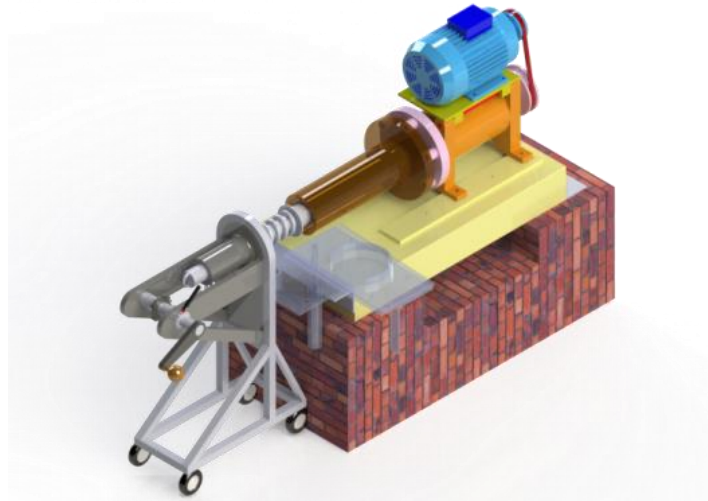
Fuente: Los autores

**FIGURA 25. ALTERNATIVA 2. VISTA FRONTAL**



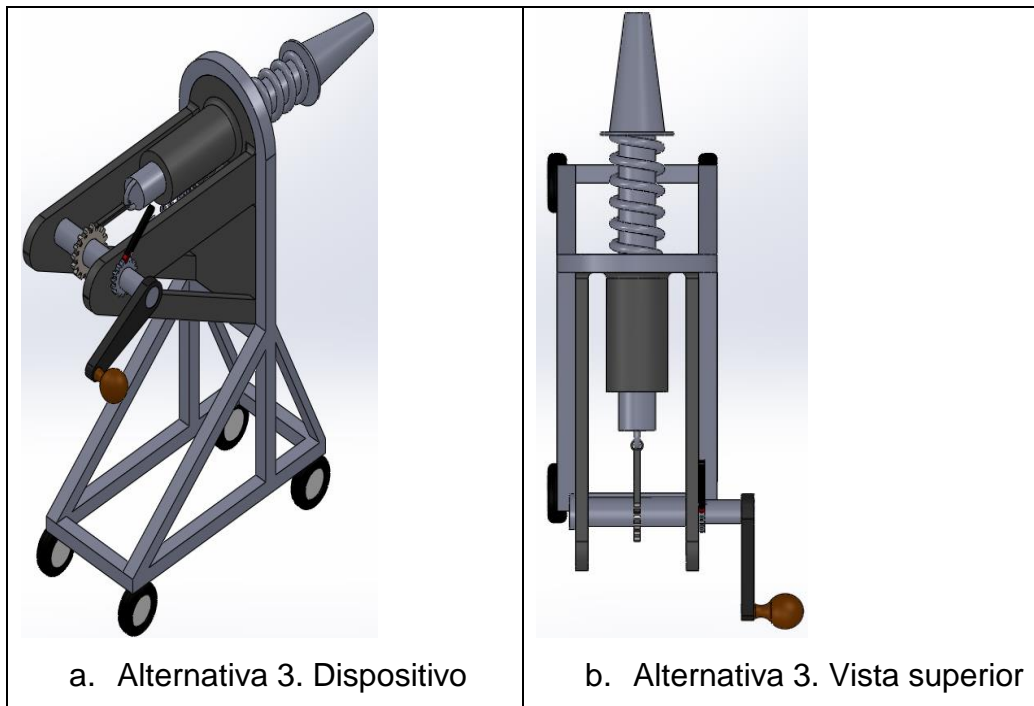
- Funcionamiento netamente manual.

**FIGURA 26. ALTERNATIVA 3. VISTA ISOMÉTRICA**



Fuente: Los autores

**FIGURA 27. VISTAS ALTERNATIVA 3.**



#### 5.2.4 Alternativa 4. Cono de extracción.

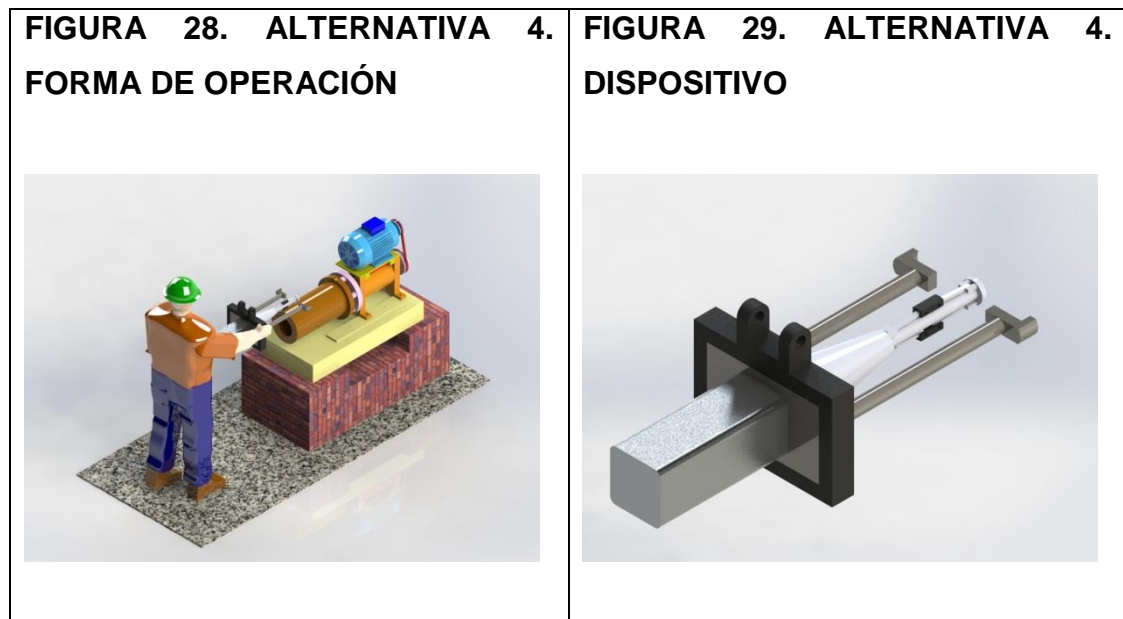
##### Descripción:

Este dispositivo consta de:

- Cono para impacto hueco
- Cilindro neumático
- Sistemas de sujeción interna de la camisa
- Sistema de control

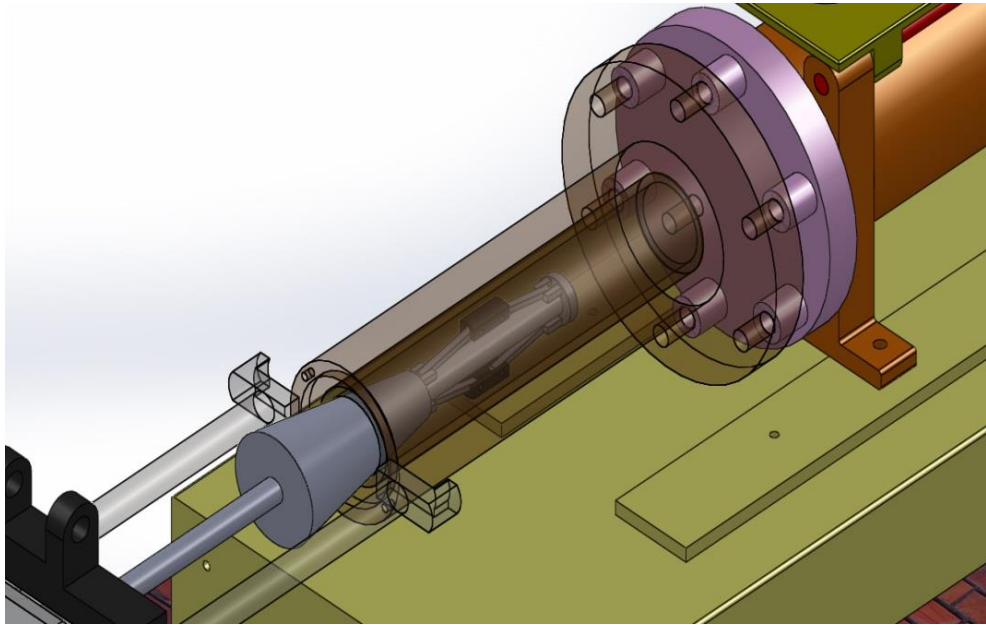
##### Caracterización:

- Dispositivo móvil. (uno por zona de trabajo, es decir, 6 extractores de camisas).
- Fácil montaje al momento de operación.
- Disminución de costos de fabricación, ya que serían solo 6.
- Funcionamiento automático



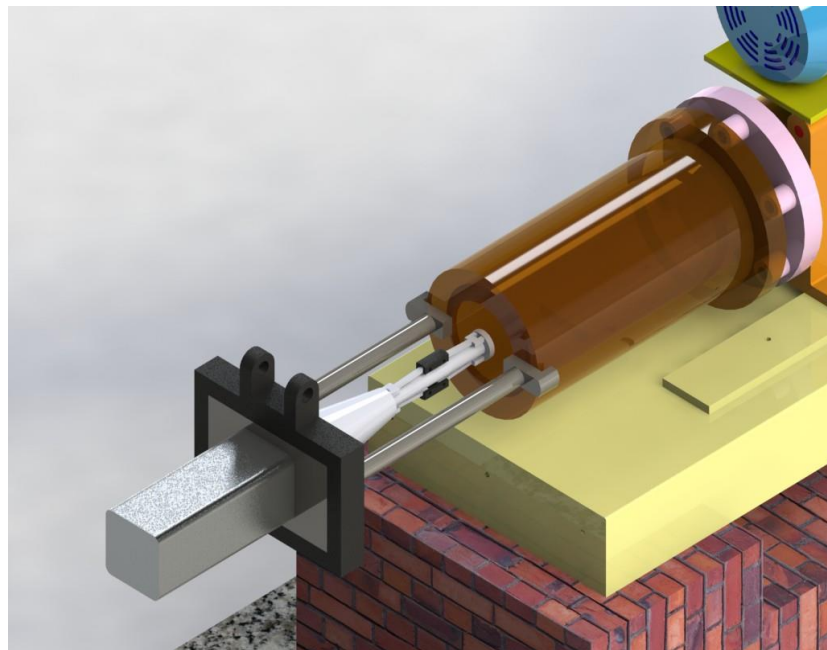
Fuente: Los autores

**FIGURA 30. ALTERNATIVA 4. CONO EXTRACTOR**



Fuente: Los autores

**FIGURA 31. ALTERNATIVA 4. DISPOSITIVO INSTALADO**



Fuente: Los autores

### 5.3 MATRIZ DE CALIDAD

Los requerimientos del cliente se introducen en la primera columna. En la primera fila se insertan las restricciones y las especificaciones de diseño. Se relacionan los requerimientos del cliente con los parámetros de diseño mediante un valor que representa el grado de importancia (1 las más baja, 10 las más alta). Por último se calcula el peso ponderado de cada parámetro sumando cada valor y calculando el porcentaje de acuerdo al máximo obtenido por cada columna.

**TABLA 14. MATRIZ DE CALIDAD**

| MATRIZ DE CALIDAD |          | Importancia                    | 1                        | 2                       | 3           | 4                    | 5                               | 6         | 7                       | 8          |
|-------------------|----------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|----------------------|---------------------------------|-----------|-------------------------|------------|
|                   |          |                                | Accionamiento automático | Velocidad de extracción | Dimensiones | Costo de fabricación | Geometría del sistema extractor | Ergonomía | Costo del mantenimiento | Materiales |
| OPERACIÓN Y USO   | Versátil | Fácil de operar                | 10                       | 8                       | 1           | 2                    | 8                               | 9         | 2                       | 2          |
|                   | Potente  | Eficiencia de operación        | 10                       | 9                       | 4           | 4                    | 2                               | 1         | 1                       | 4          |
| VIDA LARGA        | Poco     | Económico                      | 10                       | 2                       | 4           | 10                   | 6                               | 2         | 5                       | 8          |
|                   |          | Repuestos fáciles de conseguir | 4                        | 2                       | 7           | 1                    | 3                               | 1         | 7                       | 2          |

| MATRIZ DE CALIDAD |  | Importancia              |                         |             |                      |                                 |           |                         |            |
|-------------------|--|--------------------------|-------------------------|-------------|----------------------|---------------------------------|-----------|-------------------------|------------|
|                   |  | 1                        | 2                       | 3           | 4                    | 5                               | 6         | 7                       | 8          |
|                   |  | Accionamiento automático | Velocidad de extracción | Dimensiones | Costo de fabricación | Geometría del sistema extractor | Ergonomía | Costo del mantenimiento | Materiales |
| SEGURIDAD         | Fácil de armar y desarmar                  | 5                        | 3                       | 7           | 3                    | 9                               | 6         | 5                       | 5          |
|                   | Soporta altas temperaturas                 | 3                        | 4                       | 1           | 2                    | 8                               | 9         | 1                       | 10         |
|                   | Baja contaminación                         | 2                        | 4                       | 1           | 2                    | 8                               | 9         | 1                       | 10         |
|                   | Proteger a los operarios de las fundidoras | 10                       | 3                       | 1           | 2                    | 6                               | 9         | 1                       | 7          |
| <b>RESULTADOS</b> |  | 54                       | 35                      | 26          | 26                   | 50                              | 46        | 22                      | 48         |

Fuente: Los autores

## 5.4 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

**5.4.1 Ponderación de Resultados.** La ponderación se hizo de acuerdo a la puntuación de 1 a 10 en cada ítem y con un máximo de 80 puntos por ítem asignados como muestra en la tabla 15.

Después de analizar los resultados concluimos que los ítems más importantes para el diseño son:

- Accionamiento automático
- Geometría del sistema extractor
- Materiales
- Ergonomía

**TABLA 15. RESULTADOS PONDERADOS**

| ITEM                                   | Ponderación |
|--|-------------|
| <b>Accionamiento automático</b>        | 67,5%       |
| <b>Geometría del sistema extractor</b> | 62,5%       |
| <b>Materiales</b>                      | 60,0%       |
| <b>Ergonomía</b>                       | 57,5%       |
| <b>Velocidad de extracción</b>         | 43,8%       |
| <b>Dimensiones</b>                     | 32,5%       |
| <b>Costo de fabricación</b>            | 32,5%       |
| <b>Costo del mantenimiento</b>         | 27,5%       |

Fuente: Los autores

Por lo expuesto en el análisis de alternativas determinamos que la alternativa que cumple con estos requerimientos a cabalidad es la alternativa 4.

## 6 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Se trata de un prototipo neumático, el cual estará dispuesto de forma horizontal frente a las fundidoras centrifugas horizontales de la planta de producción. Este dispositivo se fija a la estructura durante la operación, por un sistema de sujeción accionado por un cilindro neumático de doble efecto. Posteriormente, la electroválvula permite mediante su accionamiento la expulsión del embolo que impacta el cilindro dentro de la maquina centrifuga y que en el retroceso realiza el proceso de extracción. Al terminar la operación, se retira el sistema de extracción de la coquilla de la fundidora y se libera la camisa que se extrae.

El concepto general de diseño de la máquina resulta en una estructura única e independiente, de fácil manejo, siendo acorde con las exigencias del trabajo que realizará. El aspecto final del diseño se muestra en la figura 34.

**FIGURA 32. ASPECTO FINAL DEL DISEÑO.**



Fuente: Los autores

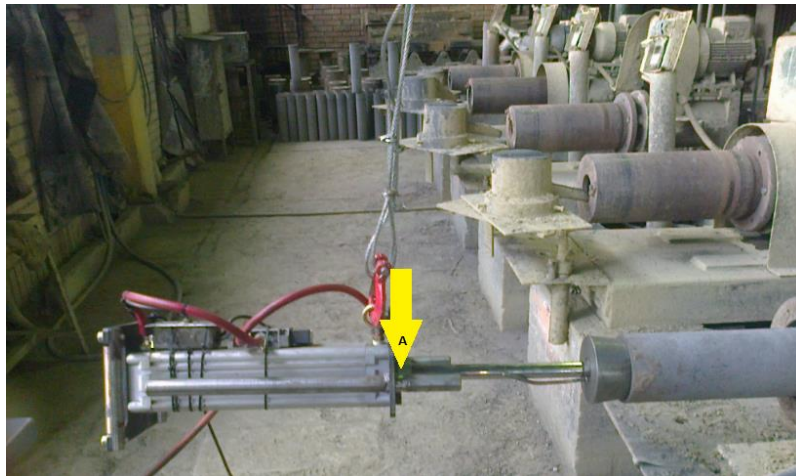
La máquina está compuesta por los conjuntos que se muestran en la figura 34. Estos pueden resumirse en:

- Estructura de apoyo.
- Sujetadores internos.
- Cono de impacto.
- Cilindro neumático.
- Electroválvula de control.

### 6.1 ANÁLISIS DE FUERZA EN EL EJE DEL CILINDRO

En este punto explicaremos el análisis de fuerzas en el punto A según lo indica la siguiente figura

**FIGURA 33. ANALISIS DE FUERZAS EN EL PUNTO A.**



Fuente: Los autores

Las fuerzas que actúan en este punto sobre el dispositivo extractor son las siguientes.

P1: Peso del sistema extractor

P2: Fuerza de tensión de la guaya

P3: Peso del cilindro que se extrae

P4: Fuerza de fricción que ejerce la coquilla de la fundidora sobre el cilindro que se va a extraer

P5: Fuerza de empuje necesaria para extraer el cilindro.

El análisis en el Punto A se hace cuando el cilindro se encuentra con toda su carrera extendida

**FIGURA 34. DIAGRAMA DE FUERZAS.**



Fuente: Los autores

$$\sum Fy = 0$$

$$P2 - P1 - P3 = 0$$

$$P1 = 25 \text{ Kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P1 = 245.25 \text{ N}$$

$$P3 = 8 \text{ Kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P3 = 78.48 \text{ N}$$

$$P2 = P1 + P3$$

$$P2 = 245.25 \text{ N} + 78.48 \text{ N}$$

$$P2 = 323.73 \text{ N}$$

La fuerza P4 que es la resistencia que se ejerce sobre el cilindro dentro de la coquilla de la fundidora centrifuga fue determinada mediante un dinamómetro con pruebas manuales simulando con un operador la extracción tradicional que ellos realizan en sus labores diarios. Esta fuerza tiene un valor maximo de 972 N

$$\sum FX = 0$$

$$P5 - P4 = 0$$

$$P5 = 972 \text{ N}$$

$$P4 = 972 \text{ N}$$

En el punto A, se genera un momento que tiene un valor de:

$$M1 = 78.48 \text{ N} \times 250 \text{ mm}$$

$$M1 = 19620 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M1 = 19.620 \text{ N} \cdot \text{m}$$

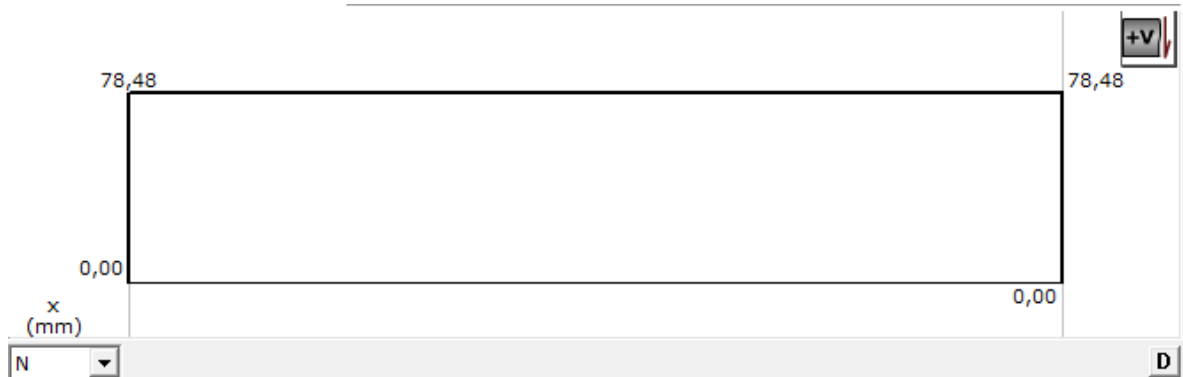
En el análisis de Fuerza constante y Momento se tuvo en cuenta el diagrama de cuerpo libre del eje del cilindro, diagrama de fuerzas cortantes y diagrama de momentos.

**FIGURA 35. DIAGRAMA DE FUERZAS.**



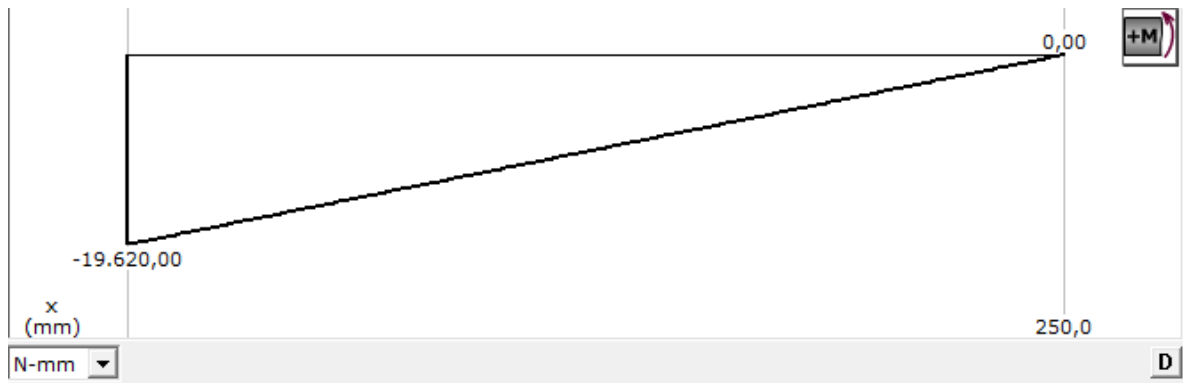
Fuente: Los autores

**FIGURA 36. DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES.**



Fuente: Los autores

**FIGURA 37. DIAGRAMA DE MOMENTOS.**



Fuente: Los autores

## 6.2 FACTOR DE SEGURIDAD

Según (Hamrock, 2000) El factor de seguridad es:  $n_s = n_{sx} \times n_{sy}$

$n_{sx}$  = Factor de seguridad que involucra características A, B y C

A = Calidad de los materiales, destreza, mantenimiento e inspección

*B = Control sobre la carga aplicada a la parte*

*C = Exactitud del análisis de esfuerzo, información experimental o experiencias con dispositivos similares*

*n<sub>sy</sub> = Factor de seguridad que involucra características D y E*

*D = Peligro para el personal*

*E = Impacto económico*

En la tabla 1. Se proporcionan los valores de  $n_{sx}$  para varias condiciones de A, B y C. Para utilizar esta tabla, se estima cada característica para una aplicación particular como muy buena (mb), buena (b), regular (r) o pobre (p) En la tabla 2. Se muestran los valores de  $n_{sy}$  para varias condiciones de D y E. Para utilizar esta tabla, se estima cada característica para una aplicación particular como muy seria (ms), seria (s) o no sería (ns).

**TABLA 16. CARACTERÍSTICAS DEL FACTOR DE SEGURIDAD A, B Y C**

Características de factor de seguridad A, B y C.

| Característica <sup>a</sup> |    | B =  |      |      |      |
|-----------------------------|----|------|------|------|------|
|                             |    | mb   | b    | r    | p    |
| A = mb                      | mb | 1.1  | 1.3  | 1.5  | 1.7  |
|                             | b  | 1.2  | 1.45 | 1.7  | 1.95 |
|                             | r  | 1.3  | 1.6  | 1.9  | 2.2  |
|                             | p  | 1.4  | 1.75 | 2.1  | 2.45 |
| A = b                       | mb | 1.3  | 1.55 | 1.8  | 2.05 |
|                             | b  | 1.45 | 1.75 | 2.05 | 2.35 |
|                             | r  | 1.6  | 1.95 | 2.3  | 2.65 |
|                             | p  | 1.75 | 2.15 | 2.55 | 2.95 |
| A = r                       | mb | 1.5  | 1.8  | 2.1  | 2.4  |
|                             | b  | 1.7  | 2.05 | 2.4  | 2.75 |
|                             | r  | 1.9  | 2.3  | 2.7  | 3.1  |
|                             | p  | 2.1  | 2.55 | 3.0  | 3.45 |
| A = p                       | mb | 1.7  | 2.15 | 2.4  | 2.75 |
|                             | b  | 1.95 | 2.35 | 2.75 | 3.15 |
|                             | r  | 2.2  | 2.65 | 3.1  | 3.55 |
|                             | p  | 2.45 | 2.95 | 3.45 | 3.95 |

<sup>a</sup> mb = muy bien, b = bien, r = regular y p = pobre.

A = calidad de los materiales, mano de obra, mantenimiento e inspección.

B = control sobre la carga aplicada a la parte.

C = exactitud del análisis de esfuerzos, de la información experimental o de la experiencia con partes similares.

**TABLA 17. CARACTERÍSTICAS DEL FACTOR DE SEGURIDAD D Y E**

Características del factor de seguridad D y E.

| Característica <sup>a</sup> | D = |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|
|                             | ns  | s   | ms  |
| E = {                       |     |     |     |
| ns                          | 1.0 | 1.2 | 1.4 |
| s                           | 1.0 | 1.3 | 1.5 |
| ms                          | 1.2 | 1.4 | 1.6 |

<sup>a</sup> ms = muy serio, s = serio y ns = no serio.

D = peligro para el personal.

E = impacto económico.

Para el diseño de este extractor neumático tenemos las siguientes características:

*A = Muy buena*

*B = Muy buena*

*C = Muy buena*

*D = Serio*

*E = Muy serio*

Teniendo en cuenta estos criterios y estas tablas tenemos el siguiente factor de diseño:

$$n_s = 1.1 \times 1.4$$

$$n_s = 1.54$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1.54$$

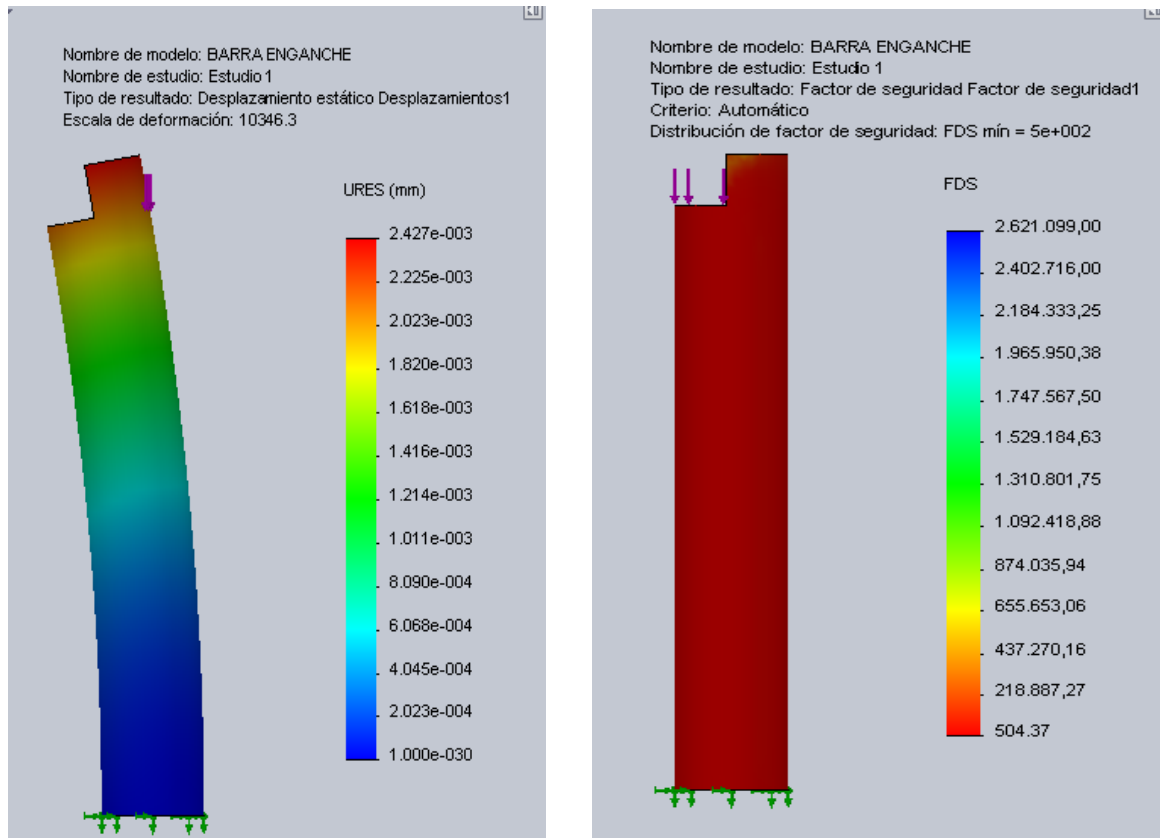
$$\text{Fuerza requerida para el diseño} = 972N \times 1.54$$

$$\text{Fuerza requerida para el diseño} = 1496 N$$

Según los cálculos anteriores obtenemos un factor de seguridad igual a: 1,54 seleccionamos el cilindro neumático con una fuerza en el avance 1870 N y en el retroceso de 1682 N.

El material seleccionado el respectivo análisis de cargas acompañado del factor de seguridad, el cual nos está garantizando que la geometría de la pieza según el material va a resistir la carga.

**FIGURA 38. CAE BARRA DE ENGANCHE.**

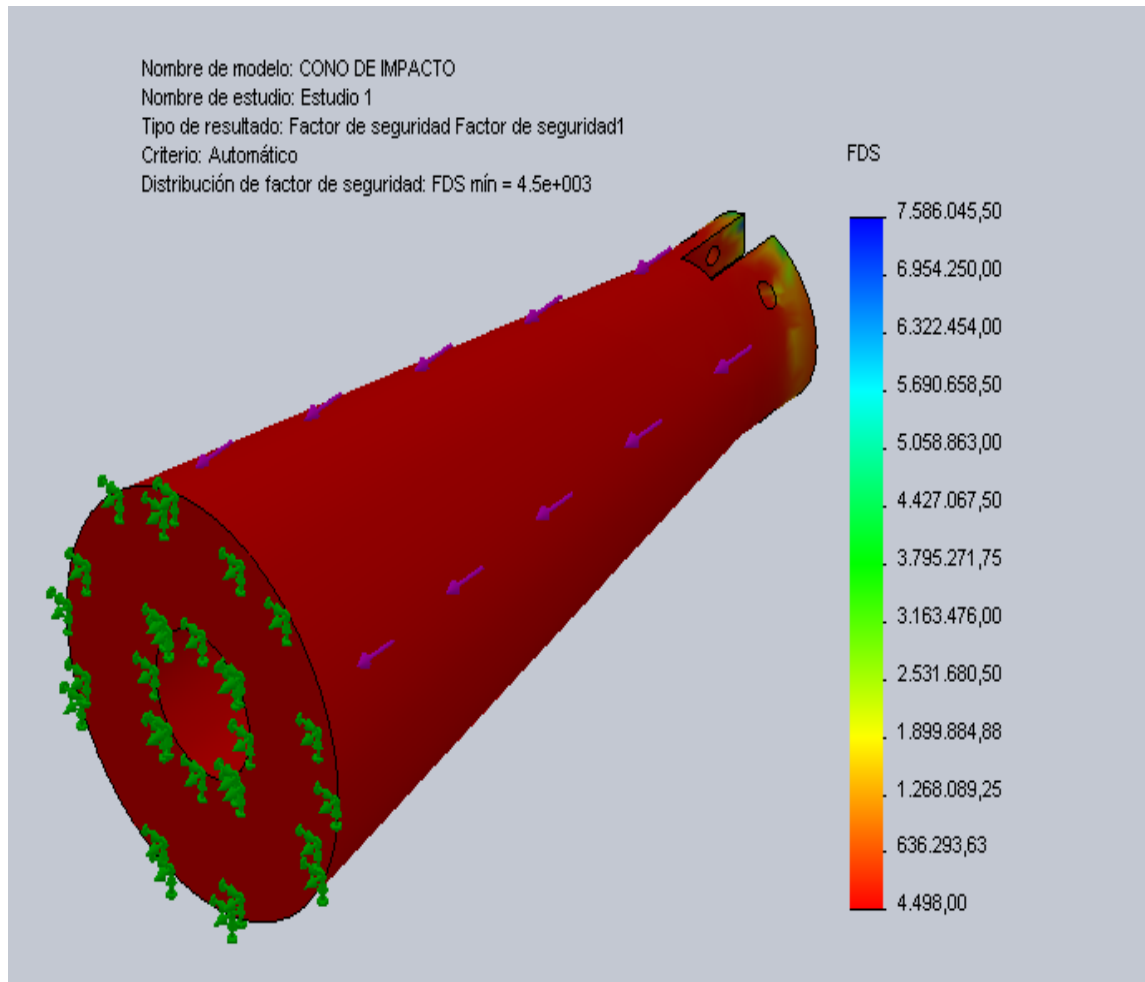


Fuente: Los autores

Seguido de este, nos encontramos con el cono de impacto que es la segunda pieza que tiene contacto con la camisa que se encuentra dentro de la coquilla, para esta se utilizó Fundición Gris con el fin de conservar el estado de la camisa al recibir el impacto.

De igual manera según el material seleccionado se realiza el respectivo análisis de cargas:

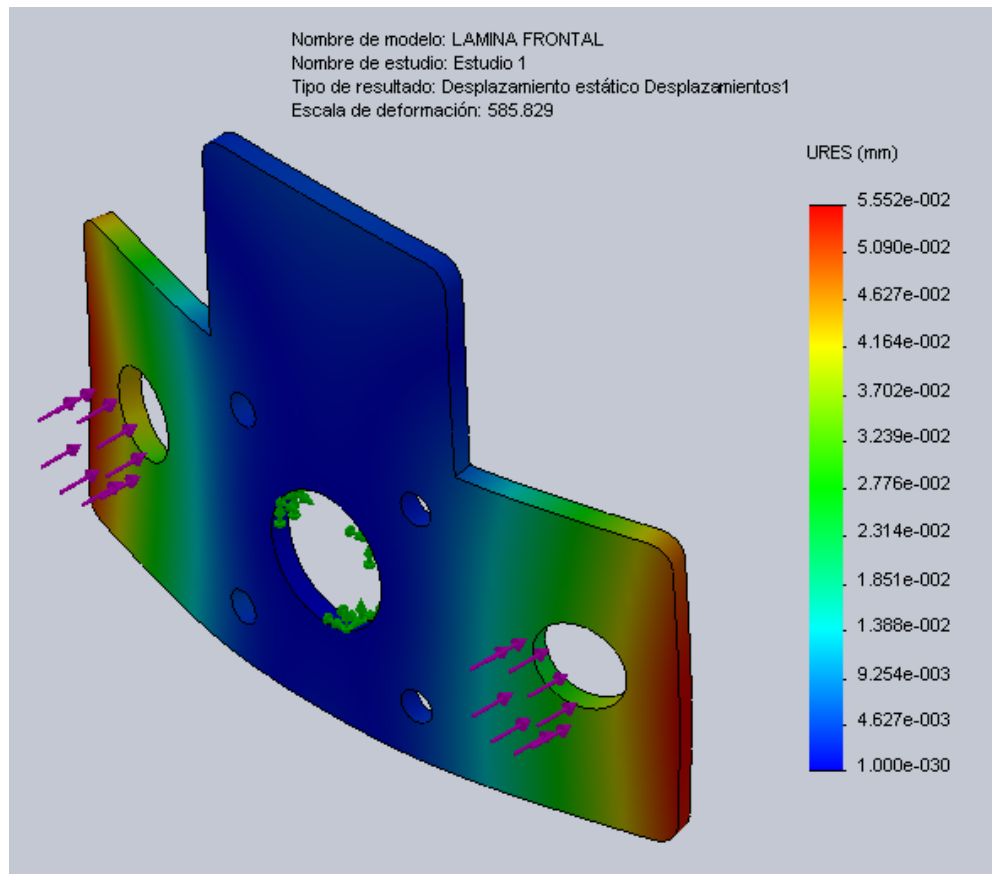
**FIGURA 39. CAE CONO DE ENGANCHE.**



Fuente: Los autores

En esta primera parte también está involucrada la platina frontal de la cual se presenta su respectivo análisis de cargas.

**FIGURA 40. CAE PLATINA FRONTAL.**

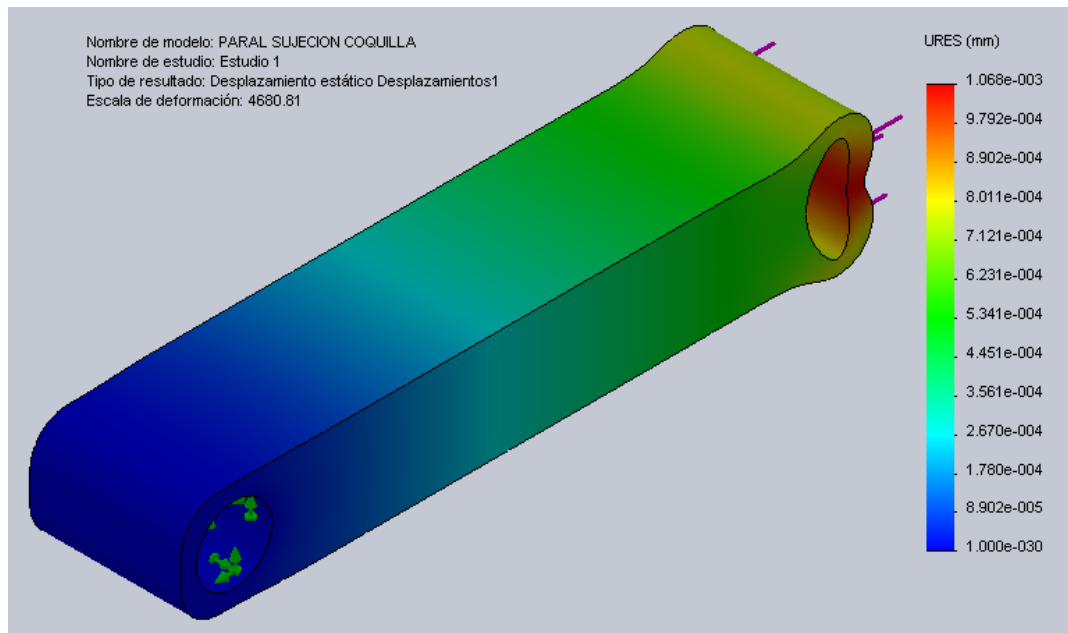


Fuente: Los autores

Durante el primer paso, se enfoca el análisis en el impacto, En segunda instancia se analiza la extracción, donde se observó los dos (2) elementos que realizan la tarea de la sujeción para que la parte interna de la camisa no se deslice al momento de sacarla de la coquilla. Estos elementos son los paralelos de sujeción y tiene la función de inmovilizar la parte interna de la camisa.

Para el Paral de sujeción tenemos el siguiente análisis de cargas para Acero AISI 1020. Ver siguiente Figura.

**FIGURA 41. CAE PARAL DE SUJECCIÓN**



Fuente: Los autores

### 6.3 PARTES DE LA MÁQUINA

**6.3.1 Sistema de Control.** El control del sistema será realizado manualmente mediante una electroválvula direccional, Figura 40.

#### 1) Electro válvula MFH-5- 1/4

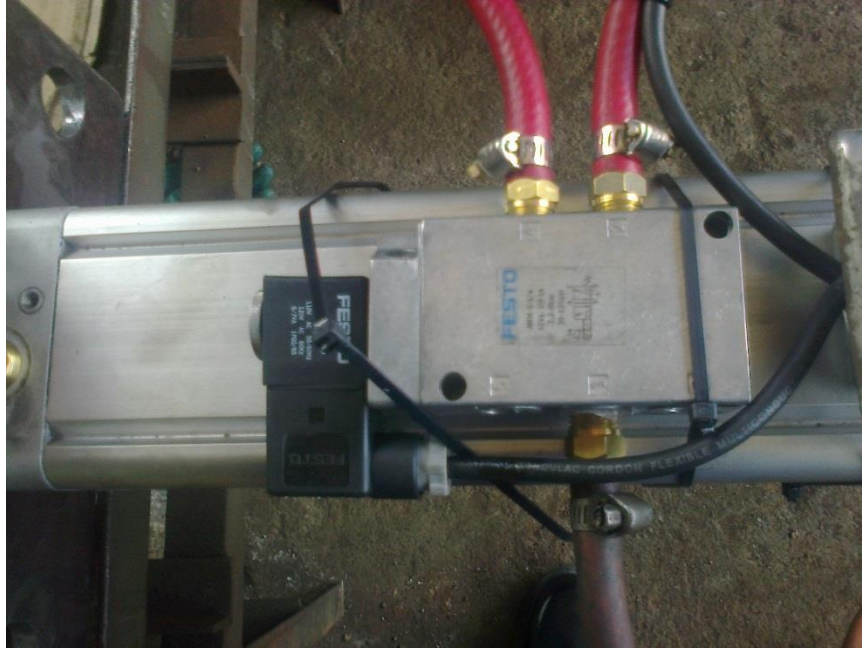
Es una válvula de accionamiento manual mediante un botón de encendido y apagado; el operador acciona el cilindro este avanza y retrocede cuando el operario acciona el botón nuevamente. Realiza el control direccional del sistema neumático y del actuador de doble efecto.

Las características de esta válvula son:

- Marca: FESTO
- Operación: acción directa.
- Lubricación: no requiere lubricación.

- Presión de operación: psi.
- Temperatura: 0 – 80 C.

**FIGURA 42. VÁLVULA DIRECCIONAL**



Fuente: Los autores

En el ANEXO B puede apreciarse la hoja de datos de la válvula.

**6.3.2 Sistema de Fuerza.** Se utiliza un cilindro de funcionamiento neumático de doble efecto, capaz de entregar la fuerza necesaria para el golpe inicial de extracción.

**1) Cilindro Neumático.**

Para calcular la fuerza que requería el cilindro, se utilizó un dinamómetro mecánico, como se muestra en la figura para medir la fuerza que el operario ejerce para sacar las camisas de la centrifuga.

El dinamómetro emplea mecanismos de carga hidráulica y resorte que leen las capacidades funcionales de la misma forma que lo harían basculas pequeñas<sup>4</sup> que miden en forma de peso, Kg (lo cual es reconocido internacionalmente) para el caso libras.

**FIGURA 43. MANÓMETRO MECÁNICO**



Fuente: <http://dinamometro.sensoryprecision.com/>

Al realizar las mediciones, se requiere que el cilindro ejerza una fuerza mínima de 972 N. Por lo cual se decide utilizar un cilindro de funcionamiento neumático de doble efecto, capaz de entregar la fuerza necesaria para el golpe inicial de extracción.

Las características de este cilindro son:

- Marca: FESTO
- Carrera 270 mm
- Diámetro del émbolo 80 mm

---

<sup>4</sup> <http://dinamometro.sensoryprecision.com/>

- Rosca del vástago M16x1,5
- Fuerza teórica con 6 Bares, retroceso 1.682 N
- Fuerza teórica con 6 Bares, avance 1.870 N.

En el ANEXO A puede apreciarse la hoja de datos del cilindro.

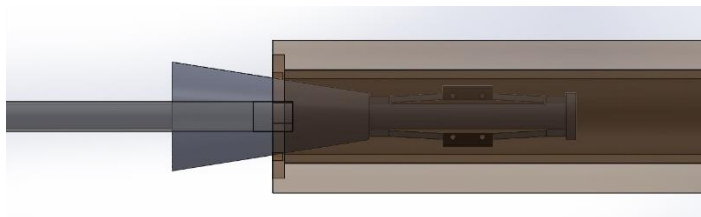
**FIGURA 44. CILINDRO**



Fuente: Los autores

**6.3.3 Sujetadores Internos.** Esta parte de la maquina permite la sujeción del sistema extractor con la parte interna del cilindro que se encuentra dentro de la fundidora y que está a punto de ser extraído de esta.

**FIGURA 45. SUJETADORES**



Fuente: Los autores

**6.3.4 Cono Extractor.** El cono extractor tiene como función generar el impacto a la coquilla una vez el cilindro neumático es accionado. De esta manera el cilindro se desprende de la coquilla de la maquina centrifuga y facilita su extracción.

**FIGURA 46. CONO EXTRACTOR**



Fuente: Los autores

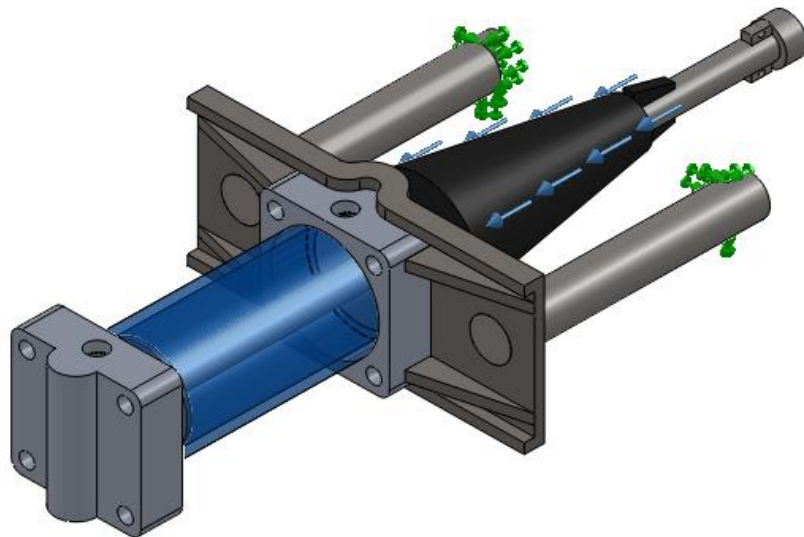
**6.3.5 Eje de Ensamble.** El cono extractor tiene como función generar el impacto a la coquilla una vez el cilindro neumático es accionado. De esta manera el cilindro se desprende de la coquilla de la maquina centrifuga y facilita su extracción.

#### **6.4 CAE**

Una vez determinado el diseño final del prototipo se realiza la simulación con ayuda del software SolidWorks con el objetivo de analizar el comportamiento del prototipo

antes las cargas determinadas, observar las deformaciones en sus componentes y los máximos esfuerzos soportados por el ensamble. Adicional el análisis del CAE del prototipo permitirá evaluar si es necesario rediseñar algún componente o seleccionar mejor un material para la posterior fabricación del mismo.

**FIGURA 47. CAE DISPOSITIVO DE EXTRACCIÓN**



Fuente: Los autores

**TABLA 18. PROPIEDADES DEL SISTEMA EXTRACTOR**

| Nombre de documento y referencia   | Tratado como  | Propiedades volumétricas   | Ruta al documento/Fecha de modificación   |
|--|---------------|--|---|
| <p>Cortar-Extruir1</p>    | <p>Sólido</p> | <p>Masa:2.37976 kg</p> <p>Volumen:0.000301235 m<sup>3</sup></p> <p>Densidad:7900 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso:23.3216 N</p>  | <p>H:\ALTERNATIVA_15-NEUMATICA-oct-21-2013\BARRA ENGANCHE.SLDPRТ</p> <p>01/10/2021 6:08</p>   |
| <p>Cortar-Extruir1</p>   | <p>Sólido</p> | <p>Masa:2.37976 kg</p> <p>Volumen:0.000301235 m<sup>3</sup></p> <p>Densidad:7900 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso:23.3216 N</p>  | <p>H:\ALTERNATIVA_15-NEUMATICA-oct-21-2013\BARRA ENGANCHE.SLDPRТ</p> <p>01/10/2021 6:08</p>   |
| <p>Cortar-Extruir4</p>  | <p>Sólido</p> | <p>Masa:0.986979 kg</p> <p>Volumen:0.000365548 m<sup>3</sup></p> <p>Densidad:2700 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso:9.67239 N</p> | <p>H:\ALTERNATIVA_15-NEUMATICA-oct-21-2013\BASE-CILINDRO_1.SLDPRТ</p> <p>01/05/2010 10:43</p> |

|  |               |   |  |
|--|---------------|---|--|
| <p>Cortar-Extruir5</p>    | <p>Sólido</p> | <p>Masa:1.0681 kg</p> <p>Volumen:0.000395593 m<sup>3</sup></p> <p>Densidad:2700 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso:10.4674 N</p>  | <p>H:\ALTERNATIVA_15-NEUMATICA-oct-21-2013\BASE-CILINDRO_2.SLDPRT</p> <p>01/05/2014 19:52</p>        |
| <p>Saliente-Extruir2</p>  | <p>Sólido</p> | <p>Masa:2.12204 kg</p> <p>Volumen:0.000268613 m<sup>3</sup></p> <p>Densidad:7900 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso:20.796 N</p>  | <p>H:\ALTERNATIVA_15-NEUMATICA-oct-21-2013\BASTAGO_1.SLDPRT</p> <p>01/10/2009 10:07</p>              |
| <p>Cortar-Extruir1</p>  | <p>Sólido</p> | <p>Masa:1.66193 kg</p> <p>Volumen:0.000615531 m<sup>3</sup></p> <p>Densidad:2700 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso:16.2869 N</p> | <p>H:\ALTERNATIVA_15-NEUMATICA-oct-21-2013\CARCAZA_1.SLDPRT</p> <p>01/05/2012 19:46</p>              |
| <p>Cortar-Extruir6</p>  | <p>Sólido</p> | <p>Masa:6.67096 kg</p> <p>Volumen:0.000926523 m<sup>3</sup></p> <p>Densidad:7200 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso:65.3754 N</p> | <p>H:\ALTERNATIVA_15-NEUMATICA-oct-21-2013\CONO DE IMPACTO - copia.SLDPRT</p> <p>01/10/2021 5:02</p> |

|   |               |   |   |
|---|---------------|---|---|
| <p>Cortar-Extruir1</p>   | <p>Sólido</p> | <p><b>Masa:1.52235 kg</b></p> <p><b>Volumen:0.000192703 m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Densidad:7900 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Peso:14.9191 N</b></p> | <p><b>H:\ALTERNATIVA_15-NEUMATICA-oct-21-2013\EXTENSION VASTAGO CILINDRO.SLDPRT</b></p> <p>01/10/2021 17:44</p> |
| <p>Corta r-Extruir3</p>  | <p>Sólido</p> | <p><b>Masa:4.22117 kg</b></p> <p><b>Volumen:0.000537729 m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Densidad:7850 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Peso:41.3675 N</b></p> | <p><b>H:\ALTERNATIVA_15-NEUMATICA-oct-21-2013\LAMINA FRONTAL.SLDPRT</b></p> <p>01/10/2021 3:54</p>              |

**TABLA 19. PROPIEDADES DEL ESTUDIO**

|  |   |
|--|---|
| <b>Nombre de estudio</b>   | Estudio 1   |
| <b>Tipo de análisis</b>  | Estático  |
| <b>Tipo de malla</b>   | Malla sólida  |
| <b>Efecto térmico:</b>   | Activar   |
| <b>Opción térmica</b>  | Incluir cargas térmicas   |
| <b>Temperatura a tensión cero</b>  | 298 Kelvin  |
| <b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SolidWorks Flow Simulation</b> | Desactivar  |
| <b>Tipo de solver</b>  | FFEPlus   |
| <b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>                                 | Desactivar  |
| <b>Muelle blando:</b>  | Desactivar  |
| <b>Desahogo inercial:</b>  | Desactivar  |
| <b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>  | Automática  |
| <b>Gran desplazamiento</b>   | Desactivar  |
| <b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>  | Activar   |
| <b>Fricción</b>  | Desactivar  |
| <b>Utilizar método adaptativo:</b>   | Desactivar  |
| <b>Carpeta de resultados</b>   | Documento de SolidWorks (H:\ALTERNATIVA_15-NEUMATICA-oct-21-2013) |

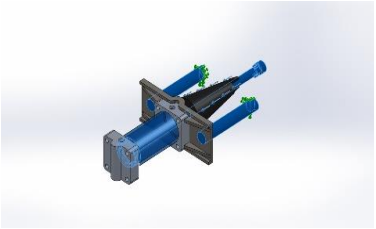
Fuente: Los autores

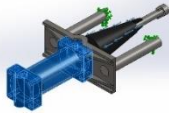
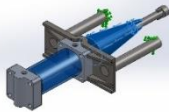
**TABLA 20. UNIDADES**

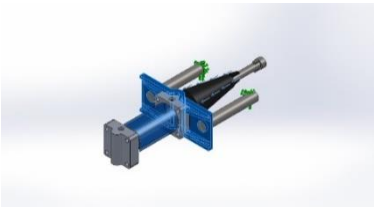
|                                |                  |
|--------------------------------|------------------|
| <b>Sistema de unidades:</b>    | Métrico (MKS)    |
| <b>Longitud/Desplazamiento</b> | Mm               |
| <b>Temperatura</b>             | Kelvin           |
| <b>Velocidad angular</b>       | Rad/seg          |
| <b>Presión/Tensión</b>         | N/m <sup>2</sup> |

Fuente: Los autores

**TABLA 21. PROPIEDADES DEL SISTEMA EXTRACTOR**

| Referencia de modelo  | Propiedades   | Componentes   |
|---|---|---|
|  | <b>Nombre:</b> AISI 1020                                    | Sólido 1(Cortar-Extruir1)(BARRA ENGANCHE-1),            |
|   | <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal           | Sólido 1(Cortar-Extruir1)(BARRA ENGANCHE-2),            |
|   | <b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido        | Sólido 1(Saliente-Extruir2)(BASTAGO_1-1),               |
|   | <b>Límite elástico:</b> 3.51571e+008 N/m <sup>2</sup>       | Sólido 1(Cortar-Extruir1)(EXTENSION VASTAGO CILINDRO-1) |
|   | <b>Límite de tracción:</b> 4.20507e+008 N/m <sup>2</sup>    |   |
|   | <b>Módulo elástico:</b> 2e+011 N/m <sup>2</sup>             |   |
|   | <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.29                        |   |
|   | <b>Densidad:</b> 7900 kg/m <sup>3</sup>                     |   |
|   | <b>Módulo cortante:</b> 7.7e+010 N/m <sup>2</sup>           |   |
|   | <b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 1.5e-005 /Kelvin |   |

|   |  |   |
|---|--|---|
|    | <p><b>Nombre:</b> 1060 Aleación</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido</p> <p><b>Límite elástico:</b> 2.75742e+007 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 6.89356e+007 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 6.9e+010 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.33</p> <p><b>Densidad:</b> 2700 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 2.7e+010 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 2.4e-005 /Kelvin</p> | <p>Sólido 1(Cortar-Extruir4)(BASE-CILINDRO_1-1),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir5)(BASE-CILINDRO_2-1),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(CARCAZA_1-1)</p> |
|  | <p><b>Nombre:</b> Hierro fundido gris</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido</p> <p><b>Límite de tracción:</b> 1.51658e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de compresión:</b> 5.72165e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 6.61781e+010 N/m<sup>2</sup></p>   | <p>Sólido 1(Cortar-Extruir6)(CONO DE IMPACTO - copia-1)</p>   |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | <b>Coeficiente de Poisson:</b> 0.27<br><b>Densidad:</b> 7200 kg/m <sup>3</sup><br><b>Módulo cortante:</b> 5e+010 N/m <sup>2</sup><br><b>Coeficiente de dilatación térmica:</b> 1.2e-005 /Kelvin  |   |
| Datos de curva:N/A   |  |   |
|  | <b>Nombre:</b> ASTM A36 Acero Isotrópico<br><b>Tipo de modelo:</b> elástico lineal<br><b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido<br><b>Límite elástico:</b> 2.5e+008 N/m <sup>2</sup><br><b>Límite de tracción:</b> 4e+008 N/m <sup>2</sup><br><b>Módulo elástico:</b> 2e+011 N/m <sup>2</sup><br><b>Coeficiente de Poisson:</b> 0.26<br><b>Densidad:</b> 7850 kg/m <sup>3</sup><br><b>Módulo cortante:</b> 7.93e+010 N/m <sup>2</sup> | Sólido 1(Cortar-Extruir3)(LAMINA FRONTAL-1) |

**TABLA 22. CARGAS Y SUJECIONES**

| Nombre de sujeción | Imagen de sujeción  | Detalles de sujeción |                |
|--------------------|---|----------------------|----------------|
| Fijo-1             |  | Entidades:           | 2 cara(s)      |
|                    |   | Tipo:                | Geometría fija |

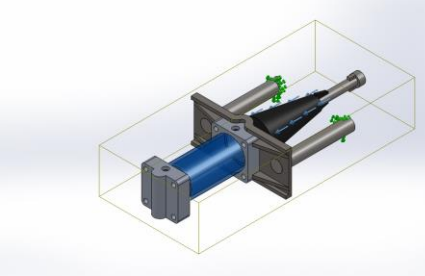
**Fuerzas resultantes**

| Componentes              | X         | Y        | Z        | Resultante |
|--------------------------|-----------|----------|----------|------------|
| Fuerza de reacción(N)    | -0.130803 | -0.23441 | -1000.12 | 1000.12    |
| Momento de reacción(N-m) | 0         | 0        | 0        | 0          |

| Nombre de carga | Cargar imagen   | Detalles de carga |                  |
|-----------------|---|-------------------|------------------|
| Fuerza-2        |  | Entidades:        | 1 cara(s)        |
|                 |   | Referencia:       | Arista< 1 >      |
|                 |   | Tipo:             | Aplicar fuerza   |
|                 |   | Valores:          | ---, ---, 1000 N |

Fuente: Los autores

**TABLA 23. INFORMACIÓN DE CONTACTO**

| Contacto        | Imagen del contacto  | Propiedades del contacto   |
|-----------------|--|--|
| Contacto global |  | <p><b>Tipo:</b> Unión rígida</p> <p><b>Componentes:</b> 1 componente(s)</p> <p><b>Opciones:</b> Mallado compatible</p> |

Fuente: Los autores

**TABLA 24. INFORMACIÓN DE MALLA**

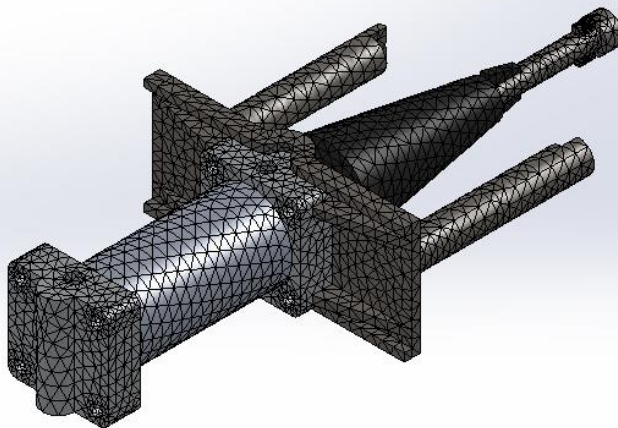
|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| <b>Tipo de malla</b>  | Malla sólida                        |
| <b>Mallador utilizado:</b>  | Malla basada en curvatura           |
| <b>Puntos jacobianos</b>  | 4 Puntos                            |
| <b>Tamaño máximo de elemento</b>                                    | 1.35358 cm                          |
| <b>Tamaño mínimo del elemento</b>                                   | 0.270715 cm                         |
| <b>Calidad de malla</b>   | Elementos cuadráticos de alto orden |
| <b>Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible</b> | Desactivar                          |

Fuente: Los autores

**TABLA 25. INFORMACIÓN MALLA - DETALLES**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Número total de nodos</b>                              | 49812     |
| <b>Número total de elementos</b>                          | 29428     |
| <b>Cociente máximo de aspecto</b>                         | 11.959    |
| <b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>  | 96.5      |
| <b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b> | 0.0204    |
| <b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>          | 0         |
| <b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>         | 00:00:09  |
| <b>Nombre de computadora:</b>                             | DIBUJANTE |

Nombre de modelo: Ensamblaje1  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de malla: Malla de sólido



Fuente: Los autores

**TABLA 26. FUERZAS RESULTANTES**

**Fuerzas de reacción**

| <b>Conjunto de selecciones</b> | <b>Unidades</b> | <b>Suma X</b> | <b>Suma Y</b> | <b>Suma Z</b> | <b>Resultante</b> |
|--------------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| Todo el modelo                 | N               | -0.130803     | -0.23441      | -1000.12      | 1000.12           |

**Momentos de reacción**

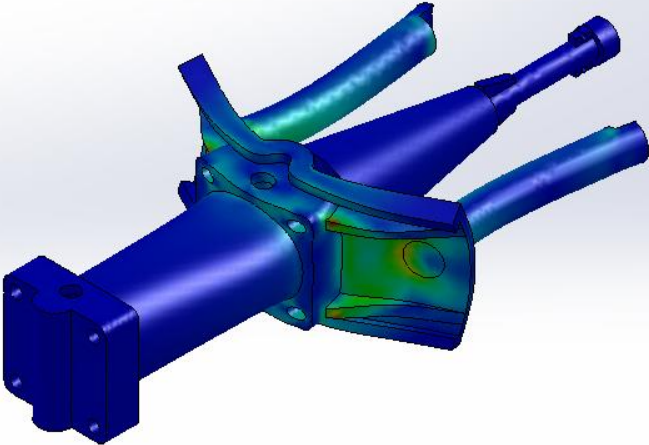
| <b>Conjunto de selecciones</b> | <b>Unidades</b> | <b>Suma X</b> | <b>Suma Y</b> | <b>Suma Z</b> | <b>Resultante</b> |
|--------------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| Todo el modelo                 | N-m             | 0             | 0             | 0             | 0                 |

Fuente: Los autores

**TABLA 27. RESULTADO DEL ESTUDIO**

| Nombre     | Tipo                         | Mín.                                       | Máx.   |
|------------|------------------------------|--|--|
| Tensiones1 | VON: Tensión de von<br>Mises | 0.00099117 N/m <sup>2</sup><br>Nodo: 23750 | 5.07795e+006 N/m <sup>2</sup><br>Nodo: 46096 |

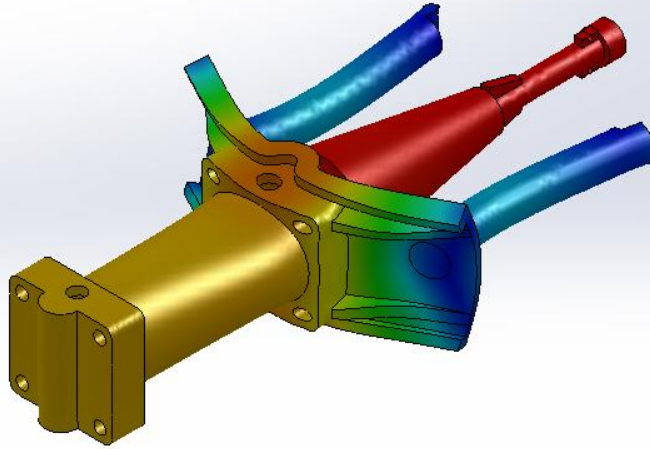
Nombre de modelo: Ensamblaje1  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 10796.3



Ensamblaje1-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1

| Nombre           | Tipo                               | Mín.            | Máx.                       |
|------------------|------------------------------------|-----------------|----------------------------|
| Desplazamientos1 | URES: Desplazamiento<br>resultante | 0 mm<br>Nodo: 3 | 0.006553 mm<br>Nodo: 32255 |

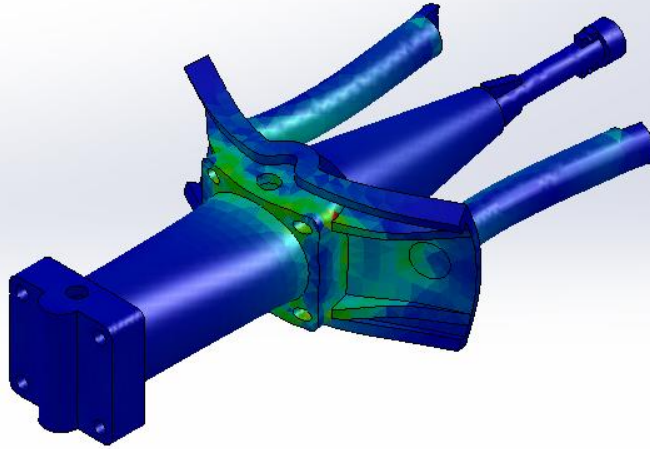
Nombre de modelo: Ensamblaje1  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
 Escala de deformación: 10796.3



Ensamblaje1-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

| Nombre                   | Tipo                                    | Mín.                            | Máx.                           |
|--------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|
| Deformaciones unitarias1 | ESTRN: Deformación unitaria equivalente | 4.73857e-015<br>Elemento: 12537 | 2.45402e-005<br>Elemento: 9648 |

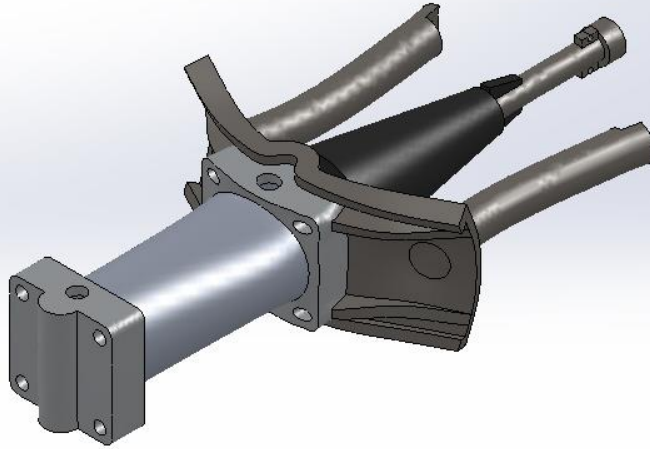
Nombre de modelo: Ensamblaje1  
Nombre de estudio: Estudio 1  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática: Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 10796.3



Ensamblaje1-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

| Nombre              | Tipo            |
|---------------------|-----------------|
| Desplazamientos1{1} | Forma deformada |

Nombre de modelo: Ensamblaje1  
Nombre de estudio: Estudio 1  
Tipo de resultado: Forma deformada Desplazamientos1{1}  
Escala de deformación: 10796.3



Ensamblaje1-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}

Fuente: Los autores

## 6.5 PRUEBAS

Ya terminado el prototipo para la extracción de camisas de las fundidoras centrifugas, se procedió a realizar las pruebas para ver su funcionamiento. Inicialmente el operario debía adaptarse a las nueva condición de trabajo y a su vez se pudiera establecer un procedimiento implementando el uso del prototipo.

A continuación se procedió a tomar nuevamente el tiempo que requería para realizar el proceso de extracción, obteniendo como resultado de **11 segundos**.

Estas pruebas fueron realizadas a distintos operarios en diferentes horas de del día

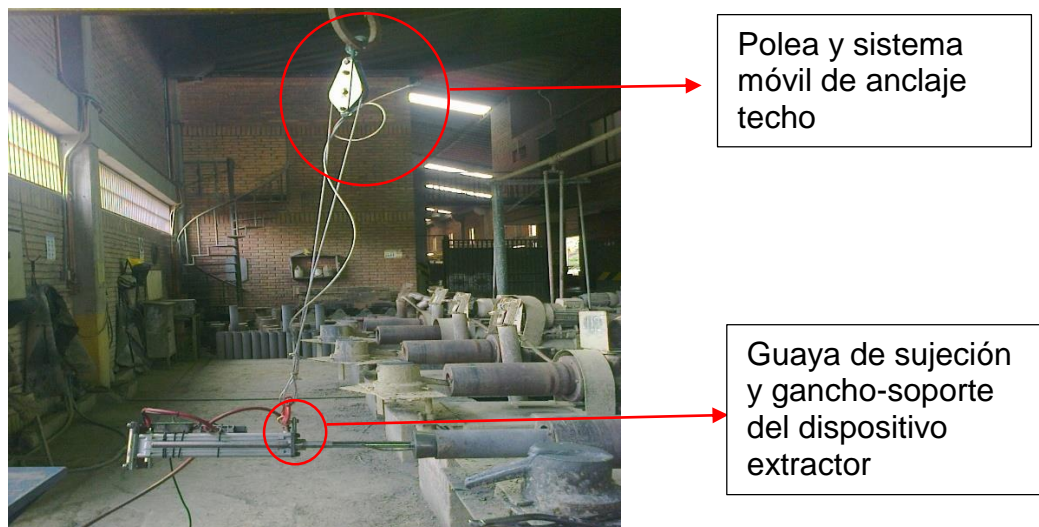
## 7 PROTOCOLO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El prototipo fue diseñado teniendo en cuenta su fácil operación y funcionamiento, al tratarse de un diseño modular permite una fácil manipulación por parte de los operarios de producción y adicional se garantizan tiempos mínimos de Mantenimiento. A continuación se presenta las siguientes instrucciones de Operación y mantenimiento de la maquina

### 7.1 OPERACIÓN

- 1) El prototipo extractor de camisas para las fundidoras centrifugas, se debe sujetar del techo de la planta con ayuda de un sistema de cercha fija y polipasto móvil que permite el desplazamiento vertical y horizontal a lo largo de toda la línea productiva (ver siguiente imagen), es de gran importancia verificar que el prototipo este correctamente sujetado al sistema lo que permita evitar accidentes y adicional una fácil manipulación por parte de los operario para así evitar contratiempos durante toda la operación.

**FIGURA 48. DISPOSITIVO DE EXTRACCIÓN Y POLIPASTO MÓVIL**



Fuente: Los autores

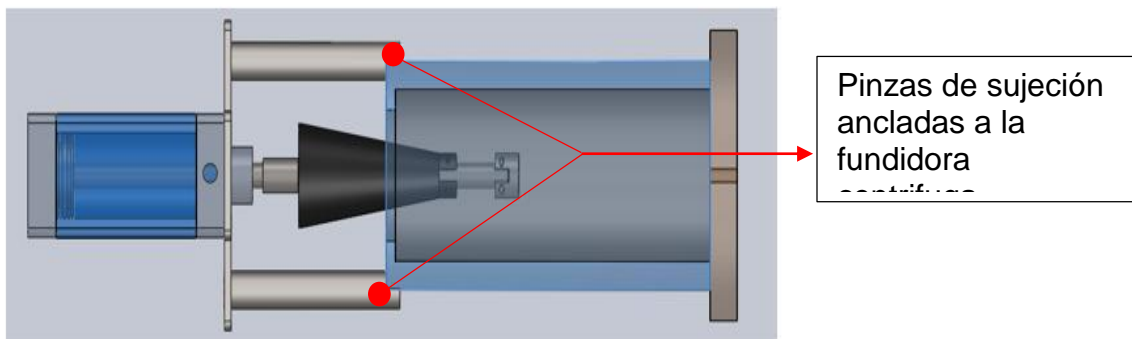
- 2) Antes de posicionar el extractor verificar que las conexiones eléctricas y neumáticas estén funcionando correctamente (se recomienda activar el cilindro un par de veces)
- 3) Se posiciona el dispositivo extractor frente a la fundidora centrífuga (para una mejor operación ubicar y maniobrar el dispositivo a nivel de la cintura del operario), la altura del dispositivo se puede regular con ayuda de la polea de anclaje, Ver siguiente imagen.

**FIGURA 49. DISPOSITIVO DE EXTRACCIÓN EN LA FUNDIDORA**



- 4) Verificar que las pinzas de sujeción o brazos del dispositivo, se incrusten o encajen correctamente en la parte exterior de la fundidora centrífuga. (**Ver figura 50**).

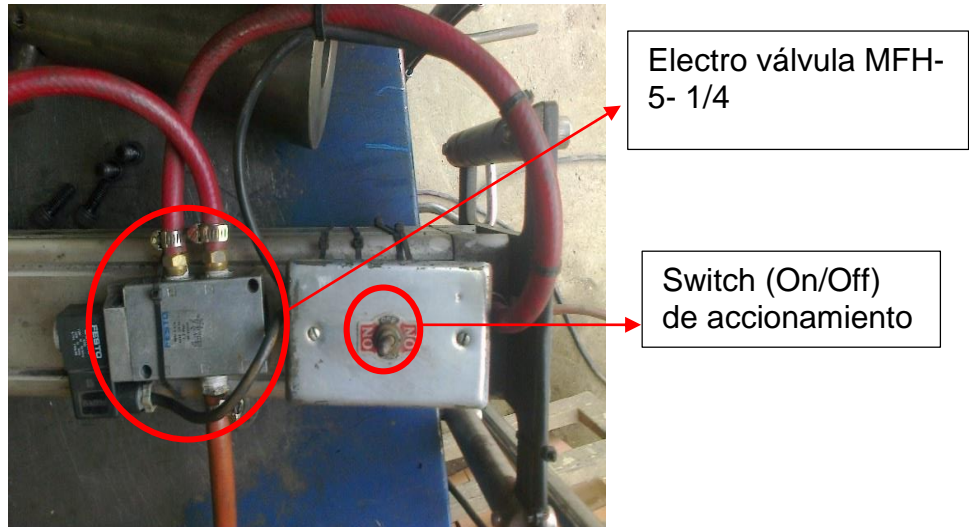
**FIGURA 50. DISPOSITIVO DE EXTRACCIÓN UBICADO EN LA FUNDIDORA**



Fuente: Los autores

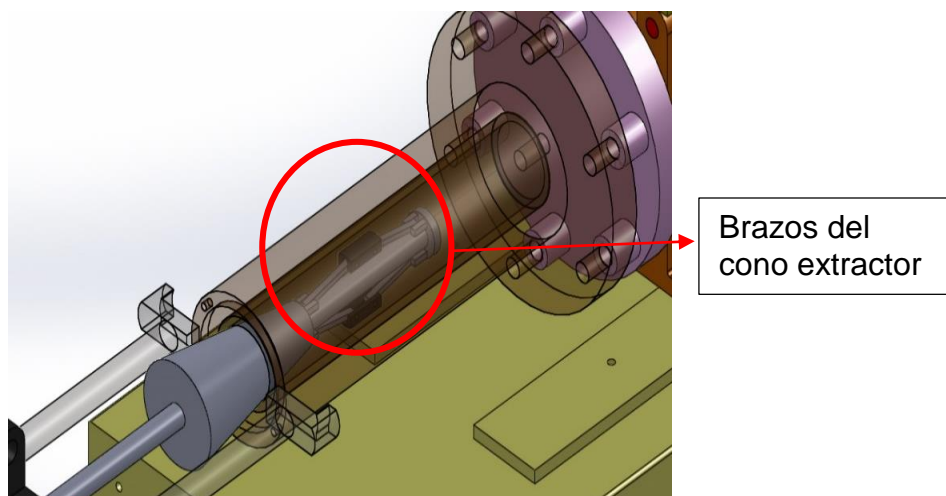
- 5) Se acciona el switch para dar inicio al desplazamiento del vástago del cilindro hasta que el embolo impacta a la coquilla en el interior de la fundidora

**FIGURA 51. DETALLE COMPONENTES DISPOSITIVO DE EXTRACCIÓN**



- 6) Mientras el embolo realiza su recorrido, los brazos del cono extractor, se van abriendo para realizar la extracción de la camisa, de las fundidora centrifuga.

**FIGURA 52. DETALLE BRAZOS DEL CONO EXTRACTOR**



Fuente: Los autores

- 7) Como el cilindro es de simple efecto, se oprime de nuevo el botón de accionamiento para que el embolo regrese a su posición inicial, extrayendo así la pieza de forma fácil y sin generar riesgos para el operario de producción.
- 8) Se retira el sistema de extracción de la coquilla de la fundidora, a su vez se libera la camisa para posteriormente ser llevada a la bodega de almacenamiento respectiva.

**FIGURA 53. EXTRACCIÓN FINAL DE LA CAMISA**



Fuente: Los autores

- 9) Lo operación se realiza en un ambiente altamente contaminado por material particulado, se recomienda que antes de cada extracción se realice una limpieza suave del cono y sus brazos extractores con ayuda de una estopa suave con el objetivo de evitar posibles ralladuras internas de las camisas.

## 7.2 TAREAS DE MANTENIMIENTO

Al ser un prototipo sencillo y práctico no se necesita de un plan de mantenimiento riguroso, basta con tener algunas rutinas enfocadas a la limpieza, inspecciones básicas y verificaciones que permitan garantizar la funcionalidad del dispositivo.

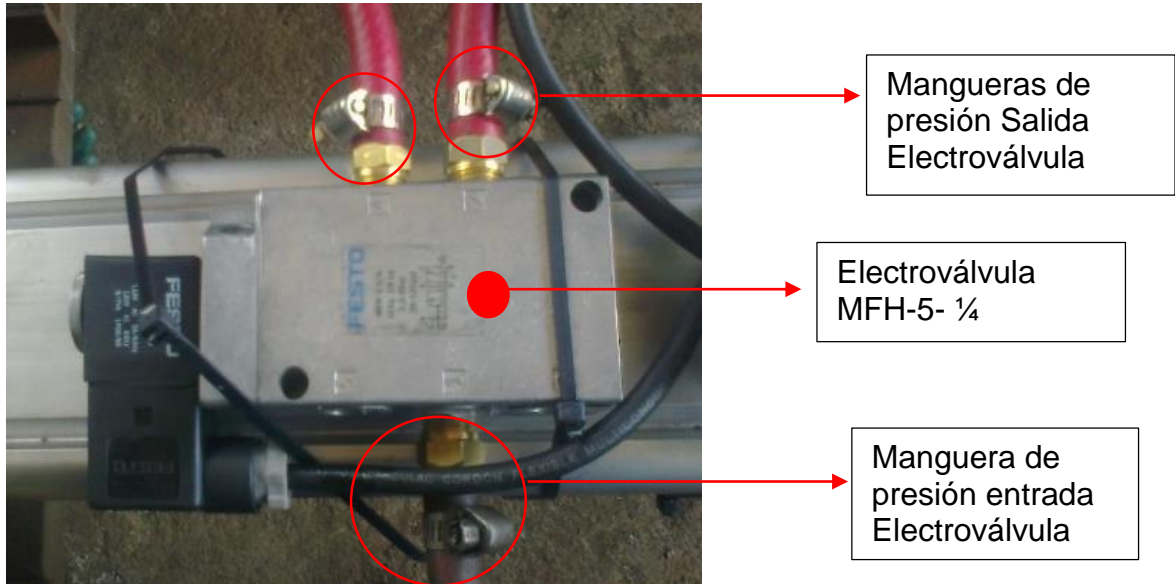
### **Diariamente**

- Realizar limpieza general del dispositivo con ayuda de aire comprimido, retirar todo tipo de material particulado que se encuentre en la superficie del dispositivo.
- Con ayuda de una estopa o papel de mantenimiento limpiar el cono extractor y las pinzas de sujeción lo anterior con el objetivo de retirar polvillos, residuos de pintura o grasas que son utilizadas en el proceso de manufactura de LAVCO.
- Inspeccionar el estado físico y de funcionamiento del switch de accionamiento de la electroválvula.

### **Semanalmente**

- Inspeccionar el estado de las mangueras del sistema de aire comprimido, las mangueras no pueden estar rotas o presentar enmendaduras ni fugas de aire.
- Inspeccionar el estado físico de las abrazaderas de fijación de las mangueras de aire comprimido a la electroválvula, verificar su correcto ajuste y posicionamiento a los racores de la misma. No se deben presentar fugas de aire por las uniones de la manguera o por los racores.

**FIGURA 54. MANGUERAS Y ABRAZADERAS DE FIJACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO**



Fuente: Los autores

### Quincenalmente

- Inspeccionar el estado del sistema global de anclaje y posicionamiento, verificar el accionamiento suave de la polea, inspeccionar al estado físico de la guaya de sostenimiento esta no debe presentar corrosión o desgaste excesivo y adicional verificar estado de desgaste de los soportes de anclajes al dispositivo extractor estos no deben presentar corrosión excesiva, deformaciones o fisuras (**Ver figura 53.** se observan puntos claves de inspección del conjunto global de anclaje y posicionamiento).

**FIGURA 55. POLEA, GUAYA Y ANCLAJE DEL SISTEMA EXTRACTOR**



Fuente: Los autores

- Inspeccionar el estado de los sellos internos del cilindro, no deben existir fugas de aire por el vástago del pistón, la anterior inspección se realiza accionando el cilindro y cuando el pistón este en la posición de trabajo (posición de mayor presión) verificar la no presencia de fugas de aire entre la unión del cilindro y el vástago (**ver imagen 54**).

**FIGURA 56. PISTÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO**



Pistón, Verificar fugas en los sellos internos.

Fuente: Los autores

### **Mensualmente**

- Inspeccionar el estado de desgaste del cono extractor, este no debe presentar desgastes, ralladuras o desprendimientos de material en su superficie.
- Inspección del cilindro de accionamiento, verificar desgaste del vástago (diámetro **80 mm**).
- Inspeccionar carrera del vástago (**270 mm**) el vástago al ser accionado no debe vibrar o demorarse más de 2 segundos en salir completamente.

Los autores recomiendan tener en stock una electroválvula MFH-5- ¼ y un cilindro Festo de las mismas características descritas anteriormente, a estos componentes se les aplicara la estrategia de mantenimiento RTF por sus siglas en inglés (Run To Fail) lo que puede traducir “llevar hasta la Falla” ya que su costo es relativamente bajo y comprarlos nuevos garantizan una mayor confiabilidad que repararlos.

## 8 ANALISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

En la siguiente tabla definimos los costos de los materiales y mano de obra utilizados durante la realización del proyecto

**TABLA 28. PRESUPUESTO DEL PROYECTO**

| <b>COSTO DE MATERIALES</b>   |        |          |              |
|------------------------------|--------|----------|--------------|
| Item                         | Unidad | Cantidad | Valor Total  |
| Cilindro Neumático           | Glb    | 1        | \$ 1.180.000 |
| Electrovalvula direccional   | Glb    | 1        | \$ 350.000   |
| Racores y mangueras          | Glb    | 1        | \$ 78.900    |
| Acero fundido                | Glb    | 1        | \$ 150.000   |
| Tornillos y sujetadores      | Glb    | 1        | \$ 37.000    |
| Subtotal                     |        |          | \$ 1.795.900 |
| <b>COSTO DE MANO DE OBRA</b> |        |          |              |
| Fundicion de piezas          | Glb    | 1        | \$ 104.000   |
| Mecanizados partes fundidas  | Glb    | 1        | \$ 87.000    |
| Mano de obra metalmecánica   | Glb    | 1        | \$ 203.000   |
| Mano de obra de diseño       | Glb    | 1        | \$ 500.000   |
| Transportes                  | Glb    | 1        | \$ 85.000    |
| Ensamble                     | Glb    | 1        | \$ 97.800    |
| Subtotal                     |        |          | \$ 972.800   |
| <b>COSTOS VARIOS</b>         |        |          |              |
| Asesoría profesores          | Glb    | 1        | \$ 1.000.000 |
| Asesoría externa             | Glb    | 1        | \$ 300.000   |
| Papelería                    | Glb    | 1        | \$ 150.000   |
| Subtotal                     |        |          | \$ 1.450.000 |
| Total                        |        |          | \$ 4.218.700 |

Fuente: Los Autores

### 8.1 SOTENIBILIDAD DEL PROYECTO

En Lavco según las estadísticas entregadas por el área de producción se funden un promedio de 2196 camisas diarias en las 32 centrifugas de la línea automotriz que tiene en su planta de producción.

Esto nos deja con un promedio aproximado de 69 camisas producidas en cada una de las fundidoras centrifugas. Estas camisas son fundidas con un promedio de extracción de 92 segundos por cada camisa. Según las estadísticas medidas durante la realización del análisis de métodos y tiempos del proceso de extracción

Al realizar la estandarización de los tiempos de extracción utilizando el mecanismo extractor diseñado podríamos lograr un ahorro del 20% en los tiempos, lo que incrementaría en el mismo porcentaje la productividad de la compañía. Puesto que los nuevos tiempos de extracción serían de 11 segundos, lo que nos permitiría fundir un promedio aproximado de 86 camisas diarias por cada fundidora; lo que nos daría un total de 2770 camisas fundidas en las 32 máquinas de la planta

Estos ahorros en tiempos, harían viable este proyecto en el tiempo. Asegurando así el retorno de la inversión, además de beneficioso para toda la cadena productiva Disminuyendo tiempo de entrega entre pedidos y disponibilidad de la planta para ejecutar nuevos negocios.

Una inversión definitiva que contaría con un dispositivo extractor para cada una de las maquinas fundidoras y tendría un valor igual a: \$ 134.998.400 COP. Aunque este valor disminuiría al tener en cuenta las variables tales como el costo de producción en serie del mecanismo extractores que sería mucho menor por unidad que el valor que el invertido en la realización del prototipo, además de todas las partes que componen el dispositivo pueden comprarse al por mayor y disminuir su precio. Haciendo una predicción estimada de ahorro de un 20% por concepto de producción en serie y materiales, tendríamos un costo final de inversión de \$ 107.998.720 COP.

## 9. CONCLUSIONES

Se construyó un prototipo extractor de camisas para las fundidoras centrifugas de industrias LAVCO basado en la metodología de diseño de ingeniería y en los requerimientos iniciales de diseño, presentando una posible mejora al antiguo proceso de extracción y aumentar la productividad de la línea automatizada.

En las pruebas realizadas al prototipo se determinó que adicional a la disminución de tiempo del proceso de extracción estandarizándolo a 11 segundos, se evitaban inconformidades por parte del departamento de calidad, ya que el antiguo proceso de extracción manual generaba algunos desprendimientos de materiales por la aplicación de fuerzas de impacto no uniformes en la superficie de las camisas.

Al iniciar una estandarización de los procesos productivos de Industrias Lavco controlando los tiempos de producción en cada una de las etapas, en este caso en particular el proceso de extracción permite a esta empresa empezar el camino de la automatización de sus líneas de procesos abriéndola a expandir su capacidad de respuesta y de oferta al mercado al cual presta sus servicios.

En este proyecto se ha analizado los factores más influyentes en el proceso de diseño en la ingeniería. Y concluye que el diseño de productos que ayuden a satisfacer las necesidades de una sociedad son los retos primordiales que tiene un diseñador de ingeniería. Pues estas necesidades son las que la industria busca suplir y así crecer en un medio de innovación continua y de constante competencia. Es por esta razón que el diseño cobra un papel protagónico en la ingeniería, como área de conocimiento que brinda pautas y los procesos mentales que se deben llevar para óptimo desarrollo de proyectos de ingeniería que mejoren la calidad de vida de la sociedad en un ambiente sostenible y ecológico.

Como resultado de la metodología de diseño utilizada se desarrollaron 4 alternativas posibles que dieran respuesta a la necesidad planteada por el cliente. Se seleccionó la alternativa que cumplía con mayor eficiencia los parámetros arrojados al ponderar los requerimientos y restricciones con las especificaciones en la matriz de calidad planteada como parámetro de decisión de diseño y que definió como requerimientos más importantes el accionamiento neumático con un 67,5% y la geometría del sistema extractor con un 62,5%. La alternativa que cumplía con mayor eficiencia estos requerimientos fue la alternativa 4

En el desarrollo del análisis de métodos y tiempos aplicado al proceso se evidencio los datos atípicos que pueden encontrarse en este tipo de estudios debido a la falta de automatización y control de la variable tiempo; al utilizar la fuerza humana como herramienta fundamental en el procedimiento. Tal es el caso de que un empleado ejecute la tarea de extracción valiéndose de su propia fuerza física implicando esto el cansancio y la falta de energía que arrojó como resultado largos tiempos en la extracción de cilindros. Después de realizar un análisis estadístico de los datos recopilados se pudo establecer un tiempo de diseño del prototipo igual a 11,62 segundos

Dentro del proceso de diseño la comunicación entre todas las personas involucradas en el desarrollo de un producto es de vital importancia para los resultados eficientes en un proyecto de diseño. Todos deben hablar en mismo idioma gráfico, matemático, económico entre otros. Así como tener claro siempre los objetivos, el alcance y las restricciones del proyecto.

El diseño en ingeniería no solo se basa en cálculos matemáticos, es un proceso metodológico que necesita desarrollar competencia en los diseñadores tales como la creatividad, el empoderamiento de proyectos, las estrategias para la toma de decisiones, el aprendizaje del trabajo de equipo, la visualización del mercado y de los competidores, un lenguaje de diseño unificado entre otros. Todo esto con el fin

de desarrollar un producto tecnológico innovador y que satisfaga las necesidades y cumpla las restricciones dadas en el proyecto de diseño planteado inicialmente.

Para el sistema de extracción se hizo importante mezclar la acción de dos tipos de energía, la mecánica y la neumática ya que con la parte neumática garantizamos la potencia del sistema con la cual se genera el impacto y con la parte mecánica la operatividad de agarre y posterior extracción de las camisas de fundición en el proceso. Para la determinación de la de la carga mínima que debía tener el cilindro neumático se realizaron pruebas con el dinamómetro de las cuales se obtuvo una carga mínima de 100 lbf. Para poder realizar el proceso de extracción

Los materiales utilizados en el sistema de extracción garantizan principios ergonómicos para su operación por parte del personal de planta. Para la selección de estos materiales, se hizo importante la validación de los mismos mediante un software CAD-CAE el cual nos dio una aproximación muy cercana para cada una de sus propiedades mecánicas frente a la necesidad presentada la fuerza resultante que determino este análisis es de 1000 N en la ejecución del proceso de extracción y que comparadas con las fuerzas de diseño determinadas por las características del cilindro que son en retroceso 1.682 N y en avance 1.870 N. Se determina que los materiales y el diseño cumplen la función para los que fueron modelados.

Se elaboraron los protocolos de operación y mantenimiento para el correcto manejo y mantenibilidad del prototipo, estos protocolos fueron entregados para ser implementados con las divisiones de producción y mantenimiento una vez se determine por la dirección de Lavco el empleo del prototipo en todas las fundidoras centrifugas del proceso productivo.

## 10. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la alta dirección de Lavco la utilización del prototipo ya que la costumbre del proceso manual que actualmente realizan genera un marco cultural difícil de romper si no se enfatiza en los beneficios de los nuevos procesos.

De implementarse de manera definitiva en el proceso productivo el prototipo de extracción. Se debe mantener en el almacén de repuestos de mantenimiento un stock mínimo que consiste en una electroválvula MFH-5- ¼ y un cilindro Festo de las mismas características, ya que su costo es relativamente bajo y comprarlos nuevos garantizan una mayor confiabilidad que repararlos.

Es fundamental que el personal de mantenimiento realice integración del protocolo de mantenimiento del dispositivo extractor en su sistema de información para crear estas tareas como un plan de mantenimiento una vez se implemente el sistema de extracción.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABET.** Criteria for accrediting engineering programs: ABET. Dym, C., Agogino, A., Eris, O., & Leifer, L. (2005). Engineering Design Thinking, teaching, and learning. *Journal of engineering education*(January),2011. 103-120.

**ACERO, Mario; DIAZ Fabián.** Diseño y construcción de una maquina bruñidora vertical hidráulica semineumatica para industrias Lavco Ltda. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, 2012

**ANCO. Nathan.** Centrifuga Casting. American Foundrymen's Society, 1988

**ANDERSON, S.** (2006). Estadísticas para administración y economía, Thomson, Newbold, P. (2003)

**BAUMANN. Frederick, KACZKOWSKI.** et al. Bernard. General Electric Company. Horizontal Centrifugal Casting Methods. Unite States Patent. 1975

**BOCCARDO, R.** Creatividad en la ingeniería de diseño. Venezuela: Editorial Equinoccio, Universidad Simón Bolivar. 2006

**CAMACHO, Amparo. ARENAS, Adolfo.** Diseño en ingeniería: una posible visión para la evaluación. Bogota. ICFES. 2012

**COMMITTEE ON ENGINEERING DESIGN THEORY AND METHODOLOGY.** Improving Engineering Design: Designing for Competitive Advantage. Washington. 1991

**COUNCIL OF COMPETITIVENESS.** Innovate America: Thriving in a World of Challenge and Change, National Innovation Initiative. 2004

**CRAWLEY, E., Malmqvist, J., LUCAS, W., & BROUDER, D.** The CDIO Syllabus v2.0: An Updated Statement of Goals for Engineering Education. Paper presented at the 7th International CDIO Conference, DTU, Copenhagen. 2011

**CROSS. Nigel.** Engineering Design Methods: Stragies for Product Design. Tercera Edición. Reino Unido: Wiley Editorial. 2000.

**DYM, C., & LITTLE, P.** El proceso de Diseño en Ingeniería: Cómo Desarrollar Soluciones Efectivas. México: Limusa Wiley. 2002

**ENGINEERS AUSTRALIA.** Engineers Australia National Generic Competency Standards – Stage 1 Competency Standard for Professional Engineers., from [http://www.engineersaustralia.org.au/shadomx/apps/fms/fmsdownload.cfm?file\\_uuid=5EDFBDF5-B8D8-FB15-66DA-23E7F8E58C58&siteName=ieaust](http://www.engineersaustralia.org.au/shadomx/apps/fms/fmsdownload.cfm?file_uuid=5EDFBDF5-B8D8-FB15-66DA-23E7F8E58C58&siteName=ieaust)

**EUR-ACE.** Framework standards for the accreditation of engineering programmes: EUR-ACE European accreditation of engineering programmes. 2008

**ERNEST. W, HOSNEDL.** Stanislav. Design Engineering: A Manual for Enhanced Creativity. CRC Press. 2007

**FORT. Nancy,** et al. Installation for Extracting Pipes from a Centrifugal Casting

**Hamrock, Bernard J.;** Jacobson, Bo O.; Schmid, Steven R. México: McGraw-Hill, 2000

**LA BAHN. W.** et al. Method for Automatically Stripping a Sectionalized Mold from a Cast. United States Patent. 1974

**NIEVEL, FREIVALDS.** Ingeniería Industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo. 11 Ed. AlfaOmega.

**NOBLE. Charles.** Method And Apparatus For Centrifugal Casting. Uniet States Patent. 2003

**PIERREL. Michel,** et al. Installation for a Centrifugal Casting Machine of Large Pipes. United States Patent. 1978

**ROBERT L. NORTON,** PEARSON. Diseño de Máquinas. Mexico: Prentice Hall, 1999.

**ROGER. Jean.** Device for Locking and Extracting a Centrifugal Casting Shell and Removing the Cast Part from the Shell. United States, Patent. 1971

**RODRIGUEZ, Natalia.** Análisis de los parámetros que influyen la aparición de defectos de fundición en las camisas centrifugadas de la línea industrial en industrias Lavco. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, 2008

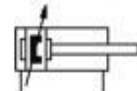
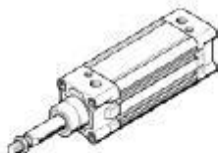
## **ANEXOS**

## ANEXO A FICHA TÉCNICA DEL CILINDRO FESTO

### Cilindros normalizados DNC-80- -PPV-A

Número pieza: 163432

FESTO



### Hoja de datos

| Caracter.   | Propiedades   |
|---|---|
| Carrera   | 3 ... 2.000 mm  |
| Diámetro del émbolo                                       | 80 mm   |
| Rosca del vástago   | M20x1,5   |
| Amortiguación   | PPV: Amortiguación neumática regulable a ambos lados                                |
| Posición de montaje                                       | indistinto  |
| Corresponde a la norma                                    | ISO 15552 (hasta ahora también VDMA 24652, ISO 6431, NF E49 003.1, UNI 10290)       |
| Extremo del vástago                                       | Rosca exterior  |
| Construcción  | Embolo<br>Vástago<br>Tubo perfilado   |
| Detección de la posición                                  | Para detectores de posición   |
| Variantes   | vástago simple  |
| Presión de funcionamiento                                 | 0,6 ... 12 bar  |
| Forma de funcionamiento                                   | De efecto doble   |
| Fluido  | Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7-4:4]  |
| Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando | Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento) |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK                   | 2   |
| Temperatura ambiente                                      | -20 ... 80 °C   |
| Homologación  | Germanischer Lloyd  |
| Energía del impacto en las posiciones finales             | 0,9 J   |
| Carrera de amortiguación                                  | 32 mm   |
| Fuerza teórica con 6 bar, retroceso                       | 2.721 N   |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance                          | 3.016 N   |
| Masa móvil con carrera de 0 mm                            | 1.131 g   |
| Peso adicional por 10 mm de carrera                       | 106 g   |
| Peso básico con carrera de 0 mm                           | 2.790 g   |
| Masa adicional por 10 mm de carrera                       | 38 g  |
| Tipo de fijación  | con rosca interior<br>con accesorios  |
| Conexión neumática  | G3/8  |
| Indicación sobre el material                              | Conforme con RoHS   |
| Información sobre el material de la tapa                  | Fundición inyectada de aluminio<br>recubierto                                       |
| Información sobre el material de las juntas               | TPE-U(PI)   |
| Información sobre el material del vástago                 | Acero de aleación fina  |
| Información sobre el material de la camisa del cilindro   | Aleación forjable de aluminio<br>Anodizado deslizando                               |

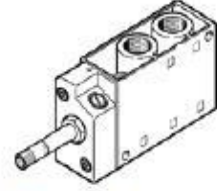
## ANEXO B FICHA TÉCNICA DE LA ELECTROVÁLVULA

### Solenoid bobinli valf MFH-5-1/4

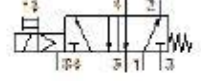
Ürün numarası: 6211

★ Core product range

Yardımcı el kumandalı, bobin ve soket dahil değildir.  
Bobin ve soket ayrıca sipariş edilmelidir.



**FESTO**



- Genel İşletme Koşulları
- Bilgi sayfası
- Datasheet product reliability

### Bilgi sayfası

| Özellik                                      | Değerler   |
|--|--|
| Sevki tarihi                                 | → Görünüm  |
| Valf fonksiyonu                              | 5/2 tek durumlu  |
| Tetikleme şekli                              | elektriksel  |
| Genişlik                                     | 30,5 mm  |
| Valf dışı ölçüsü                             | 30,5 mm  |
| Standart nominal debi                        | 1.000 l/min  |
| Çalışma basıncı                              | 2,2 ... 8 bar  |
| Tasarım yapısı                               | Popet oturtmalı  |
| Gerilme dönme şekli                          | mekanik yay  |
| Koruma sınıfı                                | IP65   |
| Nominal genişlik                             | 7 mm   |
| Valf diğim genişliği                         | 32 mm  |
| Egzost hava fonksiyonu                       | kısıtlıdır   |
| Sızdırmazlık prensibi                        | yumuşak  |
| Montaj konumu                                | istenildiği gibi   |
| Yardımcı el kumanda                          | kıtlı  |
| Kumanda şekli                                | Pilotlu  |
| Akış yönü                                    | tek yönlü  |
| Çalışmasız                                   | hayır  |
| Cebri dinamikasyon hakkında açıklama         | Anahtarlama frekansı en az haftada bir                   |
| b değeri                                     | 0,19   |
| C değeri                                     | 4,49 l/sbar  |
| Kapama süresi                                | 29 ms  |
| Kapama süresi                                |  |
| Açma süresi                                  | 9 ms   |
| Lojik 0 ile maks. pozitif test pisi          | 2.200 µs   |
| Lojik 1 ile maks. negatif test pisi          | 3.700 µs   |
| Karakteristik bobin değerleri                | Bkz solenoid bobin, ayrı olarak sipariş edilmelidir      |
| Kullanım havası                              | ISO 8573-1:2010'a uygun basınçlı hava (7:4:4)            |
| Çalışma ve pilot ortam hakkında açıklama     | Yağlamalı operasyon mümkün (diğer işlemler için gerekli) |
| Korozyona karşı dayanıklılık sınıfı KBK      | 1  |
| Depolama sıcaklığı                           | -20 ... 60 °C  |
| Kullanım havası sıcaklığı                    | -10 ... 60 °C  |
| Çevre sıcaklığı                              | -5 ... 40 °C   |
| Ürün ağırlığı                                | 290 g  |
| Elektriksel bağlantı                         | F-bobini üzerinden, ayrıca sipariş edilmelidir           |
| Bağlantı şekli                               | manifold rayı üzerinde<br>geçiş delikli<br>Seçenekler:   |
| Pilot egzost bağlantısı 64                   | M5   |
| Pnömatik bağlantı 1                          | G 1/4  |
| Pnömatik bağlantı 2                          | G 1/4  |
| Pnömatik bağlantı 3                          | G 1/4  |
| Pnömatik bağlantı 4                          | G 1/4  |
| Pnömatik bağlantı 5                          | G 1/4  |
| Malzeme hakkında not                         | RoHS'a uygun   |
| Sızdırmazlık elemanları için malzeme bilgisi | NBR  |
| Gövde için malzeme bilgisi                   | Alüminyum pres döküm                                     |

## **ANEXO C PLANOS DEL PROTOTIPO DE EXTRACCIÓN**

Nota: Este archivo se encuentra Anexo en el CD ROOM del Proyecto en la  
Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander