

**FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE  
BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTOS EN PRÁCTICAS  
DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

**JAIRO ARMANDO USCATEGUI RODRÍGUEZ**

Proyecto integral de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

Orientador

Edgar Arturo Chalá Bustamante

Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2021

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Edgar Arturo Chalá Bustamante  
Firma del Director

---

PhD. María Angélica Acosta Pérez  
Firma del Presidente Jurado

---

PhD. María Angélica Acosta Pérez  
Firma del Jurado

---

Msc.Ing. Rolando Guillermo Soler Soler  
Firma del Jurado

Bogotá D.C. Mayo de 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. ALEXANDRA MEJIA GARZÓN

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUÍS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. MARÍA ANGÉLICA ACOSTA PÉREZ

## DEDICATORIA

*Agradeciendo de primera mano a la Virgen María por acompañarme en todos los semestres de mi carrera. En la realización de este trabajo hago principal mención a mi madre Sandra Rodríguez por ser el apoyo más incondicional, generoso, paciente y valeroso que he tenido en mi vida y que gracias a ella soy ese profesional que siempre me proyecte a ser.*

*Quiero dedicar el presente documento a mi querido abuelo Julio Enrique “Yuyo” Rodríguez (Q.E.P.D.), dado que, al ser un proyecto de fabricación se me viene a la mente el ver a mi abuelo que a pesar de su humilde nivel académico pudo salir adelante y solucionar problemas del ámbito práctico, de construcción y fabricación. Alguna vez mencionó la siguiente frase: “Mijito, sólo una buena cuadrilla es capaz de detener a un toro”, frase que al pasar estos dos años con nuevos compañeros logré entenderla del todo.*

*Dedico mi segundo proyecto de grado a todas esas maravillosas personas que hacen parte mi “cuadrilla”, que son: Fabi, Masho, Alejo Flórez, el Presidente, Junior, Jorgito, Camargo, Cuartas, el Señor Eléctrico y Nano, el Donas, Castle, Dayis, Meli-chan, Diana B, Charles, Mapy, Laura R, Juliette, el Coso, Panda Pau, Galo, los Garcías, “El Fabio”, Osuna-baby, Yu-gi-Caicedo, Inge Orjuela, Richie, Karina y Jennifer.*

*Por último y no menos importante a los “DARKS”, mi fraternidad con la que cumplimos 10 años de unión: JJ Sáenz, Huevo Valencia, HD Palma, D Parra, Maito Ramírez y el Punto.*

*Jairo Armando Usateguá Rodríguez ♪*

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

La **FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**, por sus aportes a la formación y desarrollo de futuros profesionales.

**Ing. Edgar Arturo Chalá Bustamante**, por su apoyo como director de este proyecto. Por su insistencia, motivación, comprensión y aprendizaje en el diagnóstico, rediseño y fabricación de un prototipo funcional como solución de un problema.

**Ing. Carlos Arturo Mendoza Neira**, por su tiempo, experiencia, conocimientos compartidos, paciencia con cada uno de nosotros, por su compromiso con el trabajo y colaboración en la codirección y supervisión con el realizador del presente proyecto.

**Tec. Jaime A. Paiba M.**, por su tiempo y disposición para la realización, fabricación y aportes significativos al prototipo de la máquina, por su amabilidad y el de su familia para el apoyo y materialización de este proyecto.

**Biblioteca Baldomero Sanín Cano**, por el espacio, recursos informáticos y la información brindada en sus instalaciones para la realización del proyecto.

**Ing. Alejandro Camargo García**, por su apoyo como colega, amigo y ayuda en este proyecto.

**Tec. Axhel Armando Rodríguez Ferrer**, primo y futuro ingeniero, por su tiempo, disposición y ayuda en los asuntos de electrónica.

A los orientadores técnicos y financieros por su disposición, consejos y tiempo dedicado para la culminación de este proyecto.

A todas las personas que consciente o inconscientemente han colaborado y acompañado en este tiempo, su apoyo y confianza depositada, se ven reflejados en este trabajo.

"No solo no hubiéramos sido nada sin ustedes, sino con toda la gente que estuvo a nuestro alrededor desde el comienzo; algunos siguen hasta hoy. ¡Gracias totales!" - Gustavo Cerati.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

## TABLA DE CONTENIDO

|   | pág. |
|---|------|
| RESUMEN   | 17   |
| INTRODUCCIÓN  | 18   |
| <b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>  | 19   |
| 1.1 Antecedentes  | 19   |
| 1.2 Pregunta de investigación   | 20   |
| 1.3 Justificación   | 21   |
| 1.4 Hipótesis   | 21   |
| 1.5 Objetivos   | 22   |
| <b>2. METODOLOGÍA</b>   | 23   |
| 2.1 Delimitación  | 23   |
| 2.2 Diseño metodológico   | 24   |
| 2.3 Tipo de investigación   | 25   |
| 2.4 Metodología a usar  | 25   |
| <b>3. DIAGNÓSTICO DEL DISEÑO Y LOS COSTOS PROPUESTOS DEL PROYECTO DE<br/>“DISEÑO DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA<br/>ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN<br/>UNIVERSIDAD DE AMÉRICA”</b> | 26   |
| 3.1 Análisis del diseño   | 30   |
| 3.2 Análisis de los subsistemas   | 41   |
| 3.2.1 <i>Subsistema estructural</i>   | 45   |
| 3.2.2 <i>Subsistema de alimentación</i>   | 48   |
| 3.2.3 <i>Subsistema de tracción</i>   | 53   |
| 3.2.4 <i>Subsistema de control</i>  | 56   |
| 3.2.5 <i>Subsistema de potencia</i>   | 57   |
| 3.3 Análisis de costos  | 61   |
| 3.3.1 <i>Costos subsistema estructural</i>  | 62   |

|   |     |
|---|-----|
| 3.3.2 <i>Costos subsistema de alimentación</i>  | 64  |
| 3.3.3 <i>Costos subsistema de tracción</i>  | 65  |
| 3.3.4 <i>Costos subsistema de potencia y de control</i>   | 66  |
| 3.3.5 <i>Costos totales de la máquina lanzadora de balones de voleibol diagnóstico</i>  | 67  |
| <b>3.4 Diagnóstico</b>  | 68  |
| 3.4.1 <i>Diseño</i>   | 69  |
| 3.4.2 <i>Costos</i>   | 71  |
| <br>  |     |
| <b>4. REDISEÑO LA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA PREVIAMENTE ANALIZADA</b>  | 73  |
| <b>4.1 Rediseño detallado de la máquina lanzadora de balones de voleibol</b>  | 73  |
| 4.1.1 <i>Rediseño del subsistema de potencia</i>  | 75  |
| 4.1.2 <i>Rediseño del subsistema de tracción</i>  | 85  |
| 4.1.3 <i>Rediseño del subsistema de alimentación</i>  | 96  |
| 4.1.4 <i>Rediseño del subsistema estructural</i>  | 103 |
| <b>4.2 Optimización de la máquina lanzadora de balones de voleibol</b>  | 109 |
| <br>  |     |
| <b>5. PLANIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA DE CADA UNO DE LOS SUBSISTEMAS Y PARTES MANUFACTÚRALES DEL NUEVO DISEÑO DE LA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA</b> | 116 |
| <b>5.1 Procesos de corte</b>  | 118 |
| 5.1.1 <i>Subsistema estructural</i>   | 118 |
| 5.1.2 <i>Subsistema de tracción</i>   | 121 |
| 5.1.3 <i>Subsistema de alimentación</i>   | 123 |
| 5.1.4 <i>Subsistema de control</i>  | 127 |
| <b>5.2 Procesos de soldadura</b>  | 128 |
| <b>5.3 Adquisición de servicios</b>   | 133 |
| <b>5.4 Procesos de manufactura</b>  | 134 |
| <br>  |     |
| <b>6. DESARROLLO DEL PROTOTIPO PARA LA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA</b>   | 137 |
| <b>6.1 Escalado de subsistemas</b>  | 141 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.1.1 | <i>Escalado del subsistema estructural</i>   | 141 |
| 6.1.2 | <i>Escalado del subsistema de potencia</i>   | 142 |
| 6.1.3 | <i>Escalado del subsistema de tracción</i>   | 144 |
| 6.1.4 | <i>Escalado del subsistema de alimentación</i>   | 144 |
| 6.2   | <b>Adquisición de componentes para la fabricación del prototipo</b>  | 145 |
| 6.3   | <b>Proceso de fabricación del prototipo</b>  | 152 |
| 6.4   | <b>Ensamblaje de los subsistemas del prototipo</b>   | 165 |
| 6.5   | <b>Puesta a punto del prototipo</b>  | 169 |
| 6.5.1 | <i>Mejoramiento del subsistema de potencia</i>   | 172 |
| 6.5.2 | <i>Mejoramiento del subsistema de alimentación</i>   | 173 |
| 6.5.3 | <i>Pruebas de lanzamiento del prototipo</i>  | 180 |
| 7.    | <b>EVALUACIÓN DE COSTOS DE FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO Y LOS COSTOS FUTUROS PARA LA FABRICACIÓN FINAL DE LA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA</b> | 192 |
| 7.1   | <b>Costos asociados a la fabricación del prototipo de la máquina lanzadora de balones de voleibol</b>  | 192 |
| 7.2   | <b>Costos finales de la fabricación de la máquina lanzadora de balones de voleibol</b>   | 195 |
| 7.3   | <b>Análisis comparativo de costos teóricos y finales asociados a la máquina lanzadora de balones de voleibol</b>   | 202 |
| 8.    | <b>CONCLUSIONES</b>  | 204 |
|       | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  | 205 |
|       | <b>ANEXOS</b>  | 208 |

## LISTA DE FIGURAS

|  | pág. |
|--|------|
| <b>Figura 1.</b> Árbol del problema  | 20   |
| <b>Figura 2.</b> Diagrama de caja negra para una máquina lanzadora de balones de voleibol              | 27   |
| <b>Figura 3.</b> Máquinas lanzadoras de balones de voleibol en el mercado                              | 28   |
| <b>Figura 4.</b> Diseño final para la máquina suministrado por la universidad                          | 29   |
| <b>Figura 5.</b> Funcionamiento para el nuevo diseño suministrado                                      | 30   |
| <b>Figura 6.</b> Ficha técnica del diseño de la máquina lanzadora de balones de voleibol               | 33   |
| <b>Figura 7.</b> Dimensiones del diseño suministrado   | 34   |
| <b>Figura 8.</b> Aplicación del material al modelado CAD   | 35   |
| <b>Figura 9.</b> Aplicación de los materiales correspondientes al modelado CAD recibido                | 36   |
| <b>Figura 10.</b> Diagrama de estabilidad para el modelado CAD recibido                                | 37   |
| <b>Figura 11.</b> Mensaje de error para la primera simulación FEM                                      | 38   |
| <b>Figura 12.</b> Segunda simulación FEM preliminar en columnas principales                            | 39   |
| <b>Figura 13.</b> Tercera simulación FEM preliminar a la base inferior de la máquina                   | 40   |
| <b>Figura 14.</b> Subsistemas que componen el diseño de la máquina lanzadora de balones de voleibol    | 42   |
| <b>Figura 15.</b> Subsistema estructural diagnóstico   | 45   |
| <b>Figura 16.</b> Simulación FEM del diagnóstico para la traslación de la plataforma                   | 46   |
| <b>Figura 17.</b> Ensamble con pernos  | 47   |
| <b>Figura 18.</b> Soldadura de las vigas principales   | 47   |
| <b>Figura 19.</b> Soldadura escalera   | 47   |
| <b>Figura 20.</b> Soldadura con subsistema de alimentación   | 47   |
| <b>Figura 21.</b> Subsistema de alimentación diagnóstico   | 49   |
| <b>Figura 22.</b> Subsistema de tracción diagnóstico   | 53   |
| <b>Figura 23.</b> Subsistema de control diagnóstico  | 56   |
| <b>Figura 24.</b> Motor para lanzamiento del subsistema de potencia diagnóstico                        | 57   |
| <b>Figura 25.</b> Motor para la elevación del subsistema de potencia diagnóstico                       | 58   |
| <b>Figura 26.</b> Cálculos para los motores extraídos del documento suministrado diagnóstico           | 59   |
| <b>Figura 27.</b> Rueda de fricción seleccionada en el diseño diagnosticado                            | 60   |
| <b>Figura 28.</b> Rodamientos, también conocidos como: rulemanes, balineras, bolillero o caja de bolas | 61   |
| <b>Figura 29.</b> IPC de Marzo del 2020  | 61   |
| <b>Figura 30.</b> Cotización de tornillos  | 62   |
| <b>Figura 31.</b> Cotización subsistema estructural  | 63   |
| <b>Figura 32.</b> Nuevas cotizaciones a la fecha   | 64   |
| <b>Figura 33.</b> Cotización de componentes eléctricos   | 66   |
| <b>Figura 34.</b> Modo funcional de una máquina lanzadora de balones de voleibol                       | 75   |
| <b>Figura 35.</b> Diagrama de cuerpo libre ruedas de fricción  | 76   |
| <b>Figura 36.</b> Coeficientes de fricción (COF) para diferentes polímeros                             | 77   |
| <b>Figura 37.</b> Diagrama de fuerzas y velocidades  | 77   |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 38.</b> Diagrama para la selección de motor según artículo científico      | 82  |
| <b>Figura 39.</b> Página web de motores SIEMENS                                      | 83  |
| <b>Figura 40.</b> Ficha técnica motor seleccionado                                   | 83  |
| <b>Figura 41.</b> Plano del motor seleccionado                                       | 84  |
| <b>Figura 42.</b> Modelado CAD del motor seleccionado                                | 85  |
| <b>Figura 43.</b> Rueda de fricción seleccionada                                     | 86  |
| <b>Figura 44.</b> Rueda seleccionada modelada en CAD                                 | 87  |
| <b>Figura 45.</b> Acople para la rueda de fricción                                   | 88  |
| <b>Figura 46.</b> Tornillo de elevación para el subsistema de tracción               | 89  |
| <b>Figura 47.</b> Carcasa para el tornillo de elevación del subsistema de tracción   | 91  |
| <b>Figura 48.</b> Guía para lanzamientos   | 93  |
| <b>Figura 49.</b> Nueva propuesta del subsistema de tracción                         | 94  |
| <b>Figura 50.</b> Chumacera para el acople del subsistema                            | 95  |
| <b>Figura 51.</b> Simulación numérica para tornillo y carcasa                        | 96  |
| <b>Figura 52.</b> Plano de los motores trifásicos 1LA5                               | 97  |
| <b>Figura 53.</b> Modelado del motor para el elevador de cangilones                  | 98  |
| <b>Figura 54.</b> Eje de los cangilones  | 99  |
| <b>Figura 55.</b> Chumacera para la banda transportadora                             | 99  |
| <b>Figura 56.</b> Tensores para banda transportadora                                 | 100 |
| <b>Figura 57.</b> Simulación de los ejes para el elevador de cangilones              | 101 |
| <b>Figura 58.</b> Anclaje para el subsistema de alimentación                         | 102 |
| <b>Figura 59.</b> Simulación del subsistema de alimentación con anclaje de tornillos | 102 |
| <b>Figura 60.</b> Subsistema de alimentación rediseñado                              | 103 |
| <b>Figura 61.</b> Cambio de longitud para la base                                    | 105 |
| <b>Figura 62.</b> Cambio de posición de la escalera                                  | 106 |
| <b>Figura 63.</b> Plano de la Viga techo   | 106 |
| <b>Figura 64.</b> Substracción de la Viga techo                                      | 107 |
| <b>Figura 65.</b> Techos en policarbonato  | 107 |
| <b>Figura 66.</b> Subsistema estructural rediseñado                                  | 108 |
| <b>Figura 67.</b> Simulación FEM para rediseño subsistema estructural                | 109 |
| <b>Figura 68.</b> Máquina rediseñada   | 110 |
| <b>Figura 69.</b> Estabilidad de la máquina rediseñada                               | 111 |
| <b>Figura 70.</b> Simulación numérica al rediseño completo                           | 112 |
| <b>Figura 71.</b> Simulación numérica al rediseño completo con aumento de calibre    | 113 |
| <b>Figura 72.</b> Peso final de la máquina rediseñada                                | 114 |
| <b>Figura 73.</b> Estabilidad final de la máquina rediseñada                         | 115 |
| <b>Figura 74.</b> Longitudes de tubería para estructura                              | 120 |
| <b>Figura 75.</b> Cortadora de disco DEWALT 2200W                                    | 121 |
| <b>Figura 76.</b> Corte manual con pistola de plasma                                 | 122 |
| <b>Figura 77.</b> Cizalladora manual   | 123 |
| <b>Figura 78.</b> Componentes del subsistema de alimentación que requieren corte     | 124 |
| <b>Figura 79.</b> Máquina dobladora de láminas manual                                | 125 |
| <b>Figura 80.</b> Cortadora de plasma CNC  | 125 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 81.</b> Cortes para el canal salida del elevador                                 | 126 |
| <b>Figura 82.</b> Cortes para la tapa frontal de la carcasa                                | 126 |
| <b>Figura 83.</b> Cortes para la carcasa cangilones  | 127 |
| <b>Figura 84.</b> Plano de Tablero de mando  | 127 |
| <b>Figura 85.</b> Proceso de soldadura   | 128 |
| <b>Figura 86.</b> Soldadura tipo MIG/MAG   | 130 |
| <b>Figura 87.</b> Modelado de las vigas soldadas iniciales de la base                      | 131 |
| <b>Figura 88.</b> Cordones de soldadura para la escalera                                   | 131 |
| <b>Figura 89.</b> Soldadura de unión entre subsistemas                                     | 132 |
| <b>Figura 90.</b> Soldadura para el subsistema de tracción                                 | 133 |
| <b>Figura 91.</b> Licitación del servicio de soldadura                                     | 133 |
| <b>Figura 92.</b> Corte de una pelota de squash  | 139 |
| <b>Figura 93.</b> Máquina a escala 1:5 respecto a la original                              | 140 |
| <b>Figura 94.</b> Subsistema estructural escalado  | 142 |
| <b>Figura 95.</b> Motor eléctrico DC 60W   | 143 |
| <b>Figura 96.</b> Motorreductor eléctrico  | 143 |
| <b>Figura 97.</b> Subsistema de tracción escalado  | 144 |
| <b>Figura 98.</b> Subsistema de alimentación escalado                                      | 145 |
| <b>Figura 99.</b> Perfil estructural para el prototipo                                     | 146 |
| <b>Figura 100.</b> Motores eléctricos DC de 60W en el mercado                              | 146 |
| <b>Figura 101.</b> Motores adquiridos para el prototipo                                    | 147 |
| <b>Figura 102.</b> Ruedas provenientes de rodachines más pequeñas del mercado              | 148 |
| <b>Figura 103.</b> Tornillo de elevación adquirido   | 149 |
| <b>Figura 104.</b> Motorreductor adquirido como motor del elevador de banda transportadora | 149 |
| <b>Figura 105.</b> Banda transportadora fabricada  | 150 |
| <b>Figura 106.</b> Empujadores para bandas transportadoras                                 | 150 |
| <b>Figura 107.</b> Eje del motorreductor para el elevador de cangilones                    | 151 |
| <b>Figura 108.</b> Dimmer o variador de velocidad  | 151 |
| <b>Figura 109.</b> Lámina para el techo del prototipo                                      | 152 |
| <b>Figura 110.</b> Empresa solicitada para la fabricación del prototipo                    | 153 |
| <b>Figura 111.</b> Proceso de corte inicial para la base                                   | 153 |
| <b>Figura 112.</b> Revisión de los cortes de los perfiles para la base                     | 154 |
| <b>Figura 113.</b> Proceso de corte angular a 45°  | 154 |
| <b>Figura 114.</b> Revisión de los cortes angulares a 45°                                  | 154 |
| <b>Figura 115.</b> Limpieza de asperezas en los cortes angulares                           | 155 |
| <b>Figura 116.</b> Proceso de soldadura a los cortes angulares                             | 155 |
| <b>Figura 117.</b> Pulido de las columnas soporte base                                     | 156 |
| <b>Figura 118.</b> Proceso de soldadura para la base inferior o falda                      | 156 |
| <b>Figura 119.</b> Nivelado de la base inferior de la estructura                           | 157 |
| <b>Figura 120.</b> Adición de soportes del motor cangilón                                  | 158 |
| <b>Figura 121.</b> Soldadura de primeras columnas a la base inferior                       | 158 |
| <b>Figura 122.</b> Proceso de soldadura angular para columnas y vigas superiores           | 159 |
| <b>Figura 123.</b> Unión de los componentes superiores del subsistema estructural          | 159 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 124.</b> Adición de la escalera al subsistema estructural                             | 160 |
| <b>Figura 125.</b> Modelado CAD del motor, eje y ruedas de fricción del prototipo               | 160 |
| <b>Figura 126.</b> Máquina Skill attack   | 161 |
| <b>Figura 127.</b> Simulación numérica de un posible cambio al subsistema de tracción           | 162 |
| <b>Figura 128.</b> Cambio del subsistema de tracción  | 163 |
| <b>Figura 129.</b> Adición de empujadores a la banda transportadora                             | 163 |
| <b>Figura 130.</b> Tensor para la banda transportadora de tornillos                             | 164 |
| <b>Figura 131.</b> Fabricación de la carcasa de elevación                                       | 165 |
| <b>Figura 132.</b> Instalación del subsistema de tracción                                       | 165 |
| <b>Figura 133.</b> Ensamble del subsistema de potencia  | 166 |
| <b>Figura 134.</b> Instalación del subsistema de potencia                                       | 167 |
| <b>Figura 135.</b> Instalación de la carcasa y banda transportadora                             | 168 |
| <b>Figura 136.</b> Adición del canal de salida  | 168 |
| <b>Figura 137.</b> Inclusión del canal de salida  | 169 |
| <b>Figura 138.</b> Rotación del nuevo Pin 3   | 170 |
| <b>Figura 139.</b> Ensayo del tornillo de elevación en prototipo                                | 170 |
| <b>Figura 140.</b> Prueba de los motores de lanzamiento   | 171 |
| <b>Figura 141.</b> Prueba de elevación de pelotas   | 171 |
| <b>Figura 142.</b> Eje diseñado para los motores de lanzamiento                                 | 172 |
| <b>Figura 143.</b> Ejes torneados para motores y ruedas   | 172 |
| <b>Figura 144.</b> Funcionamiento de los motores de lanzamiento con los nuevos ejes             | 173 |
| <b>Figura 145.</b> Prueba de compresibilidad a las pelotas de Squash                            | 174 |
| <b>Figura 146.</b> Pelotas adquiridas para realizar las pruebas                                 | 174 |
| <b>Figura 147.</b> Pelotas "locas" de 42mm de diámetro  | 175 |
| <b>Figura 148.</b> Carcasa prototipo versión uno  | 175 |
| <b>Figura 149.</b> Segunda carcasa de elevación para el prototipo                               | 176 |
| <b>Figura 150.</b> Primera prueba de elevación por banda y empujadores para pelota de goma lisa | 177 |
| <b>Figura 151.</b> Adición de ocho empujadores a la banda transportadora                        | 177 |
| <b>Figura 152.</b> Segunda prueba de elevación de pelotas de squash con 10 empujadores          | 178 |
| <b>Figura 153.</b> Segunda prueba de elevación para las pelotas "locas" rugosas                 | 179 |
| <b>Figura 154.</b> Prueba de elevación para los tres tipos de pelota                            | 179 |
| <b>Figura 155.</b> Subsistema de control para el prototipo                                      | 180 |
| <b>Figura 156.</b> Primera prueba de lanzamiento para pelota de squash                          | 181 |
| <b>Figura 157.</b> Prueba de lanzamiento para la pelota "loca"                                  | 182 |
| <b>Figura 158.</b> Primera prueba de lanzamiento para pelota de goma lisa                       | 182 |
| <b>Figura 159.</b> Prueba de lanzamiento automático de pelotas                                  | 184 |
| <b>Figura 160.</b> Elevación de los motores mediante el tornillo de elevación                   | 185 |
| <b>Figura 161.</b> Medición de la elevación de los motores y distancia abarcada                 | 185 |
| <b>Figura 162.</b> Prueba de rotación de los motores de lanzamiento                             | 186 |
| <b>Figura 163.</b> Medición de la inclinación de los motores                                    | 187 |
| <b>Figura 164.</b> Dimensiones de las canchas de voleibol dentro del claustro                   | 188 |
| <b>Figura 165.</b> Prueba de lanzamiento para distancia máxima                                  | 188 |
| <b>Figura 166.</b> Plano de una cancha de voleibol profesional                                  | 189 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 167.</b> Efectos de lanzamiento con los variadores según manual de operación | 190 |
| <b>Figura 168.</b> Prueba de variación de velocidad para los motores                   | 190 |
| <b>Figura 169.</b> Fuente técnica para el dato del IPC en 2021                         | 196 |

## LISTA DE TABLAS

|   | pág. |
|---|------|
| <b>Tabla 1.</b> Identificación de planos  | 31   |
| <b>Tabla 2.</b> Comparación de dimensiones y peso de las máquinas lanzadoras de voleibol    | 37   |
| <b>Tabla 3.</b> Resumen del análisis de los subsistemas                                     | 43   |
| <b>Tabla 4.</b> Parámetros del diseño a evaluar en el diagnóstico                           | 44   |
| <b>Tabla 5.</b> Componentes del subsistema estructural                                      | 45   |
| <b>Tabla 6.</b> Componentes del subsistema de alimentación                                  | 49   |
| <b>Tabla 7.</b> Análisis de los componentes del subsistema de alimentación                  | 51   |
| <b>Tabla 8.</b> Componentes del subsistema de tracción                                      | 54   |
| <b>Tabla 9.</b> Especificaciones cremallera del subsistema de tracción diagnóstico          | 55   |
| <b>Tabla 10.</b> Precio actual del subsistema estructural                                   | 64   |
| <b>Tabla 11.</b> Precio del subsistema de alimentación                                      | 65   |
| <b>Tabla 12.</b> Precio actual del subsistema de tracción                                   | 65   |
| <b>Tabla 13.</b> Precios actuales para subsistemas de potencia y control                    | 66   |
| <b>Tabla 14.</b> Sumatoria de costos de Subsistemas   | 67   |
| <b>Tabla 15.</b> Precio final de la máquina lanzadora de balones de voleibol                | 67   |
| <b>Tabla 16.</b> Precios de las máquinas en el mercado                                      | 68   |
| <b>Tabla 17.</b> Condiciones de los clientes de la máquina                                  | 69   |
| <b>Tabla 18.</b> Resumen del análisis de diseño   | 70   |
| <b>Tabla 19.</b> Cálculos para selección de motor eléctrico con base en artículo científico | 81   |
| <b>Tabla 20.</b> Diseño conceptual para la elevación del subsistema de tracción             | 88   |
| <b>Tabla 21.</b> Perfiles estructurales circulares o tuberías circulares                    | 90   |
| <b>Tabla 22.</b> Rodamientos para diámetro interno de 20mm de la empresa SKG                | 92   |
| <b>Tabla 23.</b> Torque para rosca M20  | 95   |
| <b>Tabla 24.</b> Diseño conceptual para el subsistema de alimentación                       | 97   |
| <b>Tabla 25.</b> Perfiles de tubería cuadrada   | 104  |
| <b>Tabla 26.</b> Cargas de los demás subsistemas sobre el subsistema estructural            | 111  |
| <b>Tabla 27.</b> Listado de planos definitivo   | 117  |
| <b>Tabla 28.</b> Cortes para el Subsistema estructural                                      | 119  |
| <b>Tabla 29.</b> Componentes planos del subsistema estructural                              | 120  |
| <b>Tabla 30.</b> Cortes para el subsistema de tracción                                      | 121  |
| <b>Tabla 31.</b> Ficha de proceso subsistema estructural                                    | 134  |
| <b>Tabla 32.</b> Ficha de proceso para subsistema de tracción                               | 135  |
| <b>Tabla 33.</b> Ficha de procesos para el subsistema de alimentación                       | 136  |
| <b>Tabla 34.</b> Listado de balones y pelotas del deporte internacional                     | 138  |
| <b>Tabla 35.</b> Comparación de elementos de entrada  | 139  |
| <b>Tabla 36.</b> Escalado del subsistema de potencia  | 142  |
| <b>Tabla 37.</b> Resultados de las pruebas de lanzamientos                                  | 183  |
| <b>Tabla 38.</b> Proporcionalidad de la elevación de los motores prototipo-máquina real     | 186  |
| <b>Tabla 39.</b> Proporcionalidad de la inclinación de los motores                          | 187  |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 40.</b> Ficha técnica del prototipo                                  | 191 |
| <b>Tabla 41.</b> Costos del subsistema estructural LAPESQ                     | 192 |
| <b>Tabla 42.</b> Costos del subsistema de potencia LAPESQ                     | 193 |
| <b>Tabla 43.</b> Costos del subsistema de tracción LAPESQ                     | 193 |
| <b>Tabla 44.</b> Costos del subsistema de alimentación LAPESQ                 | 194 |
| <b>Tabla 45.</b> Costos subsistema de control LAPESQ                          | 194 |
| <b>Tabla 46.</b> Costos totales para los subsistemas de LAPESQ                | 195 |
| <b>Tabla 47.</b> Costos adicionales para la fabricación                       | 195 |
| <b>Tabla 48.</b> Componentes metálicos del subsistema estructural a cotizar   | 197 |
| <b>Tabla 49.</b> Costos del subsistema estructural para fabricación final     | 198 |
| <b>Tabla 50.</b> Componentes metálicos del subsistema de tracción a cotizar   | 198 |
| <b>Tabla 51.</b> Costos del subsistema de tracción para fabricación final     | 199 |
| <b>Tabla 52.</b> Costos del subsistema de potencia para fabricación final     | 199 |
| <b>Tabla 53.</b> Componentes cotizados para el subsistema de alimentación     | 199 |
| <b>Tabla 54.</b> Costos del subsistema de alimentación para fabricación final | 200 |
| <b>Tabla 55.</b> Costos del subsistema de control para fabricación final      | 200 |
| <b>Tabla 56.</b> Costos totales de los componentes para la fabricación final  | 201 |
| <b>Tabla 57.</b> Precio final de la maquina lanzadora de balones de voleibol  | 201 |
| <b>Tabla 58.</b> Comparación de costos de los subsistemas                     | 202 |
| <b>Tabla 59.</b> Comparación de competitividad de precios para el mercado     | 203 |

## RESUMEN

A partir del proyecto recibido por parte de la universidad titulado “DISEÑO DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA”, junto con planos y documentos anexos se realiza un diagnóstico de análisis del diseño, en donde, se evaluaron los factores de estabilidad y peso pasando por los cinco subsistemas que la componen y el análisis de costos, en el cual, se realizaron las sumatorias aritméticas revisadas de los costos encontrados en el documento aplicando el IPC de marzo de 2020 para realizar una comparación con las demás máquinas encontradas en el mercado.

A partir del diagnóstico realizado se concluye que a la máquina se le pueden realizar acciones de mejora mediante un rediseño, el cual, se enfoca en el cálculo de los motores de lanzamiento, reducción de calibre de componentes del subsistema de alimentación, sustitución de una cremallera por un tornillo y el cambio de calibre y disposición de la estructura en función de mejorar las características de peso y estabilidad. Por otro lado, se realiza a modo de marco teórico la planificación de los procesos de manufactura para la fabricación del diseño previamente cambiado.

Sin embargo, para validar el rediseño presentado y la planificación de procesos se realiza con la fabricación de un prototipo funcional a escala de la máquina que lanza pelotas de squash. Y finalmente se realizan los respectivos análisis de costos para la fabricación del prototipo, fabricación futura de la máquina y una comparación.

Palabras clave: Fabricación, rediseño, manufactura, prototipo, costos, voleibol, squash.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la ingeniería y en especial de la ingeniería mecánica, con el diseño se proponen soluciones a diferentes problemas que se tenga en el progreso de la humanidad, este puede ir enfocado en la automatización, termofluidos, procesos, entre otros. Sin embargo, para poner a prueba dicha propuesta no se basta solamente con los componentes teóricos o las investigaciones realizadas, con la fabricación se complementa y valida si lo pensado ha de funcionar correctamente.

El departamento de ingeniería mecánica de la Fundación Universidad de América, ha aprobado proyectos institucionales, que como su nombre indica, son de interés para el claustro académico y de toda su comunidad académica. Dentro de esos proyectos se destaca el realizado por dos ingenieros egresados que entregaron su respectivo diseño en el periodo 2019-2 titulado: “DISEÑO DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA”.

De modo que, es un proyecto que, si se realiza su fabricación en función del diseño entregado por sus autores, se brindaría un estímulo a la comunidad académica, se aportaría una máquina creada en su totalidad de y por los estudiantes, principales actores en un claustro académico. Sin embargo, es conveniente realizar un análisis al proyecto con el objetivo de evaluar y tomar una decisión profesional de si es viable su fabricación desde el punto de vista del diseño mecánico y de los costos asociados a su materialización.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En este primer capítulo se presentará la formulación del proyecto para su posterior resolución. Las secciones encontradas en esta parte son extraídas del correspondiente anteproyecto bajo sus respectivas modificaciones en función del cambio de título y objetivos que sufrió el proyecto a raíz de la coyuntura global del COVID 19.

### **1.1 Antecedentes**

En la asignatura de Trabajo de grado de 2019-2 dos estudiantes proponen realizar el “DISEÑO DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA”, en donde, se plantea un diseño que supla la necesidad de la universidad de tener como suministro deportivo una máquina de tal funcionamiento para el mejoramiento del nivel deportivo de su equipo de voleibol. Del mismo modo, es deseo de la universidad de materializar el diseño realizado por los estudiantes en el presente trabajo como tema de proyecto de grado del programa de ingeniería mecánica en función de la aplicación de los conocimientos adquiridos en las asignaturas de PROCESOS 1 y PROCESOS 2 respectivamente.

Para realizar la fabricación de la máquina en cuestión se parte de la variable de la velocidad con la cual el balón es expulsado de la máquina en valores aproximados de 100 Km/h, así mismo, se deben tener en cuenta las dimensiones estandarizadas de los balones de voleibol para el dimensionamiento del expulsor. Así mismo, los estudiantes diseñadores plantearon posibles materiales y procesos de fabricación que son de gran utilidad como punto de partida inicial de este proyecto. [1]

Según los estudios realizados, el lanzamiento de un balón deportivo tiene un grado de libertad, sin embargo, hay tres grados de libertad para la alineación del lanzador. Se pueden encontrar velocidades máximas de lanzamiento para un balón deportivo de 131 Km/h cuando es expulsado, cuando las máquinas lanzadoras están operando al 70% de su potencia; se encuentra una relación directa entre la velocidad de impacto y la velocidad inicial del balón. [2]

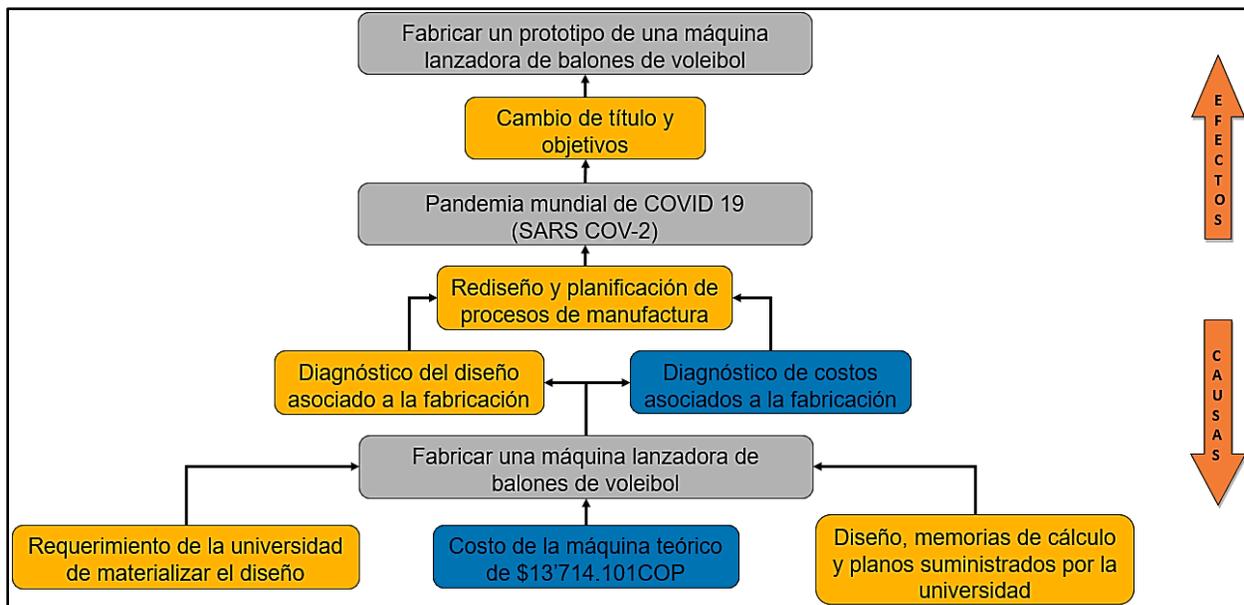
## 1.2 Pregunta de investigación

Después de haber analizado los antecedentes, se podría hacer una primera inferencia de que este proyecto se basa en la fabricación de una máquina lanzadora de balones de voleibol y hasta un punto de la realización del presente proyecto se tenía como fin dicha acción. Sin embargo, antes de siquiera poder realizar una fabricación de un diseño que solamente fue validado académicamente, este tiene que tener una primera fabricación o un prototipo.

El planteamiento del presente proyecto fue realizado en la segunda mitad del año 2019, y se tenía la intención de realizar la fabricación de la máquina a partir del diseño recibido en los inicios del año 2020. Sin embargo, dada la pandemia global a causa del SARS COV-2 que implicó una cuarentena estricta, esta meta no se pudo cumplir, y para no generar posibles pérdidas monetarias realizando una fabricación de un diseño que no se ha evaluado para dicho fin, se determinó por cambiar el enfoque del proyecto como se resume en la **Figura 1**.

**Figura 1.**

*Árbol del problema*



**Nota.** La figura muestra a modo de diagrama de árbol del problema los cambios que se dieron para el presente proyecto, los cajetines amarillos representan causas y efectos de origen técnico y los de color azul de origen financiero. Mientras que los cajetines de color gris corresponden al o los problemas a solucionar.

A partir de la **Figura 1** se realiza el planteamiento de la respectiva pregunta de investigación, la cual, se presenta a continuación:

*¿Cuál es el método para validar un diseño para la fabricación de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América?*

### **1.3 Justificación**

La realización de este proyecto se plantea frente a la necesidad de la Fundación Universidad de América como empresa soporte de materializar el “*Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América*” para continuar con la línea de desarrollo de la ingeniería mecánica, en la cual, después de realizar un diseño se procede a realizar un prototipo. Con esta primera fabricación lo que se espera es evaluar los cambios que se le apliquen al diseño suministrado y contribuir con una base practica para el desarrollo de un proceso de fabricación final.

Como consecuencia se tiene la necesidad de realizar un análisis a modo de diagnóstico de los documentos adquiridos (trabajo de grado, planos, anexos, archivos CAD), y que, por parte del proyectista se dará un aporte de otro punto de vista al diseño y un balance de lo recibido frente a una fabricación futura. Con la realización de un prototipo se da un aporte a la Fundación Universidad de América de que los proyectos de diseño generados por sus estudiantes deberán pasar por un proceso similar antes de pensar en la fabricación final, esto conlleva a la oportunidad de optimizar procesos de fabricación, materiales y la mejora de los mismos diseños para hacer uso de equipos para la manufactura del proyecto (CNC) y de análisis académico (simulaciones numéricas mediante software), así mismo, de un alivio económico en caso de encontrar errores a los planteamientos mediante una inversión menor.

### **1.4 Hipótesis**

El presente proyecto busca por medio de la fabricación de un prototipo validar un rediseño a partir de uno previo. Con este modelo se espera realzar una aproximación a escala del proceso de manufactura para la materialización de la idea propuesta, así mismo, se pretende que el producto final sea funcional y que este de una proporción del posible desempeño que pueda tener a futuro la fabricación y uso del diseño en su tamaño original.

## 1.5 Objetivos

Para dar solución al problema planteado a lo largo del capítulo se formulan los respectivos objetivos, en donde, el objetivo general será la solución propuesta y los objetivos específicos serian la secuencia de pasos para llegar a dicha solución presentada.

### Objetivo General

Fabricar un prototipo de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América

### Objetivos Específicos

- ④ Diagnosticar el diseño y los costos propuestos del proyecto de “Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América”
- ④ Rediseñar la máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América previamente analizada.
- ④ Planificar los procesos de manufactura de cada uno de los subsistemas y partes manufacturales del nuevo diseño de la máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América
- ④ Desarrollar el prototipo para la máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América
- ④ Evaluar los costos de fabricación del prototipo y los costos futuros para la fabricación final de la máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América

## **2. METODOLOGÍA**

En esta sección se van a plantear los alcances del proyecto, el plan de trabajo y el tipo de investigación que se pretende realizar en el presente documento a partir del problema a solucionar revisado en el capítulo anterior.

### **2.1 Delimitación**

En el presente documento se desarrollará a modo de soporte escrito la fabricación de un prototipo de una máquina lanzadora de balones de voleibol. Para llevar a cabo ese fin, durante el periodo de Agosto a Diciembre de 2020 se tuvo como tiempo para la realización del proyecto, lo que se busca con la materialización de esa primera fabricación es la de validar de manera práctica, física y tangible el diseño propuesto y sus procesos de fabricación, dado que, el tema principal de ese proyecto es la fabricación y la manufactura.

Para llegar a tal fin, como se vio en el capítulo anterior, se realizará un diagnóstico del proyecto de diseño suministrado por parte de la Fundación Universidad de América, en donde, el proyectista realizará un análisis de diseño y análisis de costos para dar una conclusión en función de la viabilidad y la factibilidad de llevar a cabo la fabricación de dicho diseño. Si se requieren cambios, mejoras o modificaciones, se incurre en lo que se denomina rediseño, en el cual, se proponen soluciones que optimicen el diseño y mejoren los resultados de viabilidad y factibilidad para su posterior fabricación.

Así mismo, teniendo un rediseño optimizado se procede a planificar los procesos de manufactura, en esta sección se realizará a modo de marco teórico las definiciones de algunos procesos de fabricación, se realizarán los respectivos análisis para la materialización de cada pieza con sus respectivas fichas de proceso. A partir de un rediseño y de los procesos de fabricación planificados, se realiza la elaboración del prototipo, en el cual, se realiza la determinación del tamaño, la geometría y operatividad a partir de cotizaciones y visitas a talleres para licitar y adquirir los servicios y materiales que más se aproximen al rediseño. Y finalmente se realizan los análisis de costos finales del proyecto, proyección de costos futuros y una comparación de costos entre los dos proyectos.

## 2.2 Diseño metodológico

El objetivo de la metodología a emplear en el presente proyecto es descriptivo al mostrar un diagnóstico de un proyecto previo y para evidenciar un proceso de fabricación. Es evaluativo ya que con la elaboración de un prototipo se pretende validar un rediseño y unos procesos de manufactura planificados. A su vez es predictivo, puesto que, con el prototipo se busca llegar a una aproximación práctica de cómo sería la fabricación y comportamiento de la máquina en su tamaño original, así mismo, en el análisis de costos se hace una proyección de los costos futuros para la fabricación de la máquina.

El método para llegar a feliz término con el objetivo general (visto en la sección 1.5) será mediante el análisis de los textos y documentación suministrada por parte de la Fundación Universidad de América, procesar dichos datos mediante tablas y visualización de archivos CAD mediante el software SOLID EDGE 2020, quien además cuenta con una herramienta de simulación computacional para validar académicamente el rediseño.

Finalmente se presenta el plan de trabajo para la ejecución de este proyecto:

- ④ Recopilar los archivos del proyecto *“Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América”* (documento, anexos, planos, modelados CAD)
- ④ Procesar dicha información mediante un análisis de cada ítem recibido por medio de un análisis al diseño, subsistemas y de costos encontrados.
- ④ Realizar un diagnóstico en función de la viabilidad y factibilidad de la fabricación del diseño suministrado.
- ④ A partir de cambios y mejoras revisadas en el análisis del diagnóstico, corregir y optimizar el diseño solamente en los aspectos que lo requieran (no realizar un diseño nuevo)
- ④ Validar académicamente los cambios realizados mediante simulaciones numéricas computacionales mediante el método de los elementos finitos (FEM).
- ④ Describir por medio de un marco teórico los procesos de fabricación que se requieren emplear para la materialización de los componentes que no se puedan adquirir en el mercado local.
- ④ Realizar el análisis para el dimensionamiento del prototipo, visitar locales, talleres y sectores de la ciudad donde se puedan adquirir materiales, componentes y servicios para la elaboración del prototipo.

- ⊕ Describir a modo de bitácora la fabricación del prototipo.
- ⊕ Realizar la puesta a punto del prototipo realizando pruebas de funcionamiento.
- ⊕ Evidenciar por medio de facturas de compra el análisis de costos para el prototipo, con cotizaciones mostrar los costos futuros para la fabricación de la maquina real y una comparación con el proyecto anterior.
- ⊕ Redactar las respectivas conclusiones y recomendaciones, así como, llevar un soporte bibliográfico.

### **2.3 Tipo de investigación**

Con base en que la presente investigación está en función de una rama de la ingeniería, vendría siendo del tipo *cuantitativa* dado el procesamiento de datos y generación información numérica. De este tipo de investigación se deriva que es descriptiva como se mencionaba en la sección anterior y evaluativa.

Por otro lado, cabe afirmar que este proyecto también puede considerarse como una investigación del tipo de *Desarrollo experimental y tecnológico* a partir de la generación de un producto y un futuro producto a raíz de una investigación, como lo es el caso de generar un prototipo.

### **2.4 Metodología a usar**

Teniendo en cuenta las secciones de este capítulo y las del anterior, las fases o etapas de la investigación se mostrarán por medio de los siguientes capítulos hasta llegar a las conclusiones. Cada capítulo corresponderá a cada objetivo específico visto en la sección **1.5**, en los cuales tendrán subcapítulos en función de las tareas específicas para completar cada objetivo como se vieron en el diseño metodológico para dar finalidad al objetivo general y título del proyecto: FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTOS EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.

### **3. DIAGNÓSTICO DEL DISEÑO Y LOS COSTOS PROPUESTOS DEL PROYECTO DE “DISEÑO DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA”**

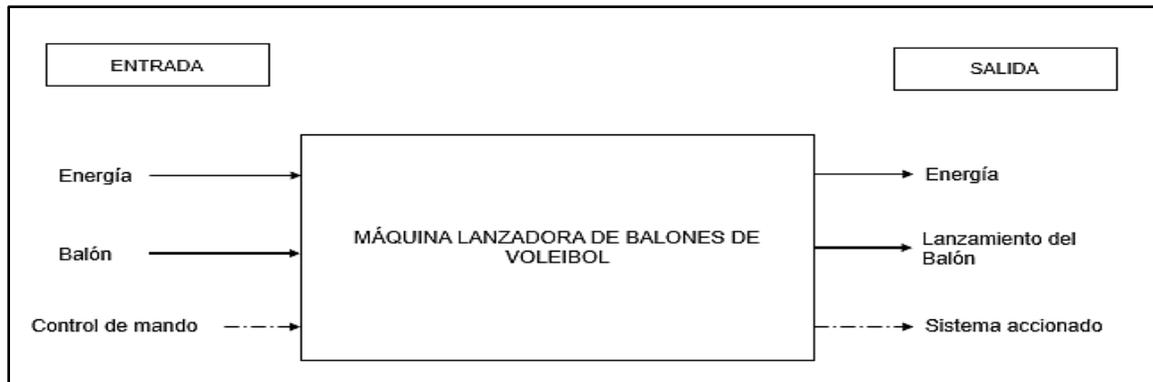
Se inicia el trabajo de investigación como se vio en los objetivos de la sección **1.5**, en esta primera parte se procede a realizar el diagnóstico al proyecto suministrado por la Fundación Universidad de América bajo el título de “*DISEÑO DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA*”, en el cual, se pretende como finalidad de este capítulo dar una conclusión técnica acerca de la *viabilidad* y *factibilidad* de la fabricación del proyecto.

De acuerdo con la definición de la palabra “diagnostico” según la Real Academia Española (RAE) hace referencia a: *Recoger y analizar datos para evaluar problemas de diversa naturaleza* [3]. En consecuencia, la finalidad de este capítulo será la de dar una conclusión a partir de un análisis técnico con base en la información suministrada, por el contrario, en esta parte del proyecto no se mencionarán soluciones o recomendaciones para corregir, mejorar y/o cambiar el diseño recibido.

Acerca de las máquinas lanzadoras de balones de voleibol, estas se componen de subsistemas, mecanismos y componentes que se encargan de recibir un balón de este deporte como material de entrada, el operario realiza la acción de mando (encendido de la máquina y ajuste) para que este equipo genere un lanzamiento del balón. En la **Figura 2** se muestra el funcionamiento de esta máquina según como se encontró en el documento suministrado.

## Figura 2.

Diagrama de caja negra para una máquina lanzadora de balones de voleibol



**Nota.** La figura representa el funcionamiento de una máquina lanzadora de balones de voleibol. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamientos en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>

A partir de conocer el funcionamiento de este tipo de equipos para entrenamientos deportivos de alto rendimiento, se realiza la respectiva investigación acerca de las máquinas que se pueden adquirir libremente en el mercado. Se encuentran las siguientes referencias, como se ve en la

### Figura 3:

- ⊕ Línea Winshot: 800, 1000, 1500
- ⊕ Línea Sports Attack
- ⊕ AirCat
- ⊕ S6638 SIBOASI

### Figura 3.

*Máquinas lanzadoras de balones de voleibol en el mercado*

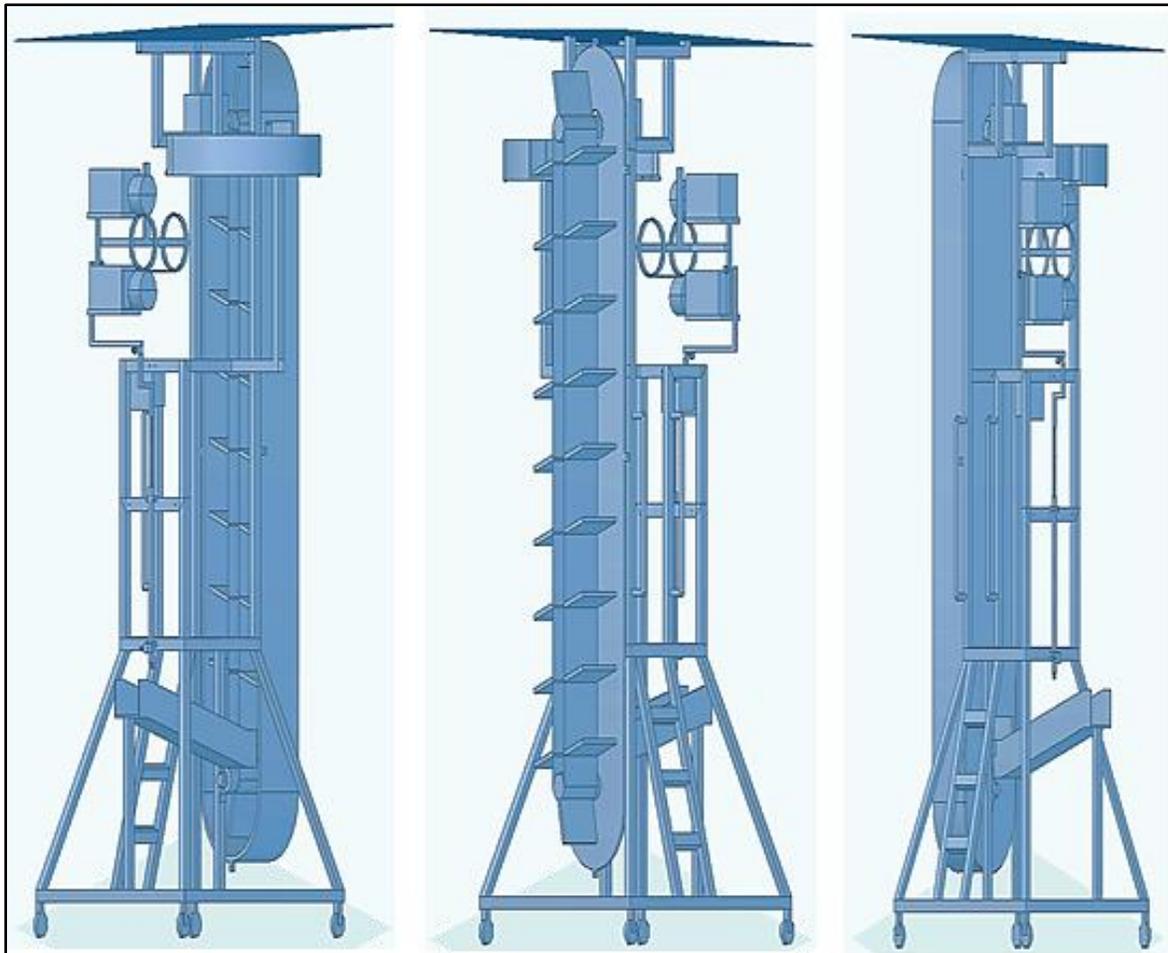


**Nota.** La figura muestra las máquinas lanzadoras de balones de voleibol más vendidas en el mercado. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>. Modificado por el autor.

La totalidad de estas máquinas son de origen extranjero, por lo cual, su adquisición para uso local en Colombia se puede dar mediante la importación del equipo, pero este genera impuestos de aduanas y de nacionalización de los mismos para lograr utilizarlas en este territorio. Por otro lado, a partir de las máquinas vistas en la **Figura 3** se encuentra en el documento suministrado el diseño generado por parte de los estudiantes que realizaron dicho trabajo de grado, en dicho planteamiento se aprecia una decantación de las mejores características de cada referencia para este tipo de equipos como se ve en la **Figura 4**.

#### Figura 4.

*Diseño final para la máquina suministrado por la universidad*

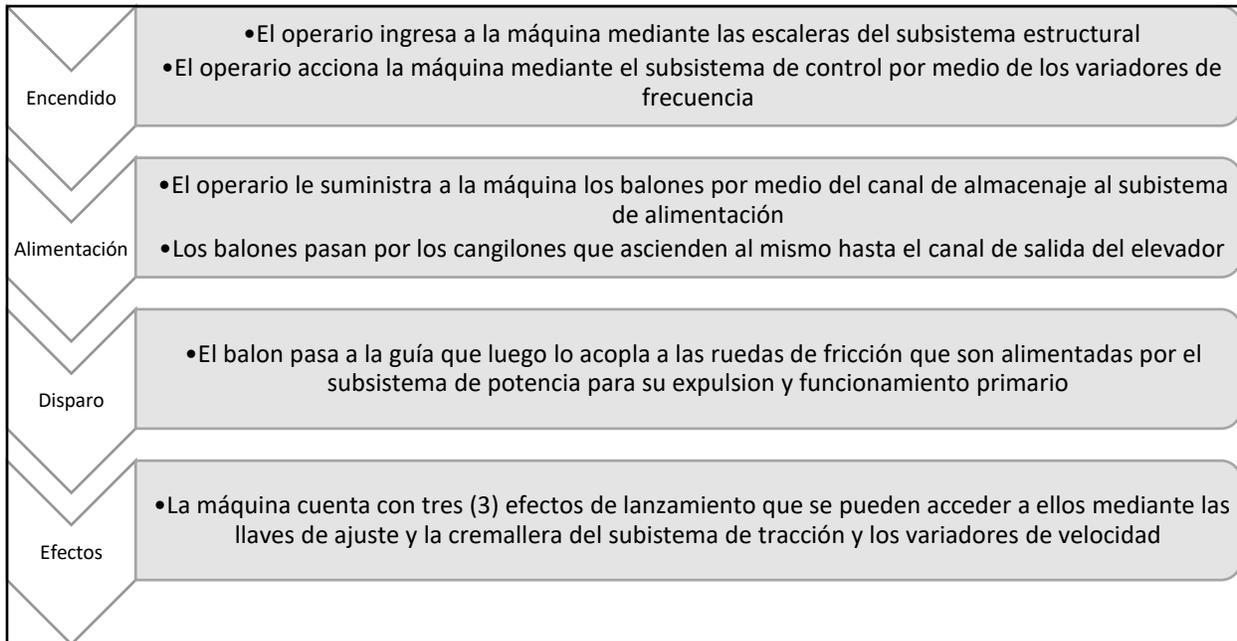


**Nota.** La figura muestra el diseño final de la máquina. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>.

Con base en la figura anterior se podría inferir que el diseño encontrado es una combinación de la línea *Winshot* y *Sports Attack* con la *SIBOASI* dado su alto diseño, elevación de los balones, capacidad de permitir al operario ingresar a la máquina y realizar lanzamientos manuales como automáticos. Por su parte, en el documento se enuncia el respectivo funcionamiento para este diseño nuevo, en la **Figura 5** se resume mediante un diagrama de flujo.

## Figura 5.

*Funcionamiento para el nuevo diseño suministrado*



**Nota.** La figura muestra el funcionamiento en diagrama de flujo.

Según se menciona en la figura anterior existen *subsistemas* que componen la máquina, estos se definirán y analizarán en la sección 3.2. Para finalizar esta introducción del capítulo se procede a realizar los respectivos análisis para dar como resultado un diagnóstico final para este primer objetivo según la siguiente estructura:

- ⊕ Análisis del diseño
- ⊕ Análisis de los subsistemas
- ⊕ Análisis de costos
- ⊕ Diagnóstico

### 3.1 Análisis del diseño

Tal como se definió en la introducción del capítulo acerca de lo que concierne a realizar un diagnóstico, se inicia con la respectiva recopilación de la información, que inicialmente, sería la documentación recibida por parte de la universidad a partir de un trabajo de grado anterior. Estos corresponden a:

- ⊕ Documento del trabajo de grado.

⊕ Anexos.

⊕ 50 planos para la máquina.

En primer lugar, se procede a revisar los planos de este diseño, dado que, es el punto de partida que se tiene la fabricación a consecuencia de que es a partir de estos con los que se pueden realizar licitaciones, cotizaciones y conocer en su totalidad los componentes, subsistemas y la maquina en general. Se visualizan cada uno de los **50 planos** y se identifica que no se menciona la cantidad de componentes a fabricar, el material y que estos no cuentan con una respectiva *codificación*, en la **Tabla 1** se trata de identificarlos. Estos documentos pueden visualizarse en la plataforma Lumieres mediante el siguiente enlace: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7895>.

**Tabla 1.**

*Identificación de planos*

| NÚMERO DE PLANO | SISTEMA               | ENSAMBLE                        | COMPONENTE  |
|-----------------|-----------------------|---------------------------------|---|
| 1               | Total                 | Total                           | N/A   |
| 2               | Estructural           | N/A                             | Columna tipo B  |
| 3               |                       |                                 | Plataforma  |
| 4               |                       |                                 | Columna tipo C  |
| 5               |                       |                                 | Columna tipo C (Escalera)   |
| 6               |                       | Ensamble 3                      | Viga lateral, ángulo lateral, tornillo ajuste, arandela, tuerca, viga frontal, ángulo |
| 7               |                       | N/A                             | Viga tipo C lateral   |
| 8               |                       |                                 | Ángulo lateral  |
| 9               |                       |                                 | Viga tipo C frontal   |
| 10              |                       |                                 | Ángulo  |
| 11              |                       |                                 | Ángulo central  |
| 12              |                       |                                 | Viga tipo C (Escalera)  |
| 13              |                       |                                 | Viga tipo C posterior   |
| 14              |                       |                                 | Columna tipo B (Escalera)   |
| 15              |                       |                                 | Lamina ajuste   |
| 16              |                       |                                 | Tapa  |
| 17              |                       |                                 | Viga tipo D (Techo)   |
| 18              |                       |                                 | Techo   |
| 19              |                       |                                 | Barra sujeción  |
| 20              |                       |                                 | Alimentación  |
| 21              | Buje                  |                                 |   |
| 22              | Potencia              | Soporte lamina Motor Cangilón 2 |   |
| 23              |                       | Soporte techo Motor Cangilón    |   |
| 24              | Lamina Motor Cangilón |                                 |   |
| 25              | Alimentación          | Soporte canal                   |   |
| 26              | Tracción              | Soporte cremallera              |   |
| 27              | Control               | Tablero de mando                |   |
| 28              | Estructural           | Soldadura                       | Vigas, soportes, rodachinas, columnas, buje, peldaño                                  |

**Tabla 1.** (Continuación)

| NÚMERO DE PLANO | SISTEMA      | ENSAMBLE                          | COMPONENTE                                  |                          |
|-----------------|--------------|-----------------------------------|---|--------------------------|
| 29              |              | N/A                               | Viga frontal                                |                          |
| 30              |              |                                   | Viga lateral                                |                          |
| 31              |              |                                   | Soporte total                               |                          |
| 32              |              |                                   | Viga final 1                                |                          |
| 33              |              |                                   | Viga final 2                                |                          |
| 34              | Alimentación |                                   | Columna soporte Cangilón                    |                          |
| 35              |              |                                   | Viga soporte Cangilón                       |                          |
| 36              |              |                                   | Soporte almacenaje                          |                          |
| 37              |              |                                   | Columna escalera                            |                          |
| 38              | Estructural  |                                   | Peldaño                                     |                          |
| 39              |              |                                   | Refuerzo                                    |                          |
| 40              | Alimentación |                                   | Almacenaje                                  |                          |
| 41              |              | Explosionado                      | Cangilones, tapa, canal, carcaza, guía      |                          |
| 42              |              | Cangilones                        | Eje motor, cangilones, banda transportadora |                          |
| 43              |              | N/A                               |   | Tapa frontal elevador    |
| 44              |              |                                   |   | Canal salida de elevador |
| 45              |              |                                   |   | Tolva-Guía               |
| 46              | Tracción     |                                   | Protector cremallera                        |                          |
| 47              |              | Explosionado rotación inclinación | Pin1, 2, 3, carcaza motor, llave de apriete |                          |
| 48              |              | N/A                               |   | Pin1 Rot-Incl            |
| 49              |              |                                   |   | Pin2 Rot-Incl            |
| 50              |              |                                   | Pin3 Rot-Incl                               |                          |

**Nota.** La tabla muestra la identificación de los 50 planos.

Como se había mencionado, estos planos carecen de una codificación. Esta es una forma de organización para planos de ingeniería mecánica que busca brindar un orden y facilidad al momento de buscar un documento en específico dentro de una gran cantidad. Por otro lado, estos planos recibidos no corresponden a planos de fabricación, puesto que, no se mencionan los procesos para la manufactura de dichos componentes.

Para poder realizar planos nuevos, o corregir los recibidos se da la necesidad de conseguir los respectivos archivos CAD (Computer Asisted Drawing) o modelados 3D en software para poder visualizar y generar nuevos planos. Por tal motivo, se tuvo que contactar a los estudiantes, ya egresados, autores del proyecto. Así mismo, se requieren dichos archivos para continuar con el presente análisis y el posterior correspondiente a cada uno de los subsistemas.

Con base en lo delimitado en la sección **2.1** y en la introducción de este capítulo, no se realizarán planos nuevos o modificaciones, dado que, lo que se busca es un diagnóstico del diseño, y que, a primera instancia se encuentran falencias en los planos para poder realizar la fabricación.

En segundo lugar, se procede a revisar los archivos CAD solicitados a los autores del proyecto a analizar complementado con el respectivo documento de trabajo de grado. Se toma como punto de partida el manual de mantenimiento de la máquina, en donde, se extrae la respectiva ficha técnica del diseño como se ve en la **Figura 6**.

**Figura 6.**

*Ficha técnica del diseño de la máquina lanzadora de balones de voleibol*

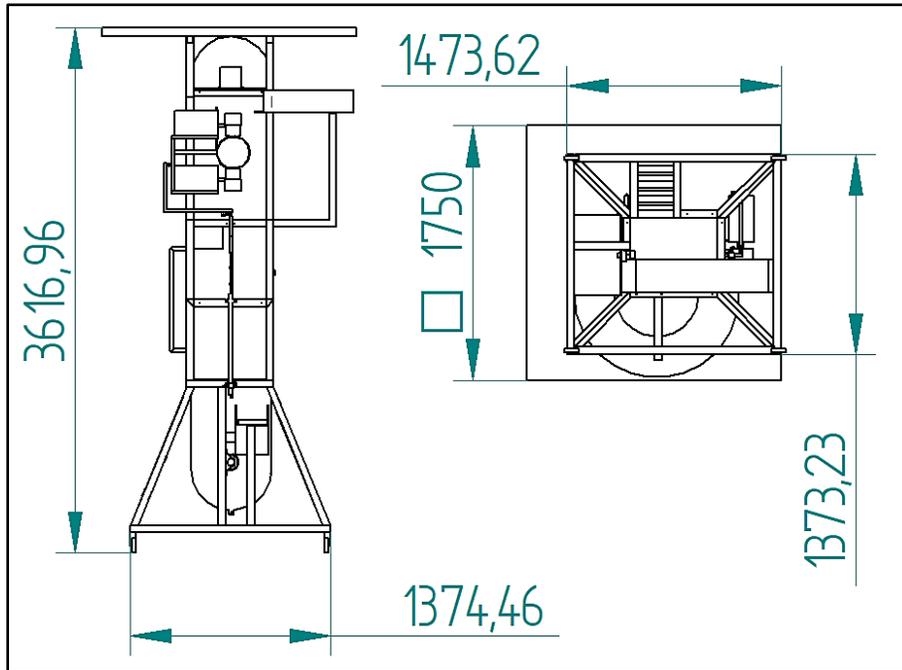
|  |
|--|
| <b>NOMBRE TECNICO</b><br>Lanzador de balones de Voleibol |
| <b>PROCEDENCIA</b><br>Bogotá D.C., Colombia              |
| <b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>                         |
| <u>Dimensiones: 3.617m x 1.373 m x 1.473m</u>            |
| Potencia: 3 Motores Trifásicos ¼ HP                      |
| Almacenamiento: 4 Balones en Canal                       |
| Alimentación: 10 Balones en línea de subida              |
| Frecuencia de Lanzamientos: 20 Lanzamiento/min           |
| Velocidad de Lanzamientos: 80 -120 Km/h                  |
| Fuente de energía: Toma de corriente 220 V               |
| Requerimiento eléctrico: Conexión Trifásica AC           |
| Control: Variadores de Velocidad Invertek                |
| Diámetro de rueda de Lanzamiento: 150 mm                 |
| <u>Peso Máquina: 370 Kg</u>                              |

*Nota.* La figura muestra las especificaciones para peso y dimensiones. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>.

De la figura anterior se hace hincapié en las *dimensiones* y en el *peso* de la máquina, puesto que, inicialmente estas dos propiedades son muy relevantes al momento de diseñar. En primer lugar, no se evidencia dentro de los planos recibidos que se soporte que esas dimensiones son las correctas. Sin embargo, gracias los archivos CAD se puede realizar una medición inicial de la máquina como se ve en la **Figura 7**.

**Figura 7.**

*Dimensiones del diseño suministrado*



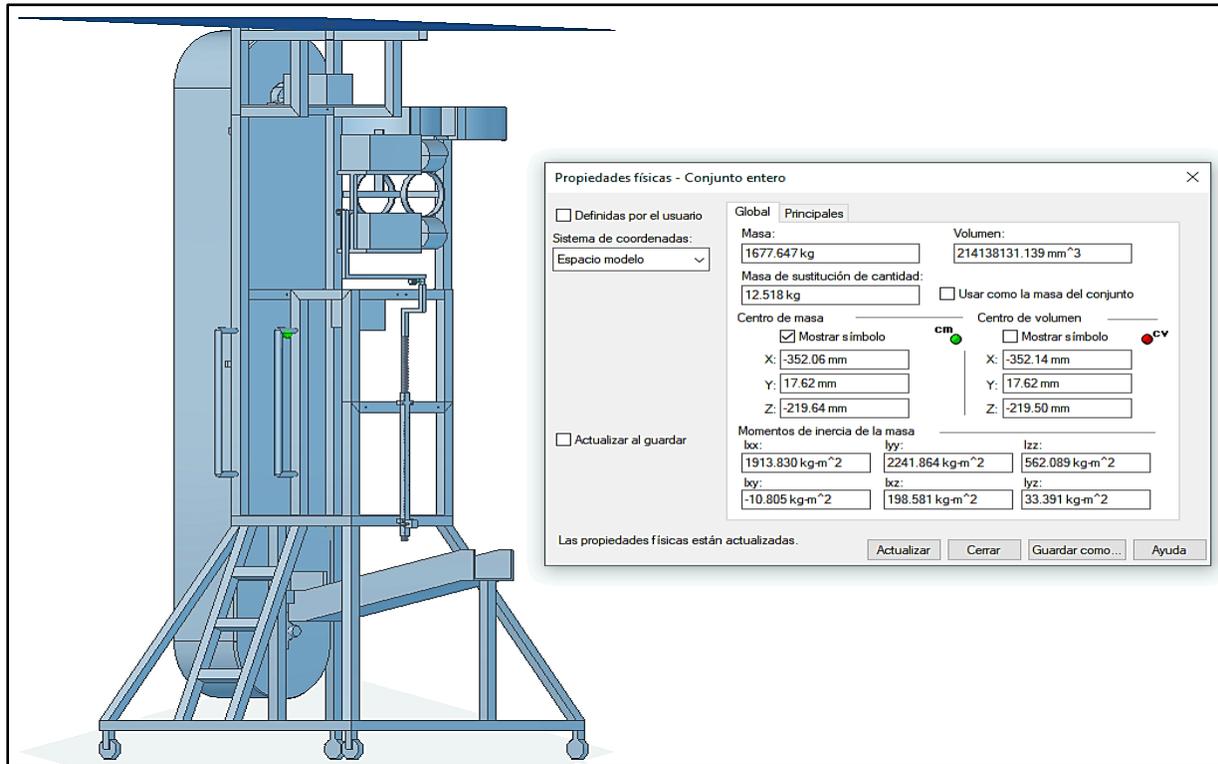
**Nota.** La figura muestra las dimensiones de la máquina.

Revisando la imagen anterior y si se compara con lo visto en la **Figura 6**, las **dimensiones** para la altura están aproximadas a número entero, las correspondientes a ancho y profundo también, pero en estas se mide es en la estructura de la máquina porque también se encuentra un techo o lamina en la parte superior de la máquina cuya medida es mayor a la vista en la ficha técnica.

Para revisar el **peso** de la máquina se revisa el documento suministrado, en el cual, se hace referencia a que la mayoría de componentes del diseño serian fabricados en **acero estructural A36** o **ASTM E500 GRADO C** como se conoce técnicamente el material para perfiles estructurales y láminas. Sin embargo, al momento de revisar el modelado CAD para la maquina total mediante el software SOLID EDGE 2020 este no cuenta con los respectivos materiales para los componentes, dado que, no se tienen determinados los materiales para cada uno de los componentes o piezas del modelado, al momento de aplicar el material de acero estructural da como resultado un peso excesivo como se evidencia en la **Figura 8**.

**Figura 8.**

*Aplicación del material al modelado CAD*



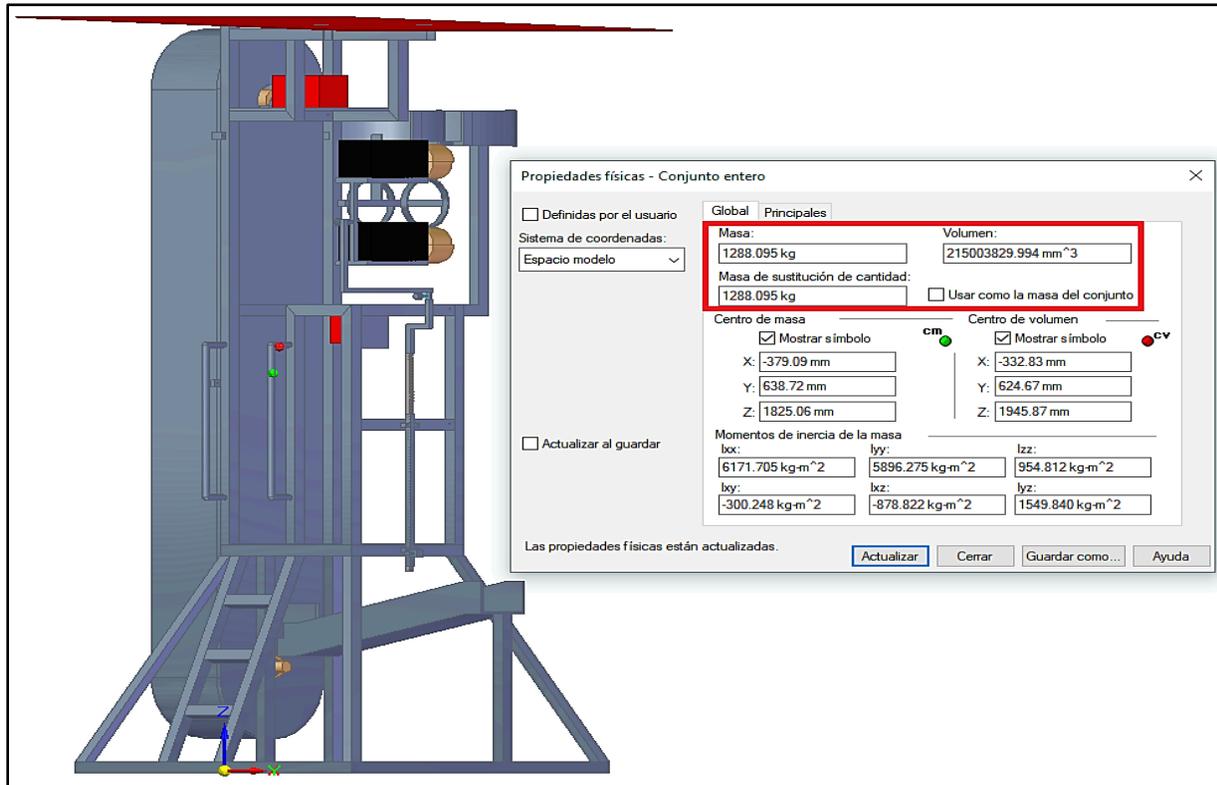
**Nota.** La figura muestra el peso y volumen simulados de la máquina.

Se procede a aplicar los materiales que se ven en el capítulo tres (3) del documento suministrado que corresponde al diseño detallado, en donde se identifica que para los demás materiales se encuentra **policarbonato** para el techo, **PVC** para las ruedas de fricción y para la banda transportadora, así como cangilones de este mismo y empaques plásticos para las carcasas de los motores y de los inversores de frecuencia, que para fines de una aproximación más a detalle del peso verdadero de la máquina se aplica **ABS**.

Así mismo se identifica que para la cremallera se tiene como material el **acero al carbono F114**. Ya con los respectivos materiales se vuelve a revisar su peso como se ve en la **Figura 9**.

**Figura 9.**

*Aplicación de los materiales correspondientes al modelado CAD recibido*



**Nota.** La figura muestra el peso y volumen aproximados de la máquina.

Con base en la figura anterior, se denota que el diseño tiene un peso aproximado de **1288,095Kg** y no de **370Kg** como se tenía entendido en la **Figura 6**. Se evidencia una incongruencia entre el valor mostrado en el documento y el visualizado en el software CAD. Si se toma en cuenta este último, con un peso de aproximadamente **1,3Ton** hace que este diseño sea excesivamente pesado superando al previsto en un **71,27%** volviéndolo un posible riesgo para manipular teniendo en cuenta que la maquina se tiene planteada para ser operada por estudiantes de la universidad tanto hombres como mujeres.

Por otro lado, si se realiza la respectiva comparación de las dimensiones que se vieron en la **Figura 7** y el peso de la **Figura 9** con las demás maquinas encontradas en el mercado se evidencia que el diseño recibido supera hasta **seis veces** el peso de la máquina más pesada encontrada en el mercado, la cual es la **Winshot 1500**, como se ve en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.**

*Comparación de dimensiones y peso de las máquinas lanzadoras de voleibol*

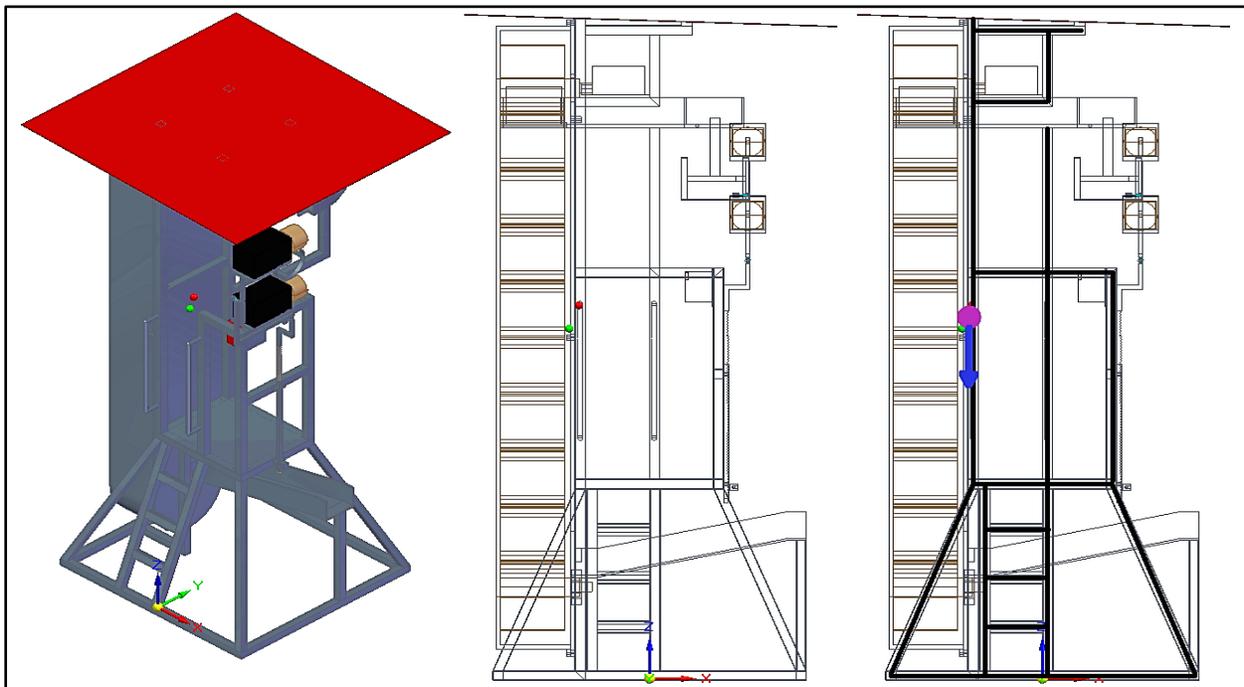
| PROPIEDAD \ MÁQUINA | WINSHOT      |             |             | SPORTS ATTACK |        |           |              | SIBOASI | FUA    |
|---------------------|--------------|-------------|-------------|---------------|--------|-----------|--------------|---------|--------|
|                     | WINSHOT 1500 | WINSHOT 800 | WINSHOT 500 | TOTAL         | ATTACK | ATTACK II | SKILL ATTACK | S6638   | LABAVO |
| Alto (m)            | 2.6          | 2.5         | 2.4         | 3.2           | 3.14   | 2.8       | 1.8          | 3.27    | 3.6    |
| Ancho (m)           | 1.6          | 1.15        | 0.8         | 0.91          | 0.6    | 0.6       | 0.9          | 1.3     | 1.4    |
| Profundo (m)        | 1.5          | 0.8         | 1           | 1.3           | 1.3    | 1         | 1            | 0.75    | 1.3    |
| Peso (Kg)           | 220          | 170         | 110         | 127           | 90.7   | 90.7      | 24           | 102     | 1288.1 |

**Nota.** La tabla muestra una comparación de especificaciones físicas.

Del mismo modo, en la **Figura 9** se muestran unos puntos de color rojo y de color verde, estos son los puntos donde se ubicarían el centro de masa y de volumen respectivamente, y que, el software permite ubicarlos mediante el cálculo de la masa, volumen, y momentos de inercia para la masa. Si se visualiza la maquina en la vista frontal, se observa que dichos puntos no se encuentran concéntricos a la estructura como se ve en la **Figura 10**.

**Figura 10.**

*Diagrama de estabilidad para el modelado CAD recibido*



**Nota.** La figura muestra que la máquina no tiene equilibrio por la excentricidad de su centro de masa y volumen (punto morado).

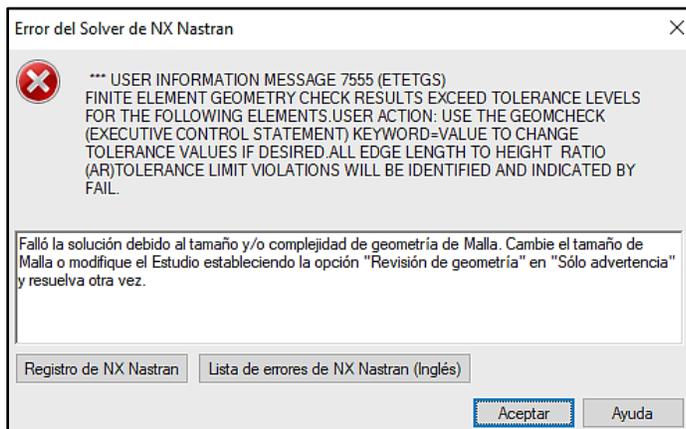
De la figura anterior en la parte de la derecha se muestra el punto central entre los centros de masa y volumen con un punto morado. Que hace referencia a la excentricidad que tienen estos puntos de referencia, y que, si la máquina estará sostenida mediante cuatro rodachinas con freno, estas piezas permitirán dos grados de libertad para los desplazamientos, pero podrían incurrir en un fenómeno de “volcamiento” o “tumbe”. A su vez, la estructura permite que los operarios ingresen en ella, y si no se da un equilibrio para esos puntos de referencia, podrían presentar riesgos a la integridad de los operarios, tanto si están dentro o fuera de la máquina.

A partir de la anterior conjetura, se plantea en realizar un primer análisis computacional para confirmar lo mencionado mediante una simulación por el método de los elementos finitos (FEM), que, en el software SOLID EDGE 2020 se puede realizar, dado que, cuenta con un simulador de la referencia NX NASTRAN de la compañía SIEMENS, que para fines de este proyecto se usara una versión académica gratuita.

Se intenta realizar una primera simulación aplicando una carga gravitacional, restringiendo el desplazamiento totalmente para la base de la estructura (simulando que la maquina este ajustada en los rodachines) y aplicando un tamaño de malla de seis, en una escala de uno a diez, para poder ejecutar el análisis. Sin embargo, pasados unos minutos el software muestra una ventana de error como se ve en la **Figura 11**.

### **Figura 11.**

*Mensaje de error para la primera simulación FEM*



**Nota.** La figura muestra que el análisis de geometría encontró valores excesivos para las tolerancias.

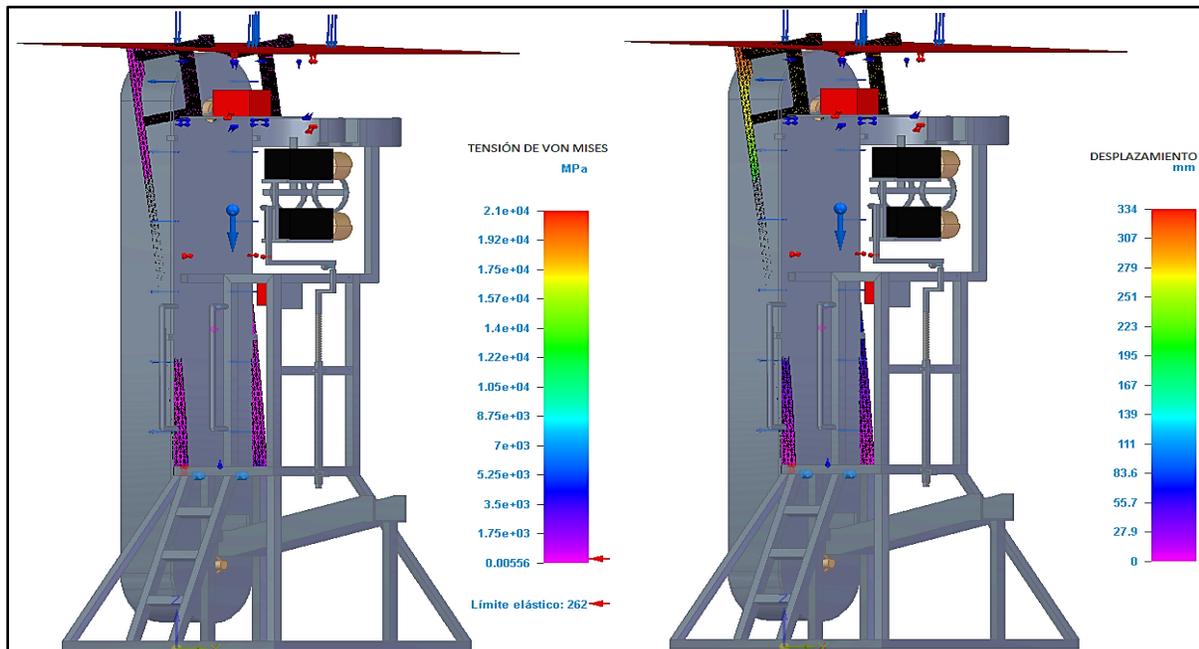
Dado que se aplicó un tamaño de malla de seis, se cambia por diez, siendo el tamaño más fino para el respectivo modelado tridimensional, aun así, el resultado fue el mismo obteniendo el mismo mensaje de error.

Bajo tutorías realizadas con los docentes a cargo de dicha asignatura en la universidad se determinó que el software empleado no cuenta con un tamaño de malla suficiente para una estructura de tal complejidad, así mismo, de que el mismo software solamente puede simular un material a la vez, y que, con base en la **Figura 9** este modelado cuenta con más de un material.

En vista de que no se pudo realizar una simulación completa, se iniciará realizando la simulación para las columnas de la máquina que es donde se ubica el centro de masa y de volumen, en donde, se va a aplicar la carga del elevador de cangilones que corresponde a **931,558Kg** que se aplicarían a modo de carga con una fuerza de **9138,58N** para verificar si resiste su tal peso y el del techo que tiene una masa de **10,93Kg** que se aplica como carga de **107,22N**, como se ve en la **Figura 12**.

**Figura 12.**

*Segunda simulación FEM preliminar en columnas principales*



**Nota.** La figura muestra la tensión de Von Mises y el desplazamiento por las cargas aplicadas.

Como se ve en la **Figura 12** se evaluaron la *tensión de Von Mises* y el *desplazamiento* de las columnas frente a las cargas antes mencionadas, en la parte izquierda se ve en la escala de colores

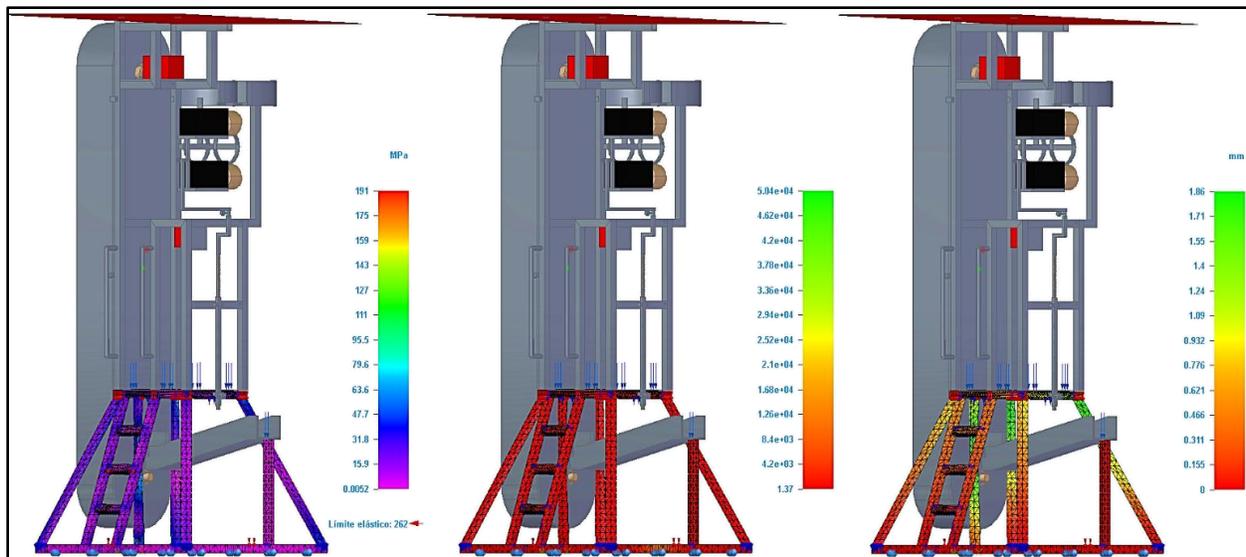
que no se ha llegado al “límite estático”, por ende, el material se comporta de forma idónea. Mientras que en la parte derecha se aprecia que el desplazamiento máximo de  $334\text{mm}$  lo que equivale a  $0,3\text{m}$  por lo cual el software muestra que las columnas efectivamente se deflectan.

La mayor deformación se encuentra en la parte superior, donde se ubica el techo y la lámina que soporta el motor que acciona los cangilones, si hay desalineación, el *subsistema de alimentación* podría fallar. Del mismo modo, dado que ese subsistema tiene un peso considerable, generaría el efecto de volcamiento o solamente impediría la elevación de balones, como también desalinear el techo y los motores, junto con los demás componentes eléctricos estarían expuestos a las condiciones meteorológicas.

Del mismo modo, se realiza el análisis FEM para el marco inferior o base de la estructura la cual soporta todo el peso y está anclada por medio de rodachines que generan desplazamiento en tres (3) grados de libertad, como se ve en la **Figura 13**. Para esta simulación se tomarán las cargas del elevador de cangilones, el canal de almacenaje que cuenta con un peso de  $43,373\text{ kg}$  que equivale a una carga de  $425,49\text{N}$  y de la parte superior de la estructura que equivale a  $239,013\text{Kg}$  que, aplicados como carga sería de  $2344,71\text{N}$ .

**Figura 13.**

*Tercera simulación FEM preliminar a la base inferior de la máquina*



**Nota.** La figura muestra la simulación: tensión de Von Mises (izquierda), factor de seguridad (centro) y desplazamiento (derecha) a la base de la estructura con las cargas aplicadas.

Del mismo modo que con el análisis anterior, se evidencia con la *tensión de Von Mises* que no se ha llegado al límite elástico. Por su parte se tiene un *factor de seguridad de 1.37* lo que resulta muy bajo a sabiendas que esta sección inferior de la estructura también ha de sostener a los operarios o estudiantes. Y finalmente se tiene un *desplazamiento de 1,86mm* que se evidencia en la chumacera inferior, haciendo que este se desalinee, causando un movimiento en la *banda transportadora* haciendo que el *subsistema de alimentación* pueda no operar de manera óptima.

Con base en esas dos simulaciones, se evidencia que el principal problema en cuanto a exceso de peso de la máquina corresponde al *subsistema de alimentación*, por otro lado, analizar a su totalidad cada uno de los componentes de la máquina es requerido para dar un diagnóstico acerca del diseño de la máquina.

No obstante, se procede a realizar el análisis minucioso a cada uno de los subsistemas que componen la máquina lanzadora de balones de voleibol y sus respectivas piezas para realizar el diagnóstico de viabilidad de manufactura.

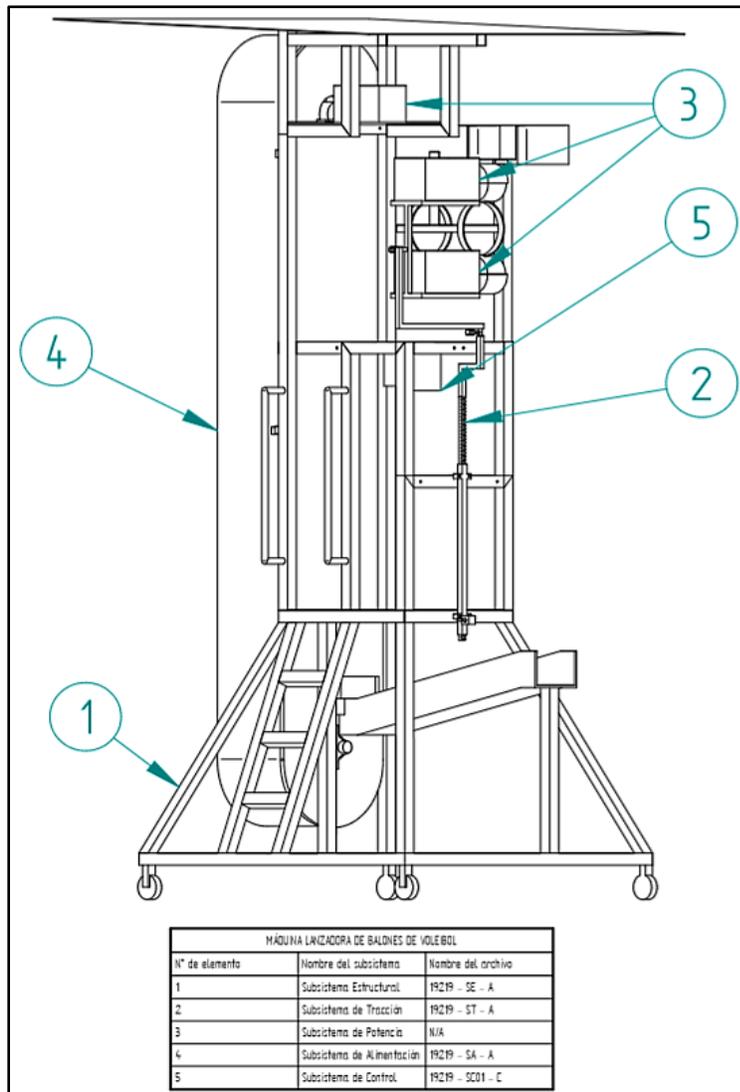
### **3.2 Análisis de los subsistemas**

Como se vio en la sección anterior con los planos de las piezas, esta máquina lanzadora de balones de voleibol cuenta con cinco subsistemas para su fabricación, como se ve en la **Figura 14** los cuales corresponden a:

- ⊕ Estructural para soportar los demás subsistemas y garantizar un equilibrio estático de la masa de la máquina.
- ⊕ Tracción que se encarga de la expulsión o lanzamiento de los balones y de los efectos que pueda tener dicho lanzamiento.
- ⊕ Potencia, que será el encargado de mover todas las piezas móviles mediante la alimentación de energía eléctrica.
- ⊕ Alimentación que se encargara de recibir los balones por parte de los operarios y transportarlos por medio de la máquina hasta el subsistema de tracción.
- ⊕ Control para generar un lazo de mando para la máquina y que esta pueda realizar lanzamientos automáticos y/o manuales.

**Figura 14.**

*Subsistemas que componen el diseño de la máquina lanzadora de balones de voleibol*



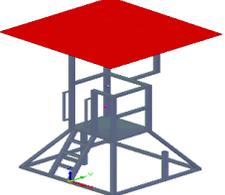
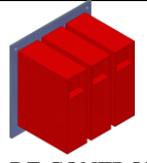
**Nota.** La figura muestra la división de la máquina en 5 subsistemas.

Para analizar cada uno de estos subsistemas se buscará calificar cada una de las partes que lo componen como se ve en la **Tabla 3**.

- ⊕ Estabilidad
- ⊕ Seguridad
- ⊕ Funcionamiento
- ⊕ Peso

**Tabla 3.**

*Resumen del análisis de los subsistemas*

| SUBSISTEMA   | DIMENSIONES (mm)   | DESCRIPCIÓN   | FUNCIÓN   | DIAGNÓSTICO  |   |   |
|--|--------------------|---|---|--|---|---|
|  |                    |   |   | ESTABILIDAD  | SEGURIDAD   | OBSERVACIONES   |
| <br>S. ESTRUCTURAL      | 3471 x 1475 x 1370 | Subsistema Estructural<br>Consta de <b>25 piezas</b> , de las cuales, destaca el perfil estructural 50x50x2.5 o ASTM E500°C | Soportar los demás subsistemas y brindar protección mediante el techo contra la lluvia, cableado y demás piezas de la máquina                                 | Con un peso de <b>160Kg</b> hecho en acero estructural teóricamente soporta las cargas de los demás subsistemas, 10 balones y 2 operarios máximo | El subsistema se podrá desplazar mediante rodachinas                                  | Se encuentran posibles interferencias en el ensamblaje de los peldaños y el techo.<br>Se encuentran demasiados perfiles agudos que se prestan a ser concentradores de esfuerzos (15°)     |
| <br>S. DE TRACCIÓN      | 1980 x 530.5 x 198 | Subsistema de Tracción<br>Consta de <b>13 partes</b> donde destaca la inclusión de 3 “pines”                                | Permite el lanzamiento de los balones a partir de los motores que accionan las ruedas de <b>PVC</b> . Modula la altura del lanzamiento mediante la cremallera | Con un peso de <b>43Kg</b> hecho en acero estructural, con carcasas en ABS para los motores y el peso de los mismos.                             | Posibilidad de obstrucciones en la cremallera. Anclaje de los motores NO especificado | No se especifica tipo de soldadura en “pines”<br>No especifica anclaje de motores<br>Ruedas seleccionadas tienen rodamiento para ajustarse a un tornillo, generando un grado de libertad. |
| <br>S. DE POTENCIA      | SIEMENS 56         | Subsistema de Potencia<br>Consta de tres motores: dos de lanzamiento y uno de elevación.                                    | Suministrar el movimiento rotacional de ruedas PVC y banda transportadora con cangilones  | Los motores van anclados a unas láminas de acero estructural. Con un peso de <b>19Kg</b> .   | Los motores cuentan con carcasas protectoras en ABS de grosor bajo                    | El acople de los motores con ruedas es incorrecto.<br>Motor tiene eje con rosca.<br>Los cálculos para los motores son incorrectos   |
| <br>S. DE ALIMENTACIÓN | 3320 x 1250 x 1456 | Subsistema de Alimentación<br>Consta de <b>9 piezas</b> entre las cuales destaca un elevador de cangilones                  | Recibir y transportar los balones desde el canal de alimentación hasta las ruedas de <b>PVC</b> .   | Con peso de <b>1072Kg</b> genera una desestabilidad en el subsistema estructural. Su centro de masa no es concéntrico                            | Sus componentes son de peso excesivo para su manipulación                             | Es el subsistema con más peso, generando inestabilidad.<br>Los espesores de los componentes son muy gruesos<br>Posibilidad de sustitución   |
| <br>S. DE CONTROL     | 200 x 200 x 130    | Subsistema de Control<br>Consta de un panel de acero donde irán atornillados los inversores de frecuencias y sus carcasas   | Controlar la frecuencia y velocidad de los motores para el lanzamiento de balones. Brinda los efectos de lanzamiento  | Con peso de <b>4,6Kg</b> , que en relación a los demás subsistemas es despreciable   | Se cuenta con el respectivo manual de instalación eléctrica para este subsistema      | Los variadores de frecuencia son costosos en comparación a los costos de otros componentes  |

**Nota.** La tabla muestra a modo de resumen el diagnóstico a los subsistemas.

La manera como se presentaron los resultados vistos en la tabla anterior se realizó con base en los respectivos archivos CAD y el documento soporte. Dentro de dicho trabajo de grado se encuentra una tabla de parámetros definitivos que se tuvieron en cuenta al momento de generar el respectivo diseño suministrado como se ve en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.**

*Parámetros del diseño a evaluar en el diagnóstico*

| SUBSISTEMA          | PARÁMETRO                                | TIPO/VALOR   | UNIDADES |
|---------------------|--|--|----------|
| <b>Estructural</b>  | Capacidad.                               | 150  | Kg       |
|                     | Ergonomía.                               | Perfil Combinado.  | -        |
|                     | Ensamble.                                | Pernos y soldadura.  | -        |
|                     | Movilidad.                               | Manual por rodachinas.   | -        |
|                     | Anclaje.                                 | Sistema de frenado en rodachinas.                                    | -        |
|                     | Protección.                              | Techo (Cubierta de policarbonato).                                   | -        |
|                     | Material.                                | Resistente a corrosión. (A-36 recubrimiento pintura electroestática) | -        |
|                     | Rotación.                                | Ajustable.   | -        |
|                     | Inclinación.                             | Ajustable.   | -        |
|                     | Altura.                                  | Ajustable.   | -        |
| <b>Alimentación</b> | Frecuencia lanzamientos.                 | 15-30  | Lanz/min |
|                     | Almacenaje balones.                      | 10   | Balones  |
|                     | Capacidad máxima (columna de elevación). | 10   | Balones  |
|                     | Lanzamiento automático.                  | Sí.  | -        |
|                     | Tolva protectora.                        | Sí (ajustable).  | -        |
| <b>Tracción</b>     | Velocidad lanzamiento.                   | 80-120   | Km/h     |
|                     | Efectos de lanzamiento.                  | 3  | -        |
|                     | Altura del lanzador.                     | 2,6  | m        |
|                     | Cobertura lanzamiento.                   | Lado a lado.   | -        |
|                     | Mecanismo lanzador.                      | Rodillos por fricción (recubiertos).                                 | -        |
| <b>Control</b>      | Panel de control (Velocidad variable).   | Análogo.   | -        |
|                     | Activación.                              | Manual.  | -        |
| <b>Potencia</b>     | Motores.                                 | Eléctricos (Trifásicos 220V).  | -        |
|                     | Alimentación de energía.                 | Cable de alimentación.   | -        |

**Nota.** La tabla muestra los parámetros establecidos por los diseñadores. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>.

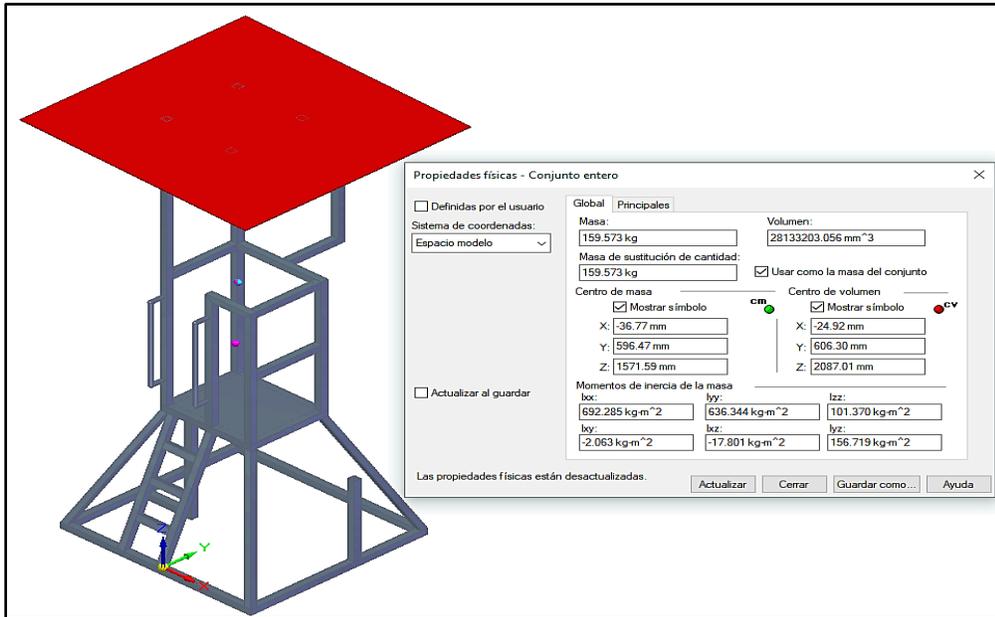
A partir de los parámetros de la tabla anterior se procede a analizar cara característica para poder dar un juicio técnico al respecto para cada subsistema.

### 3.2.1 Subsistema estructural

Corresponde al subsistema más grande y de mayor cantidad de piezas, ver **Tabla 5**, integrado en su mayoría por perfiles estructurales de tubería cuadrada de **acero estructural A36** o **ASTM E500 GRADO C** de dimensiones **50x50x2,5mm** como se ve en la **Figura 15**.

**Figura 15.**

*Subsistema estructural diagnóstico*



**Nota.** La figura muestra el peso del subsistema estructural.

**Tabla 5.**

*Componentes del subsistema estructural*

| COMPONENTE                      | CANTIDAD | COMPONENTE                 | CANTIDAD |
|---------------------------------|----------|----------------------------|----------|
| Columna principal               | 2        | Lámina Motor Cangilón      | 1        |
| Plataforma                      | 1        | Soporte canal              | 1        |
| Viga lateral                    | 2        | Soporte total              | 4        |
| Viga frontal                    | 6        | Viga final 1               | 2        |
| Columna principal 2             | 2        | Viga final 2               | 2        |
| Columna final                   | 1        | Viga auxiliar              | 1        |
| Viga techo                      | 2        | Viga lateral auxiliar      | 1        |
| Techo                           | 1        | Columna soporte Cangilón 1 | 1        |
| Barra pasadora                  | 2        | Viga Soporte Cangilón      | 1        |
| <b>Chumacera</b>                | <b>2</b> | Soporte Almacenaje         | 1        |
| Soporte lámina Motor Cangilón 2 | 2        | Columna escalera           | 2        |
| Soporte lámina Motor Cangilón   | 2        | Peldaño                    | 3        |

**Nota.** La tabla enumera la cantidad de piezas para este subsistema

Con base en la tabla anterior se puede evidenciar que este subsistema está compuesto por vigas y columnas. Se tiene resaltado el componente de la *chumacera*, puesto que, en ningún apartado del documento hacen referencia a este, llamándolo erróneamente como buje, y que no se encontró plano alguno.

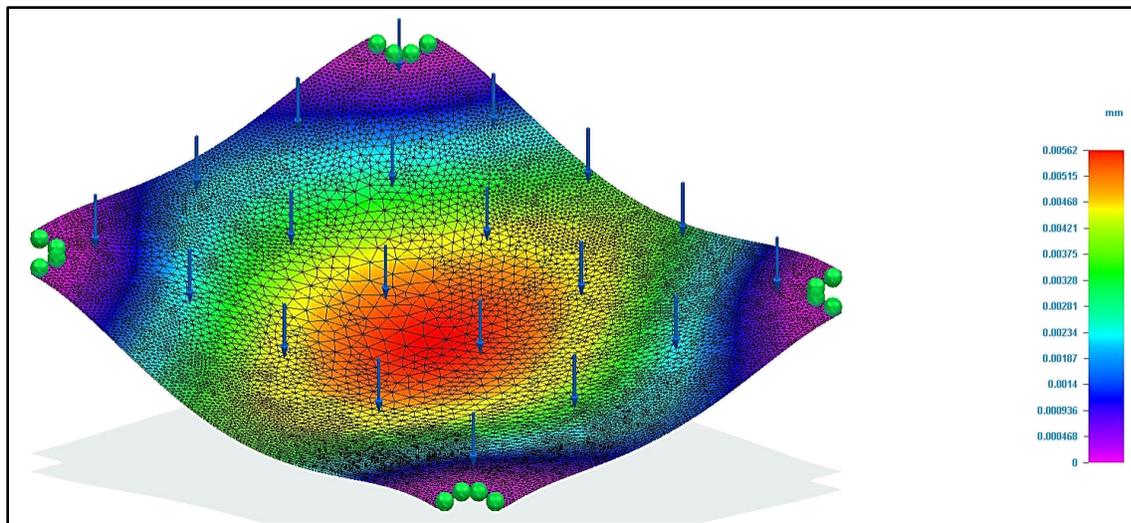
Para realizar el análisis de este subsistema se tendrán en cuenta sus parámetros establecidos por los diseñadores [1]:

⊕ Capacidad: esta hace referencia a la carga que puede soportar la lámina de acero puesta como plataforma, en donde, los operarios de la máquina se podrán apoyar. Utilizando el peso promedio de dos atletas del voleibol **70Kg** les dio como resultado que con un calibre de **3mm** la lámina solo se traslada **0,679mm** cumpliendo con un buen factor de seguridad que puede soportar una carga de **150Kg**. [1]

Se realiza la simulación por el método de los elementos finitos para comprobar que efectivamente la plataforma pueda soportar el peso y se encuentra una traslación máxima de **0.00562mm** al utilizar acero inoxidable como lo habían simulado los diseñadores, como se ve en la **Figura 16**.

**Figura 16.**

*Simulación FEM del diagnóstico para la traslación de la plataforma*

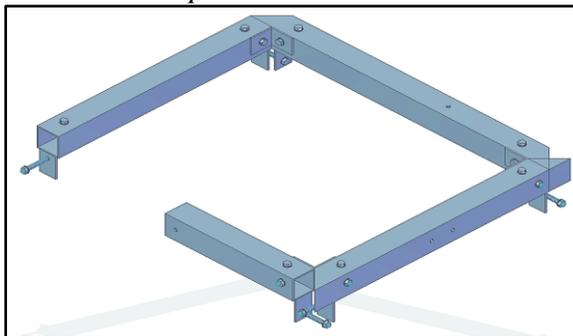


*Nota.* La figura muestra de forma simulada la carga.

- ⊕ Ergonomía: esta hace referencia de que es un perfil combinado y que en cuanto al diseño realizado es simple, dado que, el operario solamente requiere ingresar dentro de la lanzadora de balones de voleibol para encenderla y gestionar la velocidad e inclinación del lanzamiento. Sin embargo, si no se garantiza un factor de seguridad general para la máquina esta puede presentar un riesgo si llega a caer por encima del operario.
- ⊕ Ensamble: esta hace referencia de que el sistema se acoplara con pernos (ver **Figura 17**) y soldadura (ver **Figura 18**, **Figura 19** y **Figura 20**). Si bien los pernos fueron seleccionados por los diseñadores de modo que resistieran la torsión de todo el sistema y poder hacerla modular, sin embargo, la base o sección inferior de este sí tuvo la restricción de ser soldada para que las cargas se pudieran distribuir mejor, y que, de esta forma sea más practico su traslado.

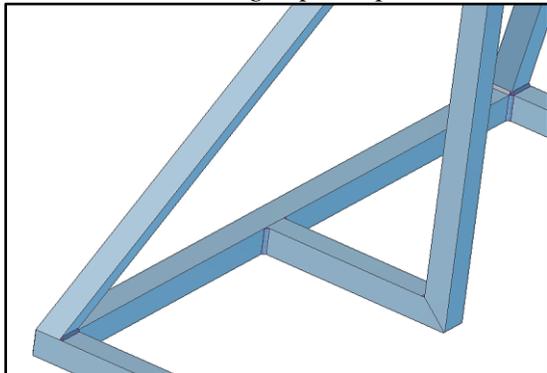
Se especifica el uso de un *electrodo E60* y un filete o garganta despreciable. [1]

**Figura 17.**  
*Ensamble con pernos*



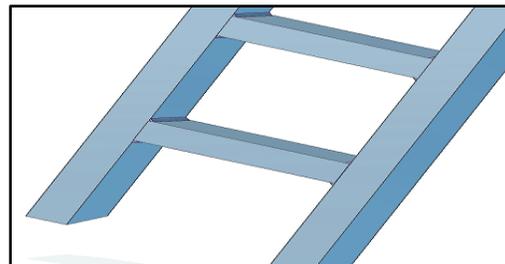
*Nota.* La figura muestra unión con pernos.

**Figura 18.**  
*Soldadura de las vigas principales*



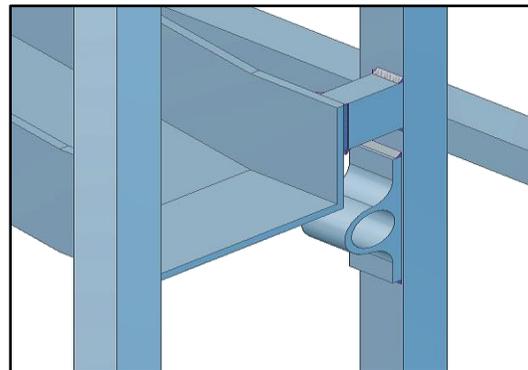
*Nota.* La figura muestra unión con soldadura para el soporte de los cangilones.

**Figura 19.**  
*Soldadura escalera*



*Nota.* La figura muestra unión con soldadura para la escalera.

**Figura 20.**  
*Soldadura con subsistema de alimentación*



*Nota.* La figura muestra unión con soldadura para el canal de almacenaje, chumacera y guía.

- ⊕ Anclaje: análogo al parámetro de movilidad. Las rodachinas cotizadas cuentan con cinco pulgadas de diámetro y tienen freno de pedal lo que garantizan que la máquina se pueda inmovilizar y esta funcione sin ser susceptible a vibraciones o movimientos imprevistos. Sin embargo, las rodachinas seleccionadas son de origen argentino se requeriría importarlas o buscar un análogo de esa referencia en el mercado local.
- ⊕ Protección: hace referencia al techo de la lanzadora de balones de voleibol que corresponde a una lámina de *polycarbonato*. Este material no es susceptible a la corrosión y es impermeable.
- ⊕ Material: si bien la mayoría de las piezas que componen este sistema son en *acero estructural A36* recubierto con pintura electrostática aumenta su vida útil previniendo la corrosión. Sin embargo, los diseñadores no especifican el tipo de pintura a utilizar o su referencia.
- ⊕ Movilidad: hace referencia a que la lanzadora de balones de voleibol se podrá desplazar mediante el uso de rodachinas, sin embargo, las rodachinas seleccionadas por parte de los diseñadores no se consiguen en Colombia, dado que, se basaron en un catálogo de Argentina [1].

Como se vio en la **Figura 15**, este subsistema ostenta un peso de **159,573Kg** aproximado a **160Kg** lo que equivaldría a la décima parte del peso total de la máquina. Aun así, este diseño de estructura solamente estaría en el rango promedio en peso respecto a las demás opciones en el mercado, como se vio en la **Tabla 2**.

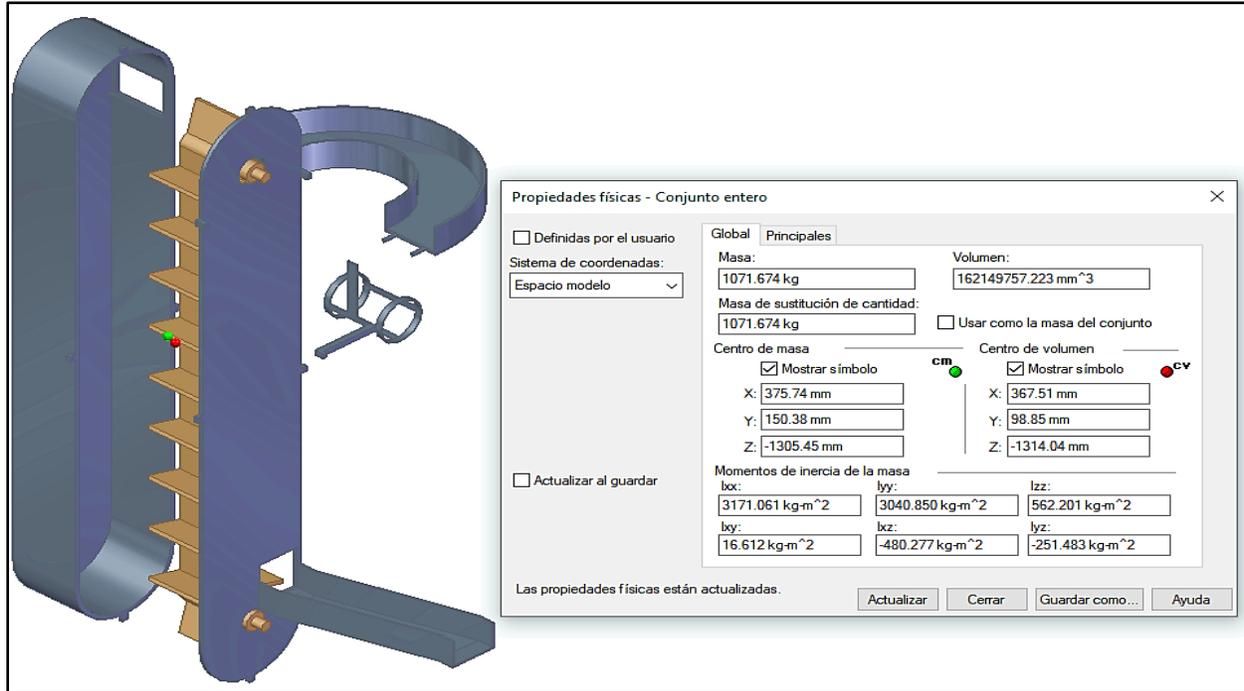
El perfil estructural seleccionado para este subsistema es el cuadrado. Dentro del documento suministrado se encuentra un peso para la estructura de **490Kg**, sin embargo, con el nuevo modelamiento se encuentra que el peso es inferior (Ver **Figura 15**) de **159,57Kg**. Del mismo modo, se encuentra una contradicción sobre cuantos operarios puede soportar la máquina y el tipo de pintura anticorrosiva a implementar. [1]

### **3.2.2 Subsistema de alimentación**

Tal como se vio en la **Tabla 3** corresponde al subsistema más pesado y el segundo más grande, se compone de láminas de acero estructural A36 y de una *banda transportadora* con “empujadores”, erróneamente llamados cangilones, para la elevación de los balones como se ve en la **Figura 21**.

**Figura 21.**

*Subsistema de alimentación diagnóstico*



*Nota.* La figura muestra el peso del subsistema de alimentación.

Este subsistema consta de seis (6) componentes, en los cuales, la *banda transportadora* y los empujadores se cuentan como uno solo según se ve en la **Tabla 6**.

**Tabla 6.**

*Componentes del subsistema de alimentación*

| COMPONENTE            | CANTIDAD |
|-----------------------|----------|
| Cangilones            | 1        |
| Tapa frontal Elevador | 1        |
| Canal salida Elevador | 1        |
| Carcaza Cangilones    | 1        |
| Canal Almacenaje      | 1        |
| Guía                  | 1        |

*Nota.* La tabla muestra la cantidad de piezas para el subsistema de alimentación.

Del mismo modo que con el subsistema anterior se proceden a evaluar los parámetros de la **Tabla**

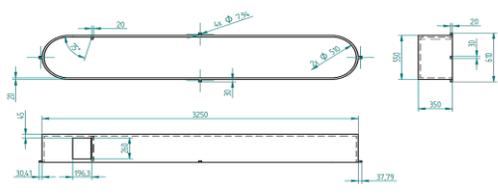
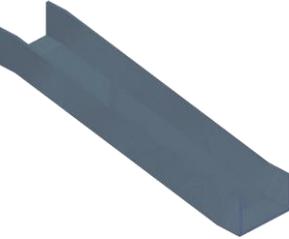
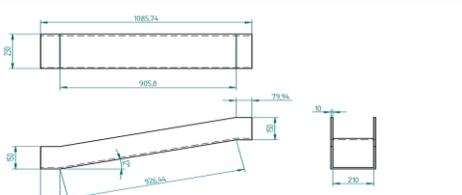
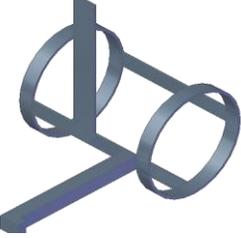
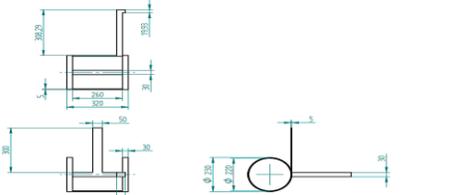
**4.**

- ⊕ Frecuencia de lanzamiento: Dentro de los cálculos citados en el trabajo de grado acerca del diseño de la máquina en cuestión se aprecia que tiene un caudal de **2,35Kg/seg**, y la velocidad final con la que el balón saldrá del cangilón de  **$V_f=0,72m/seg$** . Si se toma la longitud del cangilón que corresponde a **2,6m** y se realizan las respectivas conversiones da una frecuencia de **16 balones/minuto** lo que estaría dentro del rango.
- ⊕ Lanzamiento automático: El tipo de lanzamiento es de forma automática dado que para eso se diseñó una máquina con un sistema de control e instrumentación, sin embargo, para cambiar la trayectoria de lanzamiento este si debe de ser manual.
- ⊕ Tolva protectora: Hace referencia a que los balones se moverán por estructuras de “tolvas” como lo son los: **canal de almacenaje** y **canal salida del elevador**.
- ⊕ Almacenaje de balones: Con el diseño propuesto el cangilón puede almacenar máximo diez balones y su capacidad de elevación máxima también es de diez lo que aplica para los parámetros.

Dado que, este es el subsistema que presenta más problemas con su peso, se procede a revisar cada una de las seis (6) partes que componen dicho subsistema para revisar su geometría, espesor y material como se ve en la **Tabla 7**. Teniendo en cuenta el mismo orden en el que fueron enunciadas. Se busca identificar la o las partes que generan sobrepeso.



**Tabla 7.** (Continuación)

| COMPONENTE  | PESO Y VOLUMEN  | PLANO   | OBSERVACIONES |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
|---|---|---|---------------|-------|------------------------|---------|--------------------|-------------------------|------------|--------------------|---------------------------------|------------|--------------------|--------|----------|--------|-------------------|---------------------------|--|--|---------------------|--|--|-------------------|--|--|------------------------|--|--|----|-----------|-----------|--------------------------------|--|--|---|--|--|---|
|  <p>CARCASA CANGILONES</p> | <p>Propiedades físicas</p> <p><input type="checkbox"/> Definidas por el usuario</p> <p>Sistema de coordenadas: Espacio modelo</p> <p>Material: Acero, estructural</p> <p>Densidad: 7833.000 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Global Principales</p> <p>Masa: 629.181 kg    Volumen: 80324460.238 mm<sup>3</sup>    Área de superficie: 8201054.47 mm<sup>2</sup></p> <p>Centro de masa</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mostrar símbolo    Centro de volumen <input checked="" type="checkbox"/> Mostrar símbolo</p> <p>X: 317.50 mm    Y: -111.16 mm    Z: -1362.85 mm</p> <p>Momentos de inercia de la masa</p> <p>Ixx: 1765.544 kg·m<sup>2</sup>    Iyy: 1841.900 kg·m<sup>2</sup>    Izz: 107.998 kg·m<sup>2</sup></p> <p>Ixy: -22.093 kg·m<sup>2</sup>    Iyz: -274.443 kg·m<sup>2</sup>    Ixz: 95.854 kg·m<sup>2</sup></p> <p>Las propiedades físicas están actualizadas.    Actualizar    Cerrar    Guardar como...    Ayuda</p> |  <p>SOLID EDGE ACADEMIC COPY</p> <table border="1" data-bbox="1276 548 1549 636"> <tr><td>Nombre</td><td>Fecha</td><td>UNIVERSIDAD DE AMERICA</td></tr> <tr><td>Usuario</td><td>1/24/2020 10:44:00</td><td>FACULTAD DE INGENIERIAS</td></tr> <tr><td>Compartido</td><td>1/24/2020 10:44:00</td><td>Programa de Ingeniería Mecánica</td></tr> <tr><td>Compartido</td><td>1/24/2020 10:44:00</td><td>Título</td></tr> <tr><td>Material</td><td>ELIQUA</td><td>Caracas Congrejos</td></tr> <tr><td colspan="3">Solo indicación contrario</td></tr> <tr><td colspan="3">cotas en milímetros</td></tr> <tr><td colspan="3">ángulos en grados</td></tr> <tr><td colspan="3">tolerancias #0.5 y #1*</td></tr> <tr><td>A4</td><td>1/24/2020</td><td>1/24/2020</td></tr> <tr><td colspan="3">Archivos: 19279 - 5406 - 1.dwg</td></tr> <tr><td colspan="3">Escala: 1:00    Contador: 1    Hoja: 1 de 1</td></tr> </table>    | Nombre        | Fecha | UNIVERSIDAD DE AMERICA | Usuario | 1/24/2020 10:44:00 | FACULTAD DE INGENIERIAS | Compartido | 1/24/2020 10:44:00 | Programa de Ingeniería Mecánica | Compartido | 1/24/2020 10:44:00 | Título | Material | ELIQUA | Caracas Congrejos | Solo indicación contrario |  |  | cotas en milímetros |  |  | ángulos en grados |  |  | tolerancias #0.5 y #1* |  |  | A4 | 1/24/2020 | 1/24/2020 | Archivos: 19279 - 5406 - 1.dwg |  |  | Escala: 1:00    Contador: 1    Hoja: 1 de 1 |  |  | <p>Se pide corte por plasma y ovalado en caliente.</p> <p>Espesor de 20mm.</p> <p>49% del peso del subsistema.</p> <p>Requiere reemplazo.</p> |
| Nombre  | Fecha   | UNIVERSIDAD DE AMERICA  |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Usuario   | 1/24/2020 10:44:00  | FACULTAD DE INGENIERIAS   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Compartido  | 1/24/2020 10:44:00  | Programa de Ingeniería Mecánica   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Compartido  | 1/24/2020 10:44:00  | Título  |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Material  | ELIQUA  | Caracas Congrejos   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Solo indicación contrario   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| cotas en milímetros   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| ángulos en grados   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| tolerancias #0.5 y #1*  |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| A4  | 1/24/2020   | 1/24/2020   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Archivos: 19279 - 5406 - 1.dwg  |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Escala: 1:00    Contador: 1    Hoja: 1 de 1   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
|  <p>CANAL ALMACENAJE</p>   | <p>Propiedades físicas</p> <p><input type="checkbox"/> Definidas por el usuario</p> <p>Sistema de coordenadas: Espacio modelo</p> <p>Material: Acero, estructural</p> <p>Densidad: 7833.000 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Global Principales</p> <p>Masa: 43.373 kg    Volumen: 5537274.000 mm<sup>3</sup>    Área de superficie: 1148963.32 mm<sup>2</sup></p> <p>Centro de masa</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mostrar símbolo    Centro de volumen <input checked="" type="checkbox"/> Mostrar símbolo</p> <p>X: 115.00 mm    Y: 562.93 mm    Z: -52.85 mm</p> <p>Momentos de inercia de la masa</p> <p>Ixx: 18.408 kg·m<sup>2</sup>    Iyy: 1.351 kg·m<sup>2</sup>    Izz: 18.954 kg·m<sup>2</sup></p> <p>Ixy: 2.808 kg·m<sup>2</sup>    Iyz: -0.264 kg·m<sup>2</sup>    Ixz: -2.169 kg·m<sup>2</sup></p> <p>Las propiedades físicas están actualizadas.    Actualizar    Cerrar    Guardar como...    Ayuda</p>                |  <p>SOLID EDGE ACADEMIC COPY</p> <table border="1" data-bbox="1276 863 1549 951"> <tr><td>Nombre</td><td>Fecha</td><td>UNIVERSIDAD DE AMERICA</td></tr> <tr><td>Usuario</td><td>1/24/2020 10:44:00</td><td>FACULTAD DE INGENIERIAS</td></tr> <tr><td>Compartido</td><td>1/24/2020 10:44:00</td><td>Programa de Ingeniería Mecánica</td></tr> <tr><td>Compartido</td><td>1/24/2020 10:44:00</td><td>Título</td></tr> <tr><td>Material</td><td>ELIQUA</td><td>Caracas Congrejos</td></tr> <tr><td colspan="3">Solo indicación contrario</td></tr> <tr><td colspan="3">cotas en milímetros</td></tr> <tr><td colspan="3">ángulos en grados</td></tr> <tr><td colspan="3">tolerancias #0.5 y #1*</td></tr> <tr><td>A4</td><td>1/24/2020</td><td>1/24/2020</td></tr> <tr><td colspan="3">Archivos: 19279 - 5406 - 1.dwg</td></tr> <tr><td colspan="3">Escala: 1:00    Contador: 1    Hoja: 1 de 1</td></tr> </table>    | Nombre        | Fecha | UNIVERSIDAD DE AMERICA | Usuario | 1/24/2020 10:44:00 | FACULTAD DE INGENIERIAS | Compartido | 1/24/2020 10:44:00 | Programa de Ingeniería Mecánica | Compartido | 1/24/2020 10:44:00 | Título | Material | ELIQUA | Caracas Congrejos | Solo indicación contrario |  |  | cotas en milímetros |  |  | ángulos en grados |  |  | tolerancias #0.5 y #1* |  |  | A4 | 1/24/2020 | 1/24/2020 | Archivos: 19279 - 5406 - 1.dwg |  |  | Escala: 1:00    Contador: 1    Hoja: 1 de 1 |  |  | <p>Lámina de 10mm de espesor cortada y soldada.</p> <p>3% del peso del subsistema.</p> <p>Reemplazable por canaleta de aluminio</p>           |
| Nombre  | Fecha   | UNIVERSIDAD DE AMERICA  |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Usuario   | 1/24/2020 10:44:00  | FACULTAD DE INGENIERIAS   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Compartido  | 1/24/2020 10:44:00  | Programa de Ingeniería Mecánica   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Compartido  | 1/24/2020 10:44:00  | Título  |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Material  | ELIQUA  | Caracas Congrejos   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Solo indicación contrario   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| cotas en milímetros   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| ángulos en grados   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| tolerancias #0.5 y #1*  |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| A4  | 1/24/2020   | 1/24/2020   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Archivos: 19279 - 5406 - 1.dwg  |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Escala: 1:00    Contador: 1    Hoja: 1 de 1   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
|  <p>GUÍA</p>              | <p>Propiedades físicas</p> <p><input type="checkbox"/> Definidas por el usuario</p> <p>Sistema de coordenadas: Espacio modelo</p> <p>Material: Acero, estructural</p> <p>Densidad: 7833.000 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Global Principales</p> <p>Masa: 5.407 kg    Volumen: 690319.592 mm<sup>3</sup>    Área de superficie: 224242.60 mm<sup>2</sup></p> <p>Centro de masa</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mostrar símbolo    Centro de volumen <input checked="" type="checkbox"/> Mostrar símbolo</p> <p>X: -10.75 mm    Y: 27.78 mm    Z: -112.03 mm</p> <p>Momentos de inercia de la masa</p> <p>Ixx: 0.164 kg·m<sup>2</sup>    Iyy: 0.253 kg·m<sup>2</sup>    Izz: 0.166 kg·m<sup>2</sup></p> <p>Ixy: -0.001 kg·m<sup>2</sup>    Iyz: -0.032 kg·m<sup>2</sup>    Ixz: 0.014 kg·m<sup>2</sup></p> <p>Las propiedades físicas están actualizadas.    Actualizar    Cerrar    Guardar como...    Ayuda</p>                     |  <p>SOLID EDGE ACADEMIC COPY</p> <table border="1" data-bbox="1276 1180 1549 1268"> <tr><td>Nombre</td><td>Fecha</td><td>UNIVERSIDAD DE AMERICA</td></tr> <tr><td>Usuario</td><td>1/24/2020 10:44:00</td><td>FACULTAD DE INGENIERIAS</td></tr> <tr><td>Compartido</td><td>1/24/2020 10:44:00</td><td>Programa de Ingeniería Mecánica</td></tr> <tr><td>Compartido</td><td>1/24/2020 10:44:00</td><td>Título</td></tr> <tr><td>Material</td><td>ELIQUA</td><td>Caracas Congrejos</td></tr> <tr><td colspan="3">Solo indicación contrario</td></tr> <tr><td colspan="3">cotas en milímetros</td></tr> <tr><td colspan="3">ángulos en grados</td></tr> <tr><td colspan="3">tolerancias #0.5 y #1*</td></tr> <tr><td>A4</td><td>1/24/2020</td><td>1/24/2020</td></tr> <tr><td colspan="3">Archivos: 19279 - 5406 - 1.dwg</td></tr> <tr><td colspan="3">Escala: 1:00    Contador: 1    Hoja: 1 de 1</td></tr> </table> | Nombre        | Fecha | UNIVERSIDAD DE AMERICA | Usuario | 1/24/2020 10:44:00 | FACULTAD DE INGENIERIAS | Compartido | 1/24/2020 10:44:00 | Programa de Ingeniería Mecánica | Compartido | 1/24/2020 10:44:00 | Título | Material | ELIQUA | Caracas Congrejos | Solo indicación contrario |  |  | cotas en milímetros |  |  | ángulos en grados |  |  | tolerancias #0.5 y #1* |  |  | A4 | 1/24/2020 | 1/24/2020 | Archivos: 19279 - 5406 - 1.dwg |  |  | Escala: 1:00    Contador: 1    Hoja: 1 de 1 |  |  | <p>Platinas dobladas y soldadas.</p> <p>5mm de espesor.</p> <p>0.42% del peso del subsistema.</p> <p>No se requieren cambios.</p>             |
| Nombre  | Fecha   | UNIVERSIDAD DE AMERICA  |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Usuario   | 1/24/2020 10:44:00  | FACULTAD DE INGENIERIAS   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Compartido  | 1/24/2020 10:44:00  | Programa de Ingeniería Mecánica   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Compartido  | 1/24/2020 10:44:00  | Título  |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Material  | ELIQUA  | Caracas Congrejos   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Solo indicación contrario   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| cotas en milímetros   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| ángulos en grados   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| tolerancias #0.5 y #1*  |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| A4  | 1/24/2020   | 1/24/2020   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Archivos: 19279 - 5406 - 1.dwg  |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |
| Escala: 1:00    Contador: 1    Hoja: 1 de 1   |   |   |               |       |                        |         |                    |                         |            |                    |                                 |            |                    |        |          |        |                   |                           |  |  |                     |  |  |                   |  |  |                        |  |  |    |           |           |                                |  |  |   |  |  |   |

**Nota.** La tabla muestra el peso y las medidas de cada pieza.

Este subsistema es bastante grande y lo que genera el *desbalance* para el equilibrio y el *sobrepeso* de la máquina es la parte de la *tapa* y la *carcasa* de los “empujadores” para el transporte de los balones como se ve en la **Tabla 7** que el peso de estas dos piezas es de **259,7Kg** y **629,2Kg** respectivamente, lo que genera **889Kg** que equivale a más de la mitad del peso total de la máquina para un subsistema que puede cambiarse por otro.

Este subsistema es el que más implicaciones tiene para que la fabricación no sea viable. Los espesores para los metálicos, entre los que destacan canales de ingreso y de salida son muy gruesos, con un valor de **20mm**, y no se justifican para la circulación de los balones, la tapa y carcasa protectora son muy pesadas y otro diseño sería más económico y factible de hacer.

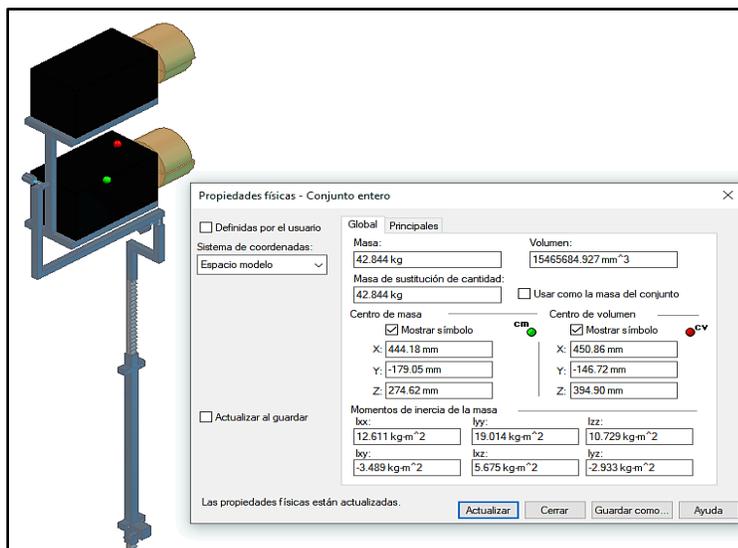
Se hace la aclaración de que se usan *empujadores* en lugar de “cangilones” dado que estos son recipientes para material granulado en comparación a los balones que se van a elevar.

### 3.2.3 Subsistema de tracción

Subsistema encargado de del disparo del balón y en consecuencia el más importante de la máquina (función principal). Este lanzamiento se da por medio de dos (2) ruedas de *PVC* (sin embargo, en el modelado CAD no se encuentran los respectivos motores para su impulso) que serán accionadas por dos motores ubicados sobre unos “*pines*” como se ve en la **Figura 22**.

**Figura 22.**

*Subsistema de tracción diagnóstico*



**Nota.** La figura muestra el peso del subsistema de tracción.

Consta de siete (7) piezas entre las cuales destacan los “*pinos*” diseñados basados en la máquina *Winshot 1500* para sostener los motores y las ruedas de fricción como se ve en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.**

*Componentes del subsistema de tracción*

| COMPONENTE              | CANTIDAD |
|-------------------------|----------|
| Cremallera              | 1        |
| Protector de cremallera | 1        |
| Pin 1                   | 1        |
| Pin 2                   | 1        |
| Pin 3                   | 1        |
| Carcasa motor lanzador  | 2        |
| Llave de apriete        | 2        |

**Nota.** La muestra la cantidad de piezas del subsistema de tracción.

Con base en la **Figura 22** se ve que los *pinos* propuestos en el diseño son perfiles similares a los del subsistema estructural pero no son huecos, no son tuberías sino rellenos (varillas cuadradas), y que se debe realizar una operación de soldadura para manufacturarlos, proceso que no está mencionado en el documento suministrado. Continuando con el respectivo análisis, se evalúan los parámetros:

- ⊕ Velocidad lanzamiento: se requiere una velocidad entre **80-120Km/h**. En el documento suministrado se muestra que, con un rodillo de *PVC* con diámetro mínimo de **138,8mm** se garantiza una velocidad promedio de **120Km/h** [1], sin embargo, esta también depende de la potencia que brinde el motor que será analizado en otra sección. Aunque el modelado CAD no corresponde a la rueda seleccionada.
- ⊕ Efectos de lanzamiento: se requieren al menos tres efectos de lanzamiento. En la **Figura 22** se aprecian unos *pinos* de precisión, los cuales, permiten la variación de la sección de rotación e inclinación, por consiguiente, permiten cambiar la inclinación del lanzamiento para dos efectos. No se especifica en la fabricación de estos *pinos* si van fundidos en una sola pieza o si van soldados. No obstante, dentro del manual de operación, encontrado en el documento suministrado, se debe de cambiar la frecuencia de los motores con los variadores en el sistema de control para asegurar los efectos requeridos. [1]
- ⊕ Altura del lanzador: hace referencia de que la altura máxima para un lanzamiento es de **2,6m** siendo modulado por la cremallera, que se observa en la **Figura 22**, brindando el tercer efecto.

Sin embargo, para mecanizar una cremallera no se especifica el proceso más recomendado para la fabricación de esta pieza, sin embargo, dentro de su documento seleccionan una cremallera **CKR-I-CTR CR21** del catálogo de la empresa **KOOM**, en la **Tabla 9** para **160 dientes** y de **1005,31mm** de largo junto a un piñón de **24 dientes de modulo dos**.

**Tabla 9.**

*Especificaciones cremallera del subsistema de tracción diagnóstico*

| Código | Módulo | Longitud | L TOT   | Z   | B x ha  | ho   | Kg   |
|--------|--------|----------|---------|-----|---------|------|------|
| CR105  | 1      | 500      | 499,51  | 159 | 15 x 15 | 14   | 0,80 |
| CR11   | 1      | 1000     | 1002,17 | 319 | 15 x 15 | 14   | 1,60 |
| CR12   | 1      | 2000     | 2001,19 | 637 | 15 x 15 | 14   | 3,30 |
| CR1505 | 1,5    | 500      | 499,51  | 106 | 17 x 17 | 15,5 | 1,00 |
| CR151  | 1,5    | 1000     | 1003,74 | 213 | 17 x 17 | 15,5 | 2,10 |
| CR152  | 1,5    | 2000     | 2002,77 | 425 | 17 x 17 | 15,5 | 4,10 |
| CR205  | 2      | 500      | 502,65  | 80  | 20 x 20 | 18   | 1,40 |
| CR21   | 2      | 1000     | 1005,31 | 160 | 20 x 20 | 18   | 2,80 |
| CR22   | 2      | 2000     | 2004,34 | 319 | 20 x 20 | 18   | 5,60 |
| CR2505 | 2,5    | 500      | 502,65  | 64  | 25 x 25 | 22,5 | 2,20 |

**Nota.** La tabla muestra las especificaciones de la cremallera. Tomado de: KOOM. "Transmisiones por cremallera piñón". [PDF] Disponible: <http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/engranaje/spitkoom.1.pdf> [En línea] [Consultado 16 de Mayo 2020].

- ☹ Cobertura lanzamiento: hace referencia a que el lanzamiento realizado por la máquina simula un saque de lado a lado de la cancha de voleibol, la inclinación y la potencia suministrada se deben de adecuar siguiendo el manual de operación encontrado en el documento “DISEÑO DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA” para poder cumplir tal parámetro. [1]
- ☹ Mecanismo lanzador: hace referencia a que se emplean rodillos de fricción recubiertos o en este caso rodillos de **PVC** para asegurar una fricción y potencia requerida para realizar el lanzamiento de los balones.

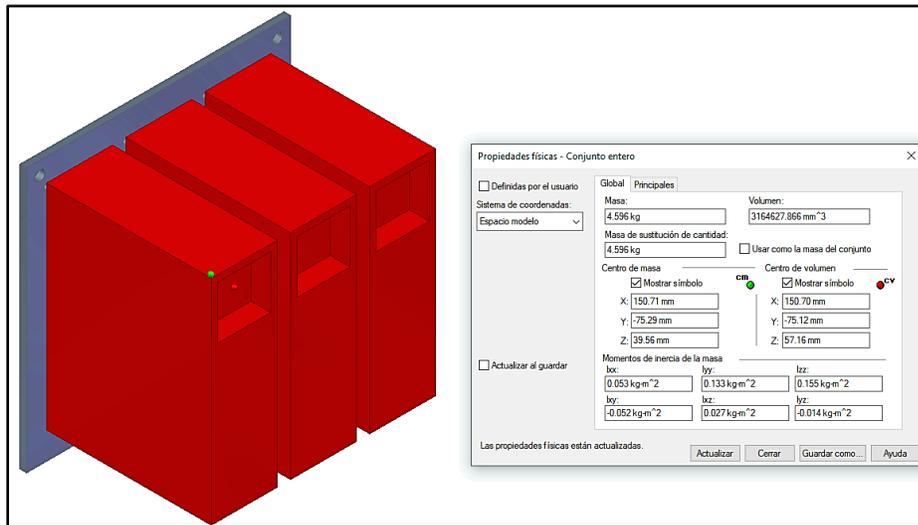
La **cremallera** propuesta en el diseño puede presentar un riesgo de seguridad si algún elemento externo (objeto o persona) obstruyera el mecanismo entre los dientes de la cremallera y la carcasa protectora de la misma. Se propone cambiar este mecanismo para evitar este riesgo. La cremallera mide **1005,31mm** y la carcasa de la misma mide **700mm** lo que da un **30%** de longitud de la cremallera descubierta.

### 3.2.4 Subsistema de control

Este subsistema realiza el control sobre el *subsistema de potencia y de alimentación*, por medio de un panel de control que consta de una placa a la que irán atornillados tres *variadores de frecuencia* para controlar los tres motores para la potencia y alimentación de la máquina. Como se ve en la **Figura 23**.

**Figura 23.**

*Subsistema de control diagnóstico*



**Nota.** La figura muestra una lámina de acero estructural con agujeros.

Para este subsistema solamente se cuentan con dos parámetros a evaluar:

- ⊕ Panel de control (Velocidad variable): hace referencia a tres variadores de frecuencia para controlar los motores de los rodillos de fricción y el tercero para el motor de la elevación por **banda transportadora**. En el documento se seleccionaron variadores de la compañía INVERTEK, dado que, contienen sus respectivos empaques de seguridad y se acoplan ergonómicamente en un tablero de mando. [1]
- ⊕ Activación: corresponde a que es una máquina para uso por parte de los estudiantes pertenecientes a la selección de voleibol femenino y masculino de la Fundación Universidad de América y por consiguiente esta máquina deberá de ser accionada por una persona como mínimo para poder iniciar su operación.

En la sección de análisis de costos se analizará el valor que se requiere para adquirir estos variadores de frecuencia, dado que, no se deberán de fabricar. Por otro lado, en el manual de instalación de la máquina encontrado en el documento suministrado se muestra el uso y riegos para estos componentes, así como los cálculos para su selección.

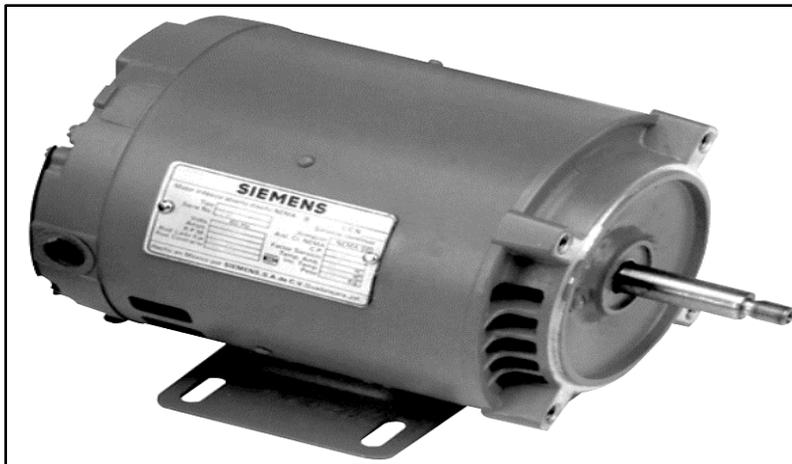
### 3.2.5 Subsistema de potencia

Este subsistema como tal no requiere fabricación, ya que sus componentes corresponden a los tres motores y sus respectivas conexiones eléctricas. De igual forma que con el subsistema anterior, solo se cuentan con dos parámetros a evaluar:

- ⊕ Alimentación de energía: hace referencia al cable que permite el paso de corriente desde una toma a **220V** disponible dentro de la Fundación Universidad de América.
- ⊕ Motores: según el documento del trabajo de grado, los cálculos determinaron que se requiere una potencia de **51,36 watts** o **0,135hp** [1] para que con la fricción de los rodillos de **PVC** genere la velocidad requerida, por consiguiente, el motor seleccionado corresponde a un SIEMENS trifásico de armazón 56 de **6,8Kg** de peso y **284mm** de largo, como se ve en la **Figura 24**.

#### Figura 24.

*Motor para lanzamiento del subsistema de potencia diagnóstico*

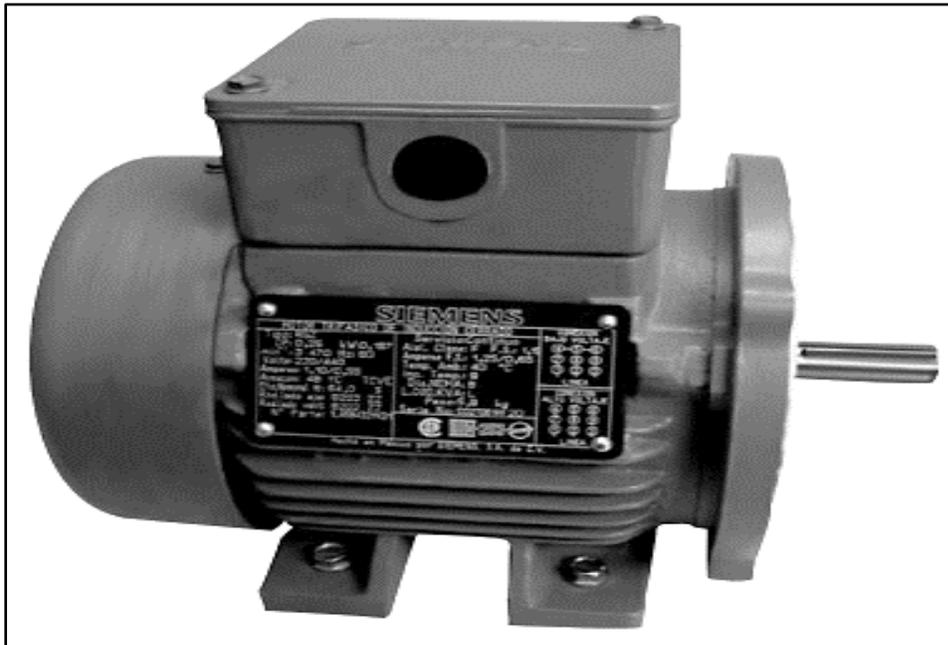


**Nota.** Motores para el lanzamiento de los balones. Tomado de: SIEMENS. SITASA. "Motores eléctricos" Toledo, España [PDF] Disponible: [http://www.catalogo.sitasa.com/familias/motores\\_reductores/02\\_1.pdf](http://www.catalogo.sitasa.com/familias/motores_reductores/02_1.pdf) [En línea] [Consultado 18 de Mayo 2020].

Para el elevador de cangilones se dispone de un motor diferente, aunque por cálculos del documento proponen usar una referencia similar para el elevador de *banda transportadora*, se opta por un modelo más ligero en peso de **5,8Kg** como se ve en la **Figura 25**. Ambos motores tendrán una carcasa protectora para seguridad del usuario y para protegerlos de las condiciones del entorno. Sin embargo, tampoco se cuentan con planos para dichas carcasas.

**Figura 25.**

*Motor para la elevación del subsistema de potencia diagnóstico*



*Nota.* La figura muestra el motor para los cangilones. Disponible en: SIEMENS. SITASA. "Motores eléctricos" Toledo, España [PDF] Disponible: [http://www.catalogo.sitasa.com/familias/motores\\_reductores/02\\_1.pdf](http://www.catalogo.sitasa.com/familias/motores_reductores/02_1.pdf) [En línea] [Consultado 18 de Mayo 2020].

Sin embargo, dentro del capítulo tercero correspondiente al diseño detallado en el documento suministrado, se encuentra que el cálculo para los motores tiene unas ligeras incongruencias; al momento de calcular la *velocidad angular* ( $\omega$ ) y el *momento* ( $M$ ) o *Par motor* como se ve en la **Figura 26**.

## Figura 26.

Cálculos para los motores extraídos del documento suministrado diagnóstico

Ecuación 19. Momento.

$$M = I \cdot \omega$$

Fuente: Elaboración propia, con base en: Beer, Johnston, Corwell. Mecánica vectorial para ingenieros. Dinámica. 9na Edición. Disponible en: <https://udomatematica.files.wordpress.com/2018/06/dinamica-beer-johnston.pdf>. [En línea] [Consultado 30 de Octubre 2019].

Donde:  
 $I$  = Momento de Inercia.  
 $\alpha$  = Aceleración angular [rad/seg<sup>2</sup>].

Para este caso el momento de inercia se toma para un cilindro que está dado por:

80

---

Ecuación 20. Momento de inercia.

$$I = \frac{1}{2} mR^2 = \frac{1}{2} 0.725Kg \cdot 0.075m^2 = 0.002039$$

En el catálogo se especifica que estas ruedas tienen un peso de 725gr.

Fuente: Elaboración propia, con base en: Beer, Johnston, Corwell. Mecánica vectorial para ingenieros. Dinámica. 9na Edición. Disponible en: <https://udomatematica.files.wordpress.com/2018/06/dinamica-beer-johnston.pdf>. [En línea] [Consultado 30 de Octubre 2019].

Se reemplaza en valor, para calcular el momento de la ecuación 19:

$$M = 0.002039 \cdot 158.71 \frac{rad}{seg} = 0.323 Nm$$

Obtenidos los valores de momento y velocidad angular en RPM, se puede calcular la potencia mecánica requerida para la selección de los motores (ecuación 12):

$$P = 0.323Nm \cdot 158.71 \frac{rad}{seg} = 51.36 Wt$$

**Nota.** La figura muestra que se usa el valor de velocidad angular ( $\omega$ ) en lugar de aceleración angular ( $\alpha$ ). Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>.

Realizando el respectivo *análisis dimensional* las unidades para el *momento*, con base en dichos cálculos, son de  $Kg \cdot m^2 / seg$  que no corresponden a  $N \cdot m$ . Del mismo modo, para calcular el momento, este es el producto entre el *momento de inercia* ( $I$ ) y la *aceleración angular* ( $\alpha$ ), pero tomaron fue el valor de la *velocidad angular* ( $\omega$ ).

Así mismo, en la selección del motor SIEMENS trifásico de armazón 56 no es la adecuada, dado que, seleccionaron un eje con rosca en la punta (ver **Figura 24**), y la rueda de fricción cuenta con

un “rulemán” o rodamiento como se conoce en Argentina, como se ve en la **Figura 27**, por tal motivo, no existe una transmisión mecánica, el motor seleccionado es de **0,25hp** cuando los cálculos no son congruentes.

**Figura 27.**

*Rueda de fricción seleccionada en el diseño diagnosticado*

**Tabla 9. Especificaciones rueda impulsora.**

**RUEDAS SIN SOPORTES**

Núcleo de polipropileno, banda de PVC. Eje liso o rulemanes.

| Diámetro | Ancho | Diámetro interior | Carga Kgs. | Eje       | Cod. |
|----------|-------|-------------------|------------|-----------|------|
| 75       | 32    | 5/16"             | 80         | Liso      | 4280 |
| 75       | 32    | 5/16"             | 80         | Ruleman   | 4875 |
| 100      | 32    | 5/16"             | 90         | Liso      | 4281 |
| 100      | 32    | 5/16"             | 90         | Ruleman   | 4282 |
| 125      | 32    | 5/16"             | 100        | Liso      | 4285 |
| 125      | 32    | 5/16"             | 100        | Ruleman   | 4286 |
| 150      | 50    | 3/4"              | 250        | Liso      | 3725 |
| 150      | 50    | 17mm              | 250        | Rulemanes | 3726 |
| 200      | 50    | 3/4"              | 300        | Liso      | 3727 |
| 200      | 50    | 20mm              | 300        | Rulemanes | 3728 |

Fuente: RUEDAS HOFER. Nuevo catálogo 2019. Propileno y PVC. Ruedas sin soportes. Disponible en: [https://ruedashofer.com.ar/images/pdf/Ruedas\\_completo.pdf](https://ruedashofer.com.ar/images/pdf/Ruedas_completo.pdf). P.11 [En línea] [Consultado 18 de Octubre 2019]

**Imagen 26. Rueda.**



**Nota.** La rueda seleccionada cuenta con rodamiento, lo que genera un (1) grado de libertad en la rotación. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamientos en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>.

Si se realiza el ajuste como lo sugieren los diseñadores de acoplar la rueda de la figura anterior con el motor que cuenta con un eje roscado en su extremo se encontrarán con dos escenarios: no se pueda ajustar la rueda y esta salga expulsada al momento de suministrar electricidad a los motores o si se pudieran acoplar generaría un grado de libertad, que si el motor rotara, la transmisión de movimiento no sería consecuente, dado que, un rodamiento es un elemento que se encarga de permitir una rotación interna impidiendo una rotación externa o viceversa por medio de “pistas” y elementos rotatorios que se moverán en las pistas, como se ve en la **Figura 28**.

**Figura 28.**

*Rodamientos, también conocidos como: rulemanes, balineras, bolillero o caja de bolas*



**Nota.** La figura muestra distintos tipos de rodamientos. Tomado de: G. BULTACO. (17, sep, 2018) “BALEROS SKF EBOOK DOWNLOAD” [En línea] <http://gustavobultaco.com/baleros-skf-40/> [Consultado 20 de Mayo 2020]

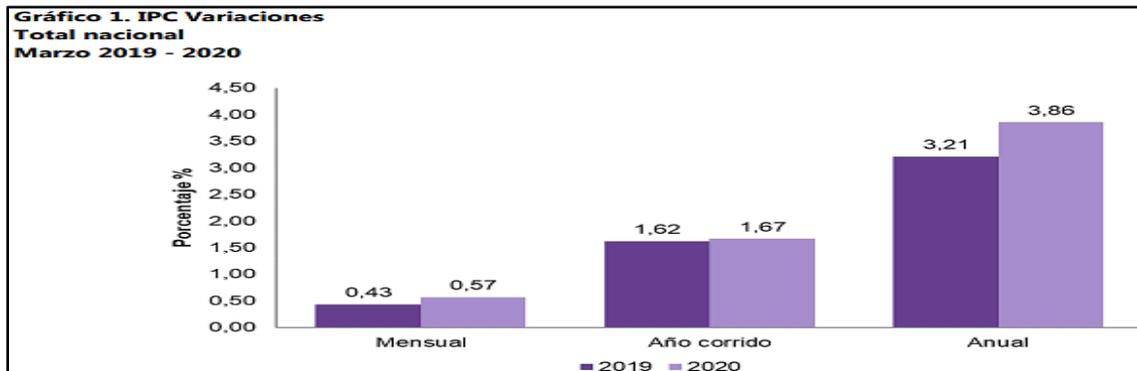
Este subsistema no es funcional y el diseño está mal realizado.

### 3.3 Análisis de costos

Para este análisis se van a revisar los costos asociados a la adquisición de partes y servicios para la fabricación de la máquina en ese entonces y se va a realizar la valoración de precios con el Índice de Precios al Consumidor (IPC) para Marzo del 2020, dado el punto de inicio de la pandemia en Colombia, como se ve en la **Figura 29**. Se inicia de las facturas y cotizaciones realizadas.

**Figura 29.**

*IPC de Marzo del 2020*



**Nota.** La figura muestra el IPC mensual, año corrido y anual. Tomado de DANE, “Boletín Técnico Índice de Precios al Consumidor (IPC) Marzo 2020” Bogotá, Colombia, 4, abril, 2020. [PDF] Disponible: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ipc/bol\\_ipc\\_mar20.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ipc/bol_ipc_mar20.pdf). [Consultado 22 de Julio 2020]

En consecuencia, de que las cotizaciones y costos asociados a la fabricación de la máquina fueron realizados por los diseñadores durante la segunda mitad del año 2019 y generaron correcciones al respecto realizadas para Febrero del 2020, se tomara el IPC del *año corrido*, es decir, **1,67%** para normalizar los valores económicos cotizados de forma uniforme y tener un análisis de costos a la fecha de Marzo de 2020.

Adicionalmente, los precios para los aceros están en función del dólar, sin embargo, teniendo en cuenta la inflación, costo de vida y las variaciones del mercado, se decide por tomar el IPC como valor de análisis. Del mismo modo, dada la reciente pandemia mundial y cuarentena establecida en el territorio nacional y en especial la capital Bogotá durante cinco meses, se genera una ambigüedad para este valor y que, con el intento de una reactivación económica, este ha sido muy baja.

### 3.3.1 Costos subsistema estructural

Tal como se analizó en la sección **3.2.1** se requieren de tornillos de sujeción para ensamblar este subsistema, por lo tanto, con base en la cotización de **100 tornillos** de cabeza hexagonal por parte de la empresa “FERCAR” POR UN VALOR DE **\$218.000COP**, tal y como se observa en la **Figura 30**.

**Figura 30.**

*Cotización de tornillos*

**TORNILLO Y HERRAMIENTAS FERCAR**  
 FERNANDO CARDONA  
 NIT 80104 010-3 - Registro Simplificado

TORNILLOS DE CR. DE JUELA - TORNILLOS CATERPILLA  
 TUERCAS - TORNILLO INOXIDABLE - TUBO DE COBRE - TORNILLO ADO  
 RESORTES - GALVANIZADO EN CALIENTE - TORNILLO ERIVALL - CHAVES

Cra. 30 No. 6-88 - Tel. 375 2038 - Fax: 201 0786  
 Cel. 320 212 0518 - B. Ricaurte Esquina

FACTURA DE VENTA  
**21153**

Señores: \_\_\_\_\_ NIT: \_\_\_\_\_  
 Dirección: \_\_\_\_\_ Teléfono: **375 2038** Ciudad: **Bta.** FECHA: **28 / 1 / 19**

| CANT. | DESCRIPCIÓN                        | VR. UNIT. | VR. TOTAL |
|-------|------------------------------------|-----------|-----------|
| 100   | T. Hexa inox 3/16x3 con T. w y Ar. |           | 218000    |
| TOTAL |                                    |           | \$ 218000 |

VENDEDOR: *Decor T*  
 COMPRADOR: *Cotización*

herramientascardona@gmail.com + tornilloscardona@hotmail.com

**Nota.** La figura es una cotización suministrada por los diseñadores

Ya teniendo discernida la cantidad de material a comprar para el subsistema estructural se procede a la fase de cotización, en donde, se realizó el día cinco (5) de febrero del presente año teniendo un valor de **\$3'130.500COP** por medio de la empresa “HIERROS EL DORADO”. Como se observa en la **Figura 31**.

**Figura 31.**

*Cotización subsistema estructural*

| HIERROS EL DORADO  |  | IVA REGIMEN COMÚN  |       |             |              |                     |
|--|--|--|-------|-------------|--------------|---------------------|
| NIT: 800153677-4<br>Dir - Cr 29 8 34 Tel - 2019715                                 |  | Autorretenedores RES. 000979 del 13/02/2015<br>NO EFECTUAR RETE ICA SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES<br>SHD RES. DDI-042096 DEL 13/10/2017 |       |             |              |                     |
| BOGOTÁ, D.C., miércoles, 5 de febrero de 2020                                      |  | CTC-20027608   |       |             |              |                     |
| VENTAS MOSTRADOR<br>CR 29 8 34<br>BOGOTÁ, D.C.                                     |  |  |       |             |              |                     |
| Asunto : Cotización al cliente 05-02-2020  |  |  |       |             |              |                     |
| CODIGO   | DESCRIPCION  | CANTIDAD   | PESO  | VALOR UNIT. | DCTO.        | VALOR TOTAL         |
| 06050303   | TUBO ESTRU. CUAD C/98 DE 50X50                             | 30 MT  | 113,1 | \$ 12.367   |              | \$ 371.008          |
| 08042006   | LAMINA H.R. 3/16 X KLS<br>1 PLACA DE 70 CMS X 60 CMS       | 15,9   | KLS 0 | \$ 3.382    |              | \$ 53.781           |
| 08042009   | LAMINA H.R. 3/8 (10MM) X KLS<br>1 PLACA DE 60 CMS X 30 CMS | 13,5   | KLS 0 | \$ 3.361    |              | \$ 45.378           |
| 08042012   | LAMINA H.R. 3/4 X KLS<br>1 PLACA DE 3.30 X 55 CMS          | 272,25   | KLS 0 | \$ 3.361    |              | \$ 915.128          |
| 08042012   | LAMINA H.R. 3/4 X KLS<br>1 PLACA DE 2.70 X 35 CMS          | 141,75   | KLS 0 | \$ 3.361    |              | \$ 476.471          |
| 08042012   | LAMINA H.R. 3/4 X KLS<br>1 PLACA DE 60 CMS X 35 CMS        | 31,5   | KLS 0 | \$ 3.361    |              | \$ 105.882          |
| 08042012   | LAMINA H.R. 3/4 X KLS<br>1 PLACA DE 1.112 X 60 CMS         | 100,8  | KLS 0 | \$ 3.376    |              | \$ 340.336          |
| 08042012   | LAMINA H.R. 3/4 X KLS<br>1 PLACA DE 1.20 X 35 CMS          | 83   | KLS 0 | \$ 3.361    |              | \$ 211.768          |
| 08042009   | LAMINA H.R. 3/8 (10MM) X KLS<br>1 PLACA DE 1.12 X 23 CMS   | 19,32  | KLS 0 | \$ 3.393    |              | \$ 65.546           |
| 08042009   | LAMINA H.R. 3/8 (10MM) X KLS<br>1 PLACA DE 1.20 X 15 CMS   | 13,5   | KLS 0 | \$ 3.361    |              | \$ 45.378           |
|  |  |  |       |             | PARCIAL      | \$ 2.630.672        |
|  |  |  |       |             | DESCUENTO    | :                   |
|  |  |  |       |             | IVA          | \$ 499.828          |
|  |  |  |       |             | <b>TOTAL</b> | <b>\$ 3.130.500</b> |
| ----- VIGENCIA DE LA COTIZACION -----  |  |  |       |             |              |                     |
| Validez de la oferta : 2 días  |  | Forma de pago : CONTADO  |       |             |              |                     |
| Fecha en que caduca : 7/02/2020  |  |  |       |             |              |                     |
| FRM-029V1 Impreso con ContaPyme V. 4 - InSoft. NIT 810.000.630-9 www.contapyme.com |  |  |       |             |              |                     |
|  |  |  |       |             | CTC-20027606 | Page 1 of 1         |

**Nota.** La figura es una cotización suministrada por los diseñadores

Con base en las dos figuras anteriores se da un costo para el subsistema estructural de **\$3'348.500COP** que si le hacemos el respectivo análisis con el **IPC** actual quedaría como se ve en la **Tabla 10**.

**Tabla 10.**

*Precio actual del subsistema estructural*

|                      |                       |                       |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>VALOR INICIAL</b> | <b>IPC Marzo 2020</b> | <b>VALOR FINAL</b>    |
| \$3'348.500COP       | 1.67%                 | <b>\$3'404.420COP</b> |

**Nota.** La tabla muestra la aproximación del costo a Marzo 2020.

Sin embargo, se realizaron dos cotizaciones adicionales al día 24 de Septiembre del presente año y se evidencia que efectivamente el **IPC** influyo bastante en los precios de los aceros para el mercado como se ve en la **Figura 32**. En donde realizando la misma cotización se encontraron valores de **\$2'140.607COP** y **\$1'980.160COP**.

**Figura 32.**

*Nuevas cotizaciones a la fecha*



**Cotización**

CLIENTE MOSTRADOR: 888

BOGOTÁ DISTRITO CAPITAL

Asesor Comercial: MOSTRADOR P - ALEJANDRA CARDONA

| Cantidad | Unidad/Med | Descripción   | Precio/Unid.    | Total           |
|----------|------------|---|-----------------|-----------------|
| 1.00     | KG         | LAMINA HOT ROLLED ESP 4.50 KG 1200X2400 PRIMERA     | \$ 2.700,00     | \$ 2.700,00     |
| 1.00     | LN         | LAMINA HOT ROLLED ESP 9.00 LN 1200X2400 PRIMERA     | \$ 549.369,00   | \$ 549.369,00   |
| 1.00     | LN         | PLANCHA HOT ROLLED ESP 19.0 LN 1219X2440 PRIMERA    | \$ 1.243.200,00 | \$ 1.243.200,00 |
| 1.00     | KG         | TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO ESP 3.00 KG 60X60 PRIMERA | \$ 3.560,00     | \$ 3.560,00     |

Subtotal: \$ 1.798.829,00  
 19% IVA: \$ 341.777,51  
**Total: \$ 2.140.607,00**



**Cotización**

CLIENTE MOSTRADOR: 888

BOGOTÁ DISTRITO CAPITAL

Asesor Comercial: MOSTRADOR P - ALEJANDRA CARDONA

| Cantidad | Unidad/Med | Descripción                           | Precio    | VAL UNIT | Por. % | MONEDAS     |
|----------|------------|---------------------------------------|-----------|----------|--------|-------------|
| 1.000    | MM         | BARBILLA LAMINA LAMINA 2000 2000 2000 | 4.100.000 | 4.100    | 19     | \$4.100.000 |
| 1.000    | MM         | LAMINA L.A.M. 4.500 1200X2400         | 101.79    | 101.79   | 19     | \$101.790   |
| 1.000    | MM         | LAMINA L.A.M. 19.000 1200X2400        | 483.80    | 483.80   | 19     | \$483.800   |

TOTALES: 1001,00 MONEDAS: 1,004,000  
 \$ V.A.: 316,160  
**Total: 1,380,160**

**ASESOR COMERCIAL**  
 Nombre: VENTAS ASESOR COMERCIAL  
 Celular: [blank]  
 William.Casan  
 Elaboró: [blank] Aprobó: [blank] Recibió: [blank]

**Nota.** La figura muestra cotización de la empresa La Campana y Organización G&J.

**3.3.2 Costos subsistema de alimentación**

Para esta cotización se va a asumir la encontrada en el documento suministrado, sin embargo, se evidencia que la carcasa y los canales son de una lámina de **20mm** lo que aumenta el precio drásticamente, también se tiene una lámina de **10mm**, pero esta no discriminó en el documento si

procede de la cotización de *Hierros el Dorado* o si esta es de una cotización independiente, como se ve en la **Tabla 11**.

**Tabla 11.**

*Precio del subsistema de alimentación*

| COMPONENTE                           | CANTIDAD | MEDIDA (MM) | VALOR (UND.) | TOTAL              | IPC 2020 | TOTAL FINAL           |
|--------------------------------------|----------|-------------|--------------|--------------------|----------|-----------------------|
| Cinta transportadora                 | 1        | --          | \$300,000    | \$300,000          | 1.67%    | \$305,010.00          |
| Cangilones                           | 20       | --          | \$20,000     | \$400,000          | 1.67%    | \$406,680.00          |
| Lámina 20mm                          | 5        | --          | \$0          | \$3,547,000        | 1.67%    | \$3,606,234.90        |
| Lámina 10mm                          | 1        | --          | \$0          | \$110,000          | 1.67%    | \$111,837.00          |
| Tolva/Guía                           | 1        | --          | \$0          | \$320,000          | 1.67%    | \$325,344.00          |
| Tapa elevador                        | 2        | 3300x550    | \$915,000    | \$1,830,000        | 1.67%    | \$1,860,561.00        |
| Costados laterales carcaza           | 2        | 2700x350    | \$476,500    | \$953,000          | 1.67%    | \$968,915.10          |
| Costados superior e inferior carcaza | 2        | 600x350     | \$106,000    | \$212,000          | 1.67%    | \$215,540.40          |
| Piso canal salida                    | 1        | 1120x600    | \$340,000    | \$340,000          | 1.67%    | \$345,678.00          |
| Paredes canal salida                 | 1        | 1200x350    | \$212,000    | \$212,000          | 1.67%    | \$215,540.40          |
| Piso canal almacenaje                | 1        | 1120x230    | \$65,500     | \$65,500           | 1.67%    | \$66,593.85           |
| Paredes canal salida                 | 1        | 1200x150    | \$45,000     | \$45,000           | 1.67%    | \$45,751.50           |
|                                      |          |             | <b>TOTAL</b> | <b>\$8,334,500</b> | 1.67%    | <b>\$8,473,686.15</b> |

*Nota.* La tabla muestra la aproximación del costo a la fecha.

### 3.3.3 Costos subsistema de tracción

Para el subsistema de tracción se toman los valores encontrados en el documento suministrado, dado que, la cremallera está mal cotizada y los pines son de fabricación compleja y no especifica el material, los valores mostrados con relativamente económicos como se muestra en la **Tabla 12**.

**Tabla 12.**

*Precio actual del subsistema de tracción*

| COMPONENTE              | CANTIDAD | TOTAL               | IPC Marzo 2020 | TOTAL FINAL           |
|-------------------------|----------|---------------------|----------------|-----------------------|
| Cremallera              | 1        | \$98,700.00         | 1.67%          | \$100,348.29          |
| Protector de cremallera | 1        | \$250,000.00        | 1.67%          | \$254,175.00          |
| Pin1                    | 1        | \$150,000.00        | 1.67%          | \$152,505.00          |
| Pin2                    | 1        | \$22,000.00         | 1.67%          | \$22,367.40           |
| Pin3                    | 1        | \$465,500.00        | 1.67%          | \$473,273.85          |
| <b>TOTAL</b>            |          | <b>\$986,200.00</b> | 1.67%          | <b>\$1,002,669.54</b> |

*Nota.* La tabla muestra la aproximación del costo a la Marzo 2020.

### 3.3.4 Costos subsistema de potencia y de control

Para el subsistema de control y el subsistema de potencia se realiza una cotización en la empresa “MOTOR & CAB S.A.S.” (Ver **Figura 33**), en donde, en el **Tabla 13** se exponen los valores monetarios para adquirir dichos componentes.

**Tabla 13.**

*Precios actuales para subsistemas de potencia y control*

| COMPONENTE                              | CANTIDAD | VALOR (UND.) | TOTAL              | IPC Marzo 2020 | TOTAL FINAL           |
|---|----------|--------------|--------------------|----------------|-----------------------|
| Rueda Hofer                             | 2        | \$40,000     | \$80,000           | 1.67%          | \$81,336.00           |
| Motor Eléctrico                         | 3        | \$380,000    | \$1,140,000        | 1.67%          | \$1,159,038.00        |
| Variador Invertek                       | 3        | \$565,000    | \$1,695,000        | 1.67%          | \$1,723,306.50        |
| Montaje eléctrico                       | -        | \$213,500    | \$213,500          | 1.67%          | \$217,065.45          |
| Conduleta tipo LB ¾”                    | 1        | \$7,300      | \$7,300            | 1.67%          | \$7,421.91            |
| Conduleta tipo T ¾”.                    | 1        | \$7,500      | \$7,500            | 1.67%          | \$7,625.25            |
| Caja redonda ¾”.                        | 1        | \$13,500     | \$13,500           | 1.67%          | \$13,725.45           |
| Prensa estopa ¾”.                       | 4        | \$2,100      | \$8,400            | 1.67%          | \$8,540.28            |
| Terminal EMT Acero-tub.                 | 3        | \$3,150      | \$9,450            | 1.67%          | \$9,607.82            |
| Coraza liquid tight recubierta con PVC. | 1 (10m)  | \$60,500     | \$60,500           | 1.67%          | \$61,510.35           |
| Toma industrial 220V ext.               | 1        | \$28,000     | \$28,000           | 1.67%          | \$28,467.60           |
| Cableado adicional.                     | 3m       | \$18,000     | \$18,000           | 1.67%          | \$18,300.60           |
|   |          | <b>TOTAL</b> | <b>\$3,281,150</b> | 1.67%          | <b>\$3,335,945.21</b> |

*Nota.* La tabla muestra la aproximación del costo a la fecha.

**Figura 33.**

*Cotización de componentes eléctricos*



*Nota.* La figura es una cotización suministrada por los diseñadores

### 3.3.5 Costos totales de la máquina lanzadora de balones de voleibol diagnóstico

Con base en las tablas anteriores se procede a hacer la sumatoria de los valores correspondientes a los cinco subsistemas de la máquina como se ve en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.**

*Sumatoria de costos de Subsistemas*

| SUBSISTEMA                 | VALOR               |
|----------------------------|---------------------|
| Subsistema estructural     | \$3,404,420         |
| Subsistema de tracción     | \$1,002,670         |
| Subsistema de alimentación | \$8,473,686         |
| Subsistema de potencia     | \$3,180,746         |
| Subsistema de control      | \$155,199           |
| <b>TOTAL</b>               | <b>\$16,216,721</b> |

*Nota.* La tabla muestra el valor de los componentes para toda la máquina.

A partir de la tabla anterior se tiene el valor de los materiales para los cinco subsistemas, se le suman los valores de manufactura provistos encontrados en el documento suministrado para realizar la cotización final de la máquina lanzadora de balones de voleibol como se ve en la **Tabla 15** cuyo valor es de **\$22'858.324COP**. Se comparan los resultados con la **Tabla 16** que corresponde al valor de las máquinas en el mercado.

**Tabla 15.**

*Precio final de la máquina lanzadora de balones de voleibol*

| COSTO                | VALOR               |
|----------------------|---------------------|
| 5 Subsistemas        | \$16,216,721        |
| Corte                | \$203,340           |
| Transporte           | \$294,843           |
| Ensamble             | \$1,525,050         |
| Soldadura            | \$1,118,370         |
| Ingenieril           | \$3,500,000         |
| <b>TOTAL MÁQUINA</b> | <b>\$22,858,324</b> |

*Nota.* La tabla muestra los valores cotizados para los servicios de manufactura.

El costo ingenieril se reduce de **\$7'000.000COP** a **\$3'500.000COP**, dado que, el presente proyecto es realizado por solo un (1) estudiante.

**Tabla 16.**

*Precios de las máquinas en el mercado*

| OPCIÓN         | VALOR MÁQUINA   | COSTOS DE MÁQUINA (\$) |
|----------------|-----------------|------------------------|
| Winshot 1500   | \$4,950 (Dólar) | \$18'342.275           |
| Winshot 800    | \$3,299 (Euro)  | \$14'475.279           |
| Total Attack   | \$3,999 (Dólar) | \$14'814.335           |
| Attack         | \$3,299 (Dólar) | \$12'224.476           |
| Attack II      | \$2,999 (Dólar) | \$11'112.825           |
| Skill Attack   | \$1,299 (Dólar) | \$4'813.457            |
| Air Cat        | \$2,400 (Dólar) | \$8'893.224            |
| S6638 SIBOA SI | \$6,884 (Dólar) | \$25'508.731           |

**Nota.** La tabla muestra que la máquina más costosa es la S6638 SIBOA SI.

Si bien se observa en el cuadro anterior que la opción más económica corresponde a la máquina “Skill Attack”, sin embargo, el costo de importación, de aduanas y nacionalización del producto hace que todo valor de las máquinas del cuadro anterior aumente y que el precio promedio de las máquinas en el mercado sea de **\$13'773,075COP** un valor cercano al establecido por los diseñadores que fue de **\$13'714.101COP** [1] implica que el valor no fue bien calculado.

La máquina es costosa para ser un diseño que pueda competir frente al catálogo encontrado en el mercado, donde sus rivales directos serían la *AirCat*, *Winshot 1500* y *S6638 SIBOASI*.

Ya habiendo recopilado y analizado la respectiva información, se procede entonces a realizar el consecuente diagnóstico para dar un juicio técnico e ingenieril acerca del diseño y los costos del proyecto presentado por los diseñadores.

### **3.4 Diagnóstico**

El diagnóstico se dividirá como bien lo enuncia el título del capítulo en diseño y costos asociados. Se cita el cuadro de los diseñadores, en donde, después del respectivo análisis se pone en evaluación si se cumplen con los requerimientos del cliente como se ve en la **Tabla 17**.

Se resaltan tres filas, dos en rojo y una en amarillo, dado que para el color rojo corresponde a factores críticos como lo son el sobre costo y el exceso de peso para la máquina, mientras que el color amarillo se da para la fabricación de la máquina y como título del presente proyecto se debe de fabricar un prototipo con base el diseño.

**Tabla 17.***Condiciones de los clientes de la máquina*

| DATOS DEL CLIENTE            | REQUERIMIENTO MANIFESTADO  | PARÁMETROS |            |              |
|------------------------------|--|------------|------------|--------------|
|                              |  | ESENCIALES | RELEVANTES | IRRELEVANTES |
| Entrenador de Voleibol       | Qué realice los diferentes tipos de lanzamiento (Efectos del balón)                    | X          |            |              |
| Equipo de Voleibol masculino | Qué sea seguro para el usuario al momento de manipular                                 | X          |            |              |
| Equipo de Voleibol femenino  | Qué su Tablero de mando sea sencillo de operar   |            | X          |              |
|                              | Qué posea una estructura ergonómica y resistente a las condiciones climatológicas      | X          |            |              |
|                              | Qué cada uno sus componentes sean de fácil manipulación                                |            | X          |              |
|                              | Qué tenga una línea de conexión a una toma de corriente directa o una batería duradera |            | X          |              |
|                              | Qué la Potencia generada por la máquina sea acorde a la necesidad planteada            | X          |            |              |
|                              | Qué el lanzador alcance todos los puntos de la cancha                                  |            | X          |              |
|                              | Qué tenga una baja inversión inicial   | X          |            |              |
|                              | Qué tenga buena estética   |            |            | X            |
|                              | Qué tenga un almacenaje amplio de balones  |            |            | X            |
|                              | Qué tenga fácil acceso a la plataforma   |            |            | X            |
|                              | Qué no haga tanto ruido  |            |            | X            |

**Nota.** La tabla muestra los requerimientos de una máquina lanzadora de balones de voleibol. Tomado de: APA 7th - Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>.

### 3.4.1 Diseño

Se resume el análisis realizado a lo largo de las secciones 3.1 y 3.2 en la siguiente **Tabla 18**. La máquina cuenta con un buen diseño, original e innovador. Sin embargo, para la fabricación de la misma y como se vio con el respectivo análisis tiene muchos puntos que pueden mejorarse para que esta sea más factible de fabricar y más accesible económicamente de adquirir.

La máquina está bien diseñada, pero para la fabricación esta no es sencilla de realizar y menos por una sola persona. Si bien se encontraron fallas en el diseño, estos se pueden corregir.

**Tabla 18.**

*Resumen del análisis de diseño*

| DISEÑO  | SUBSISTEMAS   |
|---|---|
| ⊕ 50 planos entregados, los cuales, la mayoría carecen de información.  | SUBSISTEMA ESTRUCTURAL<br>⊕ No se especifica tipo de pintura anti corrosiva   |
| ⊕ Se vuelven a dibujar los planos y se reduce el número de 50 a 40.   | SUBSISTEMA DE TRACCIÓN<br>⊕ Diseño de piezas complejo sin especificar proceso de manufactura  |
| ⊕ Se cambia el material de fabricación de acero inoxidable a acero estructural ASTM E500 GRADO C.                                   | ⊕ Uso de una cremallera y corona, donde, los costos están mal calculados  |
| ⊕ Las dimensiones de la máquina están dentro del promedio del mercado.  | ⊕ No especifica el peso que tienen los motores y las carcasas, además de cómo van anclados a los pines.   |
| ⊕ El peso de la máquina excede seis veces a la máquina más pesada del mercado.  | ⊕ Ruedas no adquiribles en mercado local.<br>SUBSISTEMA DE POTENCIA   |
| ⊕ La máquina está sobredimensionada para la función a cumplir.  | ⊕ No se especifica la instalación de los motores<br>⊕ Subsistema no funcional (error de diseño)   |
| ⊕ No se pudo realizar el análisis por elementos finitos para el estado estático lineal de la máquina por fallas en el modelado CAD. | SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN<br>⊕ Es el subsistema más pesado de la máquina<br>⊕ Es el subsistema más costoso de la máquina<br>⊕ Los espesores de las piezas son muy gruesos para su función<br>⊕ No se especifica como instalar los cangilones |

**Nota.** La tabla enuncia posibilidades de mejora para el diseño.

Así mismo, en vista de las posibles mejoras que pueda tener el diseño de la máquina, después de un respectivo rediseño, esta será **viable y factible** de fabricar por el realizador de este proyecto.

⊕ **Viable:** Dicho de un asunto: Que, por sus circunstancias, tiene probabilidades de poderse llevar a cabo.  
[4]

⊕ **Factible:** Que se puede hacer. [5]

El diseño presenta fallas de dimensiones y de **peso**, existe un desequilibrio de la estructura y el uso masivo del perfil mencionado no soportaría el peso de sí mismo. Diseño **NO FACTIBLE** por parte del estudiante.

Los subsistemas presentan fallas al igual que el diseño en general, se deben de iniciar los cambios desde cada uno de los subsistemas. Los **subsistemas de tracción** y de **alimentación** se deben

cambiar dado sus complejas fabricaciones y costos elevados. Así como, se debe de volver a realizar el *subsistema de potencia* dado el error encontrado.

Del mismo modo, se realiza el diagnóstico a los costos asociados al proyecto, que, pese a estar ligados al diseño, desempeñan un criterio determinante en el área de la formulación de proyectos.

### **3.4.2 Costos**

Las piezas del *Subsistema de Alimentación*, el cual, es el responsable de transportar los balones dentro de la máquina, pero que es de los sistemas más influyentes en el exceso de *peso* y de costos de fabricación haciendo que la máquina no tenga *equilibrio* y su costo de fabricación de solo el subsistema sea de **\$8'334.500COP**, en donde, el valor previsto por los diseñadores para el total de la máquina fue de **\$13'714.101COP**. [1]

La máquina cuenta con un *Subsistema de Tracción*, en el cual, destaca la adquisición de una *cremallera* y *corona*, sin embargo, dichas cotizaciones están mal realizadas, dado que, ese conjunto de manufactura cuesta más de **\$98.700COP** como lo tenían previsto. Para el subsistema de potencia se requieren tres inversores de frecuencia que cuestan **\$1,723,306.50COP** [1].

El costo total de adquisición de piezas de la máquina sin contar costos de manufactura y soldadura como conclusión del primer objetivo es de **\$15'790.847COP**, donde, se aprecia un excedente de **\$2'433,599COP** que en las condiciones económicas actuales no es viable para la FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA como empresa soporte realizar esa consignación.

Se evidencia un error en la sumatoria aritmética de los costos de los materiales, lo que genera como resultado un sobre costo de la máquina. Si bien el **IPC** influye en esta sumatoria, dado que, se aumentan los valores establecidos, una fabricación debe de tener en cuenta lo fluctuante de los precios del mercado siguiendo las normas de la economía, factor que se tendrá en cuenta en la sección final del presente documento para evitar caer en el mismo error.

Para finalizar el diagnóstico se genera la siguiente conclusión:

**Conclusión:** La Fundación Universidad de América como empresa soporte puede adquirir una máquina de este tipo mediante la importación a pesar de pagar las aduanas y nacionalización, sin embargo, a modo de estímulo hacia su respectiva comunidad y para darle continuidad a un proyecto de diseño, sus directivas decidieron apoyar el presente proyecto.

En contraste, se encuentra que la máquina es **6 veces** más pesada que la máquina con el mayor peso del mercado y esta no está equilibrada, del mismo modo, cuenta con partes móviles que representan un riesgo para los usuarios, así como partes rígidas que incurren en exceso de peso. Y lo más crítico, el subsistema primario de una máquina de este tipo el cual es el **subsistema de potencia** fue mal calculado, lo que implicaría que la máquina no sea funcional en su nombre: lanzadora de balones de voleibol.

De modo que, se recopilaron cotizaciones y precios para la adquisición de servicios y componentes en función del diseño suministrado, se normalizan dichos precios mediante el **IPC** a fecha de marzo del presente año. Se realiza la respectiva sumatoria de valores y se encuentra que la máquina es más costosa que el precio promedio de las máquinas de su mismo tipo.

Por parte del estudiante proponente se plantea realizar un **REDISEÑO** para la máquina, enfocándose en la **equilibrio** y seguridad con los subsistemas que más problemas presentan, además que de recalcular el **subsistema de potencia** y llevar a la funcionalidad el diseño. En consecuencia, a partir de los cambios que se realicen al diseño, se espera que los costos se puedan reducir para que su fabricación sea **viable** y **factible** de realizar.

#### 4. REDISEÑO LA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA PREVIAMENTE ANALIZADA

Para comenzar a hablar de los cambios y/o adiciones que se van a implementar a una máquina, primero se debe de hacer mención a lo que significa rediseñar:

“Volver a diseñar algo o modificar un diseño previo.” [6]

Si bien según la Real Academia Española de la lengua (RAE) no concibe una definición para este tipo de acciones, según la mencionada por el diccionario de Oxford se va a modificar un diseño ya realizado en función de su fabricación.

##### 4.1 Rediseño detallado de la máquina lanzadora de balones de voleibol

A partir del análisis realizado en el diagnóstico, ahí se evidencio que dentro de los entregables se encontraban **50 planos** que carecían de la información suficiente para la fabricación, por consiguiente, se tuvieron que realizar nuevos planos a partir de los archivos CAD suministrados para el diagnóstico. Para tal fin se modelaron cada uno de los componentes para la máquina lanzadora de balones de voleibol, teniendo en cuenta el material que corresponde y su ensamble digital.

Con base en lo analizado en el capítulo anterior, los principales problemas del diseño corresponden a **peso** y **equilibrio** de la máquina, y que, a consecuencia del **peso**, los costos de materiales resultaron ser mayores frente a sus homologas en el mercado. A partir de lo enunciado en la **Tabla 3** que resume los problemas de los subsistemas se denotan cambios y modificaciones a los siguientes subsistemas:

- ⊕ Subsistema de potencia: se evidencian incongruencias en el proceso de cálculo de la potencia del motor y de la velocidad angular, así como la selección de un motor con el ajuste inadecuado para la rueda seleccionada. Además, la rueda seleccionada contiene un elemento que no permite un ajuste adecuado al motor seleccionado.
- ⊕ Subsistema de tracción: se determina que el uso de una **cremallera** puede generar riesgos, puesto que, su respectivo **protector de cremallera** no cubre toda la longitud de la misma. Por otro lado, no se especifica su proceso de fabricación y sus costos no están debidamente soportados.

- ⊕ Subsistema de alimentación: según la **Tabla 7** los componentes más pesados corresponden a la *tapa frontal elevador* y a la *carcasa cangilones* con un peso de **889Kg** dado su considerable espesor de **20mm** que también se tiene para el *canal de almacenaje* y el *canal salida cangilones*, donde se propone reducir el calibre de todos los componentes por la función que cumplen.

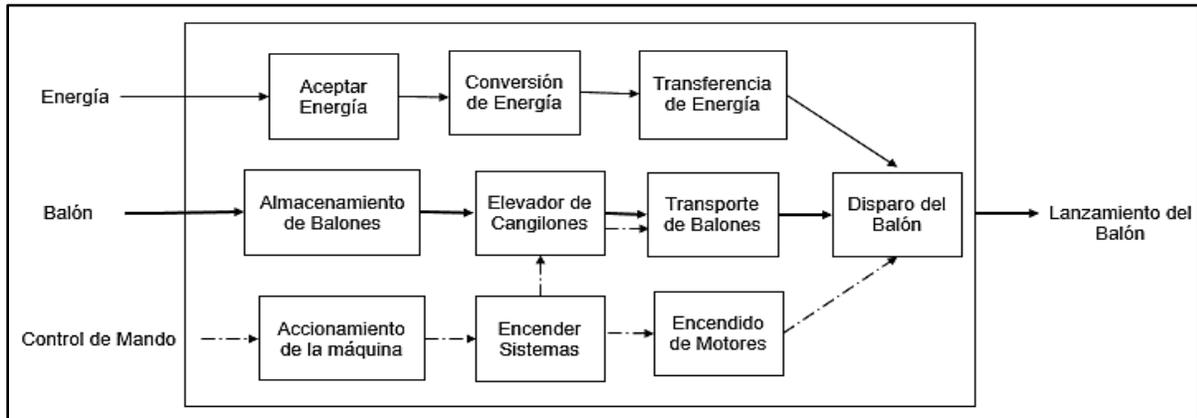
El diseño suministrado cuenta con un peso actual de **1288,095Kg** y sus centros de masa y de volumen se encuentran excéntricos y concentrados en el *subsistema de alimentación* (Ver **Figura 10**). A partir de las modificaciones que se puedan realizar a los tres subsistemas mencionados previamente se pretende solventar dichos problemas desde la parte técnica del diseño de máquinas.

Se tendrán en cuenta los respectivos parámetros de diseño finales establecidos por los diseñadores en función de que el rediseño no termine en una máquina diferente a la que se tenía diseñada inicialmente, dado que, se asumiría que el 100% del diseño está mal realizado (escenario que no ocurre) que se citó en el capítulo anterior.

Del mismo modo, dado que no se pretende cambiar drásticamente el diseño de la máquina, sino que, como se vio en la parte del diagnóstico, generar un diseño *viable* y *factible* por parte del estudiante. Así mismo, basándose en el modo funcional de la máquina, como se ve en la **Figura 34** esta fue provista con un sistema de elevación por *banda transportadora* y empujadores para su transporte dentro de la misma y para el almacenamiento de **10 balones**. Este componente se puede preservar y se pueden cambiar las piezas del *subsistema de alimentación* para que no interfieran con el modo funcional y se optimice la fabricación de la máquina.

**Figura 34.**

*Modo funcional de una máquina lanzadora de balones de voleibol*



**Nota.** La figura representa el funcionamiento de una máquina lanzadora de balones de voleibol. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>

Una vez establecido lo que se va a rediseñar, se inicia con el primer subsistema

#### **4.1.1 Rediseño del subsistema de potencia**

A partir de lo que se revisó con el diagnóstico, este primer subsistema está mal calculado. Se procede a revisar los cálculos encontrados en el documento suministrado para encontrar la causa del problema. Se inicia con la ecuación de potencia (P).

$$P = M \cdot \omega$$

Donde:

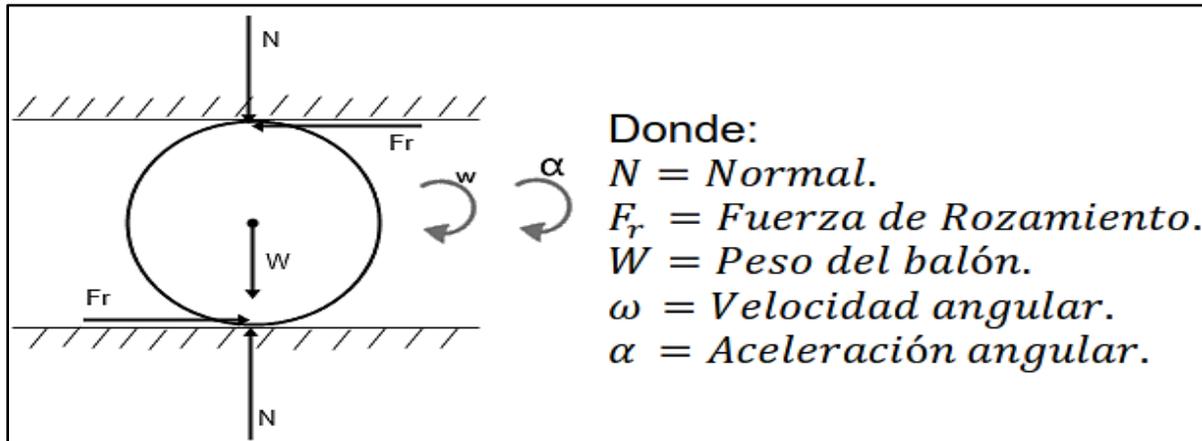
$M =$  Momento o Par motor [N.m].

$\omega =$  Velocidad Angular [rad/seg].

Después se toma el diagrama de cuerpo libre para calcular la velocidad angular a partir de cinemática de cuerpo rígido, tal como se ve en la **Figura 35**.

**Figura 35.**

*Diagrama de cuerpo libre ruedas de fricción*



*Nota.* La figura nos muestra las fuerzas y propiedades angulares para dicho montaje. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>.

Se realiza el cálculo para la fuerza normal teniendo en cuenta la masa de un balón de voleibol que puede llegar a pesar **0,280Kg** [7], se multiplica por la aceleración de la gravedad.

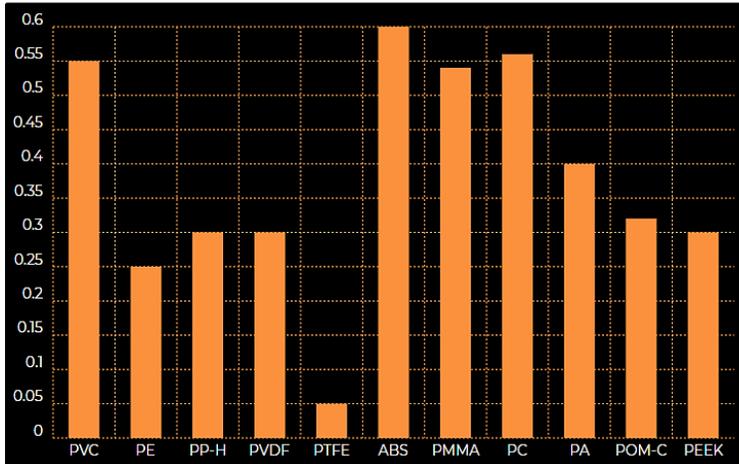
$$FN = m \cdot g = 0.280Kg \cdot 9.81 m/s^2 = 2.7468 N$$

Después, con el valor calculado para la fuerza normal (FN), se procede a calcular la fuerza de rozamiento (Fr), que se obtiene del producto entre la fuerza normal y el coeficiente de fricción. Sin embargo, el coeficiente de fricción dado en el documento suministrado corresponde a una página de internet, donde, realizando la respectiva investigación se encuentra que dicho coeficiente fue reemplazado por otro.

Sin embargo, revisando el documento, se encuentra que se selecciona **PVC** como material dado su alto coeficiente de fricción (COF) en comparación con otros polímeros industriales. Pero, revisando la fuente bibliográfica, se encuentra una gráfica actualizada de la comparación del COF como se ve en la **Figura 36**.

**Figura 36.**

*Coefficientes de fricción (COF) para diferentes polímeros*



**Nota.** La grafica muestra que el PVC no tiene el mayor COF. Tomado de: BOVE-AG, “Coeficiente de fricción plásticos”. bove-ag plásticos y elastómeros S.L. [En línea]. Disponible: <https://bove-ag.com/coeficiente-friccion-plasticos>. [Consultado 10 de Agosto 2020]

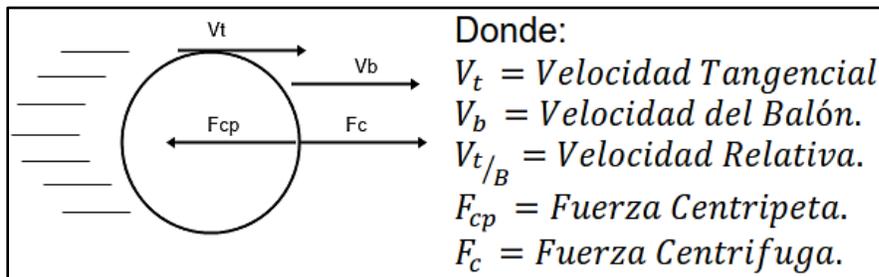
Se multiplica el valor del nuevo coeficiente de fricción (COF) a la fuerza normal (FN).

$$F_r = \mu \cdot N = 0.55 * 2.7468 N = \mathbf{1.5107 N}$$

Una vez calculadas las fuerzas se procede a calcular los componentes angulares, sin embargo, no se cuenta con la suficiente información desde las condiciones estáticas para obtener dichos valores. Luego se traslada de la estática a la dinámica realizando el diagrama de fuerzas y de velocidades tal como se ve en la **Figura 37**.

**Figura 37.**

*Diagrama de fuerzas y velocidades*



**Nota.** La tabla muestra los parámetros establecidos por los diseñadores. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>.

Ahora se pueden relacionar algunas velocidades con las propiedades angulares del sistema, por otro lado, se realiza una descomposición en velocidades relativas para calcular la velocidad tangencial al balón ( $V_t$ ).

$$V_t = \omega \cdot r$$

$$V_B = V_t + V_{t/B}$$

Ya se cuenta con el valor del **diámetro** de un balón de voleibol que es de **0,213m** [7] para un radio de **0,1065m**, por consiguiente, ya se tiene un valor para la ecuación de velocidad tangencial ( $V_t$ ). Por otro lado, según requerimientos del cliente se necesita que la velocidad del balón ( $V_b$ ) sea de **120Km/h**. [1]

$$V_t = \omega * 0.1065m$$

$$V_t = (\omega)0.1065m$$

$$V_B = 120 \frac{Km}{h}, \text{ Velocidad de salida del balón.}$$

$$V_B = 120 \frac{Km}{h} * \frac{1000 m}{1 Km} * \frac{1 h}{3600 Seg}$$

$$V_B = 33.3333 m/s$$

Teniendo el valor para la velocidad del balón ( $V_b$ ) y que la velocidad tangencial ( $V_t$ ) relaciona la velocidad angular ( $\omega$ ) junto con dicha velocidad calculada, se procede a igualar las ecuaciones y a descomponerla en las coordenadas XYZ con los vectores unitarios “i, j, k”.

$$V_B = V_t i + Nk * rj$$

$$33.3333 m/s = ((\omega)0.1065m)i + Nk * (0.1065m)j$$

$$33.3333 m/s = ((\omega)0.1065m)i + (0.1065m(N))i$$

$$33.3333 m/s = 0.213m(\omega)$$

$$\frac{33.3333 m/s}{0.213 m} = \omega$$

$$\omega = 156.4944 rad/seg?$$

$$N = 1494 RPM?$$

En la ecuación anterior se asume como si “N” fuera uno (1) para que no altere el producto de los componentes en  $k$  y en  $j$ . Sin embargo, se encuentra un error de connotación para los cálculos

realizados, la letra “N” la denotan para fuerza normal (FN), también para las RPM y para un componente que no se entiende en la ecuación, dado que no se especifica dentro del documento. A menos que se asuma que es un vector unitario, en tal caso se podría asumir con el valor de uno (1).

Se obtiene un valor de *velocidad angular* ( $\omega$ ) de **156,4944rad/seg** para un total de **1494RPM**. Ya con dicho valor se puede calcular la velocidad tangencial (Vt).

$$V_t = 156.4944 \frac{rad}{seg} * 0.1065m$$

$$V_t = \mathbf{16.6666 m/s}$$

Ya teniendo el valor de velocidad angular ( $\omega$ ), para poder calcular la potencia requerida (P) se necesita el momento o par motor (M), el cual se calcula de la siguiente forma, que, fue el énfasis del problema de este cálculo visto en el diagnóstico.

$$M = I \cdot \alpha$$

Donde:

*I = Momento de Inercia.*

*$\alpha =$  Aceleración angular [rad/seg<sup>2</sup>].*

Para calcular el momento de inercia para las ruedas de fricción quienes son los componentes a los que los motores les suministraran la potencia rotacional, se asumen como un cilindro, dado que ese es el perfil que manejan.

$$I = \frac{1}{2} mR^2 = \frac{1}{2} 0.725Kg * 0.075m^2 = \mathbf{0.002039Kg * m^2}$$

Asumiendo el valor dado por los diseñadores de 725gr. [1]

Con base en lo visto en el diagnóstico, se debe multiplicar el momento de inercia (I) calculado por la aceleración angular para que el momento de en unidades de **N\*m**. Por tal motivo se debe de calcular la aceleración angular ( $\alpha$ ).

$$Frecuencia = 10 \frac{balones}{minuto} = 1 \frac{balon}{6 segundos} = 0.1667 \frac{balones}{segundo} = tiempo$$

$$\alpha = \frac{\omega}{\text{tiempo}} = \frac{156.4944 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}}{0.1667 \text{seg}} = 938.7786 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2}$$

Ahora si se puede multiplicar el valor de la aceleración angular ( $\alpha$ ) calculada por el momento de inercia (I) que sigue siendo el mismo, respecto a los cálculos de los diseñadores, para obtener el valor del momento o par motor (M).

$$M = 0.002039 * 938.7786 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} = 1.9142 \text{ Nm}$$

Y con un valor dimensionalmente correcto, se puede obtener la potencia (P) requerida por el motor revisando la fórmula del inicio de esta sección **4.1.1**.

$$P = 1.9142 \text{ Nm} * 156.4944 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 299.5616 \text{ W} = 0.4017 \text{ hp}$$

El resultado para la potencia (P) siguiendo los cálculos por parte de los diseñadores da superior a los **51,36W** o **0,135hp** para el motor. Sin embargo, este resultado se da mediante la asunción de algunos datos y no está debidamente verificado.

Para aportar a otro punto de vista se procede a realizar los cálculos siguiendo un artículo científico encontrado vía internet que titula “*DESIGN AND DEVELOPMENT OF VOLLEY BALL PRACTICE MACHINE*” [8], que en español traduce: “DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA PARA PRÁCTICAS DE VOLLEYBALL”.

Se procede a realizar los respectivos cálculos con los valores que se tienen para la selección del respectivo motor siguiendo las ecuaciones del artículo científico, como se ve en la **Tabla 19**.

**Tabla 19.**

*Cálculos para selección de motor eléctrico con base en artículo científico*

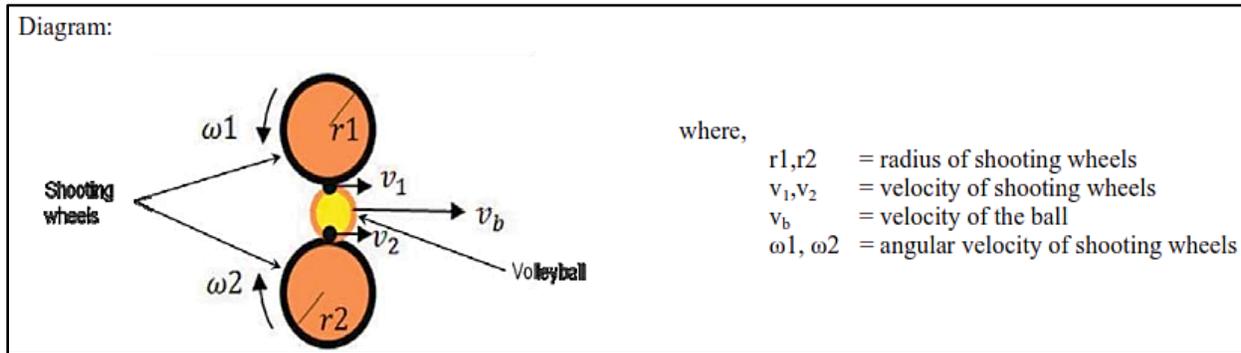
| MOTOR PAPER    |            |                   |                       |
|----------------|------------|-------------------|-----------------------|
| Mb             | 280        | g                 | Página web            |
| r rodillo      | 0.08264463 | m                 | Calculado             |
| Mrodillo       | 0.725      | Kg                | Catalogo ruedas       |
| Vb             | 33.3333333 | m/s               | Requerimiento cliente |
| $\omega$       | 403.333333 | rad/s             | Velocidad angular     |
| $\omega$       | 3851.54962 | RPM               | Motor sin carga       |
| F.S. Eje motor | 1.5        |                   | Asumido               |
| Vmotor         | 5777.32443 | RPM               | Velocidad motor       |
| Vmotor         | 605        | rad/s             | Velocidad motor       |
| Mb             | 0.28       | Kg                |                       |
| Keb            | 155.555556 | J                 | Energía cinética      |
| Inercia        | 0.00247592 | Kg*m <sup>2</sup> |                       |
| Es             | 453.125    | J                 | Energía potencial     |
| E              | 608.680556 | J                 | Energía total         |
| # balones      | 10         |                   |                       |
| t              | 60         | s                 | Tiempo                |
| P              | 101.446759 | w                 | Potencia              |
| P              | 0.13598761 | hp                | Potencia              |
| F.S. MOTOR     | 3          |                   |                       |
| P TOTAL        | 0.40796284 | hp                | Potencia              |
| MOTOR          |            |                   |                       |
| Potencia       | 0.4        | hp                | Potencia              |
| Velocidad      | 5777.32443 | RPM               |                       |

**Nota.** La tabla muestra que se requiere un motor de 0,4hp y de 5777,32RPM.

El artículo mencionado presenta un diagrama de velocidades y toma en cuenta las propiedades para las ruedas y para el balón para la selección del motor, que es la pieza fundamental para que esta máquina realice su función como se ve en la **Figura 38**.

**Figura 38.**

Diagrama para la selección de motor según artículo científico



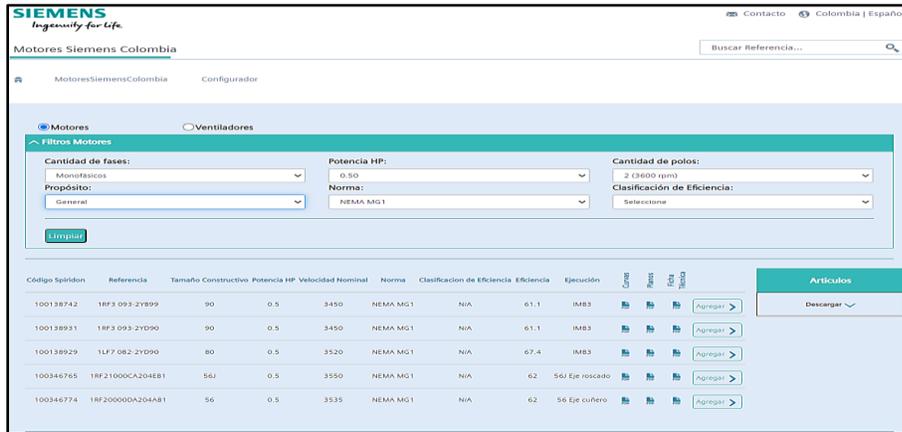
*Nota.* La figura muestra un diagrama que uno de los dos realizados por los diseñadores. Tomado de: S. Perumalsamy, P. Ragupathi y K. R. Rahul, «Design and Development of Volley Ball,» International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET), vol. 4, n° 1, p. 8, Mayo 2014.

Realizando la comparación con los cálculos realizados analíticamente nos da como resultado una potencia similar de **0,4017hp** y de **0,4hp**, pero que en comparación con el valor de resultado del artículo es de **0,54hp** [8], pero la diferencia de esos **1,4hp** se da por el peso de las ruedas, diámetro de las ruedas y la masa del balón. Sin embargo, al momento de seleccionar el motor al no encontrar un motor de **0,4hp** se puede seleccionar uno de **0,5hp** debido a las pérdidas de potencia por la eficiencia de un motor eléctrico [1].

Se procede a buscar vía internet un catálogo más actualizado que el encontrado en el apartado de anexos suministrados, se encuentra una página de internet de la empresa SIEMENS para Colombia, en donde, cuenta con filtro de búsqueda para encontrar el motor correspondiente a las necesidades requeridas como se ve en la **Figura 39**.

**Figura 39.**

*Página web de motores SIEMENS*



**Nota.** La figura muestra la interfaz de búsqueda para motores en la página web de la empresa SIEMENS. Tomado de: MOTORES SIEMENS COLOMBIA, “Motores Siemens”. SIEMENS. [En línea]. Disponible: <https://www.motores.siemens.com/>. [Consultado 12 de Agosto 2020]

De la figura anterior se selecciona la última opción correspondiente al motor con mayor velocidad nominal, es decir, **3535RPM** y que cuenta con eje con cuña, al seleccionarlo y solicitar la información de catálogo, se suministra la respectiva ficha técnica para el motor como se ve en la

**Figura 40.**

**Figura 40.**

*Ficha técnica motor seleccionado*

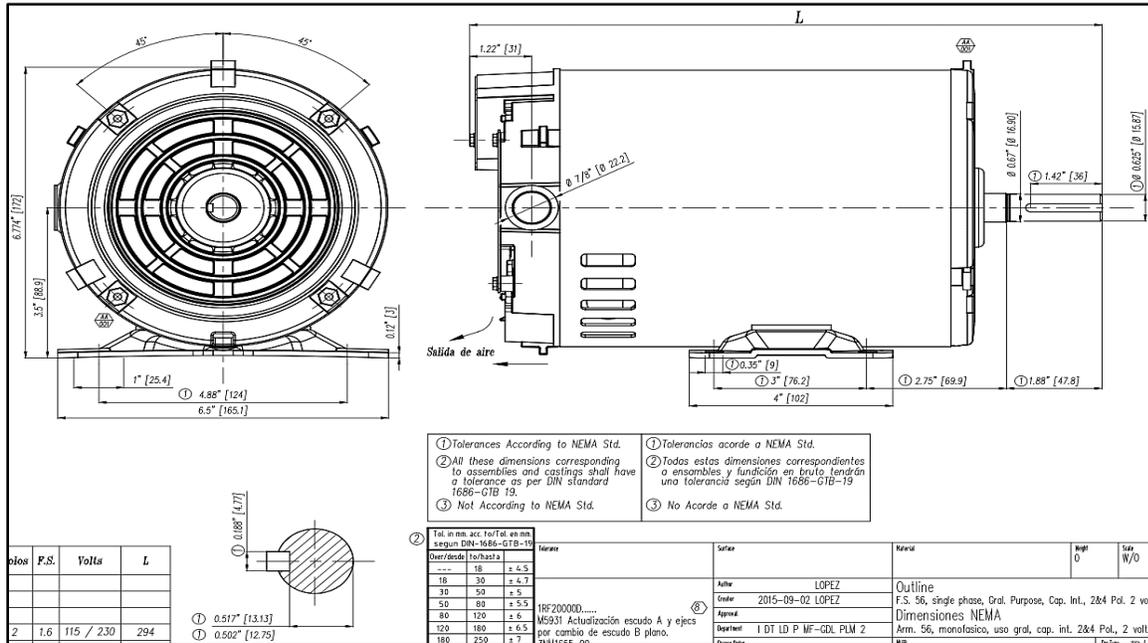
| Electrical Data / Datos Eléctricos      |                 | General data / Datos generales  |                         |
|---|-----------------|---|-------------------------|
| Rated motor voltage / Tensión nominal   | 115 V N/A 230 V | Frame size / Tamaño constructivo  | 56                      |
| Frequency / Frecuencia                  | N/A N/A 60Hz    | Type of construction / Tipo de construcción                               | 56 Eje cuñero           |
| Rated power / Potencia Nominal          | 0.5 HP          | Weight in kg, without optional accessories. / Peso motor, sin accesorios. | 9 Kg                    |
| Rated motor speed / Velocidad Nominal   | 3535 rpm        | Frame material / Material carcasa   | Lamina / Cold Roll      |
| Rated motor torque / Torque Nominal     | 1.01 Nm         | Degree of protection / Grado de protección                                | IP 23                   |
| Nominal current / Corriente Nominal     | 8.5 A 4.3 A     | Method of cooling, TEFC   | IC 411                  |
| Starting / rated motor current (Ia/In)  | 5.7             | Insulation  | Clase B (135°C)         |
| Starting / rated motor torque (Ta/Tn)   | 5.5             | Duty type   | S1                      |
| Efficiency class                        | N/A             | Direction of rotation   | Bidireccional           |
| Efficiency: Síntesis                    | 44 62           | Terminal box position :   | Posición caja de bornes |
| Power factor / Factor de potencia       | 66.1            |   |                         |
| Service factor / Factor de servicio     | 1.6             |   |                         |
| Motor protection : Protección del motor |                 |   |                         |
| Mechanical Data / Datos mecánicos       |                 | Environmental conditions / Condiciones ambientales                        |                         |
| Type of bearing / Tipo de rodamientos   | Bolax           | Ambient temperature / Temperatura ambiente                                | -20.0 °C - +40 °C       |
| Bearing DE / INDE / Rodamiento A2 / B3  | 6203 ZZ 6203 ZZ | Altitude above sea level / Altitud sobre el nivel del mar                 | 1000 m                  |
| Lubricants / Lubricante                 |                 | Standards and specifications / Normas internacionales                     | NEMA MG1                |

**Nota.** La figura muestra la información eléctrica, mecánica y general para el motor seleccionado. Tomado de: MOTORES SIEMENS COLOMBIA, “Motores Siemens”. SIEMENS. [En línea]. Disponible: <https://www.motores.siemens.com/>. [Consultado 12 de Agosto 2020]

Del mismo modo, dentro de los archivos que se obtienen adjuntos en el catálogo para este motor, se encuentra también el plano del mismo, como se ve en la **Figura 41**.

**Figura 41.**

*Plano del motor seleccionado*

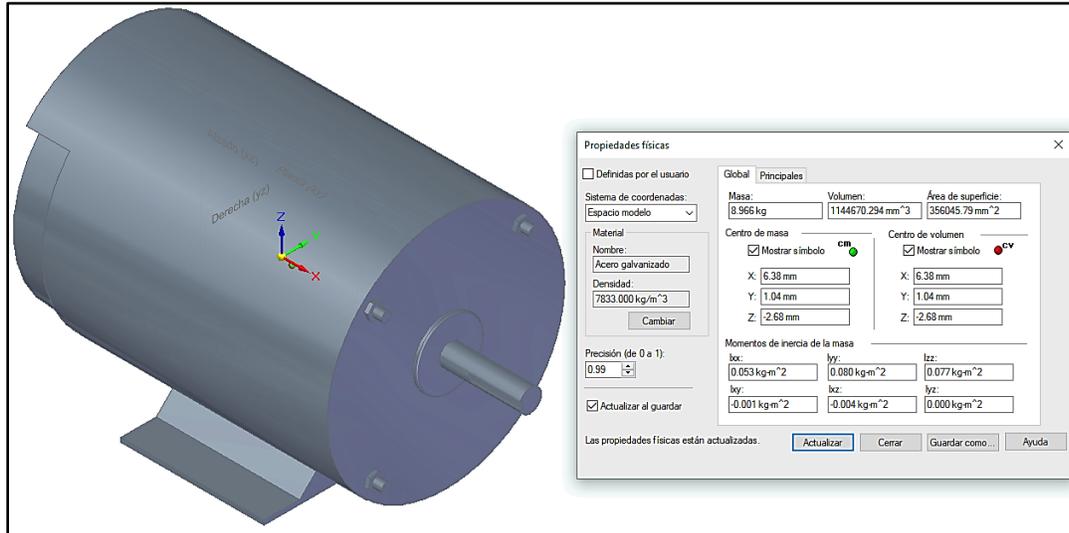


**Nota.** La figura muestra las dimensiones para el motor seleccionado. Tomado de: MOTORES SIEMENS COLOMBIA, “Motores Siemens”. SIEMENS. [En línea]. Disponible: <https://www.motores.siemens.com/>. [Consultado 12 de Agosto 2020]

Con base en el plano obtenido se procede a modelar mediante software CAD el motor seleccionado para tener en cuenta su tamaño y peso dentro del **subsistema de tracción** en donde va a realizar su función y para la máquina en general. Según la ficha técnica su peso es de **9Kg**, se modela teniendo en cuenta el peso como se ve en la **Figura 42**.

**Figura 42.**

*Modelado CAD del motor seleccionado*



**Nota.** La figura muestra el modelado del motor seleccionado con el peso aproximado.

Para el motor de elevación se puede mantener el motor que seleccionaron los diseñadores al no requerir de una potencia similar al de los motores de lanzamiento, el motor seleccionado en el diseño suministrado cuenta con chaveta y planos, y los ejes para la banda transportadora se pueden redibujar. Se procede a rediseñar el siguiente subsistema.

#### **4.1.2 Rediseño del subsistema de tracción**

Los motores seleccionados y corregidos van a suministrar la potencia mecánica para el giro de las ruedas de fricción. Sin embargo, al revisar el modelado CAD para este subsistema (Ver **Figura 22**) se evidencia que no hay existencia de los motores modelados y que las ruedas no corresponden a las seleccionadas en el diseño, que según el documento suministrado se requieren de unas ruedas de fricción de material **PVC** de **138.88mm** de diámetro [1], de las cuales seleccionaron unas ruedas del catálogo de **Hofer** como se vio en la **Figura 27**.

En consecuencia, **Ruedas Hofer** es una compañía de origen argentino y no cuenta con sucursal en Bogotá (ciudad en la que se realiza el presente proyecto), se procede a buscar nuevamente un catálogo de ruedas que cumplan con los parámetros establecidos para que su adquisición sea rápida.

Realizando la respectiva investigación se encontraron tres tiendas en Bogotá que ofrecen ruedas para diferentes propósitos en la industria, las cuales son:

- ☺ M&M DE COLOMBIA LTDA.
- ☺ RUEDA GARZÓN S.A.S.
- ☺ Rodachines Industriales y Cía Ltda.

De las tres empresas mencionadas, la última: **Rodachines Industriales y Cía Ltda.** cuenta con un catálogo más específico para sus productos. Revisando detenidamente dicho catalogo se encuentra una rueda que cumple con las características de la rueda seleccionada en el catálogo de **Ruedas Hofer** que corresponde a una rueda en **PVC** de **150mm** de diámetro como se muestra en la **Figura 43**.

**Figura 43.**

*Rueda de fricción seleccionada*

FICHA TECNICA


### RUEDA 6 X 2" POLIVINIL MACHO®

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>REFERENCIA:</b>             | RUEDA 6 X 2" PVC BAL  |
| <b>CÓDIGO:</b>                 | 114032  |
| <b>DIAMETRO TOTAL:</b>         | 151 ± 0,5 MM (6")   |
| <b>ANCHO DE RUEDA:</b>         | 50 ± 0.8 MM   |
| <b>MATERIAL DE LA BANDA:</b>   | POLIVINIL   |
| <b>DUREZA:</b>                 | 95±5 SHORE A  |
| <b>SUPERFICIE DE LA BANDA:</b> | PLANA   |
| <b>MATERIAL DEL RIN:</b>       | POLIPROPILENO PP  |
| <b>RODAMIENTO:</b>             | BALINERA PRECISION 15 MM 6202<br>INCLUYE BUJE Y TORNILLO DE 12      |
| <b>CAPACIDAD DE CARGA:</b>     | 250 KG  |
| <b>PROTECCION DE PISO</b>      | MEDIA   |
| <b>VELOCIDAD DE TRABAJO:</b>   | ≤3.5KM/H  |
| <b>CARACTERISTICAS:</b>        | RUEDAS ESPECIALES PARA TRABAJOS SEMIPESADOS EN SUPERFICIES LISAS    |
| <b>RECOMENDACIONES:</b>        | USAR EN SUPERFICIES LISAS SIN VIRUTAS DE METAL O VIDRIO, NI ACIDOS. |
| <b>Marca:</b>                  | <b>MACHO®</b>   |



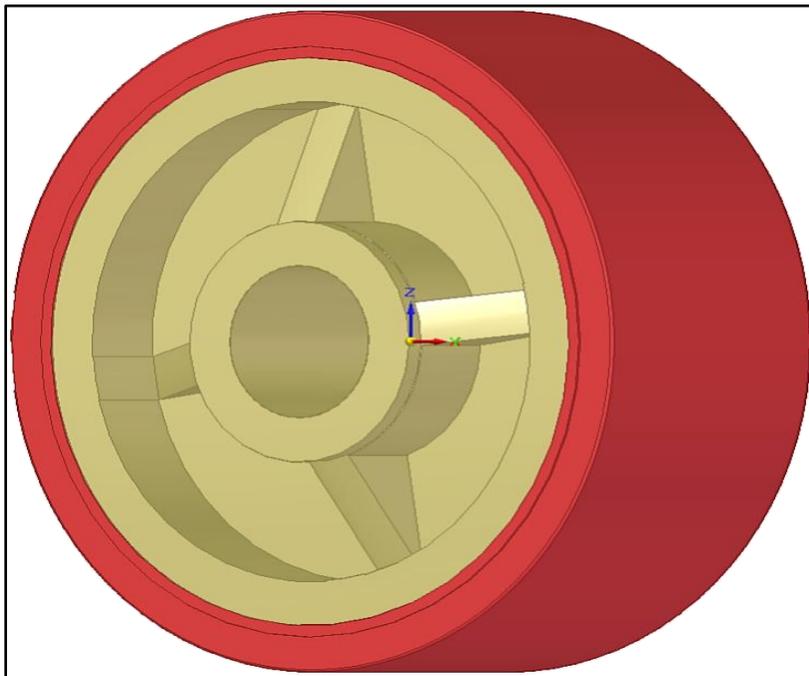
**Nota.** La figura muestra que la rueda seleccionada cuenta con banda en PVC y diámetro 150mm. Suministrado por Rodachines Industriales y Cía Ltda.

Sin embargo, tal como se vio en la sección anterior y en la **Figura 36**, el **PVC** no es el material con el mayor coeficiente de fricción, por otro lado, dado que, ya se realizó la selección de los motores con base en las propiedades del material, se decide por mantener esta rueda para que este rediseño no surta en cambios radicales al diseño inicial de la máquina.

Dado que, en la **Figura 43** se muestra que la rueda seleccionada cuenta con una “*balinera*” o rodamiento como se conoce técnicamente, se incurriría en el mismo problema de acople mecánico del que se identificó en el capítulo tres de este proyecto con el diagnóstico de la máquina. Se procede a modelar en software CAD la rueda sin el rodamiento como se ve en la **Figura 44**.

**Figura 44.**

*Rueda seleccionada modelada en CAD*

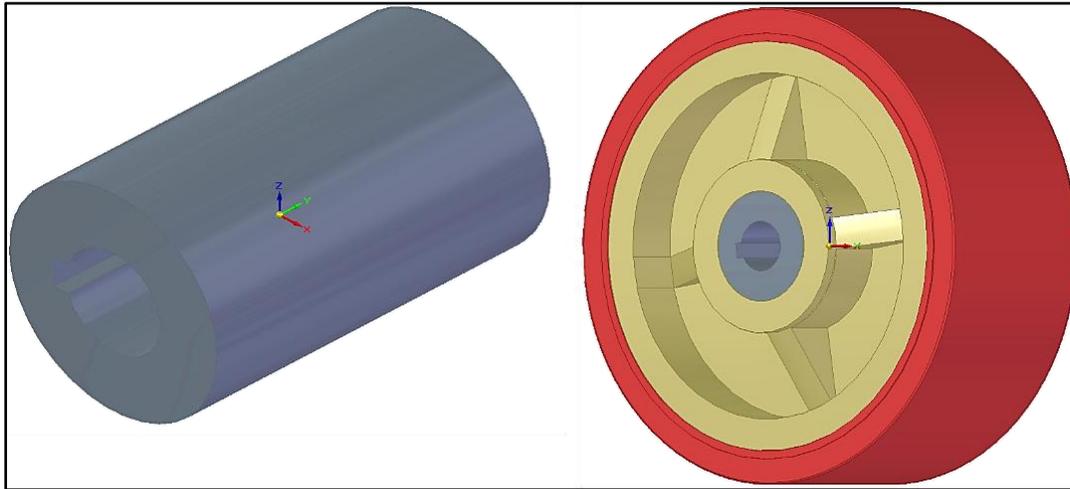


**Nota.** La figura muestra una rueda de fricción sin rodamiento con un diámetro interno de 35mm.

Para poder acoplar la rueda seleccionada al motor calculado, se debe añadir un eje o acople con chavetero para que el ajuste con el motor permita una rotación sin holgura y sin excentricidad o “bote”. Para tal fin, se modela un eje hueco que se le agregara a la rueda para su ajuste, que cuente con el respectivo chavetero, si bien para tales elementos de unión existen normatividades, se modela con base en el plano obtenido del motor seleccionado (ver **Figura 42**) como se ve en la **Figura 45**.

**Figura 45.**

*Acople para la rueda de fricción*



**Nota.** La figura muestra el eje con chavetero para el ajuste rueda-motor.

Tal como se vio en la sección 4.1 se plantea sustituir el uso de la *cremallera* y de la *carcasa de protección*. A partir del documento suministrado, en su capítulo dos acerca del diseño temático y planteamiento de alternativas, se muestran otras dos opciones aparte de la escogida como se ve en la **Tabla 20**.

**Tabla 20.**

*Diseño conceptual para la elevación del subsistema de tracción*

| <b>FUNCIONAMIENTO</b>  | <b>ELEVACIÓN</b>  | <b>ALTERNATIVAS</b>                     |
|--|---|---|
| Ajuste de la altura que se requiere para generar el lanzamiento a distintos puntos de la cancha. | Sistema que permite fijar la altura del mecanismo lanzador. | ⊕ Pasador.<br>⊕ Cremallera.<br>⊕ Polea. |

**Nota.** La tabla muestra las tres alternativas para la elevación de las ruedas de PVC. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>.

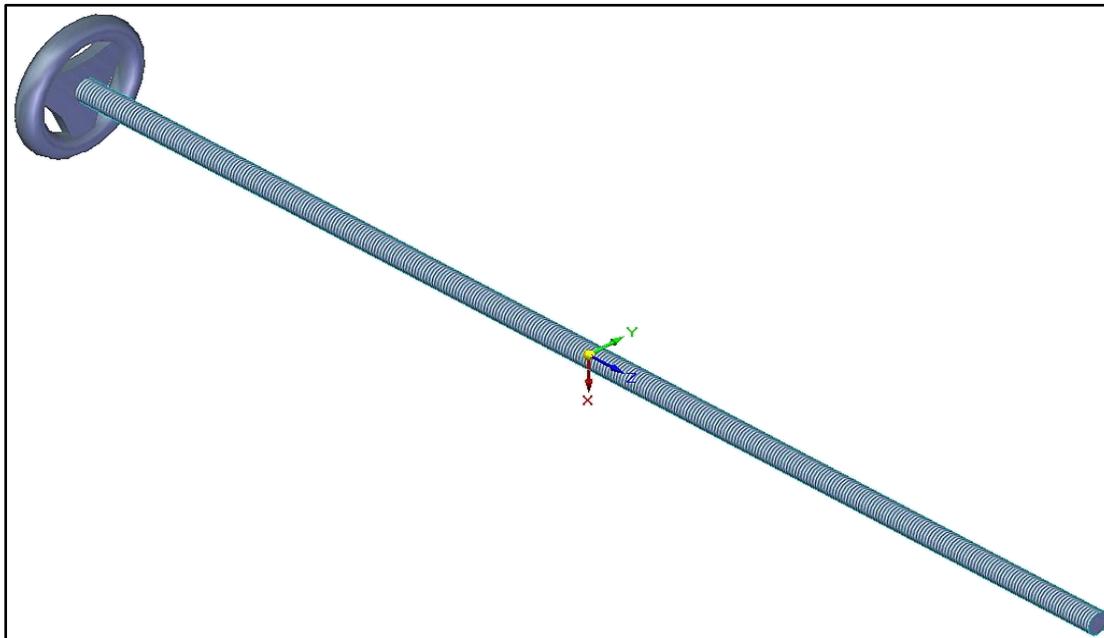
A partir de las opciones que no se tuvieron en cuenta, si se aplica el uso de un pasador implica que el peso de los “*pines*” junto con el de los motores y ruedas se aplique como esfuerzo cortante al respectivo pasador que sería una varilla de acero estructural A36. Por otro lado, si se selecciona una polea se tendría que realizar los análisis de tensión para la cuerda o elemento para hallar el peso que tendría que soportar.

De modo que, en asesoría con el director de este proyecto, se propone hacer uso de un esparrago o varilla roscada con tuercas para realizar la respectiva elevación. El argumento base para sustituir la **cremallera** por este elemento en particular, es que un tornillo avanza por medio de “*hilos*” que son análogos a los dientes de una cremallera, pero que estos no se accionan en la misma dirección que el movimiento que van a realizar, sino que, se da por medio de la rotación de una hélice. Así mismo, a pesar de tener los respectivos “*hilos*” tanto en rosca como en tuerca, estos no generan un posible riesgo para los operarios por halamiento.

Se modela un tornillo de **1010mm** de largo, cuya longitud es similar a la de la cremallera y al evidenciar que los pines a los que ira acoplado son de **20mm** de lado de perfil cuadrado macizo, se usa un diámetro de **20mm** que por consiguiente nos dará una rosca **M20** dado que se usa el sistema internacional ISO, la rosca seleccionada es de referencia **M20 paso 2,5**. Y finalmente se le agrega un volante para que el accionamiento sea más sencillo de realizar por parte de los estudiantes como se ve en la **Figura 46**.

**Figura 46.**

*Tornillo de elevación para el subsistema de tracción*



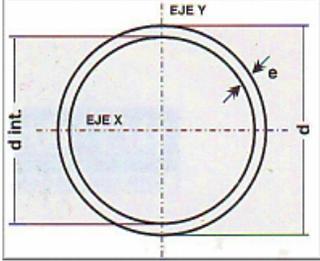
**Nota.** La figura muestra una posible alternativa para el rediseño de la elevación.

Del mismo modo que para la **cremallera** se requiere de una “*carcasa de protección*” o elemento que aisle los hilos del tornillo y que genere ajuste por medio de la rosca seleccionada a modo de

tuerca. Se propone usar un tubo estructural de perfil circular de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro nominal como se ve en la **Tabla 21**.

**Tabla 21.**

*Perfiles estructurales circulares o tuberías circulares*




**PERFIL CIRCULAR**

| CARACTERISTICAS Y DENOMINACION |                 |                      |                     |             |                        | PROPIEDADES ESTATICAS             |                                  |                     |                                   |                                   |                                   | UND.    |
|--------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|-------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|
| DIAMETRO                       |                 |                      | Espesor pared e mm. | PESO P Kg/m | AREA A cm <sup>2</sup> | FLEXION                           |                                  |                     | Módulo Elástico Z cm <sup>3</sup> | TORSION                           |                                   | Empaque |
| Nominal Pulg.                  | Exterior d cms. | Interior d int. cms. |                     |             |                        | Momento Inercia I cm <sup>4</sup> | Módulo Sección S cm <sup>3</sup> | Radio de Giro r cm. |                                   | Momento Inercia J cm <sup>4</sup> | Módulo Elástico B cm <sup>3</sup> |         |
| 1/2"                           | 2,047           | 1,747                | 1,499               | 0,70        | 0,89                   | 0,40                              | 0,40                             | 0,67                | 0,54                              | 0,81                              | 0,79                              | 127     |
| 1/2"                           | 2,070           | 1,664                | 2,032               | 0,94        | 1,19                   | 0,53                              | 0,51                             | 0,66                | 0,71                              | 1,05                              | 1,02                              |         |
| 1/2"                           | 2,070           | 1,572                | 2,489               | 1,12        | 1,42                   | 0,60                              | 0,58                             | 0,65                | 0,83                              | 1,20                              | 1,16                              |         |
| 3/4"                           | 2,583           | 2,283                | 1,499               | 0,90        | 1,15                   | 0,85                              | 0,66                             | 0,86                | 0,89                              | 1,70                              | 1,32                              | 91      |
| 3/4"                           | 2,611           | 2,205                | 2,032               | 1,21        | 1,54                   | 1,12                              | 0,86                             | 0,85                | 1,18                              | 2,24                              | 1,72                              |         |
| 3/4"                           | 2,611           | 2,113                | 2,489               | 1,45        | 1,85                   | 1,30                              | 1,00                             | 0,84                | 1,39                              | 2,61                              | 2,00                              |         |
| 3/4"                           | 2,667           | 2,134                | 2,667               | 1,58        | 2,01                   | 1,47                              | 1,10                             | 0,85                | 1,54                              | 2,93                              | 2,20                              | 61      |
| 1"                             | 3,292           | 2,992                | 1,499               | 1,16        | 1,48                   | 1,83                              | 1,11                             | 1,11                | 1,48                              | 3,66                              | 2,22                              |         |
| 1"                             | 3,292           | 2,886                | 2,032               | 1,55        | 1,97                   | 2,36                              | 1,43                             | 1,09                | 1,94                              | 4,72                              | 2,87                              |         |
| 1"                             | 3,292           | 2,794                | 2,489               | 1,87        | 2,38                   | 2,77                              | 1,68                             | 1,08                | 2,31                              | 5,55                              | 3,37                              |         |
| 1"                             | 3,340           | 2,690                | 3,251               | 2,42        | 3,08                   | 3,54                              | 2,12                             | 1,07                | 2,97                              | 7,08                              | 4,24                              |         |

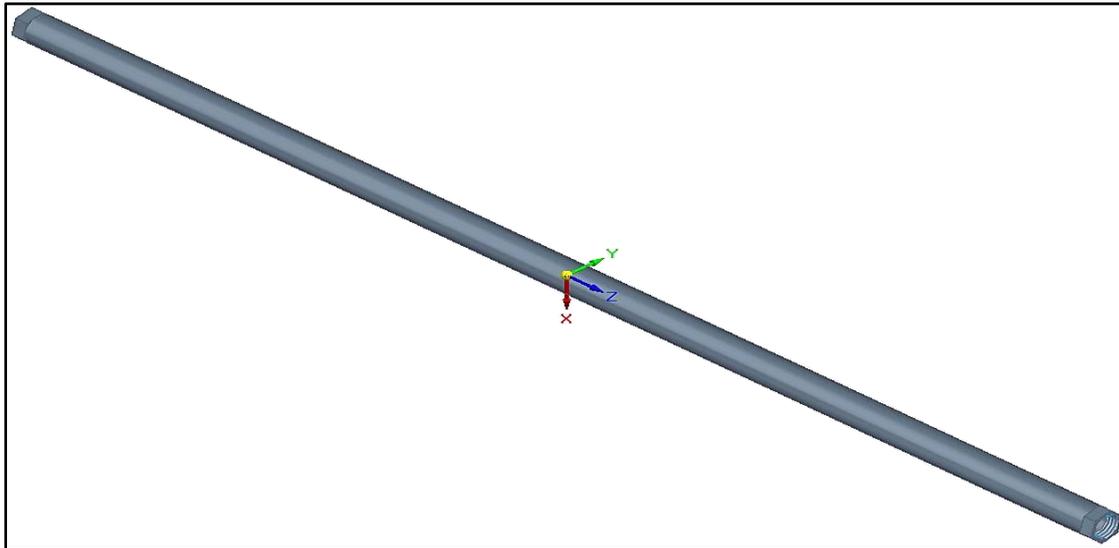
**Nota.** La figura muestra la tabla de perfiles circulares para tubería estructural. Tomado de: COVAL COLMENA, “Línea Estructural PERFILES CERRADOS (ASTM A 500 GRADO C) NTC 4526 Grado C”. [PDF] Disponible: [https://coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_colmena\\_linea\\_estructural.pdf](https://coval.com.co/pdfs/manuales/man_colmena_linea_estructural.pdf) [Consultado 20 de Agosto 2020]

A partir de la tabla anterior, se selecciona un tamaño nominal de  $\frac{3}{4}$ " dado que el diámetro exterior es de **26,11mm** y el interior de **22,05mm** lo que le garantiza una tolerancia amplia entre este perfil estructural y el tornillo o varilla roscada. Así mismo, cuenta con un espesor de **2mm** que brinda resistencia respecto a su diámetro interior tan amplio en comparación de las otras opciones de su mismo tamaño nominal. Se procede a modelar en software CAD la tubería seleccionada y se le acoplan dos tuercas **M20 paso 2,5** en los extremos para que realice el respectivo ajuste en lugar de

roscar el interior de la varilla, como se ve en la **Figura 47**, dado que, aumentaría los futuros costos de fabricación y por la función que cumple no se justifica realizar dicha operación.

**Figura 47.**

*Carcasa para el tornillo de elevación del subsistema de tracción*



**Nota.** La figura muestra una posible alternativa para el rediseño de la elevación.

En consecuencia, de que se va a reemplazar la **cremallera** y su **carcasa** por el **tornillo** y su **tubo carcasa** se incurre en que si se suelda el tornillo al **Pin 1** (ver plano en ANEXO 1), por cada rotación del tornillo se generara una rotación para el pin. Por tal motivo se requiere de un elemento que me permita una rotación del tornillo, pero limite el movimiento del pin a preferiblemente un ascenso y descenso. Se determina seleccionar un rodamiento para tal fin y se escoge de la siguiente **Tabla 22**.

**Tabla 22.**

*Rodamientos para diámetro interno de 20mm de la empresa SKG*

| <input checked="" type="radio"/> Metric <input type="radio"/> Imperial Ordenar por diámetro del agujero <span style="float: right;"> <input type="checkbox"/> = SKF Explorer<br/> <input type="checkbox"/> = Producto popular                 </span> |        |        |                           |                     |                        |                       |                |                |           |
|---|--------|--------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------|
| Dimensiones principales   |        |        | Capacidad de carga básica |                     | Carga límite de fatiga | Velocidades nominales |                | Designaciones  |           |
|   |        |        | dynamic                   | static              |                        | Reference speed       | Limiting speed | Bearing        | Snap ring |
| d [mm]  | D [mm] | B [mm] | C [kN]                    | C <sub>0</sub> [kN] | P <sub>0</sub> [kN]    | [r/min]               | [r/min]        |                |           |
| 20  | 27     | 4      | 0.585                     | 0.39                | 0.017                  | 50000                 | 26000          | W 61704 R-ZZ5  |           |
| 20  | 27     | 4      | 0.585                     | 0.39                | 0.017                  | 50000                 | 26000          | W 61704-ZZ5    |           |
| 20  | 27     | 4      | 0.585                     | 0.39                | 0.017                  | 50000                 | 32000          | W 61704        |           |
| 20  | 27     | 4      | 0.585                     | 0.39                | 0.017                  | 50000                 | 32000          | W 61704 R      |           |
| 20  | 27     | 4      | 0.585                     | 0.39                | 0.017                  |                       | 14000          | W 61704-2RS1   |           |
| 20  | 32     | 7      | 3.12                      | 2.08                | 0.09                   | 48000                 | 24000          | W 61804-2RZ    |           |
| 20  | 32     | 7      | 3.12                      | 2.08                | 0.09                   | 48000                 | 24000          | ☆ W 61804-ZZ   |           |
| 20  | 32     | 7      | 3.12                      | 2.08                | 0.09                   |                       | 13000          | ☆ W 61804-2RS1 |           |
| 20  | 32     | 7      | 3.97                      | 2.6                 | 0.11                   | 45000                 | 22000          | W 61804 R-ZZ   |           |
| 20  | 32     | 7      | 3.97                      | 2.6                 | 0.11                   | 45000                 | 28000          | W 61804 R      |           |
| 20  | 32     | 7      | 4.03                      | 2.32                | 0.104                  | 45000                 | 22000          | ☆ 61804-2RZ    |           |
| 20  | 32     | 7      | 4.03                      | 2.32                | 0.104                  | 45000                 | 28000          | ☆ 61804        |           |
| 20  | 32     | 7      | 4.03                      | 2.32                | 0.104                  |                       | 13000          | ☆ 61804-2RS1   |           |

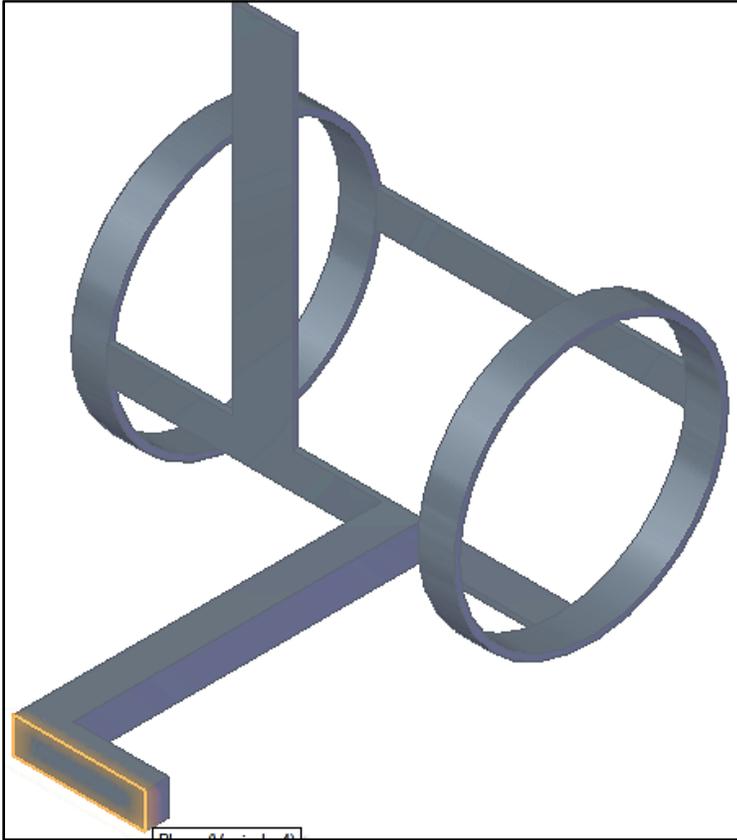
**Nota.** La tabla muestra los rodamientos para un diámetro interno de 20mm. Tomado de: SKF, “Rodamientos rígidos de bolas”. SKF. [En línea]. Disponible: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>. [Consultado 25 de Agosto 2020]

Antes de acoplar todas las piezas, se hace una especial corrección en la cantidad de piezas que corresponden a este subsistema, dado que, si se revisa la **Tabla 8** se observa que se tienen siete (7) piezas para este subsistema, sin embargo, revisando la funcionalidad y el acoplamiento de la máquina final. Se concluye que la pieza llamada **Guía** que hace parte del **subsistema de alimentación** en realidad corresponde al **subsistema de tracción** porque el acoplamiento de la misma se realiza a uno de los “pines” del presente.

Sin embargo, al momento de acoplarlo se encontraron interferencias y puntos de contacto que impiden que el balón pueda ser expulsado por los rodillos de fricción, por consiguiente, se pasa a modelar nuevamente la pieza para poder acoplarla al subsistema como se ve en la **Figura 48**.

**Figura 48.**

*Guía para lanzamientos*



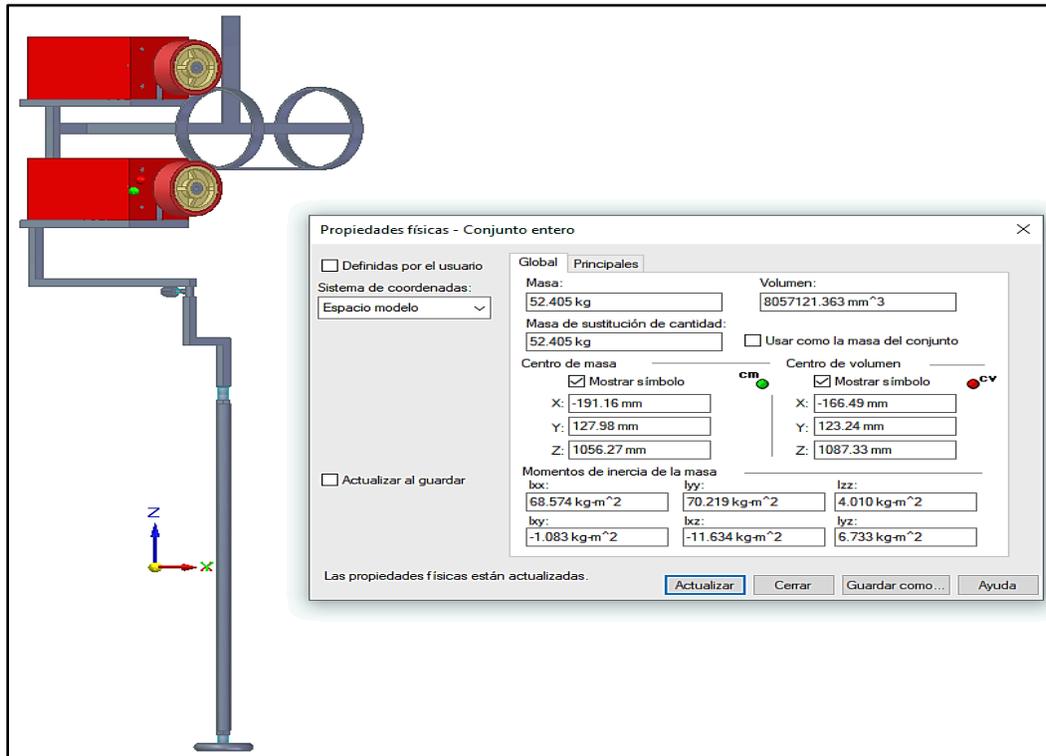
**Nota.** La figura muestra que se le aumenta la longitud para su soldadura con el Pin.

Se le aumenta la longitud a la sección seleccionada y pasa de **50mm** a **110mm** para que no genere la respectiva interferencia con las ruedas de fricción y con las carcasas de los motores,

Finalmente se procede a acoplar estas nuevas partes al subsistema de tracción para comparar si hubo una reducción en el peso del subsistema y por ende en el de la máquina en general, como se observa en la **Figura 49**.

**Figura 49.**

*Nueva propuesta del subsistema de tracción*



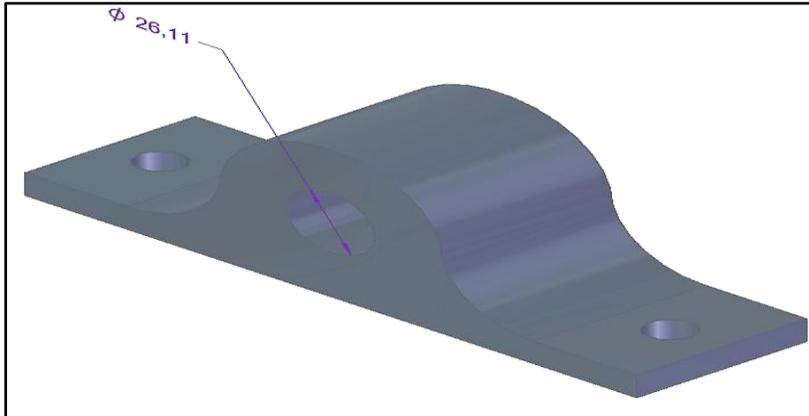
**Nota.** La figura muestra cómo sería el nuevo subsistema de tracción

Con base en la figura anterior y si se compara con la **Figura 22** se podrá evidenciar que se pasa de un peso para el subsistema de **42,8Kg** a uno de **52,4Kg**, dado que, la cremallera y corona están hechos en **acero al carbono F-114** mientras que el tornillo, está hecho en **acero estructural A36** lo que hace que sea **9,70%** más pesado, pero se garantiza seguridad y que se le adiciona la **Guía** que hacía parte del **subsistema de alimentación**. Por otro lado, se cambia el motor de **0,25hp** por uno de **0,5hp** lo que hace que sea más pesado el subsistema.

Para poder acoplar este subsistema al **subsistema estructural** se realizará por medio de dos chumaceras fabricadas en **fundición gris de hierro** y que irán atornilladas, dado que, no se necesita rodamiento para la chumacera y esta solo sirve de soporte para el diámetro de la tubería que recubrirá el tornillo, como se ve en le **Figura 50**.

**Figura 50.**

*Chumacera para el acople del subsistema*



**Nota.** La figura muestra una chumacera para el diámetro de 26,11mm que es el del tubo roscado.

Por último, para comprobar el cambio de componente en el rediseño, se va a simular numéricamente el tornillo de este subsistema y su respectiva carcasa. Para realizarlo se le aplica la carga al extremo del tornillo correspondiente a las demás piezas del subsistema con un peso de **44,05Kg** que se convierte en una carga de **432,1305N** y a su vez se le aplica el torque mínimo para accionar una rosca **M20**, la cual, es de **100Nm** como se ve en la **Tabla 23**.

**Tabla 23.**

*Torque para rosca M20*

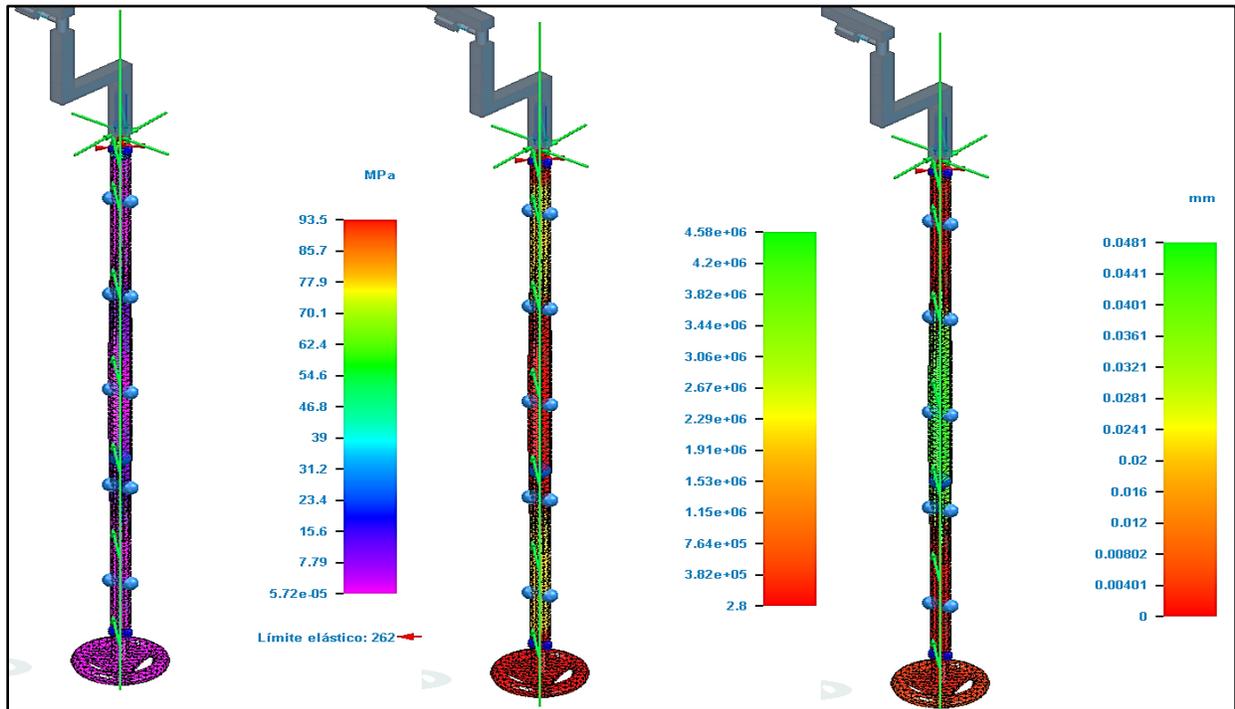
| <b>Tabla 1: Tornillos pasadores de Acero al Carbono</b> |      |                 |           |
|---|------|-----------------|-----------|
| Tamaño de Tornillos                                     |      | Rango de Torque |           |
| mm  | pulg | N-m             | Lbs - ft  |
| M10   | 3/8  | 20 - 30         | 15 - 22   |
| M12   | 1/2  | 40 - 68         | 30 - 50   |
| M16   | 5/8  | 80 - 120        | 60 - 90   |
| M20   | 3/4  | 100 - 235       | 74 - 170  |
| M22   | 7/8  | 170 - 275       | 125 - 200 |
| M24   | 1    | 275 - 400       | 200 - 300 |

**Nota.** La tabla muestra el rango de torque para una rosca M20. Tomado de: SHURJOINT, “TORQUE O FUERZA DE TORSIÓN DE LOS TORNILLOS PARA UN APROPIADO ENSAMBLE DE LOS ACOPLAMIENTOS”. [PDF] Disponible: [http://webcervices.weebly.com/uploads/1/5/0/3/15034326/b-17\\_bolt\\_torque-spa.pdf](http://webcervices.weebly.com/uploads/1/5/0/3/15034326/b-17_bolt_torque-spa.pdf) [Consultado 28 de Agosto 2020]

Así mismo, se procede a realizar la simulación numérica teniendo a la carcasa con las restricciones para sus seis (6) grados de libertad, dado que, esta estará anclada al *subsistema estructural* mediante las chumaceras como se ve en la **Figura 51**.

**Figura 51.**

*Simulación numérica para tornillo y carcasa*



**Nota.** La figura muestra la tensión de Von mises (izquierda), factor de seguridad (medio) y desplazamiento (derecha).

Dado que se usó el torque mínimo para accionar la rosca, se observa que no se alcanza el límite elástico y que la sección que más tiene tensión es la que hace el contacto con el rodamiento y soporta el peso de los pines y demás piezas. Se tiene un *factor de seguridad* de **2,8** que en comparación con la cremallera esta fue de **6,1**. Y por último se tiene un *desplazamiento* del orden de centésimas de milímetro para la carcasa del tornillo en la parte central de la misma.

#### **4.1.3 Rediseño del subsistema de alimentación**

Tal y como se vio en la sección **3.2.2** el principal problema de este subsistema es el exceso de peso, principalmente en la *carcasa cangilones* y la *tapa frontal elevador* dado que estas piezas de acero estructural se tienen con un espesor de **20mm** lo que sumado a su gran longitud aumentan súbitamente el peso de la misma.

En vista de que lo que se requiere cambiar es una carcasa meramente estructural y el elevador de banda transportadora se mantiene, se sigue con la configuración establecida por los el documento suministrado tal y como se ve en la **Tabla 24**.

**Tabla 24.**

*Diseño conceptual para el subsistema de alimentación*

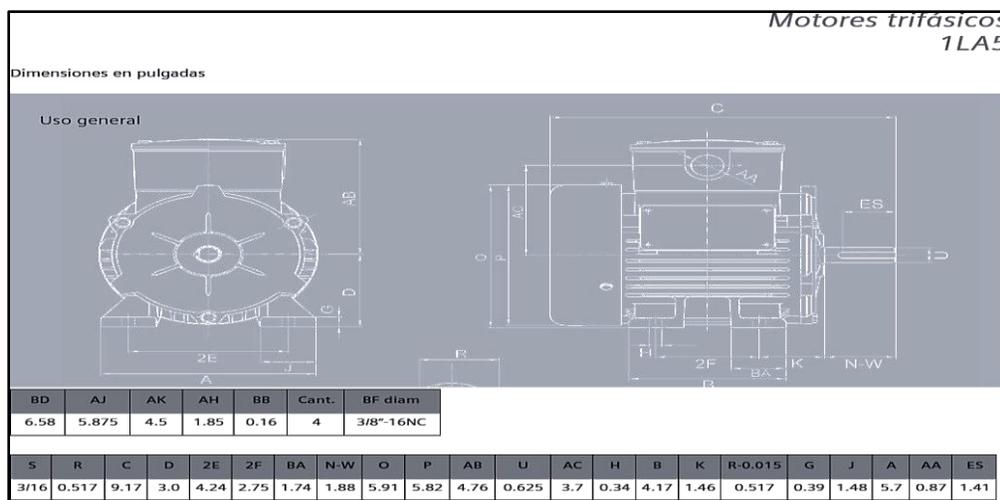
| FUNCIONAMIENTO  | ALIMENTACIÓN   | ALTERNATIVAS              |
|---|--|---------------------------|
| Transporte semiautomático del balón, desde el depósito hasta el lanzador. | Sistema que brinda un confort al diseño, pues es el encargado de transportar los balones, desde el almacenaje hasta el lanzador. | ⊕ Elevador de Cangilones. |

**Nota.** La tabla muestra las tres alternativas para la elevación de las ruedas de PVC. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>.

Para darle movilidad a este subsistema mediante un elevador con empujadores, este requiere un modelado del motor que va a permitir la rotación de la banda transportadora y la elevación de los balones. Se revisa el catálogo de los motores de la marca SIEMENS dentro de los ANEXOS suministrados y se busca la referencia que fue seleccionada, encontrando las respectivas medidas como se ve en la **Figura 52**.

**Figura 52.**

*Plano de los motores trifásicos 1LA5*

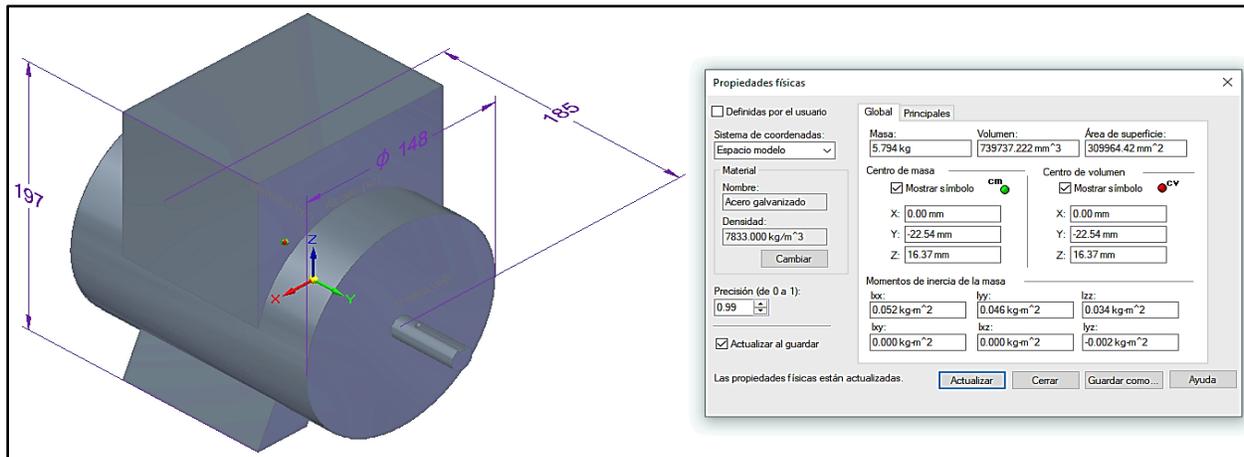


**Nota.** La figura muestra las dimensiones para el motor Del elevador de cangilones. Tomado de: SIEMENS. SITASA. "Motores eléctricos" Toledo, España [PDF] Disponible: [http://www.catalogo.sitasa.com/familias/motores\\_reductores/02\\_1.pdf](http://www.catalogo.sitasa.com/familias/motores_reductores/02_1.pdf) [En línea] [Consultado 18 de Mayo 2020].

A partir de las medidas y del peso del motor se modela un sólido lo más aproximado para las dimensiones externas y que cumpla con el peso de **5,8Kg** para los motores SIEMENS de 1LA5 como se ve en la **Figura 53**.

**Figura 53.**

*Modelado del motor para el elevador de cangilones*



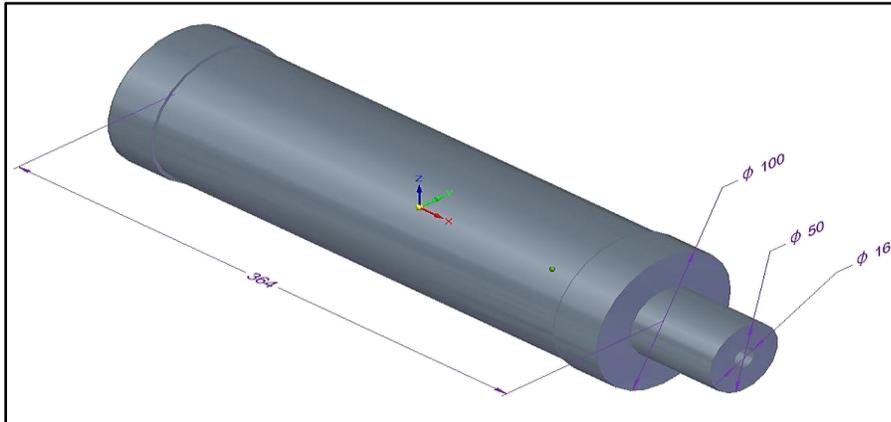
**Nota.** La figura muestra un sólido CAD que simula el peso y dimensiones del motor seleccionado.

Así mismo, como este motor ira acoplado sobre el **subsistema estructural** se tendrá que asegurar su respectiva alineación con la chumacera que acopla los ejes del elevador por banda transportadora. Con base en el modelado del respectivo motor, se adecuan las dimensiones del eje de los cangilones para que este se pueda acoplar al motor y se tornea para que la banda no se desalinee, dado que, el motor cuenta con un **chavetero**, se realiza el respectivo **chavetero** al eje, como se ve en la **Figura 54**.

Para realizar el ajuste, se empleará una **chaveta** de **3/16"** o **4,7625mm** de lado y **1,41"** o **35,8mm** de largo.

**Figura 54.**

*Eje de los cangilones*

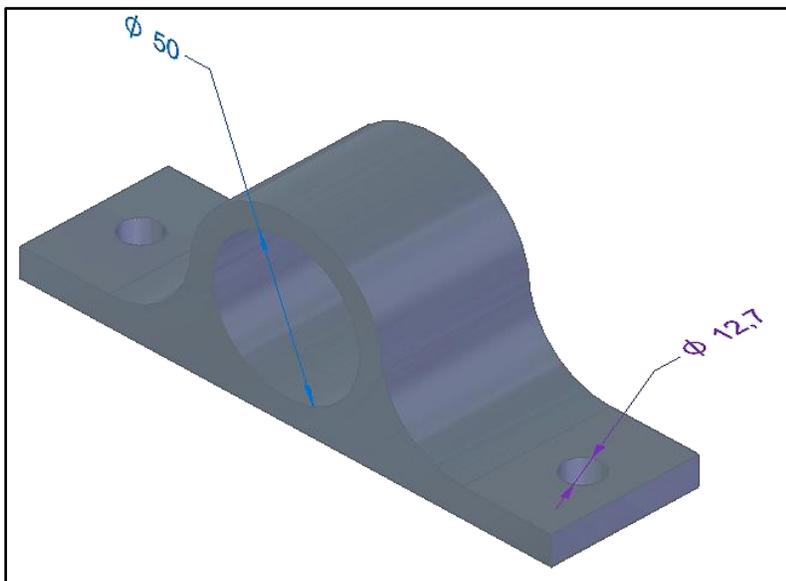


**Nota.** La figura muestra que se realiza una perforación de 16mm de diámetro para el motor.

Para brindar un soporte extra a este tipo de acople entre el *motor de elevación* y el eje modelado, este se va a sostener por medio de una chumacera que ira anclada al *subsistema estructural* en la parte superior y para la parte inferior de este subsistema tendrá un segundo eje para la *banda transportadora* que rotara en otra chumacera que a pesar de que necesite rodamiento, como no soporta carga, esta se usara solo como carcasa para el giro del eje como se ve en la **Figura 55**.

**Figura 55.**

*Chumacera para la banda transportadora*

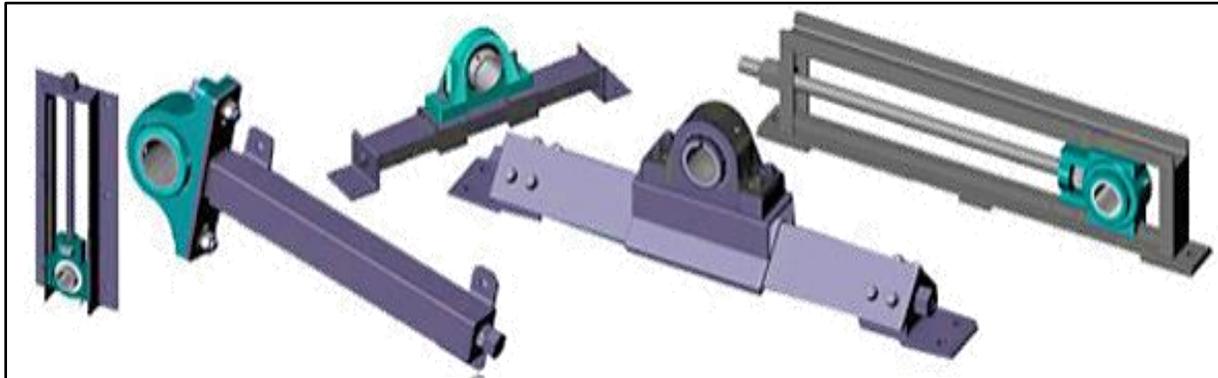


**Nota.** La figura muestra una chumacera con agujero de 50mm de diámetro en fundición gris.

No obstante, para la parte inferior del acople para la banda transportadora se sugiere la aplicación de un “*tensor*” que es un componente que sirve para mantener una tensión a la banda, alineación, y asegura la rotación de la misma, aparte de que le da firmeza a la banda y permite que la elevación mediante empujadores sea optima como se ve en la **Figura 56**.

**Figura 56.**

*Tensores para banda transportadora*

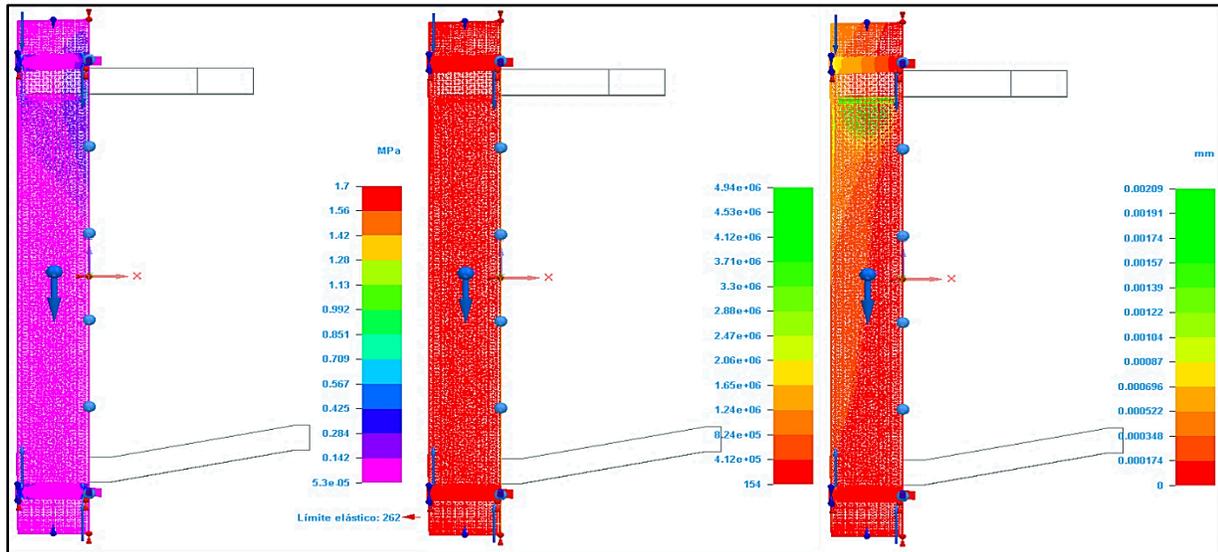


**Nota.** La figura muestra diversos tipos de tensores. Tomado de: POWER TECH, “Tensores”. Power Tech de México. [En línea]. Disponible: <https://www.powertech.com.mx/tensores/>. [Consultado 02 de Septiembre 2020]

Si bien anclar el subsistema al *subsistema estructural* genera un escenario como en la **Figura 12**, lo que se debe garantizar aparte de la reducción en peso, mejorar la estabilidad y garantizar la seguridad, es el funcionamiento de este subsistema. Para tal fin se debe garantizar la alineación de los ejes. Los ejes del elevador por *banda transportadora* se hicieron huecos para mitigar el peso, sin embargo, el extremo del diámetro de **50mm** va acoplada a las chumaceras del *subsistema estructural* el otro extremo queda en “voladizo” o sin soporte para la alineación de estos ejes, se propone simular numéricamente si estos ejes perderán su alineación, como se ve en la **Figura 57**.

**Figura 57.**

*Simulación de los ejes para el elevador de cangilones*



**Nota.** La figura muestra la tensión de Von mises (izquierda), el factor de seguridad (centro) y el desplazamiento total (derecha).

De la figura anterior se puede ver con la **tensión de Von mises** que los ejes no sufren esfuerzos por la tensión de la banda y los cangilones. Se genera un **factor de seguridad** de **1,54** para los ejes y el **desplazamiento** de los mismos es de máximo **0,00087mm** para el superior, que, si se le da una tolerancia de **0,5mm** al agujero de la carcasa donde descansara el eje superior, este no generara desalineación.

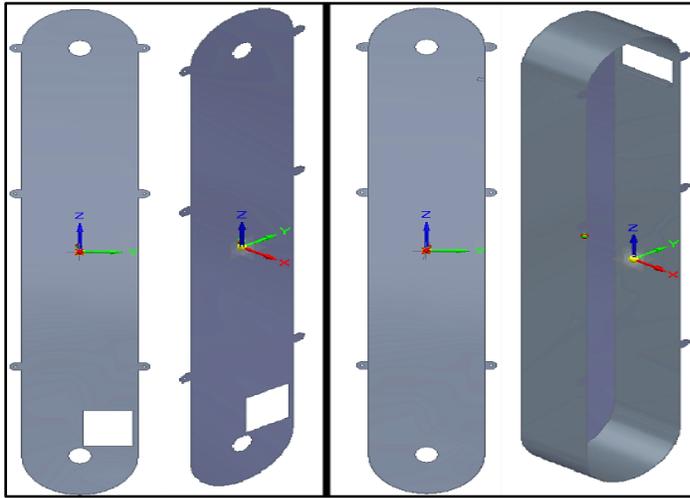
Para poder anclar este subsistema al **subsistema estructural** y así mismo para poder remover la carcasa de los cangilones para posibles acciones de mantenimiento e intervención, se le agregan “aletas”, “orejas” o platinas donde se atornillarán tornillos de **1/2pulgada** de rosca **1/2-13 UNC** de **paso 0,08”** para la tapa frontal y la carcasa de los cangilones para generar el ajuste.

Se selecciona este tipo de tornillos con base en que el perfil estructural es de **50mm** de lado o casi **2”**, se emplea un tornillo que no sea tan grande radialmente, pero que soporte el peso de este subsistema que tiende a ser el más pesado.

Para realizar la respectiva ubicación de las “aletas” para los tornillos, se medirán respecto a las **vigas del subsistema estructural** como se ve en la **Figura 58**.

**Figura 58.**

*Anclaje para el subsistema de alimentación*

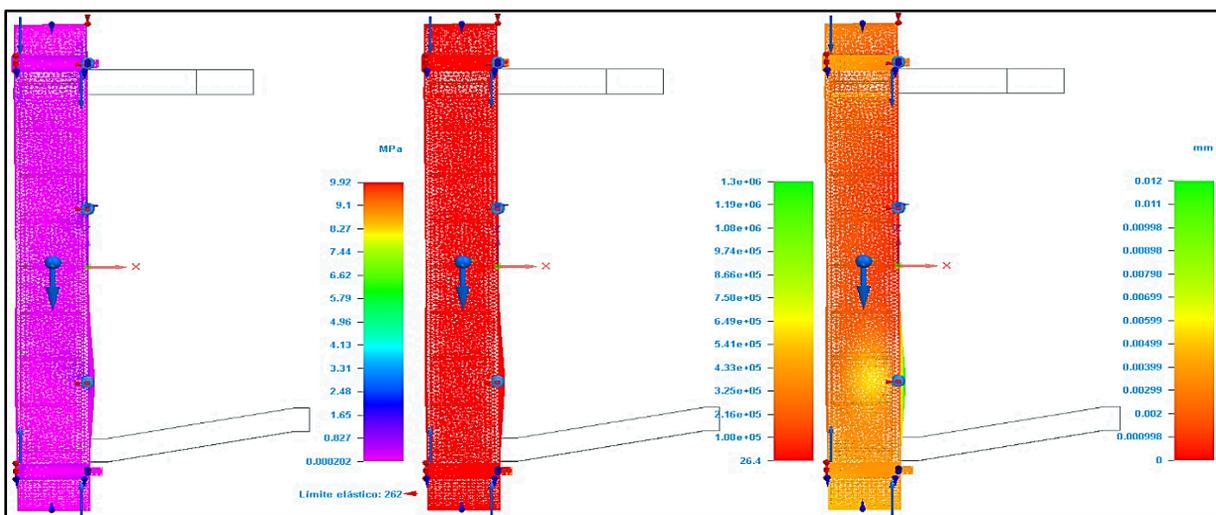


**Nota.** La figura muestra el anclaje con tornillos para para la tapa frontal (izquierda línea división) y la carcasa de los cangilones (derecha línea división).

Para comprobar si efectivamente la adición de las “aletas” de acople con tornillo garantizan que el subsistema se pueda anclar al *subsistema estructural* y que garanticen que los ejes no se desalineen. Se procede a simular numéricamente el subsistema con su acople por tornillos como se ve en la **Figura 59**.

**Figura 59.**

*Simulación del subsistema de alimentación con anclaje de tornillos*



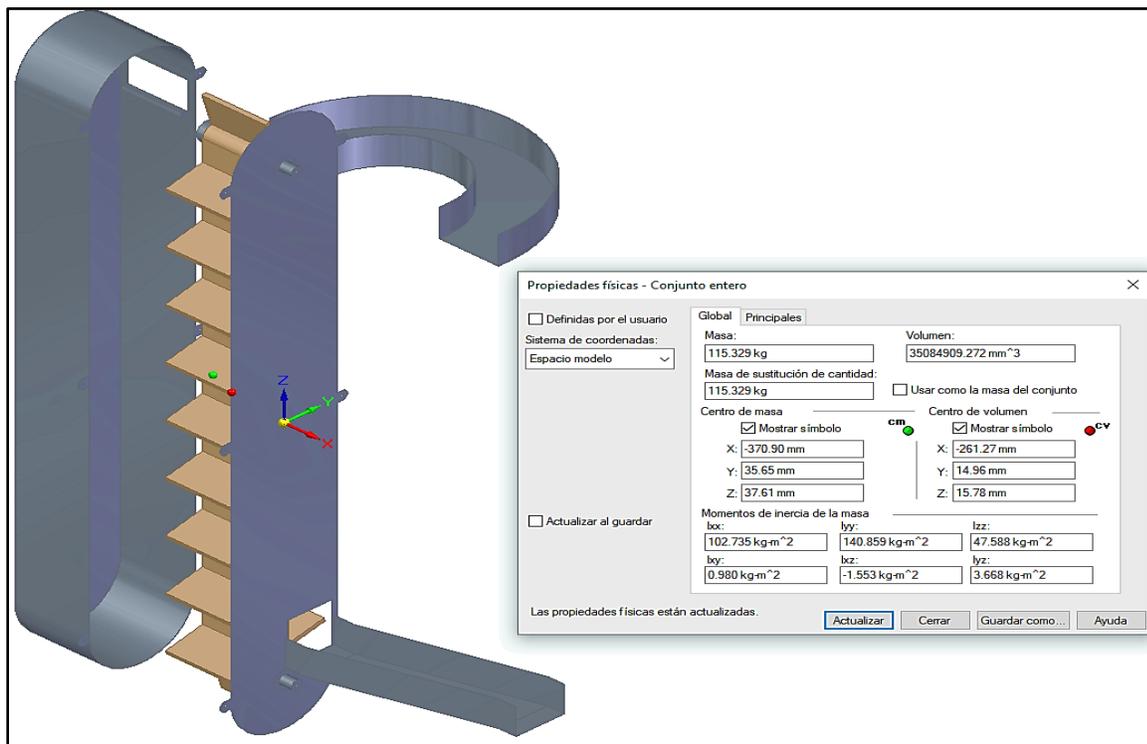
**Nota.** La figura muestra la tensión de Von mises (izquierda), el factor de seguridad (centro) y el desplazamiento total (derecha).

Con base en la figura anterior, la *tensión de Von mises* máxima es de **9,92MPa**, la cual está muy lejos del límite elástico. Cuenta con un *factor de seguridad* de **26.4** lo que es menor a la simulación anterior y un *desplazamiento* máximo de **0,00499mm** el cual es superior respecto a la simulación anterior, pero no es significativo para desalinear los ejes.

Dado que, seleccionaron empujadores de **PVC** se procede a aplicarles el respectivo material y a colocar los ejes en acero estructural. Por consiguiente, se procede a reducir el espesor de las piezas estructurales en acero a **1mm** dado la funcionalidad que van a desempeñar, luego se vuelve a realizar el ensamblaje dando como resultado una reducción en el peso como se aprecia en la **Figura 60**.

**Figura 60.**

*Subsistema de alimentación rediseñado*



**Nota.** La figura muestra el peso final para el subsistema de alimentación.

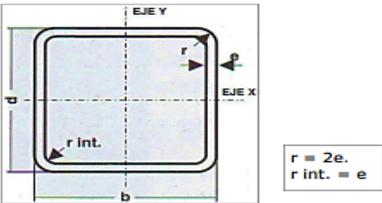
#### **4.1.4 Rediseño del subsistema estructural**

Si bien en el diagnóstico no se mencionó que este subsistema requiriera cambios, a partir de la reducción de espesores de la sección anterior se propone aplicar lo mismo. Con un peso de **159,573Kg** y un total de **25 piezas**, este subsistema se compone de una estructura tubular de

50x50x2,5mm o ASTM E500 GRADO C. Este peso se puede reducir revisando el tamaño nominal de esta tubería estructural, se aprecia que tiene el espesor más grueso, por consiguiente, se puede reducir peso si se usa el espesor más pequeño, es decir, 1,499mm o 1,5mm, que en términos americanos se conoce como *Calibre 16*, como se ve en la **Tabla 25**.

**Tabla 25.**

*Perfiles de tubería cuadrada*



**PERFILES TUBULARES CUADRADOS**

| CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACION |         |        |        |                     |              |                        | PROPIEDADES ESTÁTICAS                 |                                      |                         |                                       |                                   |         | UND.                              |
|--------------------------------|---------|--------|--------|---------------------|--------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------|-----------------------------------|
| TAMAÑO NOMINAL                 |         | REAL   |        | Espesor pared e mm. | PESO P Kg/m. | AREA A cm <sup>2</sup> | FLEXION                               |                                      |                         | TORSION                               |                                   | Empaque |                                   |
| Pulg.                          | mm.     | d mm   | b mm   |                     |              |                        | Momento Inercia Ix=Iy cm <sup>4</sup> | Módulo Sección Sx=Sy cm <sup>3</sup> | Radio de Giro rx=ry cm. | Módulo Elástico Zx=Zy cm <sup>3</sup> | Momento Inercia J cm <sup>4</sup> |         | Módulo Elástico B cm <sup>3</sup> |
| 7/8x7/8                        | 22x22   | 22,10  | 22,10  | 1,194               | 0,72         | 0,91                   | 0,69                                  | 0,62                                 | 0,87                    | 0,74                                  | 113                               | 0,94    | 100                               |
| 7/8x7/8                        | 22x22   | 22,10  | 22,10  | 1,499               | 0,90         | 1,14                   | 0,81                                  | 0,73                                 | 0,84                    | 0,89                                  | 1032                              | 1,07    |                                   |
| 1x1                            | 25x25   | 26,70  | 26,70  | 1,778               | 0,88         | 1,12                   | 1,26                                  | 0,94                                 | 1,06                    | 1,12                                  | 2,04                              | 1,42    | 100                               |
| 1x1                            | 25x25   | 26,70  | 26,70  | 1,194               | 1,31         | 1,67                   | 1,71                                  | 1,28                                 | 1,01                    | 1,55                                  | 2,83                              | 1,89    |                                   |
| 1x1                            | 25x25   | 26,70  | 26,70  | 2,032               | 1,50         | 1,91                   | 1,87                                  | 1,40                                 | 0,99                    | 1,72                                  | 3,22                              | 2,15    |                                   |
| 1x1                            | 25x25   | 26,70  | 26,70  | 2,286               | 1,66         | 2,11                   | 2,01                                  | 1,51                                 | 0,98                    | 1,88                                  | 3,45                              | 2,23    | 64                                |
| 1½x1½                          | 40x40   | 38,10  | 38,10  | 1,194               | 1,33         | 1,70                   | 3,87                                  | 2,03                                 | 1,51                    | 2,37                                  | 6,12                              | 3,06    |                                   |
| 1½x1½                          | 40x40   | 38,10  | 38,10  | 1,499               | 1,68         | 2,13                   | 4,70                                  | 2,47                                 | 1,48                    | 2,90                                  | 7,54                              | 3,68    |                                   |
| 1½x1½                          | 40x40   | 38,10  | 38,10  | 2,032               | 2,25         | 2,86                   | 6,01                                  | 3,15                                 | 1,45                    | 3,77                                  | 9,91                              | 4,70    | 30                                |
| 1½x1½                          | 40x40   | 38,10  | 38,10  | 2,489               | 2,72         | 3,47                   | 6,98                                  | 3,66                                 | 1,42                    | 4,45                                  | 11,80                             | 5,47    |                                   |
| 2x2                            | 50x50   | 51,60  | 51,60  | 1,499               | 2,29         | 2,92                   | 12,20                                 | 4,73                                 | 2,05                    | 5,50                                  | 19,33                             | 7,07    |                                   |
| 2x2                            | 50x50   | 51,60  | 51,60  | 2,032               | 3,10         | 3,95                   | 15,84                                 | 6,14                                 | 2,00                    | 7,22                                  | 25,63                             | 9,18    | 25                                |
| 2x2                            | 50x50   | 51,60  | 51,60  | 2,286               | 3,44         | 4,38                   | 17,45                                 | 6,76                                 | 2,00                    | 8,00                                  | 28,27                             | 10,22   |                                   |
| 2x2                            | 50x50   | 51,60  | 51,60  | 2,489               | 3,74         | 4,77                   | 18,68                                 | 7,24                                 | 1,98                    | 8,61                                  | 30,80                             | 10,84   |                                   |
| 2½x2½                          | 70x70   | 70,90  | 70,90  | 1,778               | 3,78         | 4,82                   | 38,17                                 | 10,77                                | 2,82                    | 12,46                                 | 59,70                             | 16,18   | 25                                |
| 2½x2½                          | 70x70   | 70,90  | 70,90  | 2,032               | 4,32         | 5,50                   | 42,98                                 | 12,12                                | 2,79                    | 14,09                                 | 68,31                             | 18,15   |                                   |
| 2½x2½                          | 70x70   | 70,90  | 70,90  | 2,489               | 5,26         | 6,70                   | 51,25                                 | 14,46                                | 2,77                    | 16,92                                 | 82,60                             | 21,66   |                                   |
| 3x3                            | 75x75   | 76,20  | 76,20  | 3,175               | 7,21         | 9,01                   | 78,93                                 | 20,72                                | 2,96                    | 24,44                                 | 129,27                            | 31,11   | 36                                |
| 3x3                            | 75x75   | 76,20  | 76,20  | 4,762               | 10,65        | 13,02                  | 108,18                                | 28,39                                | 2,83                    | 34,33                                 | 186,32                            | 42,96   | 36                                |
| 3x3                            | 75x75   | 76,20  | 76,20  | 6,350               | 13,91        | 16,70                  | 131,36                                | 34,48                                | 2,80                    | 42,77                                 | 234,06                            | 52,84   | 24                                |
| 3½x3½                          | 90x90   | 90,20  | 90,20  | 2,032               | 5,57         | 7,10                   | 90,77                                 | 20,13                                | 3,58                    | 23,22                                 | 142,66                            | 30,15   | 12                                |
| 3½x3½                          | 90x90   | 90,20  | 90,20  | 2,286               | 6,27         | 7,98                   | 100,94                                | 22,38                                | 3,56                    | 25,91                                 | 159,62                            | 33,54   |                                   |
| 3½x3½                          | 90x90   | 90,20  | 90,20  | 2,489               | 6,81         | 8,67                   | 108,89                                | 24,14                                | 3,54                    | 28,02                                 | 173,05                            | 36,19   |                                   |
| 4x4                            | 100x100 | 101,60 | 101,60 | 3,175               | 9,69         | 12,24                  | 195,49                                | 38,42                                | 3,98                    | 44,85                                 | 313,59                            | 57,75   | 25                                |
| 4x4                            | 100x100 | 101,60 | 101,60 | 4,762               | 14,38        | 17,86                  | 274,46                                | 54,03                                | 3,92                    | 64,12                                 | 456,15                            | 81,43   | 25                                |
| 4x4                            | 100x100 | 101,60 | 101,60 | 6,350               | 18,88        | 23,16                  | 341,94                                | 67,31                                | 3,84                    | 81,39                                 | 592,47                            | 102,19  | 20                                |
| 5x5                            | 125x125 | 127,00 | 127,00 | 3,175               | 12,17        | 15,47                  | 391,86                                | 61,71                                | 5,03                    | 71,40                                 | 620,57                            | 92,58   | 16                                |
| 5x5                            | 125x125 | 127,00 | 127,00 | 4,762               | 18,12        | 22,70                  | 557,86                                | 87,85                                | 4,96                    | 103,13                                | 909,28                            | 132,16  | 16                                |
| 5x5                            | 125x125 | 127,00 | 127,00 | 6,350               | 23,85        | 29,61                  | 705,26                                | 111,06                               | 4,82                    | 132,31                                | 1.186,72                          | 167,86  | 16                                |
| 6x6                            | 150x150 | 152,40 | 152,40 | 4,762               | 21,86        | 27,54                  | 989,59                                | 129,87                               | 5,99                    | 151,35                                | 1.591,90                          | 195,17  | 9                                 |
| 6x6                            | 150x150 | 152,40 | 152,40 | 6,350               | 28,82        | 36,06                  | 1.262,94                              | 165,74                               | 5,92                    | 195,51                                | 2.084,23                          | 249,88  |                                   |

Los Perfiles Cuadrados **COLMENA®** cumplen con la Norma ASTM A 500 GRADO C — Esfuerzo de Fluencia Fy=3.500,00 Kg/cm<sup>2</sup> (50.000,00 PSI)

**Nota.** La figura muestra la tabla de perfiles cuadrados para tubería estructural. Tomado de: COVAL COLMENA, “Línea Estructural PERFILES CERRADOS (ASTM A 500 GRADO C) NTC 4526 Grado C”. [PDF] Disponible: [https://coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_colmena\\_linea\\_estructural.pdf](https://coval.com.co/pdfs/manuales/man_colmena_linea_estructural.pdf) [Consultado 20 de Agosto 2020]

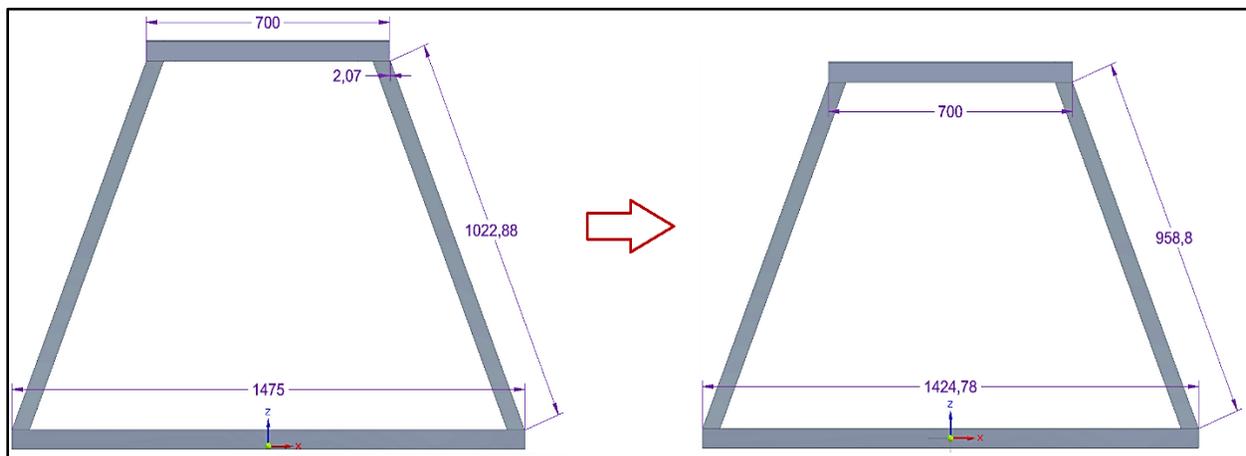
De modo que, se realizó un cambio que a simple vista no se evidencia, si modifica bastante al subsistema. Se deberá de realizar un análisis por el método de los elementos finitos (FEM) con este cambio de calibre para este subsistema, así como, un respectivo análisis en la sección final de este capítulo para corroborar si resiste el peso aplicado en cargas de los demás subsistemas, así como su equilibrio mostrado con los centros de masa y de volumen.

Si bien, al revisar la respectiva **Tabla 25** se muestra que al reducir el calibre se cambian las propiedades mecánicas, al final se tiene un “pie de página”, donde, especifica que el límite de fluencia es constante para todos los perfiles cuadrados, por otro lado, para simular numéricamente este perfil, el software empleado *Solid Edge 2020* toma como límite elástico para todos los aceros estructurales el valor de **290MPa**.

A partir de este cambio de perfil se modela nuevamente cada una de las piezas de este subsistema y se les aplica el material de *acero estructural*. En consecuencia, volviendo a ensamblar las piezas para la base se encuentra una falla en la alienación de las *vigas laterales* y *vigas frontales* junto con los *soportes totales* y las *vigas base* como se ve en la **Figura 61**. Se aplica por medio del software Excel en “buscar objetivo” las longitudes para que la plataforma quede lo más centrada posible.

**Figura 61.**

*Cambio de longitud para la base*

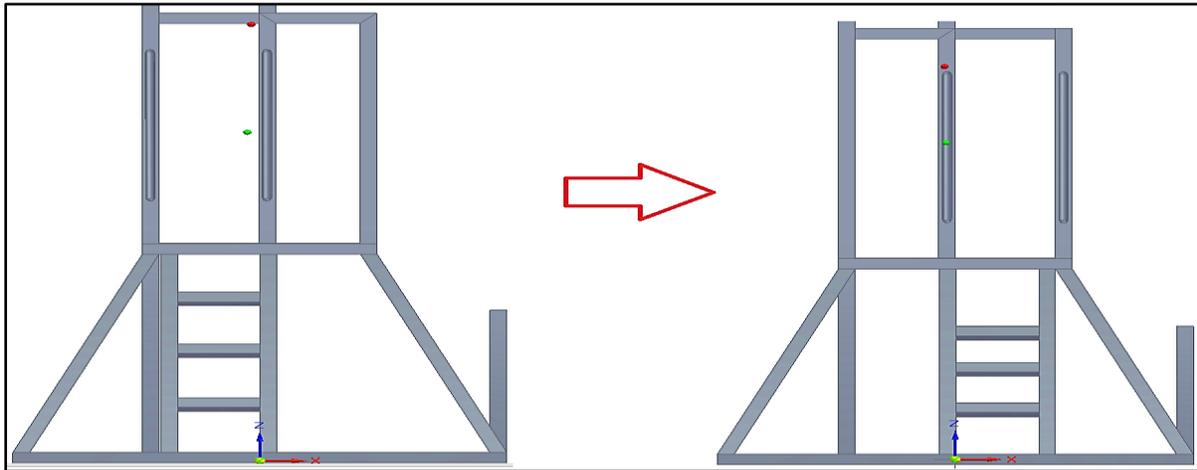


**Nota.** La figura muestra el cambio de las longitudes para los cuatro soportes totales y las vigas base.

Una vez corregido el problema de alineación se hace hincapié en el equilibrio de la máquina y con base en el diseño actual (Ver **Figura 15**), se propone mover de posición la escalera, como se ve en la **Figura 62**.

**Figura 62.**

*Cambio de posición de la escalera*

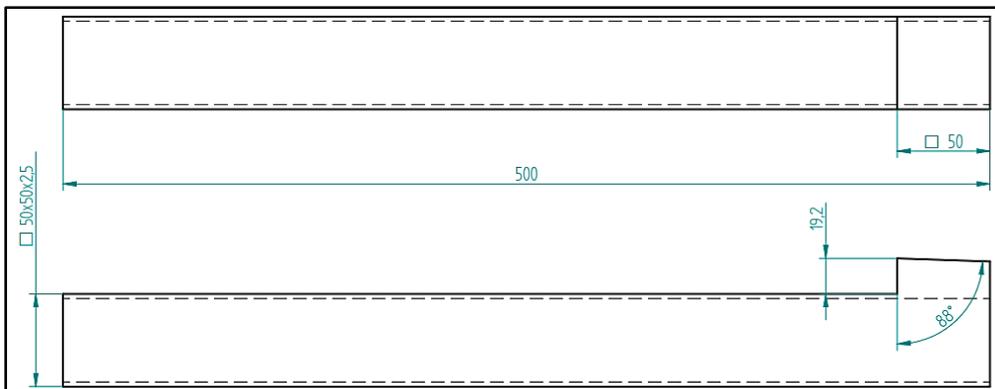


**Nota.** El punto verde muestra los centros de masa y el verde el de volumen.

A partir de la imagen anterior se muestra que efectivamente se desplazan los centros de masa y volumen al realizar el cambio de posición de la escalera. Continuando con los cambios, para el soporte del techo se tenía una viga conocida como *viga techo*, la cual es un tubo al cual se le adiciona una porción de material en acero para una inclinación de  $88^\circ$  como se ve en la **Figura 63**.

**Figura 63.**

*Plano de la Viga techo*

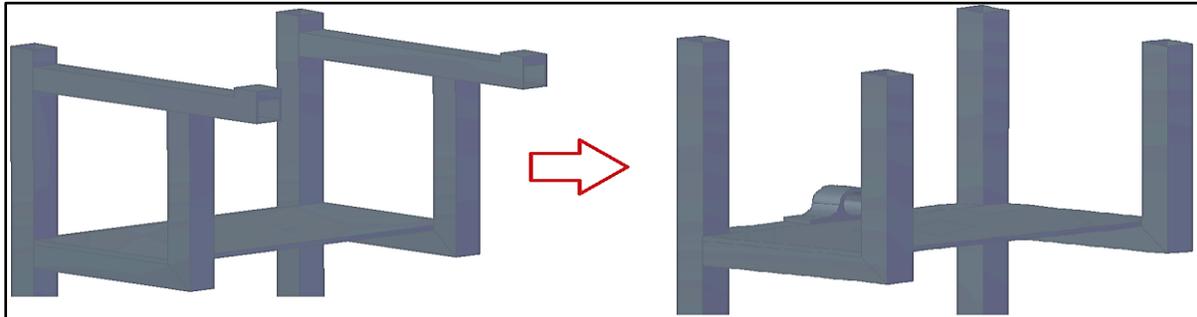


**Nota.** La figura muestra que es un tubo al que se le agrega una platina.

Sin embargo, soldar una platina de acero de casi **20mm** de espesor y darle esa inclinación mencionada incurre en los costos y complejidad de la fabricación, por tal motivo se decide omitir esa viga y aumentar la longitud de la viga que la soportaba y en un extremo de la misma darle la inclinación que se puede manufacturar con pulidora (ver capítulo 5) como se ve en la **Figura 64**.

**Figura 64.**

*Substracción de la Viga techo*

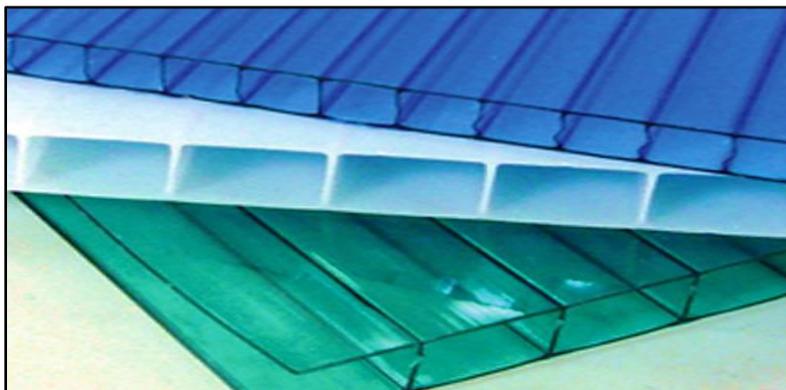


**Nota.** La imagen muestra la estructura sin la viga techo.

Para el **techo** se realizan cambios en el espesor del mismo, inicialmente se tiene como una lámina sólida de **policarbonato**, por consiguiente, en función de reducir peso en la estructura se cambia por un espesor más cercano al de los techos de este material que cuentan con unas fibras corrugadas como el cartón, tal como se observa en la **Figura 65**.

**Figura 65.**

*Techos en policarbonato*

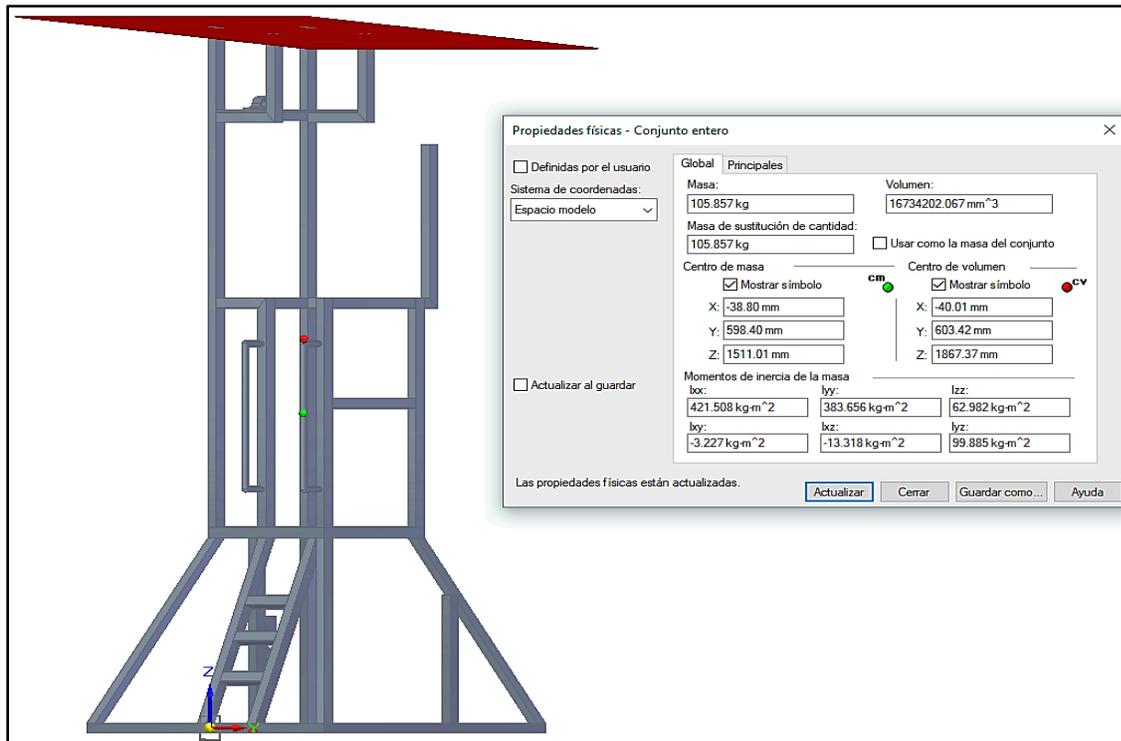


**Nota.** La figura muestra los perfiles para techos en policarbonato. Tomado de: DIPAC ACENOR, “Techo de policarbonato Alveolar”. DIPAC MANTA S.A. [En línea]. Disponible: <http://www.dipacmanta.com/techos-de-policarbonato-alveolar>. [Consultado 09 de Septiembre 2020]

Realizando el ensamblaje final teniendo en cuenta la reducción del calibre, el cambio de longitud de la base, el cambio de la posición para la escalera y la eliminación de la *viga techo* se obtiene como resultado al subsistema estructural rediseñado como se ve en la **Figura 66**.

**Figura 66.**

*Subsistema estructural rediseñado*

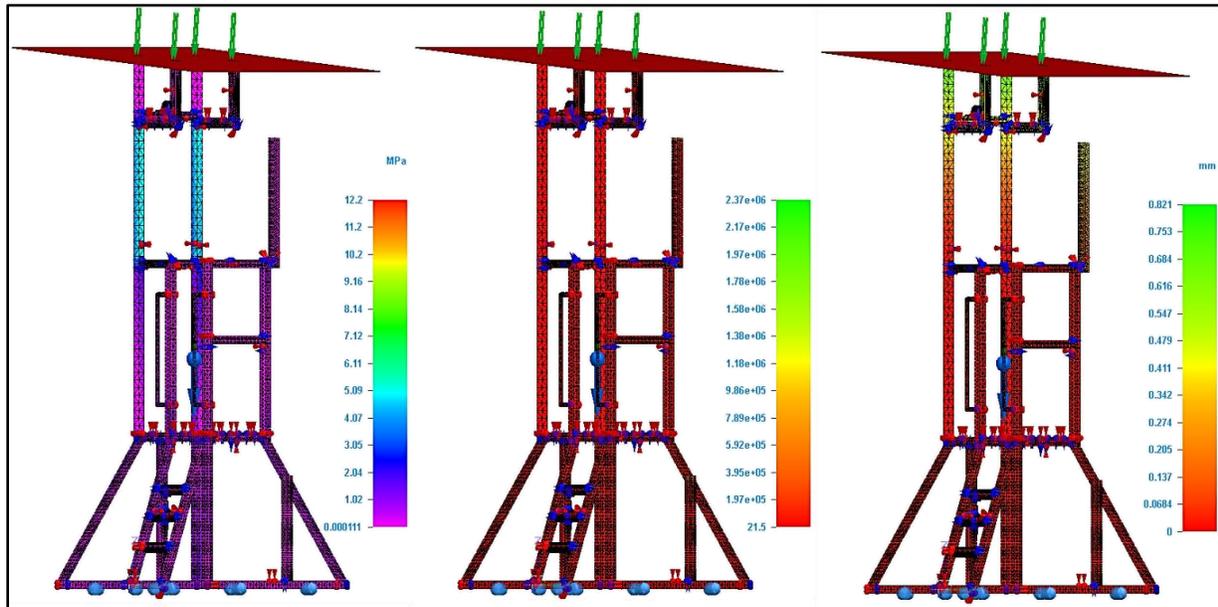


**Nota.** La figura muestra el nuevo diseño o rediseño para la estructura soporte.

Con base en la figura anterior se observa que hubo una reducción en el peso de este subsistema que pasa de **159,573Kg** a **105,857Kg** dando una reducción del **33,66%** casi una tercera parte del peso del subsistema. Para corroborar el nuevo diseño se realiza el análisis por el método de los elementos finitos (FEM) para revisar si la estructura soporta su peso. Como el techo es la única pieza que no es de acero, se coloca como una carga para las columnas que lo sostienen, como se ve en la **Figura 67**.

**Figura 67.**

*Simulación FEM para rediseño subsistema estructural*



*Nota.* La figura muestra la tensión de Von mises (izquierda), factor de seguridad (medio) y desplazamiento (derecha).

Según la figura anterior, se tiene una *tensión de Von mises* máxima de **12,2MPa**, pero en la estructura se ubica una tensión de **5,09Mpa** en las *columnas principales 2*. Se calcula un *factor de seguridad* para la estructura de **21,5** lo que da más confianza en el diseño en vista de que estudiantes tendrán que ingresar a la estructura. Y finalmente al colocarle el *techo* se da un *desplazamiento* máximo de **0,821mm**, lo que implica que las columnas en su lugar se desplazarán. Se requerirá realizar la prueba con el *subsistema de alimentación* para comprobar su resistencia.

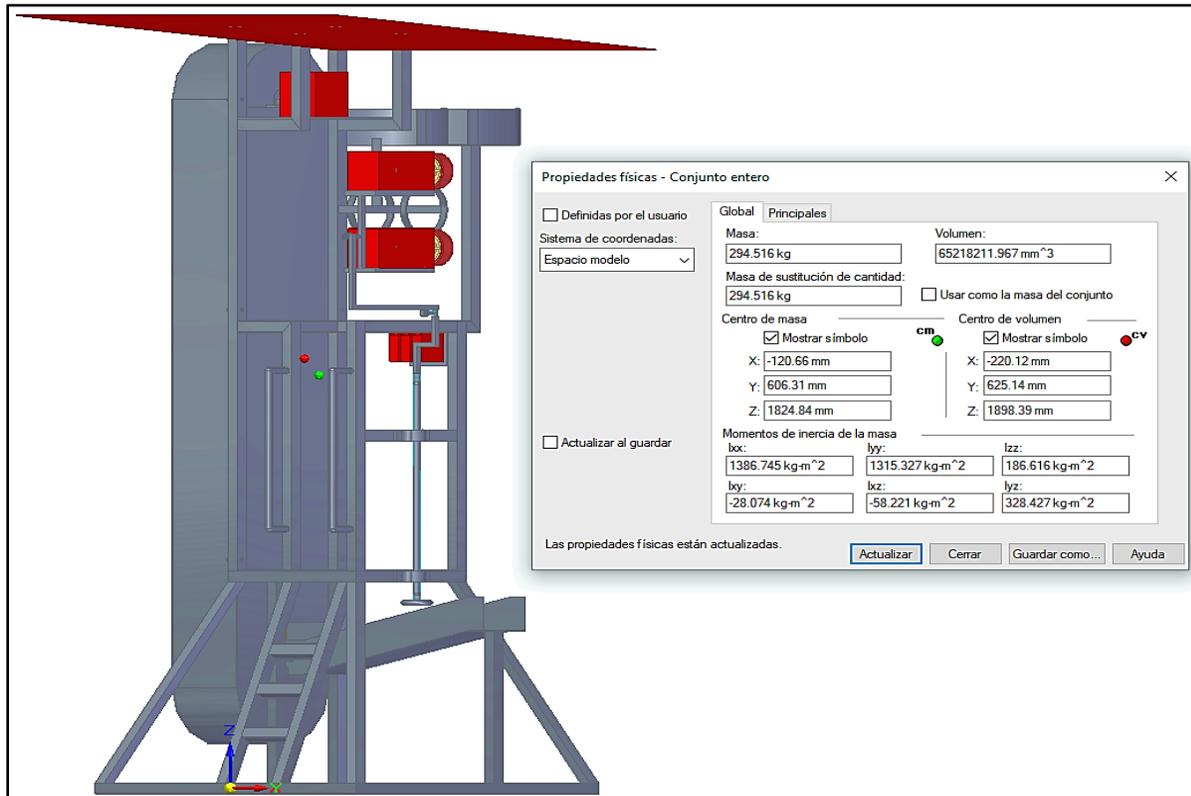
Finalmente, al comprobar numéricamente la resistencia de este subsistema se procede a ensamblar los subsistemas rediseñados con aquel que no sufrió cambio que fue el *subsistema de control* para finalmente realizarle su respectivo análisis de diseño a toda la máquina en general. Este proceso resulta ser el proceso inverso a como se realizó el respectivo diagnóstico.

#### **4.2 Optimización de la máquina lanzadora de balones de voleibol**

Finalmente, al haber realizado el respectivo rediseño para cuatro de cinco subsistemas, se procede a ensamblarlos y verificar si se solucionaron los problemas de exceso de *peso* y de *estabilidad* que se tenían al momento del diagnóstico, como se ve en la **Figura 68**.

**Figura 68.**

*Máquina rediseñada*



**Nota.** La figura muestra la máquina sin las rodachinas.

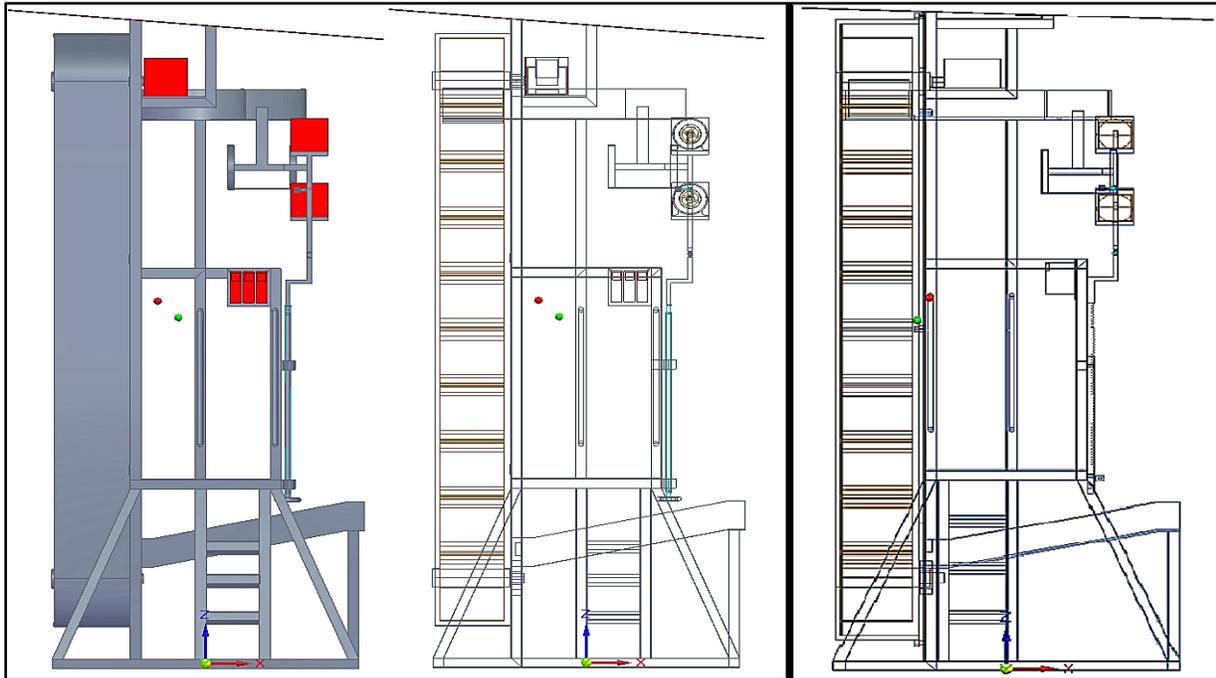
Con base en la imagen anterior, que, si se compara con la **Figura 9** se puede apreciar que efectivamente hubo una reducción de casi **1000Kg** o **1Ton** que corresponde a una reducción de **993,585Kg** lo que hace que con el rediseño la máquina sea **77,13%** más ligera que con el diseño inicial con que se contaba. En consecuencia, se solventa el primer problema para la máquina que era el exceso de **peso**, sin embargo, con el peso actual, la máquina es **95Kg** más pesada que la **Winshot 1500**, en contraste, esa máquina no cuenta con lanzamiento automático.

Ya teniendo el peso de la máquina reducido a **254,516Kg**, se puede proceder a la selección de las rodachinas con freno que soportaran un peso aproximado de **300Kg** lo que equivaldría a cuatro (4) rodachinas con freno que soporten una carga de **75Kg** cada una de la empresa **Rodachines industriales y Cía. LTDA**.

Del mismo modo, continuando con la verificación de la máquina, se procede a revisar el equilibrio de la misma inicialmente ubicando sus centros de masa y de volumen como se ve en la **Figura 69**.

**Figura 69.**

*Estabilidad de la máquina rediseñada*



**Nota.** La figura muestra la nueva ubicación para el centro de masa (verde) y el centro de volumen (rojo).

En la imagen anterior se observan los puntos de centro de masa y volumen para la máquina rediseñada (izquierda línea división) y se compara con el diseño inicial (derecha línea división), en donde, evidentemente se logra un mejor equilibrio dado el rediseño hecho a los subsistemas.

Para validar el nuevo diseño se va a simular nuevamente por el método de los elementos finitos la estructura para comprobar si soporta las cargas de su peso y no genere efecto de “tumble”. Para realizarlo, se usarán los demás subsistemas como cargas muertas para que la estructura la soporte como se ve en la **Tabla 26**.

**Tabla 26.**

*Cargas de los demás subsistemas sobre el subsistema estructural*

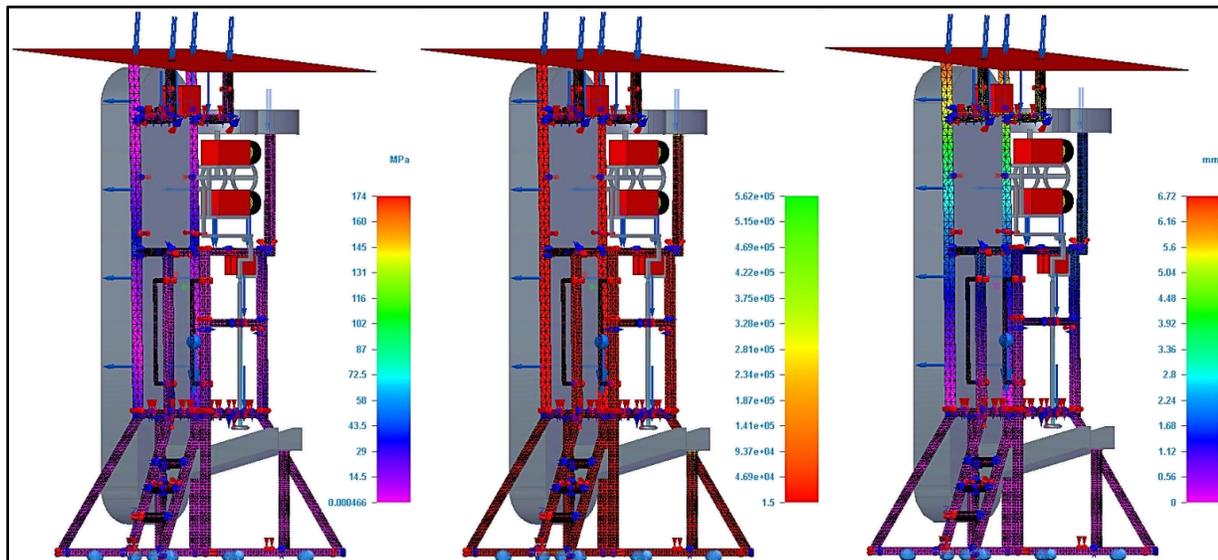
| SUBSISTEMA                 | PESO (Kg) | CARGA (N) |
|----------------------------|-----------|-----------|
| Subsistema de alimentación | 115.328   | 1131.3677 |
| Subsistema de tracción     | 47.556    | 466.52436 |
| Subsistema de potencia     | 5.909     | 57.96729  |
| Subsistema de control      | 4.596     | 45.08676  |

**Nota.** La tabla muestra el peso como carga para cada uno de los subsistemas que se acoplan sobre la estructura.

Si bien para el *subsistema de potencia* el peso es menor, se da porque los motores y sus respectivas carcasas que suministran la potencia para el lanzamiento de los balones ya se incluye dentro del *subsistema de tracción*, por consiguiente, su peso restante corresponde al motor que mueve el elevador con empujadores y su respectiva carcasa. Se procede a simular las cargas sobre la estructura, asumiendo que esta última es encuentra anclada al suelo como se ve en la **Figura 70**.

**Figura 70.**

*Simulación numérica al rediseño completo*



**Nota.** La figura muestra la tensión de Von mises (izquierda), el factor de seguridad (centro) y el desplazamiento total (derecha).

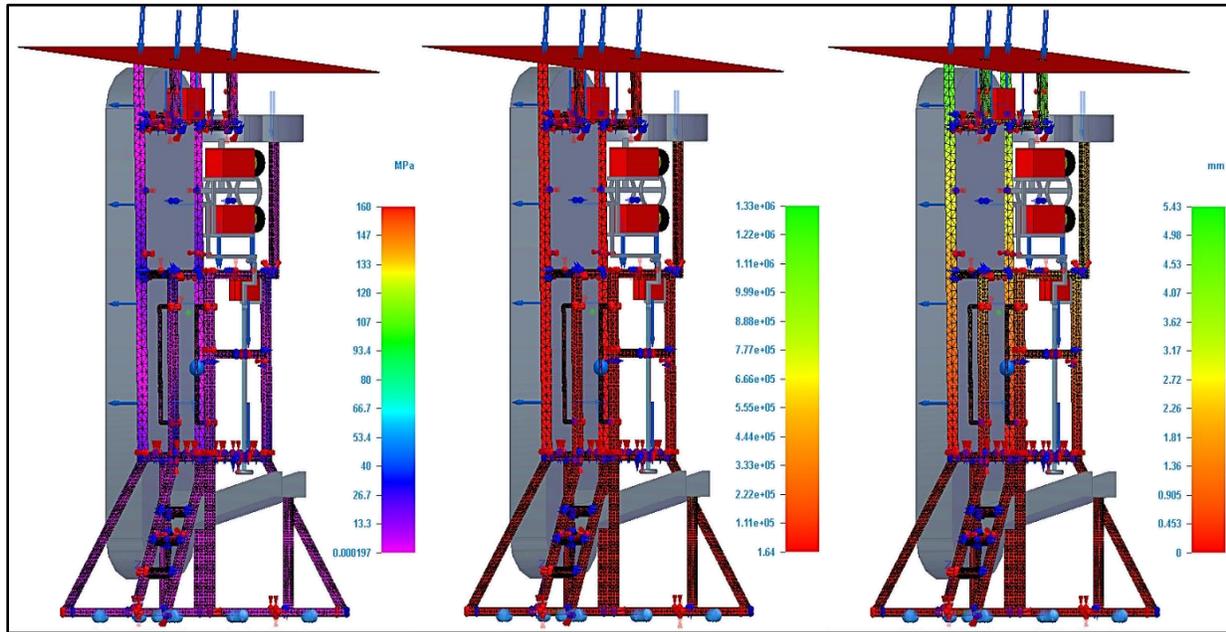
Revisando la simulación, con la tensión de *Von mises* no se muestra el límite elástico para la estructura en ese acero según el mismo software *Solid Edge* corresponde a **262MPa** y con base en la **Tabla 25** el *esfuerzo de fluencia Fy* es de **35000Mpa** por lo que la tensión máxima que fue de **174MPa** está lejos del límite elástico y por consiguiente del límite de fluencia para este acero estructural.

La simulación da como resultado un *factor de seguridad* de **1,5** que es muy bajo, dado que, la máquina será usada por estudiantes e incluso tendrían que ingresar en ella. Por otro lado, el *desplazamiento* da una deflexión máxima para la *columna principal 2* de **6,72mm** en la parte superior, lo que implica que el *techo* y el *motor del cangilón* se desplazarán junto con las piezas que comparten unión con estas columnas generando una desalineación al motor y no se podría realizar una efectiva alimentación de balones vía el elevador de banda transportadora.

Se propone utilizar el mayor espesor que se tiene para el perfil estructural (Ver **Tabla 25**) que corresponde a **2,489mm** que se aproxima a **2,5mm** como se tenía inicialmente para las dos **columnas principales 2** y de esta forma se aumente el área transversal y no se deflecte la columna, como se ve en la **Figura 71**.

**Figura 71.**

*Simulación numérica al rediseño completo con aumento de calibre*



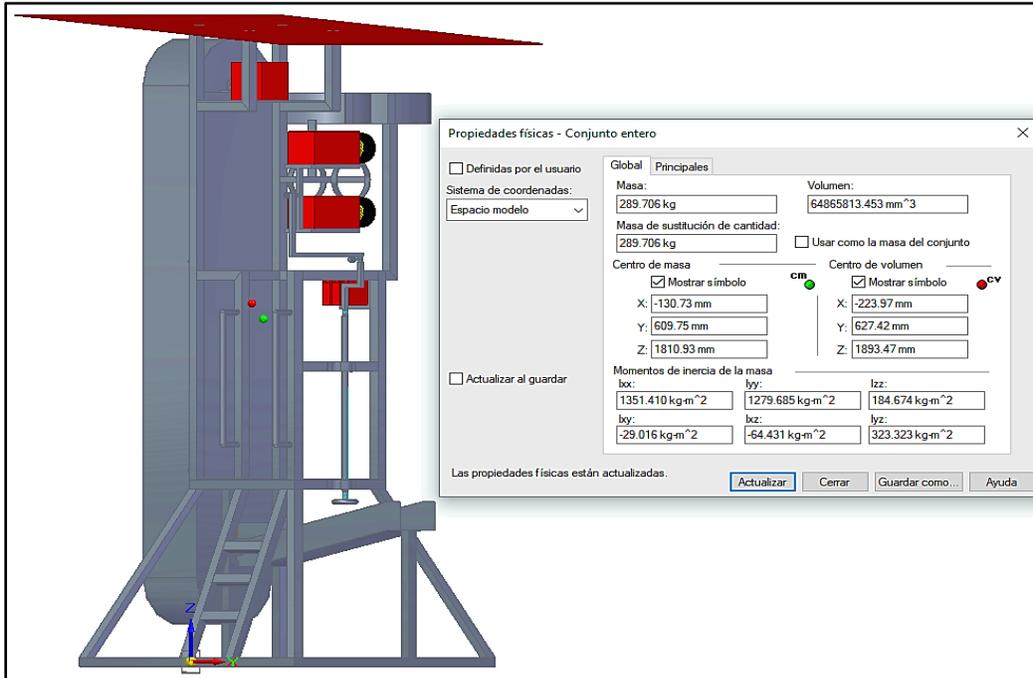
**Nota.** La figura muestra la tensión de Von mises (izquierda), el factor de seguridad (centro) y el desplazamiento total (derecha).

Al realizar el cambio en el **calibre** para las **columnas principales 2** se evidencia una reducción en la **tensión de Von mises** que a diferencia del caso anterior baja a **160MPa**, el **factor de seguridad** aumenta hasta **1,64** y el **desplazamiento** disminuye hasta **5,43mm**.

Sin embargo, revisando con detenimiento la escala, se encuentra que a la altura de la chumacera donde va el **eje cangilón** y el **motor superior** esta se desplaza **4,07mm** que en comparación con el caso anterior este fue de **5,04mm** reduciendo este desplazamiento y aumentando el **factor de seguridad**. Se decide mantener el diseño actual con base en que al realizar otros intentos de mitigar este **desplazamiento** no resultaron satisfactorios y solamente aumentan el peso de la máquina, la cual, al aumentar el **calibre** de estas columnas aumenta su **peso** hasta **289,706Kg**, como se ve en la **Figura 72**.

**Figura 72.**

*Peso final de la máquina rediseñada*

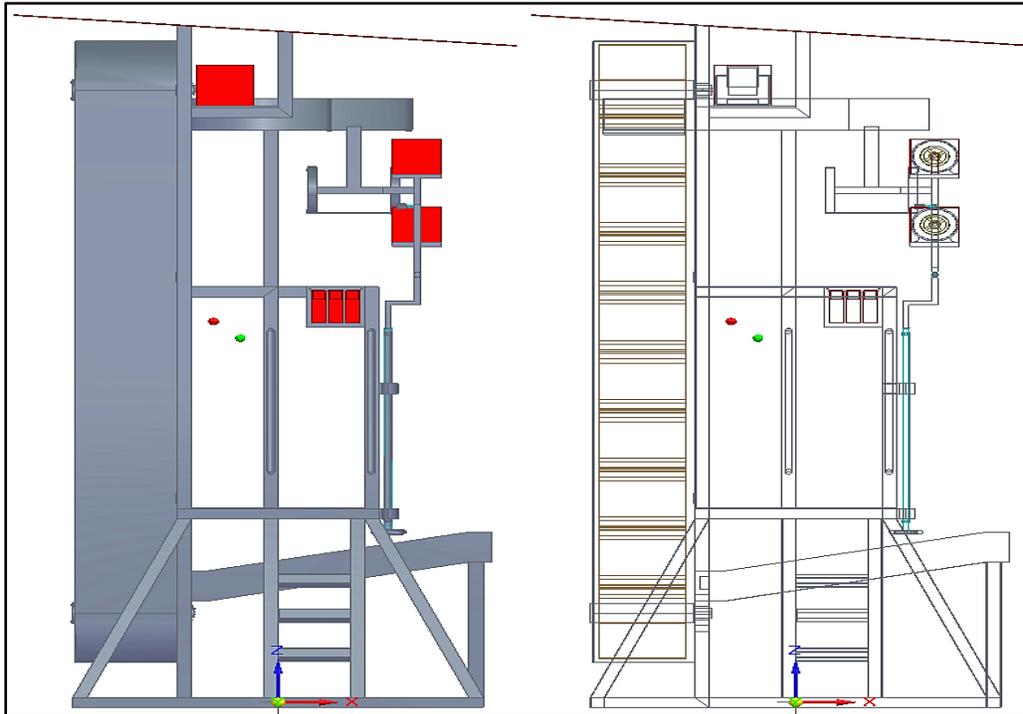


**Nota.** La figura muestra el peso de la máquina al aumentar el espesor de las columnas principales 2.

Dado que se realizaron modificaciones en cuanto a peso y se aumentó justo en el área en el cual se concentraba su centroide de masa y volumen inicialmente, se procede a verificar si efectivamente hay un desplazamiento del punto de equilibrio para la máquina, pero no cambia su *estabilidad* como se ve en la **Figura 73**.

**Figura 73.**

*Estabilidad final de la máquina rediseñada*



**Nota.** La figura muestra la nueva ubicación para el centro de masa (verde) y el centro de volumen (rojo).

Con base en la imagen anterior se muestra que el aumento de peso no fue fundamental para el equilibrio de la máquina. Si bien se encuentra con el presente problema de que la parte superior de la lanzadora de balones de voleibol se desplaza **5,43mm** y que no se hayan podido realizar más simulaciones numéricas debido al costo computacional que estos acarrearán, siguiendo el objetivo general del presente proyecto, se podrá comprobar si efectivamente se genera tal desplazamiento y si este afecta al funcionamiento de la máquina por medio de la fabricación de un prototipo.

Por otra parte, si se va a realizar una debida fabricación de un prototipo, y posteriormente la de la máquina total, se deberán de tener en cuenta los respectivos procesos de manufactura para realizar la materialización del diseño propuesto y evaluarlo físicamente, por consiguiente, se deberán de planificar y conocer dichos procesos.

## **5. PLANIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA DE CADA UNO DE LOS SUBSISTEMAS Y PARTES MANUFACTÚRALES DEL NUEVO DISEÑO DE LA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

En este capítulo se describirán los procesos de manufactura que se van a emplear en la materialización de la máquina lanzadora de balones de voleibol a partir de los procesos pre establecidos encontrados en el documento suministrado, aplicando los cambios que se realizaron en el capítulo anterior.

Para comenzar hablando de manufactura se enuncia su definición: “La palabra manufactura se deriva de las palabras latinas *manus* (mano) y *factus* (hacer); la combinación de ambas significa hecho a mano.” [9] Sin embargo, en la actualidad con el avance de la tecnología ya en inicios de una cuarta revolución industrial o industria 4.0, estos procesos dejaron de ser manuales para ser más automatizados, controlados remotamente y hasta operados a distancia vía redes de comunicaciones.

Para fines de este proyecto, como se va a realizar la fabricación futura de la máquina lanzadora de balones de voleibol y su respectivo prototipo, se buscarán los procesos más óptimos y económicos para realizar la materialización del rediseño de la máquina.

Con base en que la máquina en su diseño está compuesta en su mayoría de piezas metálicas en *acero estructural*, este material se puede obtener de diversos proveedores locales, en contraste, para darle la forma adecuada a tales piezas para que queden con las respectivas dimensiones de las piezas modeladas tridimensionalmente, será necesario un procedimiento de corte respecto a los *planos finales* de las piezas (Ver **ANEXO 1**).

En consecuencia, de haber realizado el rediseño a la máquina, se llega a un total de **48 planos** dado la adición de algunas piezas y la descomposición de otras en ensamble para su mejor comprensión y fabricación. Se organizan en la **Tabla 27**.

**Tabla 27.***Listado de planos definitivo*

| <b>NÚMERO DE PLANO</b> | <b>SUBSISTEMA</b>  | <b>COMPONENTE</b>             | <b>CODIGO DE PLANO</b> |
|------------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|
| 1                      | N/A                | Plano general                 | LABAVO - A             |
| 2                      | Estructural        | Subsistema estructural        | LABAVO - SE - A        |
| 3                      |                    | Viga Base 1                   | LABAVO - SE01 - C      |
| 4                      |                    | Viga Base 2                   | LABAVO - SE02 - C      |
| 5                      |                    | Columna Base Soporte          | LABAVO - SE03 - C      |
| 6                      |                    | Viga Plataforma 1             | LABAVO - SE04 - C      |
| 7                      |                    | Viga Plataforma 2             | LABAVO - SE05 - C      |
| 8                      |                    | Plataforma-                   | LABAVO - SE06 - C      |
| 9                      |                    | Columna Principal 2           | LABAVO - SE07 - C      |
| 10                     |                    | Columna Principal 1           | LABAVO - SE08 - C      |
| 11                     |                    | Viga Superior Lateral         | LABAVO - SE09 - C      |
| 12                     |                    | Viga Superior                 | LABAVO - SE10 - C      |
| 13                     |                    | Barra Pasadora                | LABAVO - SE11 - C      |
| 14                     |                    | Columna Base Cangilón         | LABAVO - SE12 - C      |
| 15                     |                    | Viga Base Cangilón            | LABAVO - SE13 - C      |
| 16                     |                    | Techo                         | LABAVO - SE14 - C      |
| 17                     |                    | Columna Motor Cangilón        | LABAVO - SE15 - C      |
| 18                     |                    | Columna Escalera v2           | LABAVO - SE16 - C      |
| 19                     |                    | Viga Peldaño Escalera         | LABAVO - SE17 - C      |
| 20                     |                    | Viga Superior Auxiliar Espejo | LABAVO - SE18 - C      |
| 21                     |                    | Columna Principal 1 Auxiliar  | LABAVO - SE19 - C      |
| 22                     |                    | Columna Principal 1 Espejo    | LABAVO - SE20 - C      |
| 23                     |                    | Viga Motor Cangilón           | LABAVO - SE21 - C      |
| 24                     |                    | Lámina Motor Cangilón         | LABAVO - SE22 - C      |
| 25                     |                    | Viga Soporte Canal Salida     | LABAVO - SE23 - C      |
| 26                     |                    | Columna Soporte Canal Salida  | LABAVO - SE24 - C      |
| 27                     |                    | Columna Base Canal Almacenaje | LABAVO - SE25 - C      |
| 28                     |                    | Chumacera cangilones          | LABAVO - SE26 - C      |
| 29                     |                    | Refuerzo                      | LABAVO - SE27 - C      |
| 30                     |                    | Chumacera tracción            | LABAVO - SE28 - C      |
| 31                     | Ensamble soldadura | LABAVO - SE29 - W             |                        |
| 32                     | Tracción           | Subsistema de tracción        | LABAVO - ST - A        |
| 33                     |                    | Pin 1                         | LABAVO - ST01 - A      |
| 34                     |                    | Pin 2                         | LABAVO - ST02 - A      |
| 35                     |                    | Pin 3                         | LABAVO - ST03 - A      |
| 36                     |                    | Carcasa tornillo              | LABAVO - ST04 - C      |
| 37                     |                    | Tornillo elevación            | LABAVO - ST05 - C      |
| 38                     |                    | Guía de lanzamiento           | LABAVO - ST06 - C      |
| 39                     | Alimentación       | Subsistema de alimentación    | LABAVO - SA - A        |
| 40                     |                    | Cangilones                    | LABAVO - SA02 - C      |
| 41                     |                    | Eje cangilones                | LABAVO - SA03 - C      |
| 42                     |                    | Tapa frontal                  | LABAVO - SA04 - C      |
| 43                     |                    | Carcasa Cangilones            | LABAVO - SA05 - C      |
| 44                     |                    | Canal salida                  | LABAVO - SA08 - C      |
| 45                     |                    | Canal entrada                 | LABAVO - SA09 - C      |

**Tabla 29.** (Continuación)

| NÚMERO DE PLANO | SUBSISTEMA | COMPONENTE                    | CODIGO DE PLANO   |
|-----------------|------------|-------------------------------|-------------------|
| 46              | Control    | Subsistema de control - Panel | LABAVO - SC01 - C |
| 47              | Potencia   | Carcasa motor expulsión       | LABAVO - SP01 - C |
| 48              |            | Carcasa motor cangilón        | LABAVO - SP02 - C |

*Nota.* La tabla muestra la nueva cantidad de planos y sus códigos respectivos.

Ya teniendo delimitada la cantidad de planos de las piezas para su fabricación se procede a revisar el procedimiento de corte.

### **5.1 Procesos de corte**

Para el corte se entiende que es una operación de mecanizado en la cual se divide un material en secciones dependiendo de la medida que se requiera extraer de algunos. Existen diferentes tipos de corte que difieren de la operación que se requiera realizar al componente en cuestión.

Si bien un proceso de corte resulta económico, se propone por parte del realizador de este proyecto asesorado por los profesores de las asignaturas de PROCESOS 1 de adquirir una “SIERRA DE DISCO” para la universidad y aprovechar las instalaciones del “TALLER DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS” y realizar allí las operaciones de corte. De esta forma, luego de la culminación de este proyecto la universidad podrá disponer de dicha sierra para fines académicos y/o de uso por parte de los técnicos que tienen contratados.

En vista de que la mayoría de piezas requieren un proceso de corte, para determinar el tipo de corte y la herramienta más adecuada para la fabricación de cada pieza se procede a realizar la asignación por subsistemas.

#### **5.1.1 Subsistema estructural**

Para poder delimitar los cortes para este subsistema se va a tener en cuenta los planos de la **Tabla 27** en los cuales se tienen **27 planos** para este subsistema que, si se organizan de acuerdo a su longitud y tipo de corte, se encuentra que se requieren cortes angulares como se ve en la **Tabla 28**.

**Tabla 28.**

*Cortes para el Subsistema estructural*

| NÚMERO DE PLANO           | COMPONENTE                    | LONGITUD (mm)  | PERFIL (mmxmmxmm)   | CANTIDAD  | ÁNGULO CORTE (°)              | NÚMERO DE CORTES              |           |
|---------------------------|-------------------------------|----------------|---------------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 3                         | Viga Base 1                   | 1424.7848      | 50x50x1.5           | 2         | 45                            | 2                             |           |
| 4                         | Viga Base 2                   | 1324.7848      | 50x50x1.5           | 2         | 45                            | 2                             |           |
| 5                         | Columna Base Soporte          | 1025           | 50x50x1.5           | 4         | 60                            | 2                             |           |
| 6                         | Viga Plataforma 1             | 700            | 50x50x1.5           | 2         | 45                            | 2                             |           |
| 7                         | Viga Plataforma 2             | 600            | 50x50x1.5           | 2         | 45                            | 2                             |           |
| 8                         | Plataforma                    | 0              | 500x600x3           | 1         | 90                            | 12                            |           |
| 9                         | Columna Principal 2           | 2403           | 50x50x1.5           | 2         | 90 y 85                       | 2                             |           |
| 10                        | Columna Principal 1           | 1103           | 50x50x1.5           | 1         | 90 y 45                       | 2                             |           |
| 11                        | Viga Superior Lateral         | 650            | 50x50x1.5           | 1         | 90 y 45                       | 2                             |           |
| 12                        | Viga Superior                 | 500            | 50x50x1.5           | 4         | 90                            | 2                             |           |
| 13                        | Barra Pasadora                | 0              | 25.4x900            | 2         | 90                            | 2                             |           |
| 14                        | Columna Base Cangilón         | 937.676        | 50x50x1.5           | 1         | 90 y 45                       | 2                             |           |
| 15                        | Viga Base Cangilón            | 362.3926       | 50x50x1.5           | 1         | 90 y 45                       | 2                             |           |
| 16                        | Techo                         | 0              | 1750x1750x1         | 1         | 90                            | 4                             |           |
| 17                        | Columna Motor Cangilón        | 422.8956       | 50x50x1.5           | 2         | 45 y 85                       | 2                             |           |
| 18                        | Columna Escalera v2           | 958.7997       | 50x50x1.5           | 2         | 67.79                         | 2                             |           |
| 19                        | Viga Peldaño Escalera         | 248            | 50x50x1.5           | 3         | 90                            | 2                             |           |
| 20                        | Viga Superior Auxiliar Espejo | 300            | 50x50x1.5           | 1         | 90 y 45                       | 2                             |           |
| 21                        | Columna Principal 1 Auxiliar  | 1100           | 50x50x1.5           | 1         | 90 y 45                       | 2                             |           |
| 22                        | Columna Principal 1 Espejo    | 1103           | 50x50x1.5           | 1         | 90                            | 2                             |           |
| 23                        | Viga Motor Cangilón           | 350            | 50x50x1.5           | 2         | 90 y 45                       | 2                             |           |
| 24                        | Lámina Motor Cangilón         | 0              | 300x600x3           | 1         | 90                            | 4                             |           |
| 25                        | Viga Soporte Canal Salida     | 430            | 50x50x1.5           | 1         | 90 y 45                       | 2                             |           |
| 26                        | Columna Soporte Canal Salida  | 827.17         | 50x50x1.5           | 1         | 90 y 45                       | 2                             |           |
| 27                        | Columna Base Canal Almacenaje | 671.2          | 50x50x1.5           | 1         | 90                            | 2                             |           |
| 29                        | Refuerzo                      | 0              | 39x67x30            | 1         | 90                            | 4                             |           |
| <b>Total longitud (m)</b> |                               | <b>30.6969</b> | <b>Total piezas</b> | <b>43</b> | <b>Número de cortes @ 45°</b> | <b>28</b>                     |           |
|                           |                               |                |                     |           |                               | <b>Número de cortes @ 60°</b> | <b>12</b> |
|                           |                               |                |                     |           |                               | <b>Número de cortes @ 85°</b> | <b>4</b>  |
|                           |                               |                |                     |           |                               | <b>Número de cortes @ 90°</b> | <b>57</b> |

*Nota.* La tabla muestra los distintos tipos de corte y cantidad para el subsistema estructural.

Se requieren de **30,7m** de tubería **ASTM E500 GRADO C** o de perfil **50x50x1.5mm** para la fabricación de este subsistema. Sin embargo, en algunos distribuidores de acero, por ejemplo, **COVAL COLMENA** ofrece longitudes de venta al público de **6m** como se ve en la **Figura 74**.

**Figura 74.**

*Longitudes de tubería para estructura*

| DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DE FABRICACION  |                       |
|---|-----------------------|
| Los perfiles se fabrican de acuerdo con las dimensiones reales indicadas en las tablas, las dimensiones nominales son las de común manejo.<br>Los perfiles se fabrican en longitud de 6,00 m, para largos diferentes consultar. |                       |
| TOLERANCIAS   |                       |
| Longitud  | -5mm/+40mm            |
| Diámetro en redondos  | +/- 0,25mm            |
| Dimensiones exteriores en cuadrados y rectangulares   | +/- 0,50mm            |
| Espesor de material   | +/- 10%               |
| Cuadratura en cuadrados y rectangulares   | +/- 2º                |
| Radio en esquinas   | 1 a 3 veces espesor e |
| Rectitud para tubulares medido al centro  | 2,08mm/m              |

**Nota.** La figura muestra las dimensiones y tolerancias para tubería estructural. Tomado de: COVAL COLMENA, “Línea Estructural PERFILES CERRADOS (ASTM A 500 GRADO C) NTC 4526 Grado C”. [PDF] Disponible: [https://coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_colmena\\_linea\\_estructural.pdf](https://coval.com.co/pdfs/manuales/man_colmena_linea_estructural.pdf) [Consultado 20 de Agosto 2020]

Por consiguiente, se requerirían un total de **6 tubos** para un total de **36m** de perfil estructural para la fabricación de este subsistema. Por otro lado, se debe realizar la determinación de áreas para los componentes que no comparten el perfil estructural mencionado. Así mismo, se realiza en la siguiente **Tabla 29** para delimitar las áreas de las demás piezas para su fabricación.

**Tabla 29.**

*Componentes planos del subsistema estructural*

| NÚMERO DE PLANO | COMPONENTE            | LARGO (mm) | ANCHO (mm) | GROSOR (mm) | ÁREA (m <sup>2</sup> ) | MATERIAL          |
|-----------------|-----------------------|------------|------------|-------------|------------------------|-------------------|
| 8               | Plataforma            | 600        | 500        | 3           | 0.3                    | Acero estructural |
| 13              | Barra Pasadora        | 900        | 0          | 25.4        | 0                      | Acero estructural |
| 16              | Techo                 | 1750       | 1750       | 1           | 3.0625                 | Policarbonato     |
| 24              | Lámina Motor Cangilón | 600        | 300        | 3           | 0.18                   | Acero estructural |

**Nota.** La tabla muestra las dimensiones de las piezas que no son del perfil ASTM E500°C.

Para estos cuatro componentes restantes se tendría que adquirir una lámina de **policarbonato** de dimensiones mencionadas en la tabla anterior, una **varilla redonda** de **1”** de diámetro y de **1,8m** de largo, teniendo en cuenta que son dos barras las que se requiere de manufacturar. Y por último adquirir una lámina de acero estructural de **1,2x0,5m** y de espesor de **3mm** para la **plataforma** y la **lámina motor cangilón**.

Se deben de realizar distintos tipos de corte a los perfiles de  $50 \times 50 \times 1,5 \text{ mm}$  y la varilla de  $1''$ . Estos perfiles pueden ser cortados mediante una sierra de disco como se aprecia en la **Figura 75**. Para el resto de componentes se pueden pedir cortados o cortarles mediante una “cizalladora”

**Figura 75.**

*Cortadora de disco DEWALT 2200W*



*Nota.* La figura muestra la herramienta con la que se realizarían los cortes a las piezas. Tomado de: LUIS. (16, sep, 2017). “Cortadora de Metales DW872 DeWalt: 2200 W con disco de corte dentado”. EntreHerramientas.com. [En línea]. Disponible: <https://entreherramientas.com/cortadora-de-metales-dw872-dewalt-2200-w-con-disco-de-corte-dentado/>. [Consultado 15 de Septiembre 2020]

### 5.1.2 Subsistema de tracción

Continuando con los procesos de corte para este subsistema, se va a tener en cuenta los planos de la **Tabla 27** en los cuales se tienen **9 planos** para este subsistema que, si se organizan de manera similar que con el subsistema anterior se muestran en la siguiente **Tabla 30**.

**Tabla 30.**

*Cortes para el subsistema de tracción*

| Número de plano           | Componente          | Longitud (mm) | Perfil (mmxmm)      | Cantidad  | Ángulo corte (°)              | Número de cortes              |           |
|---------------------------|---------------------|---------------|---------------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 34                        | Varilla 1 Pin 1     | 270           | 20x20               | 2         | 45                            | 4                             |           |
| 35                        | Varilla 2 Pin 1     | 120           | 20x20               | 1         | 45                            | 2                             |           |
| 37                        | Varilla 1 Pin 2     | 470           | 20x20               | 1         | 45                            | 2                             |           |
| 38                        | Varilla 2 Pin 2     | 335           | 20x20               | 1         | 45                            | 2                             |           |
| 40                        | Varilla 1 Pin 3     | 360           | 20x20               | 1         | 90                            | 2                             |           |
| 41                        | Lámina Pin 3        | 0             | 321x171x20          | 2         | 90                            | 8                             |           |
| 42                        | Carcasa tornillo    | 940           | D25                 | 1         | 90                            | 2                             |           |
| 44                        | Tornillo elevación  | 1020          | M20                 | 1         | 90                            | 2                             |           |
| 45                        | Guía de lanzamiento | 0             | 6x1                 | 1         | 90                            | 12                            |           |
| <b>Total longitud (m)</b> |                     | <b>3.515</b>  | <b>Total piezas</b> | <b>11</b> | <b>Número de cortes @ 45°</b> | <b>10</b>                     |           |
|                           |                     |               |                     |           |                               | <b>Número de cortes @ 90°</b> | <b>36</b> |

*Nota.* La tabla muestra los distintos tipos de corte y cantidad para el subsistema de tracción.

A partir de la tabla anterior y revisando los planos (ver **ANEXO 1**), se evidencia que se requieren cinco *varillas cuadradas* de **20x20mm** que suman una longitud de **1,825m** de largo, con la adquisición de **2m** de este tipo de varilla será suficiente para la fabricación de estos “pines”. Sin embargo, si no se llegaron a conseguir varillas de dicha medida, se pueden adquirir de **3/4”** cuya medida es aproximada a la deseada que sería de **19,05mm**.

Del mismo modo, para la *carcasa tornillo* y el *tornillo elevación* se requerirá de la sus respectivas longitudes y su posterior corte. Estos dos componentes junto con las *varillas cuadradas* se podrán cortar mediante la misma herramienta para los perfiles del *subsistema estructural* (ver **Figura 75**).

Para las láminas del *Pin 3* se requiere adquirir una plancha de acero estructural de **645x171mm** de **20mm** de espesor y se corta por la mitad para tener dos porciones de **321x171mm**. Este corte se tendría que hacer con *segueta*, *cizalladora* o con *plasma*, pero debido el espesor del material se selecciona esta última, como se ve en la **Figura 76**.

#### **Figura 76.**

*Corte manual con pistola de plasma*



*Nota.* La figura muestra el proceso de corte manual con pistola de plasma. Tomado de: INDURA, “Equipos de Corte”. INDURA Grupo AIR PRODUCTS. [En línea]. Disponible: <http://www.indura.cl/Mobile/cl/Menu/103>. [Consultado 21 de Septiembre 2020]

Para la *guía de lanzamiento* se requieren de “platinas” de acero de **1mm** de espesor, de estas se van a cortar cuatro de **30mm** de ancho y de **320mm** de largo. Luego una platina en forma de “T” de **50mm** de ancho y **320mm** de largo de igual forma que las anteriores. Para este componente, dado su espesor y dimensiones se recomienda hacer uso de la herramienta cizalladora, la cual se muestra en la **Figura 77**.

**Figura 77.**

*Cizalladora manual*



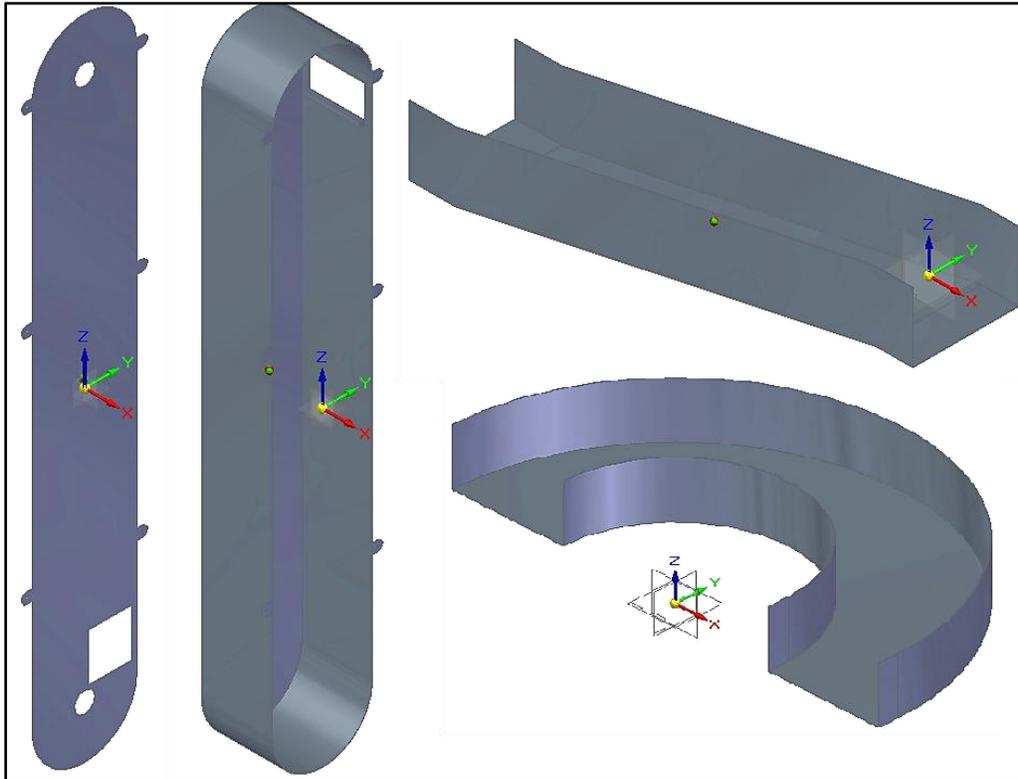
*Nota.* La figura muestra una cizalladora manual de banco. Tomado de: MAQUÍTULS, “CIZALLA MANUAL CON BANCO METALLKRAFT BSS 1020 E”. [En línea]. Disponible: <https://www.maquituls.es/cizallas-para-taller-metalico/4093-cizalla-manual-con-banco-metallkraft-bss-1020-e.html>. [Consultado 22 de Septiembre 2020]

### **5.1.3 Subsistema de alimentación**

Para este subsistema en particular, se cuenta con seis piezas, de las cuales cuatro se tendrán de cortar porque las otras dos restantes corresponden a la *banda transportadora con empujadores* y la otra pieza corresponde al *eje elevadores* que requiere un proceso de *torneado* y un corte a 90° para dar la longitud precisa. Las cuatro piezas a cortar se muestran en la **Figura 78**.

**Figura 78.**

*Componentes del subsistema de alimentación que requieren corte*



**Nota.** La figura muestra la tapa frontal de la carcasa, la carcasa del elevador de cangilones, el canal de almacenaje y el canal de salida.

Las cuatro piezas que requieren corte son precisamente las que se debieron rediseñar cambiando su calibre debido a su exceso de peso debido a sus espesores (ver **Capítulo 4**). Estas piezas se pueden obtener de láminas de acero estructural de **2mm** de espesor a las cuales se deberá cortar en sus diferentes formas y en tres de ellas se deberá realizar un proceso de **doblado** utilizando una **dobladora industrial** como se ve en la **Figura 79**.

**Figura 79.**

*Máquina dobladora de láminas manual*

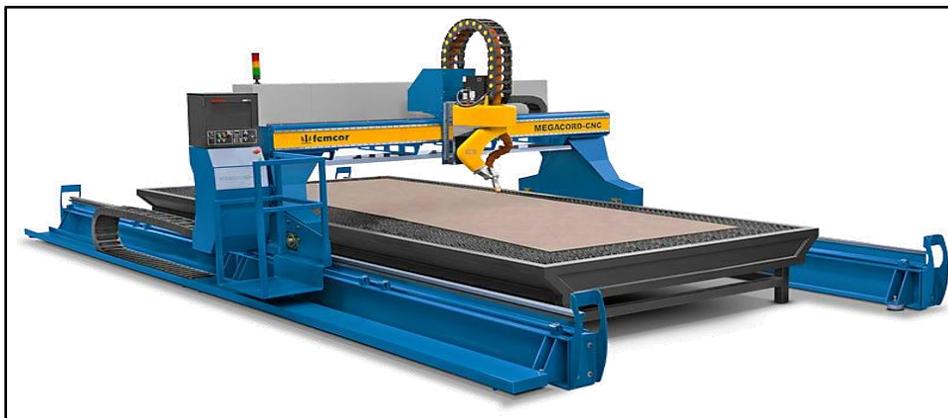


**Nota.** La figura muestra la máquina que se podría emplear para dar forma a las piezas de este subsistema. Tomado de: METALTOOLS, “DOBLADORA DE LAMINA MANUAL”. METALTOOLS S.A.S. [En línea]. Disponible: <https://metaltools.com.co/producto/dobladora-de-lamina-manual/>. [Consultado 26 de Septiembre 2020]

Debido a las formas complejas que se requieren tanto para la *tapa frontal de la carcasa* y de la *carcasa del elevador de cangilones* en cuanto a su proceso de corte, este no podrá ser realizado de forma manual, por lo que se requerirá de una máquina automatizada o de CNC (Control Numérico Computarizado) para realizar dichos cortes como se ve en la **Figura 80**.

**Figura 80.**

*Cortadora de plasma CNC*

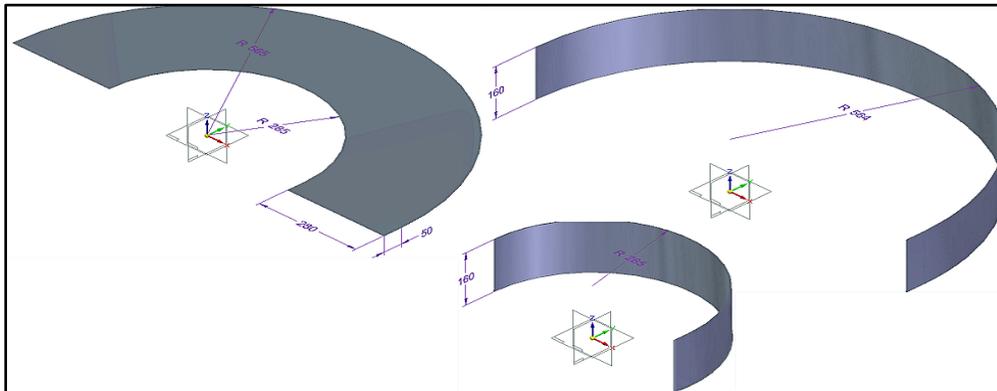


**Nota.** La figura muestra una cortadora de plasma accionada por control numérico para láminas de acero. Tomado de: DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS. (14, sep, 2015). “¿Qué tener en cuenta al elegir una mesa de corte por plasma? Parte III”. Demaquinasyherramientas.com. [En línea]. Disponible: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/que-tener-en-cuenta-al-elegir-una-mesa-de-corte-por-plasma-parte-iii>. [Consultado 30 de Septiembre 2020]

Para la *tapa frontal de la carcasa* solamente se necesita el corte con precisión, para el *canal de almacenaje* se requiere después del corte cuatro dobleces, dos a  $90^\circ$  y los otros dos a  $12^\circ$  (ver plano en ANEXO 1). Sin embargo, para el *canal de salida* se requieren cortes especiales como se ve en la **Figura 81**.

**Figura 81.**

*Cortes para el canal salida del elevador*

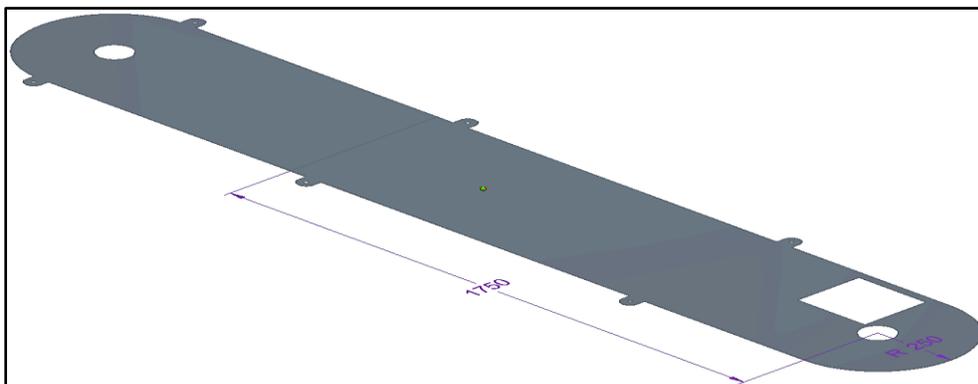


**Nota.** La figura muestra que para armar el canal de salida se requieren tres cortes de lámina y dos dobleces.

Como la *tapa frontal de la carcasa* tiene una longitud total de **3100mm** o **3,1m** y para esa referencia de acero estructural A36 de **2mm** de espesor la longitud máxima que se puede adquirir por lamina en el mercado es de **2m**, por lo cual, se deberán cortar en dos secciones diferentes y después unir como se muestra en la **Figura 82**.

**Figura 82.**

*Cortes para la tapa frontal de la carcasa*

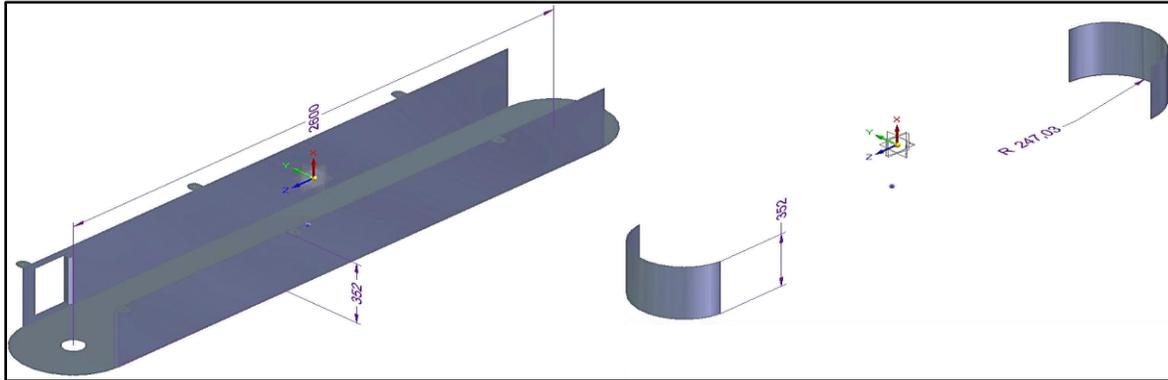


**Nota.** La figura muestra la línea de división a una distancia de 2000mm.

Del mismo modo, para la *carcasa del elevador de empujadores* se requieren cortes especiales. Se requieren cortes y doblados a 90° como se ve en la **Figura 83**.

**Figura 83.**

*Cortes para la carcasa cangilones*



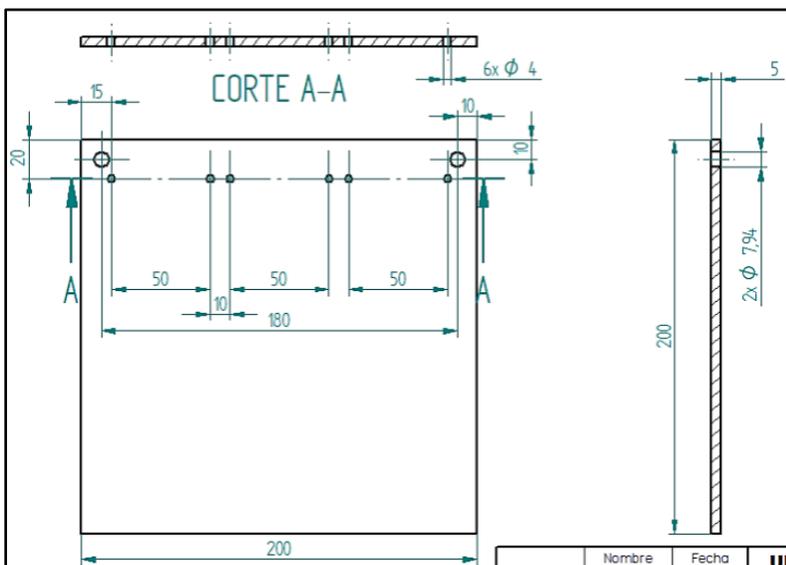
*Nota.* La figura muestra el proceso de corte y doblado para la carcasa cangilones.

#### 5.1.4 Subsistema de control

Para este subsistema solamente se requiere fabricar el tablero de mando que corresponde a una lámina de acero estructural a la que se requieren realizar agujeros para la sujeción de los inversores de frecuencia y las carcasas protectoras de los mismos como se observa en la **Figura 84**.

**Figura 84.**

*Plano de Tablero de mando*



*Nota.* La figura muestra las perforaciones para el tablero de mando.

Para realizar dichos agujeros se utilizará el taladro de árbol que se encuentra dentro del Taller de máquinas y herramientas de la Fundación Universidad de América.

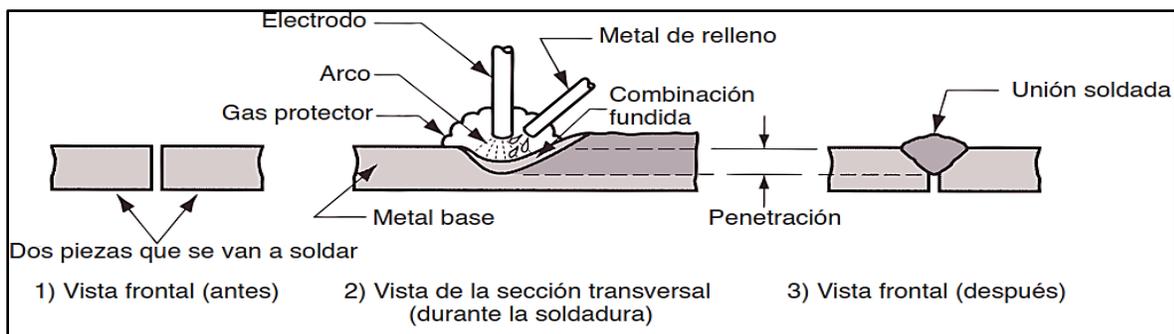
## 5.2 Procesos de soldadura

Tal y como se trabajó en la sección 3.2.1 se requiere que la base del sistema estructural sea resistente y firme, por tal motivo, se requiere que sea una unión permanente, como se ve en la **Figura 85**. Por consiguiente, se deben de realizar operaciones de unión de material conocida como soldadura:

“La soldadura es un proceso de unión de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más piezas mediante la aplicación conveniente de calor y/o presión. Muchos procesos de soldadura se obtienen solamente por calor, sin aplicar presión; otros mediante una combinación de calor y presión; y otros más, únicamente por presión, sin suministrar calor externo. En algunos procesos de soldadura se agrega un material de relleno para facilitar la fusión. El ensamblaje de partes que se unen mediante soldadura se denomina ensamblaje soldado. La soldadura se asocia por lo regular con piezas metálicas, pero el proceso también se usa para unir plásticos. El análisis de la soldadura en este texto se enfocará en la unión de metales.” [9]

**Figura 85.**

*Proceso de soldadura*



**Nota.** La figura muestra el proceso de soldadura con arco de electrodo. Tomado de: M. GROOVER, Fundamentos de Manufactura moderna, vol. Tercera edición, Ciudad de México: Editorial Prentice Hall, 2008.

Dado que, en la Fundación Universidad de América no se cuenta con el equipo o el personal de soldadura, este proceso ha de ser tercerizado para su realización. Sin embargo, si se adquiere el equipo de soldadura solamente se tendría que consignar el valor del servicio por parte del profesional de esta área.

Según la norma ASTM A36/A36M-8, cuando el acero vaya a ser soldado, tiene que ser utilizado un procedimiento de soldado adecuado para el grado de acero y el uso o servicio previsto. No obstante, el acero A36 es conocido como un acero de fácil soldabilidad, por lo que se recomienda utilizar los siguientes tipos de soldaduras Lincoln Electric disponibles en Aceros Carazo: 6010, 6011, 6013, 7018, 7024, 308, 309, 312, 316, ER70S-6, ER70S-3, E71T-1. [10]

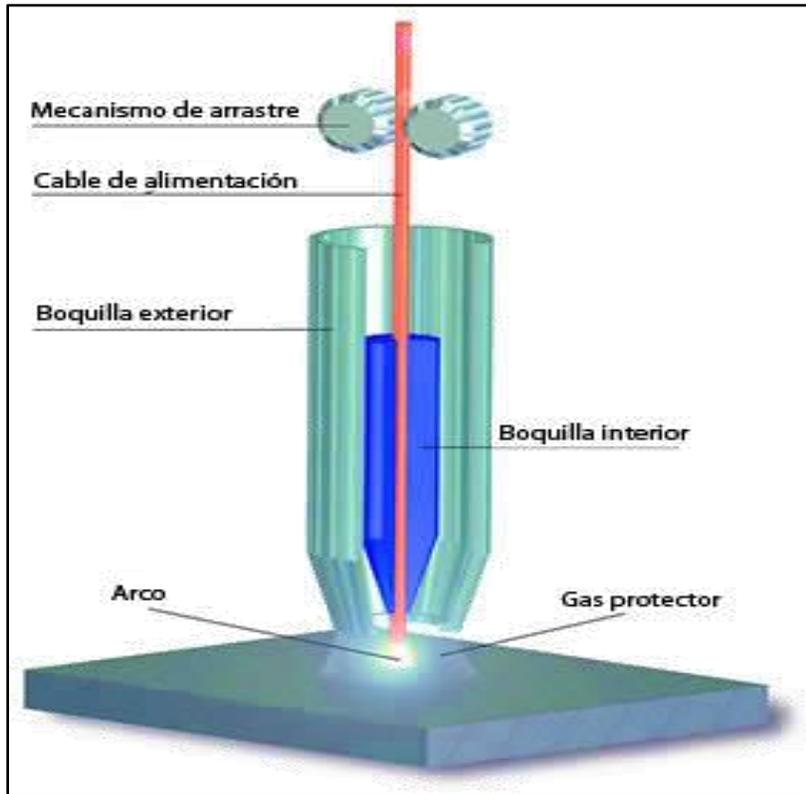
Inicialmente se realiza la cotización de servicios de soldadura a un valor de **\$1'100.000COP**, sin embargo, actualmente se están realizando otras cotizaciones para el profesional de soldadura en función de minimizar costos. Por otro lado, dentro del documento de los diseñadores especifican usar **soldadura con electrodo** para las uniones y el uso de un **electrodo E60**. [1]

En consecuencia, de que se realizó un rediseño a la estructura cambiándole el calibre al perfil estructural, posiblemente no se aplique el mismo método de soldadura, para el espesor en la estructural de **1,5mm** se recomienda usar soldadura tipo MIG.

En este procedimiento se establece el arco eléctrico entre el electrodo consumible protegido y la pieza a soldar. La protección del proceso recae sobre un gas, que puede ser inerte, o sea que no participa en la reacción de la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento de soldadura MIG (Metal Inert Gas); o por el contrario el gas utilizado es activo, que participa de forma activa en la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento MAG (Metal Active Gas), como se ve en la **Figura 86**.

**Figura 86.**

*Soldadura tipo MIG/MAG*



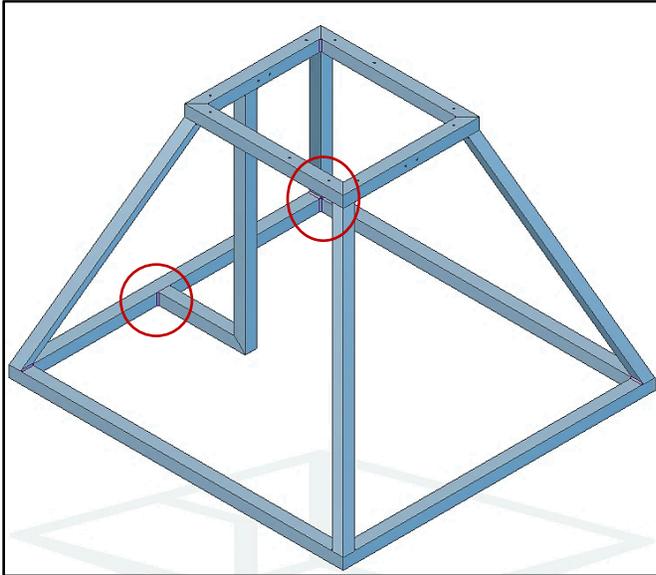
*Nota.* La figura muestra los componentes en el proceso de soldadura MIG. Tomado de: DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS. (7, ene, 2011). Introducción a la Soldadura MIG”. Demaquinasyherramientas.com. [En línea]. Disponible: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-mig>. [Consultado 05 de Octubre 2020]

El empleo del procedimiento MIG-MAG se hace cada vez más frecuente en el sector industrial, debido a su alta productividad y facilidad de automatización. La protección por gas garantiza un cordón de soldadura continuo y uniforme, además de libre de impurezas y escorias. Además, la soldadura MIG / MAG es un método limpio y compatible con todas las medidas de protección para el medio ambiente.

Inicialmente se deben de realizar 30 cordones de soldadura para la primera parte del ensamblaje que corresponde a la base donde irán las rodachinas y la placa que soportara a los operarios, o en este caso, atletas de voleibol como se ve en la **Figura 87**.

**Figura 87.**

*Modelado de las vigas soldadas iniciales de la base*

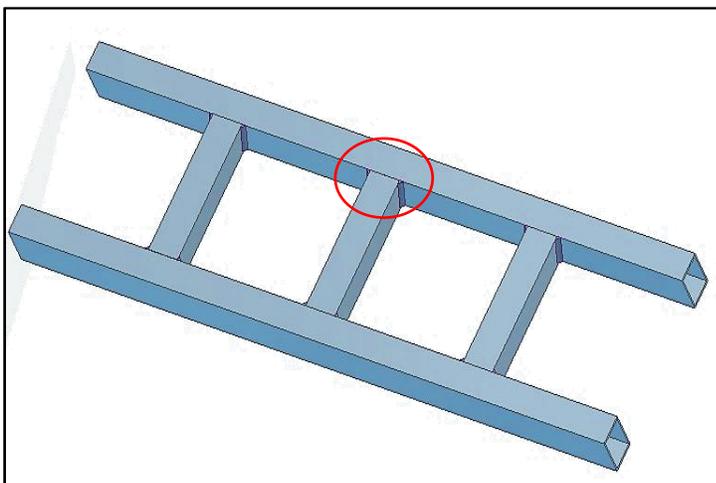


**Nota.** La figura muestra las uniones por soldadura en la base inferior de la estructura.

Luego se realiza la soldadura de la escalera, como se ve en la **Figura 88**, que cuenta con tres peldaños para acceder a la plataforma de control de la máquina. Se requieren 12 cordones de soldadura, cuatro por cada peldaño, y ocho cordones adicionales para unir la escalera a la estructura anterior mencionada; para un total de 20 cordones.

**Figura 88.**

*Cordones de soldadura para la escalera*

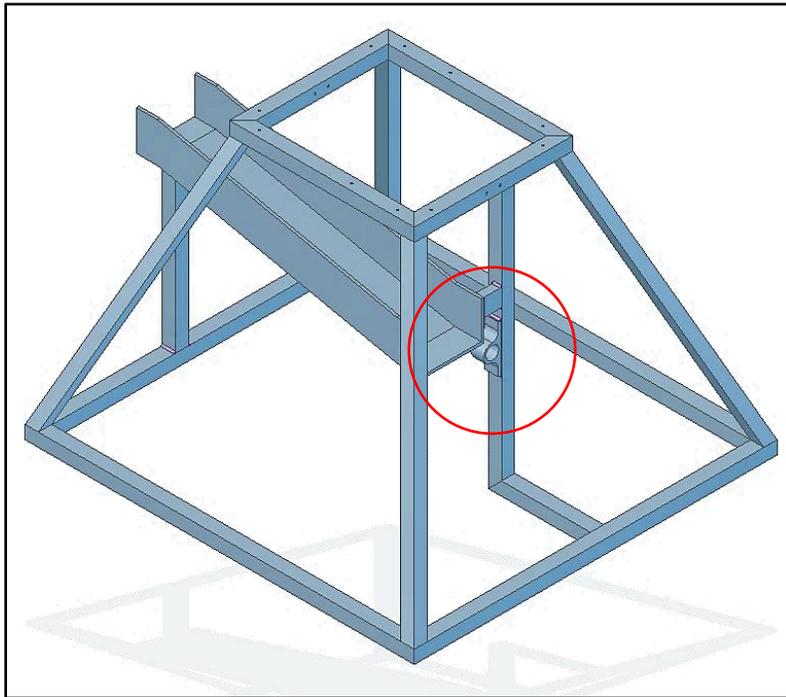


**Nota.** La figura muestra los cordones de soldadura para la escalera.

Finalmente, para realizar la unión entre la base del subsistema estructural y el subsistema de alimentación, se realizan 14 cordones de soldadura para el canal de ingreso a los cangilones, el refuerzo, viga soporte y chumacera para el motor como se ve en la **Figura 89**.

**Figura 89.**

*Soldadura de unión entre subsistemas*



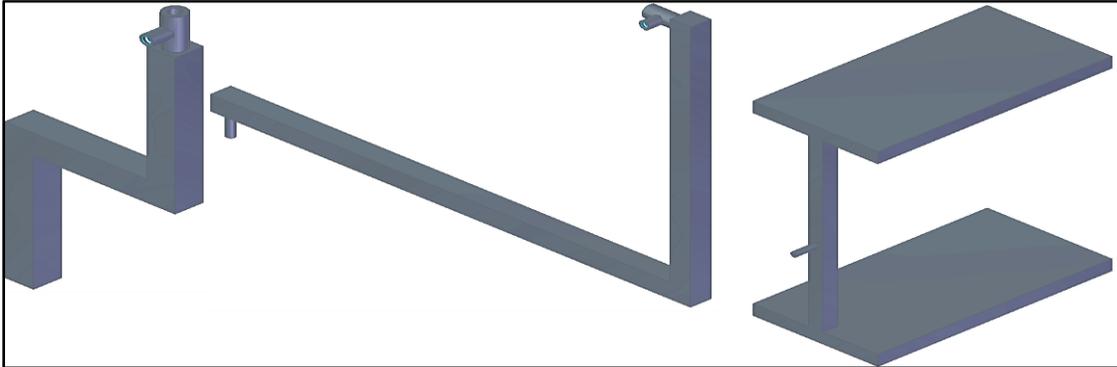
**Nota.** La figura muestra la unión por soldadura entre el subsistema estructural y el subsistema de alimentación.

Al revisar las anteriores tres figuras se da un total de **64 cordones de soldadura de 50mm** de largo para que el profesional de la soldadura realice en la base del subsistema estructural. La parte superior de este subsistema ira acoplada mediante tornillos, tuercas, arandelas y ángulos para asegurar una buena sujeción.

Para el **subsistema de tracción** también se requieren procesos de unión por soldadura de las **varillas cuadradas** que se cortaran como se explicó en la sección 5.1.2 y se soldaran como se ve en la **Figura 90**.

**Figura 90.**

*Soldadura para el subsistema de tracción*



**Nota.** La figura muestra la fabricación de los tres “pines” del subsistema de tracción.

Finalmente, para el *subsistema de alimentación* solamente se requieren uniones soldadas para las dos piezas de mayor complejidad (ver **Figura 81** y **Figura 83**), ya uniendo las respectivas piezas se podrán ensamblar después de su fabricación.

### 5.3 Adquisición de servicios

Para la adquisición de servicios de soldadura se encuentra, bajo recomendación de docentes del claustro educativo, un personal técnico que está en la capacidad para realizar las operaciones de soldadura pertinentes, con pulcritud y buenos acabados, su información a modo de tarjeta de presentación se muestra en la **Figura 91**.

**Figura 91.**

*Licitación del servicio de soldadura*



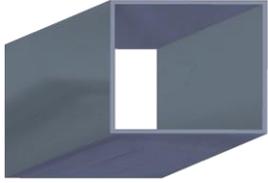
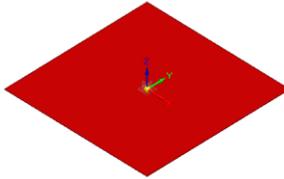
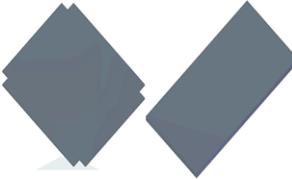
**Nota.** La figura muestra la información del técnico en soldadura.

## 5.4 Procesos de manufactura

En esta sección se mostrará, por medio de tablas de resumen, los procesos de fabricación de las piezas que componen cada subsistema de la máquina y sus respectivos procesos. Se inicia con el *subsistema estructural*, como se ve en la **Tabla 31**.

**Tabla 31.**

*Ficha de proceso subsistema estructural*

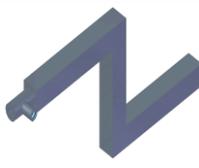
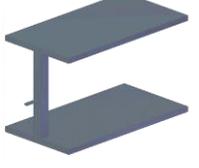
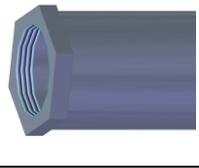
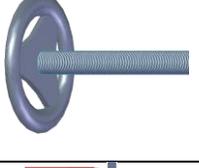
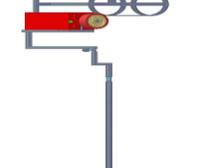
| IMAGEN  | MATERIAL   | COMPONENTE  | PROCESO DE FABRICACIÓN  |
|---|--|---|---|
|    | Acero estructural A-36                               | Perfil estructural:<br>ASTM E500 GRADO C que se utiliza como principal componente para el subsistema estructural.   | 1. Adquisición del material.<br>2. Corte con sierra según dimensiones (ver planos en ANEXOS)  |
|   | Acero estructural A-36                               | Baranda de sujeción:<br>Perfil circular de 25.4mm (1") de diámetro y 900mm de largo.  | 1. Adquisición del material.<br>2. Corte con sierra de longitud 900mm.<br>3. Doblado de extremos a 100mm con máquina.                             |
|  | Polycarbonato  | Techo de protección:<br>Lámina de polycarbonato de 1mm de espesor que protege la máquina de lluvias.  | 1. Adquisición del material.<br>2. Se recomienda adquirir la pieza cortada, si no, cortar como cuadrado de 1750mm con sierra.                     |
|  | Acero estructural Cold Rolled                        | Plataforma:<br>Lámina de acero para el soporte de los operarios.<br>Lámina motor cangilón:<br>Lámina de acero para soporte del motor del elevador de cangilones | 1. Adquisición del material.<br>2. Corte con plasma según dimensiones (ver planos en ANEXOS).   |
|  | Acero estructural A-36 + Cold Rolled + polycarbonato | Subsistema estructural:<br>Estructura metálica donde se acoplarán los demás subsistemas.<br>Soporte para operarios y balones.                                   | 1. Soldadura de perfiles estructurales inferiores con máquina MIG para acero.<br>2. Ensamblado superior con tornillos de 1/2", tuercas y ángulos. |

**Nota.** La tabla muestra los procesos de fabricación para el subsistema estructural.

Continuando con las ahora denominadas *fichas de proceso* para cada subsistema y sus respectivos componentes, se procede a revisar la ficha de proceso para el *subsistema de tracción* como se ve en la **Tabla 32**.

**Tabla 32.**

*Ficha de proceso para subsistema de tracción*

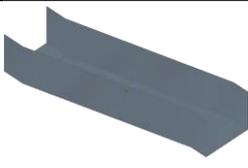
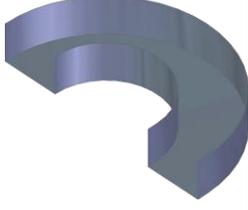
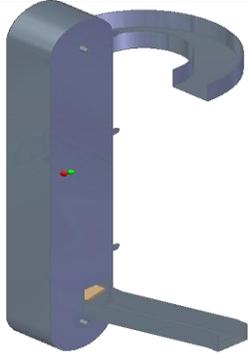
| IMAGEN  | MATERIAL          | COMPONENTE  | PROCESO DE FABRICACIÓN  |
|---|-------------------|---|---|
|    | Acero estructural | Pin 1:<br>Perfil macizo cuadrado de 20x20mm.<br>Soporte de los demás pines, de los motores de lanzamiento y de guía                       | 1. Adquisición de material.<br>2. Corte con sierra según dimensiones.<br>3. Soldadura MIG en uniones.                   |
|    | Acero estructural | Pin 2:<br>Perfil macizo cuadrado de 20x20mm.<br>Permite la rotación de los motores de lanzamiento en eje Z                                | 1. Adquisición de material.<br>2. Corte con sierra según dimensiones.<br>3. Soldadura MIG en uniones.                   |
|   | Acero estructural | Pin 3:<br>Perfil macizo cuadrado de 20x20mm.<br>Permite la rotación de los motores de lanzamiento en eje Y                                | 1. Adquisición de material.<br>2. Corte con sierra según dimensiones.<br>3. Soldadura MIG en uniones.                   |
|  | Acero estructural | Guía de lanzamiento:<br>Láminas unidas de forma que el balón pase a través de ellas para depositarlo en las ruedas de lanzamiento.        | 1. Adquisición de material.<br>2. Corte con sierra según dimensiones.<br>3. Soldadura MIG en uniones.                   |
|  | Acero estructural | Carcasa tornillo:<br>Tubo con tuercas en los extremos para permitir elevación de motores y anclaje al subsistema estructural.             | 1. Adquisición de material.<br>2. Corte con sierra según dimensiones.<br>3. Soldadura MIG en uniones.                   |
|  | Acero estructural | Tornillo de elevación:<br>Tornillo de rosca M20 para la elevación de los motores. Soporta toda la carga del subsistema.                   | 1. Adquisición de esparrago M20.<br>2. Corte de 1100mm con sierra.<br>3. Soldadura de volante de accionamiento con MIG. |
|  | Acero estructural | Subsistema de tracción:<br>Estructura vertical que se encarga de la elevación, rotación y soporte de los motores y ruedas de lanzamiento. | 1. Soldadura MIG de tornillo a rodamiento y de rodamiento a Pin 1.<br>2. Ensamble de "Pines" con tornillos de ajuste.   |

*Nota.* La tabla muestra los procesos de fabricación para el subsistema de tracción.

Del mismo modo, se realiza la respectiva ficha de proceso para el siguiente subsistema, el *subsistema de alimentación*, como se ve en la **Tabla 33**.

**Tabla 33.**

*Ficha de procesos para el subsistema de alimentación*

| IMAGEN  | MATERIAL  | COMPONENTE   | PROCESO DE FABRICACIÓN  |
|---|---|--|---|
|    | Acero estructural Cold Rolled                     | Tapa frontal cangilones:<br>Lámina de acero que va atornillada a la estructura. Guía los ejes del elevador de cangilones.  | 1. Adquisición de material.<br>2. Corte con plasma CNC para darle la forma  |
|    | Acero estructural Cold Rolled                     | Carcasa elevador de cangilones:<br>Lámina cortada, doblada y soldada que protege el elevador de cangilones.  | 1. Adquisición de material.<br>2. Corte con plasma CNC para darle la forma<br>3. Doblado y soldado con soldadura MIG.   |
|    | Acero estructural A-36                            | Eje elevador de cangilones:<br>Eje de transmisión de movimiento del motor de cangilones, tensar y centrar la banda transportadora.   | 1. Adquisición del material.<br>2. Torneado de cilindrado en medio y refrentado en un extremo.<br>3. Perforado en ambos extremos<br>4. Corte de la pieza  |
|  | Acero estructural Cold Rolled                     | Canal de alimentación:<br>Lámina cortada y doblada que recibe los balones y los dirige al elevador de cangilones.  | 1. Adquisición del material.<br>2. Corte con cizalladora.<br>3. Doblado con dobladora.  |
|  | Acero estructural Cold Rolled                     | Canal de salida:<br>Lámina cortada y soldada que recibe los balones del elevador de cangilones y los lleva al subsistema de tracción.  | 1. Adquisición del material.<br>2. Corte con plasma CNC.<br>3. Doblado curvo<br>4. Soldado de partes con soldadura MIG  |
|  | Acero estructural Cold Rolled + acero estructural | Subsistema de alimentación:<br>Estructura vertical de láminas de acero que cuenta con dos ejes huecos que tensan una banda de transportadora de PVC con empujadores de plástico. | 1. Soldadura MIG del canal de salida a la carcasa del elevador de cangilones.<br>2. Soldadura MIG del canal de almacenaje a la tapa frontal.<br>3. Atornillado de tapa a subsistema estructural.<br>4. Ensamble del subsistema. |

**Nota.** La tabla muestra los procesos de fabricación para el subsistema de alimentación.

## 6. DESARROLLO DEL PROTOTIPO PARA LA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

En el presente capítulo se realizará la fabricación de la máquina para el rediseño realizado en el capítulo dos, y con sus procesos delimitados en el capítulo anterior, se plantea la realización de un prototipo funcional, dada las condiciones restrictivas de este presente 2020, no se alcanza a realizar la fabricación de la máquina tamaño real, por tal motivo se procede a fabricar un prototipo.

Dado que, se partió de un diseño innovador que se analizó, se diagnosticó y se rediseñó. Aun no se tiene la certeza y confianza de que el diseño sea funcional, y antes de iniciar una fabricación de un diseño que es nuevo y por más análisis teóricos que se realicen, es necesario realizar la fabricación de un prototipo para un diseño nuevo como lo dice la literatura:

“Se puede verificar la corrección o factibilidad de cualquier diseño hasta que esté construido y probado. Esto por lo general implica la construcción de un modelo físico del prototipo. Un modelo matemático, si bien es muy útil, nunca puede ser una representación completa y precisa del sistema físico real como un modelo físico, por la necesidad de simplificar las suposiciones. Los prototipos a menudo son muy caros, pero pueden ser la forma más económica de probar un diseño, sin tener que construir el dispositivo real de tamaño natural. Pueden adoptar muchas formas, desde modelos a escala de trabajo, hasta representaciones de tamaño natural, pero simplificadas, del concepto.”  
[11]

Siguiendo la base de un prototipo, se decide por realizar un modelo a escala de la máquina. Para realizarlo, si la máquina es una lanzadora de balones de voleibol, se debe de buscar un elemento que a escala sea lo más parecido posible a este producto o valor de entrada. Por tal motivo, se realiza la respectiva investigación y se encuentran los diferentes balones y pelotas usadas en el deporte internacional ordenadas por tamaño como se ve en la **Tabla 34**.

**Tabla 34.***Listado de balones y pelotas del deporte internacional*

| <b>Sport Ball Diameter, Sorted from Smallest to largest</b> |                   |                |   |
|---|-------------------|----------------|---|
| sport   | diameter (inches) | diameter (mm)  | notes   |
| Squash  | 1.56 to 1.59      | 39.5 to 40.5   |   |
| Table Tennis  | 1.6               | 40             | the size increased from 38 mm after the 2000 Olympic Games.   |
| Golf  | 1.68              | 42.67          | These are minimum sizes. The size changed from 1.62 inches in 1990.   |
| Jai Alai  | 2.2               | 55             |   |
| Racquetball   | 2.25              | 57             |   |
| Pool  | 2.25 to 2.375     | 57.15 to 60.33 |   |
| Carom billiards   | 2.42              | 61.5           |   |
| Lacrosse  | 2.5               | 63.5           |   |
| Tennis  | 2.575 to 2.700    | 65.41 to 68.58 |   |
| Pétanque  | 2 3/8" and 3 1/8" | 70.5 to 80     |   |
| Cricket   | 2.80 to 2.86      | 71.3 to 72.9   | 8 13/16 and 9 in (224 and 229 mm) in circumference  |
| Field Hockey  | 2.8 to 2.96       | 71.3 to 74.8   | circumference 224–235 mm (8.8–9.3 in)   |
| Baseball  | 2 7/8 to 3        | 73 to 76       |   |
| Pickleball  | 2.87 to 2.97      | 73 to 75.5     | according to official usapa rules   |
| Wiffle Ball   | 2.87 to 3.15      | 73 to 80       | approx. size  |
| Polo  | 3 to 3 1/2 inches | 76 to 89       | weighs 3 1/2 ounces (99 g) to 4 1/2 ounces (130 g).   |
| Croquet   | 3 5/8             | 92             |   |
| Softball  | 3.82              | 97.1           |   |
| Bocce   | 4.2               | 107            | the target ball size is from 40 to 60 mm  |
| Lawn Bowls  | 4 5/8 to 5 1/8    | 117.5 to 130.2 | lawn bowls are not a perfect sphere   |
| Shot Put  | 4.33 to 5.12      | 110 to 130     | men's weights   |
| Team Handball   | 7.3 to 7.5        | 185-191        | this is for the size III ball   |
| Volleyball  | 8.15 to 8.39      | 207 to 213     |   |
| Bowling   | 8.500 to 8.595    | 215.9 to 218.3 | this is the maximum size  |
| Football (Soccer)   | 8.5 to 8.8        | 216 to 223     | dimensions for a regulation size 5 ball.  |
| Korfball  | 8.5 to 8.8        | 216.5 to 224.4 | the size 5 ball for players >15 yrs. Size between 68cm and 70.5cm in circumference and weigh between 445g and 475g when fully inflated. |
| Water polo  | 8.5 to 8.9        | 216.5 to 226.0 | size 5 (used for male adults)   |
| Netball   | 8.9               | 226            |   |
| Basketball  | 9.4               | 238.8          | dimensions for a regulation size 7 ball.  |

**Nota.** La tabla muestra los diámetros para los balones y pelotas del deporte internacional. Tomado de: ROBERT WOOD, “Sports Ball Size Comparison”. Topend Sports Website. 2008 [En línea]. Disponible: <https://www.topendsports.com/resources/equipment-ball-size.htm>. [Consultado 13 de Octubre 2020]

Dimensionalmente se evidencia que la pelota más pequeña usada en el deporte internacional corresponde a una *pelota de Squash*. Sin embargo, para poder reducir a esas dimensiones la máquina se debe corroborar que hay relación entre un *balón de voleibol* y una *pelota de squash*. Para ello se realiza la siguiente comparación en la **Tabla 35**.

**Tabla 35.**

*Comparación de elementos de entrada*

| PROPIEDAD \ COMPONENTE | BALON DE VOLEIBOL      | PELOTA DE SQUASH |
|------------------------|------------------------|------------------|
| Diámetro (mm)          | 207 - 213              | 39.5 - 40.5      |
| Peso (g)               | 260 - 280              | 23 - 25          |
| Material               | Cuero, cuero sintético | Caucho butílico  |
| Presión (psi)          | 4.3 - 4.6              | N/A              |

**Nota.** La tabla muestra la comparación de propiedades para los dos elementos. Tomado de: DIMENSIONS.COM, “VOLLEYBALL”. Fantastic Offense. [En línea]. Disponible: <https://www.dimensions.com/element/volleyball#:~:text=The%20diameter%20of%20a%20volleyball,%E2%80%9D%20%7C%2020.7%2D21.3%20cm.&https://sites.google.com/site/squashballmaterials/>. [Consultado 14 de Octubre 2020]

Si bien, ambos elementos están fabricados en diferentes materiales, y que, el *balón de voleibol* cuenta con una presión interna dado que es un elemento al que se le inyecta aire para que este mantenga su circunferencia y peso según el estándar internacional, en contraste, la *pelota de squash* no tiene esa misma característica, sin embargo, revisando la fuente para la tabla anterior se encuentra que este último también cuenta con aire en su interior, pero este al no ser presurizado para inyectarse, no maneja presiones internas como se ve en la **Figura 92**.

**Figura 92.**

*Corte de una pelota de squash*



**Nota.** La figura muestra que en el interior la pelota es hueca y tiene aire en su interior. Tomado de: SQUASH BALLS, “Squash ball materials”. [En línea]. Disponible: <https://sites.google.com/site/squashballmaterials/>. [Consultado 14 de Octubre 2020]

Las *pelotas de squash* se fabrican mediante la extrusión del *caucho butílico* en dos semi esferas *vulcanizadas* que luego se unen mediante temperatura y presión para generar una adhesión y garantizar un buen acabado superficial. Los “hoyuelos” de las pelotas corresponden a la velocidad y grado de rebote que manejan (no son para inflar, dado que, no tienen válvula). Por consiguiente, manejan aire en el interior, pero este al tener la presión ambiental, puede comprimirse hasta que el material externo en su *resiliencia* lo permita.

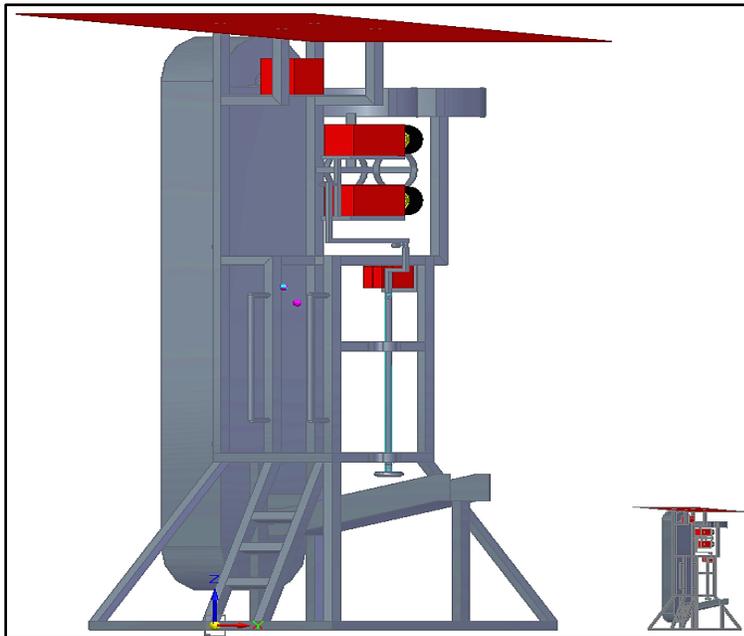
En consecuencia, se va realizar el prototipo para que lance pelotas de squash, o dicho de otra forma una máquina lanzadora de pelotas de squash (LAPESQ). Para realizar la proporcionalidad dimensional se realiza el respectivo cálculo para poder hacer el “escalado” a la máquina como se ve en la siguiente ecuación.

$$\frac{\text{Diámetro balón voleibol}}{\text{Diámetro pelota squash}} = \frac{213\text{mm}}{40.5\text{mm}} = 5.259$$

Se toma la proporción longitudinal o del diámetro para una escala de *1:5*, en donde, las piezas se reducirán hasta su quinta parte. Para ello se busca el método para escalar la máquina mediante el software de *Solid Edge 2020* como se ve en la **Figura 93**.

**Figura 93.**

*Máquina a escala 1:5 respecto a la original*



**Nota.** La figura muestra la máquina original (izquierda) y la máquina a escala (derecha).

A partir de la determinación de la escala a la cual se va a proporcionar las medidas para la fabricación del prototipo, se procede a “escalar” o reducir las dimensiones de los subsistemas vistos en el rediseño.

## **6.1 Escalado de subsistemas**

Se podría realizar la respectiva proporción en peso, tal como se vio en la **Tabla 35**, sin embargo, el peso de los balones es un factor que para fines de la fabricación de un prototipo se desprecia, dado que, al realizar el cambio de material de entrada (de balón a pelota), se tendrá que fabricar el prototipo en función del tamaño de la *pelota de squash*.

### **6.1.1 Escalado del subsistema estructural**

Se iniciaría la fabricación del prototipo con el *subsistema estructural*, ya que, al ser la sección de la máquina que se va a encargar de sostener los demás subsistemas y piezas del prototipo, se requiere de su fabricación primero para después adquirir los componentes que se encuentren en el mercado y acoplarlos a esta estructura metálica.

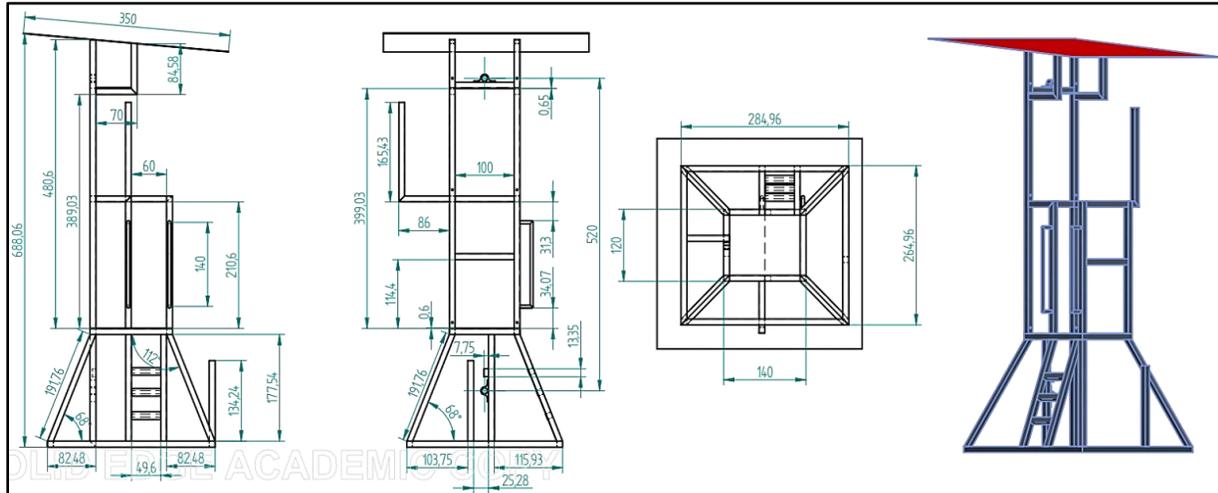
Para el perfil estructural, al realizar el respectivo escalado, se pasa de un perfil de **50x50x1,5mm** a uno de **10x10x0,15mm**, sin embargo, no se consigue un perfil de esas dimensiones. Se encuentran dos opciones: una varilla cuadrada maciza de **10x10mm** o un perfil estructural cuadrado de  $\frac{1}{2}$ ” de lado, es decir, de **12,7mmx12,7mm** y de espesor **1,5mm**, asegurando un espesor igual al de la máquina en tamaño real, por lo tanto, la soldadura se comportaría de manera análoga.

Dado que la estructura real es con este tipo de perfil “hueco”, se decide por utilizar la segunda opción para ser lo más aproximado a la estructura real, el escalado de este subsistema se muestra en la **Figura 94**.

Para este subsistema se tiene que la parte inferior (base/falda) se debe de soldar y que los demás perfiles irán atornillados. Sin embargo, al ser una estructura “pequeña” dados sus **688mm** o **70cm** de alto si se aproxima dicha medida, se puede emplear soldadura para ensamblar toda la estructura en consecuencia de que los tornillos de la parte superior son para que la máquina (tamaño real) sea “modular”, desarmable y su transporte sea sencillo, este prototipo al ser de una escala reducida no cuenta con ese inconveniente.

**Figura 94.**

*Subsistema estructural escalado*



**Nota.** La figura muestra las dimensiones del subsistema estructural escalado.

### 6.1.2 Escalado del subsistema de potencia

Se continúa con el escalado de los motores y ruedas de lanzamiento, quienes, se encargarían del funcionamiento primario para la máquina que es el lanzamiento de pelotas. Con base en lo realizado en la sección 4.1.1 acerca del rediseño del *subsistema de potencia* se selecciona un motor de **0,4hp** o de **298,08W** que aproximado son **300W**. Si se les realiza el escalado sería dividir esa potencia entre cinco (5) como se ve en la siguiente **Tabla 36**.

**Tabla 36.**

*Escalado del subsistema de potencia*

| PROPIEDAD             | VALOR | VALOR ESCALA | VALOR PROTOTIPO |
|-----------------------|-------|--------------|-----------------|
| Potencia real (W)     | 300   | 0.20         | 60              |
| Distancia real (m)    | 18.9  | 0.20         | 3.78            |
| Velocidad real (Km/h) | 120   | 0.20         | 24              |

**Nota.** La tabla muestra los valores para el motor del prototipo.

Con base en la tabla anterior se obtiene que se requiere de un motor eléctrico de **60W** para el prototipo. La mayoría de estos motores si se realiza su investigación se acoplan en el frente del motor (donde se encuentra el eje), como se ve en la **Figura 95**, por lo que el diseño de los “pines”, en especial el **Pin 3** se verá afectado para la instalación de dicho motor.

**Figura 95.**

*Motor eléctrico DC 60W*

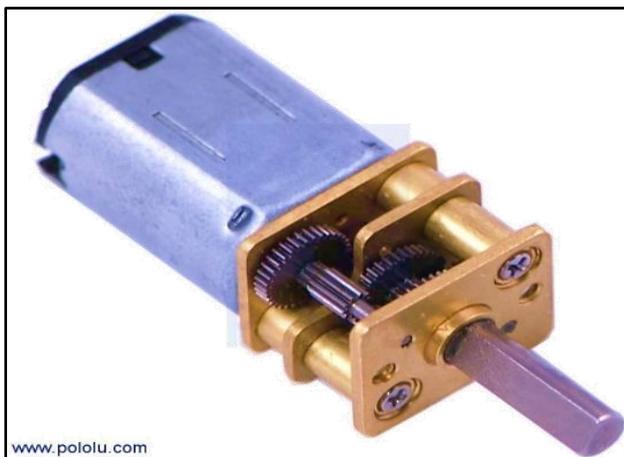


**Nota.** La figura muestra un posible motor para el prototipo. Tomado de: BRUCEBINKLEY, “Mabuchi 775 Motor De 12v - 24v/4000 - 8000 Rpm”. Mercado libre. [En línea]. Disponible: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-574014419-mabuchi-775-motor-de-12v-24v4000-8000-rpm-\\_JM/](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-574014419-mabuchi-775-motor-de-12v-24v4000-8000-rpm-_JM/). [Consultado 16 de Octubre 2020]

Con base en que no se van a emplear *variadores de frecuencia* en el prototipo, para conseguir un motor que opere a **10Hz** como se tiene seleccionado el motor para el elevador de cangilones, se puede conseguir un *motorreductor* que es un motor eléctrico que cuenta con una “caja reductora” que es un sistema de *piñones* que reducirán la velocidad de entrada, dando velocidades más “lentas” que otros motores como se ve en la **Figura 96**.

**Figura 96.**

*Motorreductor eléctrico*



**Nota.** La figura muestra un motorreductor eléctrico de 6V y de 625RPM. Tomado de: POLOLU, “Motorreductor de metal HP 50:1”. Electronilab. [En línea]. Disponible: <https://electronilab.co/tienda/motorreductor-de-metal-hp-50-1/>. [Consultado 16 de Octubre 2020]

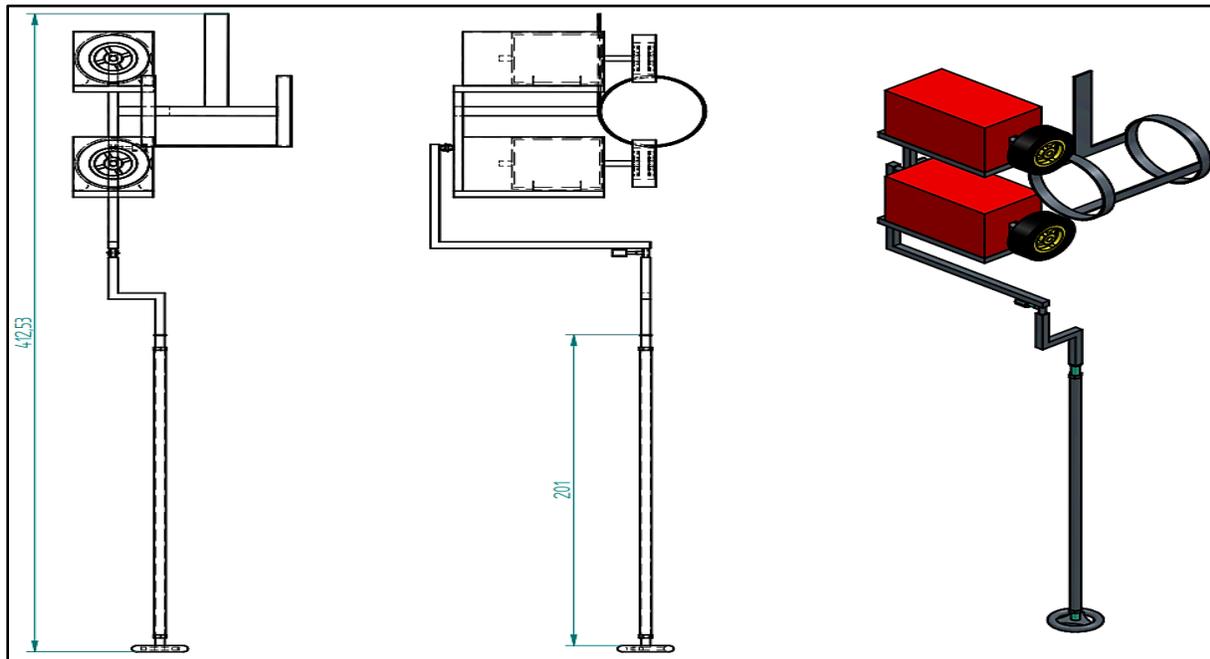
Así mismo, este motor ira acoplado a dos ruedas de fricción, que al inicio de la sección **4.1.2** se selecciona una rueda de **PVC** de **151mm** de diámetro, que si se realiza el escalado da como resultado una rueda de **30,2mm** de diámetro.

### **6.1.3 Escalado del subsistema de tracción**

Del mismo modo, para el **subsistema de tracción** se tenía seleccionado en la sección **4.1.2** un tornillo de elevación de rosca **M20 paso 2,5**, la cual, realizando su debido proceso de escalado se tendría que conseguir un tornillo de rosca **M4** como se ve en la **Figura 97**.

**Figura 97.**

*Subsistema de tracción escalado*



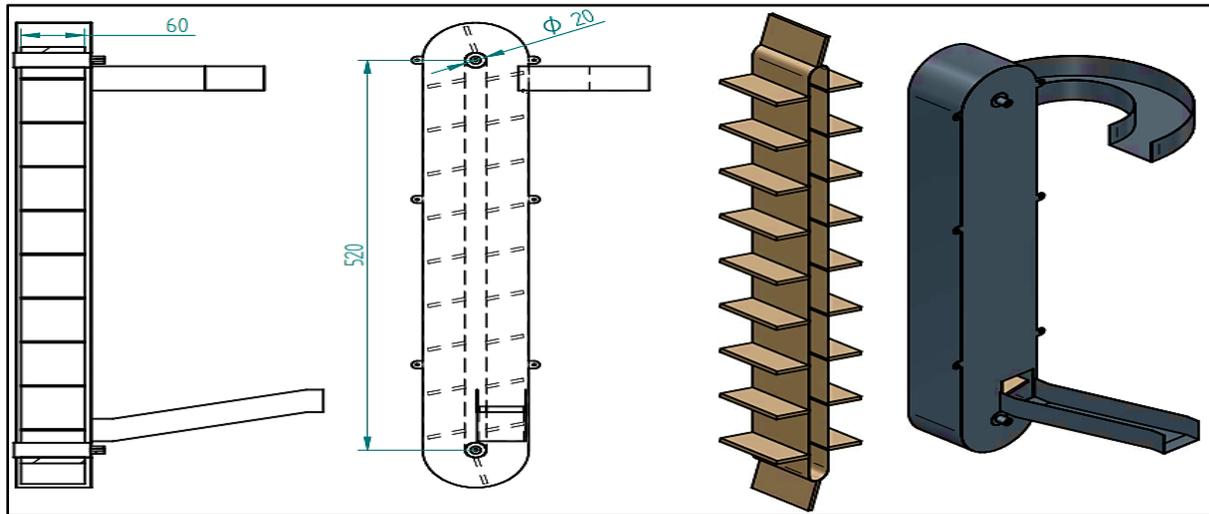
*Nota.* La figura muestra la altura del subsistema y el largo del tornillo de elevación.

### **6.1.4 Escalado del subsistema de alimentación**

Continuando con el escalado de la sección **4.1.3**, se tendrían que escalar los ejes y conseguir una banda transportadora con empujadores de dicho tamaño escalado, así como fabricar la carcasa, tapa y canaletas en lámina de acero de **1mm** de espesor a tamaño escala como se ve en la **Figura 98**.

**Figura 98.**

*Subsistema de alimentación escalado*



**Nota.** La figura muestra que se requiere de una banda de 60mm de ancho y dos ejes de 20mm de diámetro.

Para el escalado de la máquina parece sencillo en solamente multiplicar sus dimensiones por la quinta parte (20%), pero al momento de buscar y conseguir cada uno de los componentes y realizar el respectivo trabajo de campo para: el inicio, el proceso y la conclusión de la fabricación se encontrará que no todos los componentes se podrán obtener y que se buscara adaptar lo que se pueda adquirir comercialmente para la realización de un prototipo funcional.

## **6.2 Adquisición de componentes para la fabricación del prototipo**

La fabricación iniciara por la estructura y progresivamente por el resto de subsistemas de la máquina. Sin embargo, para los demás subsistemas se debe hacer un escalado de los componentes o buscar una proporción de las piezas que no se fabrican, sino que se adquieren, tales como:

- ⊕ Tornillos y tuercas del subsistema de tracción
- ⊕ Motores y ruedas del subsistema de potencia.
- ⊕ Banda transportadora con empujadores del subsistema de alimentación.
- ⊕ Variadores de frecuencia del subsistema de control.

En esta sección se realiza el respectivo “trabajo de campo” en el cual, en medio de la coyuntura global de una pandemia, se tiene que salir fuera de la vivienda tomando las precauciones de bioseguridad para realizar las respectivas cotizaciones, indagaciones, compra y obtención de los componentes que no requieran de fabricación.

A partir de lo realizado en el capítulo cinco (3) y del respectivo escalado de componentes, se procede a la adquisición de los componentes para la fabricación y ensamblaje del prototipo. Para los perfiles estructurales del *subsistema estructural* se requieren de perfiles de  $\frac{1}{2}$ " , a diferencia de la máquina real, en el prototipo se requieren de solo **6m** de tubería de este perfil, se adquieren desde el mismo servicio de soldadura, en LAMITECH (ver **Figura 91**) como se ve en la **Figura 99**.

**Figura 99.**

*Perfil estructural para el prototipo*



**Nota.** La figura muestra la comparación de tamaños para el perfil original y el perfil escalado. Foto suministrada por LAMITECH.

Para el *subsistema de potencia* se procede a realizar la respectiva cotización y compra de motores eléctricos de **60W**, a pesar de, conseguir motores de esas especificaciones en la zona de la Carrera 9na con Calle 19 del centro de Bogotá, se encuentran motores como los de la **Figura 95** que, si bien cumplen las especificaciones, cuentan con un eje bastante pequeño o delgado para el lanzamiento de las *pelotas de squash* como se ve en la **Figura 100**.

**Figura 100.**

*Motores eléctricos DC de 60W en el mercado*



**Nota.** La figura muestra el eje del motor de 60W respecto a la pelota de squash.

De modo que, se pueda aumentar la longitud y/o el diámetro del eje del motor mediante un eje torneado, este no tiene como acoplarse al eje de ese tipo de motor, entonces se consiguen dos **motores DC** de **110V** en la tienda DISIPADOR ELECTRÓNICO, estos motores deben de ir conectados a unos respectivos “puentes rectificadores”, que son componentes eléctricos para mantener la corriente constante para el motor eléctrico, como se ve en la **Figura 101**.

**Figura 101.**

*Motores adquiridos para el prototipo*



**Nota.** La figura muestra dos motores de 110V DC de 75W

Por tanto, se adquieren motores cuya potencia es mayor a la “escalada” se cuenta que el eje de estos motores es de **8mm** y que se les puede acoplar diversos acoples para el ensamble de las ruedas de fricción. Sin embargo, no se evidencia que en el “escalado” de la potencia de los motores este desproporcionado.

$$0,4hp * \frac{745,7W}{1 hp} = 298,28W$$

$$75W * \frac{1hp}{745,7W} = 0.1hp$$

$$0,5hp * 0.2 = 1hp$$

Para las ruedas de lanzamiento se adquieren ruedas de **50,8mm** de diámetro o de 2” en la empresa **RODACHINES INDUSTRIALES y CIA LTDA**, si bien por cálculos las ruedas dan de diámetro de **30mm**, se decide por usar estas, dado que son una aproximación a las ruedas reales, aparte que en el mercado no se consiguen ruedas más pequeñas, como se ve en la **Figura 102**.

**Figura 102.**

*Ruedas provenientes de rodachines más pequeñas del mercado*



**Nota.** La figura muestra las ruedas más pequeñas ofrecidas, se selecciona la rueda morada.

Si bien, para la selección de las ruedas en la figura anterior se ve que la rueda negra inferior derecha es la más pequeña, esta está fabricada por polímeros termoplásticos en un solo molde. Se selecciona la rueda morada, dado que, cuenta con núcleo de un material y banda de otro. La rueda verde tiene un rodamiento que incurriría en extraerlo y en fabricar un acople para la rueda u el motor. La rueda morada tiene un diámetro para eje de **6,35mm** o **¼”**.

Para los componentes del **subsistema de tracción** se adquieren en LAMITECH, donde, también se cuenta con un tornillo para la elevación, pero no es de rosca **M4**, sino de **3/8”** como se ve en la **Figura 103**. Tal como se vio en la **Figura 101**, los motores adquiridos tienen su respectivo acople o agujeros para tornillo en la cara del motor, por lo que el **Pin 3** deberá ser rediseñado para el prototipo, manteniendo el diseño para la máquina real.

### Figura 103.

*Tornillo de elevación adquirido*



*Nota.* La figura muestra un esparrago roscado para adecuarlo como tornillo de elevación.

Con respecto al *subsistema de alimentación* se adquiere el respectivo motorreductor, por otro lado, teniendo en cuenta lo sucedido en la adquisición de los motores de lanzamiento para el *subsistema de potencia*, se procede a buscar un motorreductor de **10Hz** que tenga un eje al cual se le puedan acoplar accesorios y que tenga la suficiente potencia para mover una banda transportadora. De la misma tienda de la cual se adquirieron los otros motores se obtiene este motorreductor con piñones en acero y eje “acoplable” como se ve en la **Figura 104**.

### Figura 104.

*Motorreductor adquirido como motor del elevador de banda transportadora*



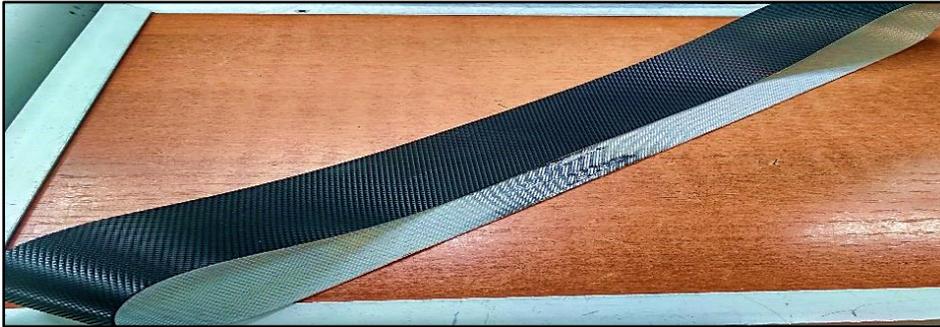
*Nota.* La figura muestra un motorreductor de 50RPM 24V y 0,9A.

Este motor cuenta con **50RPM** lo que lo haría más rápido que los **10Hz** que se tenían establecidos, pero, se requieren realizar las respectivas pruebas en la puesta a punto para verificar la frecuencia de los lanzamientos. Este motor no cuenta con “puente rectificador”, sino con un adaptador de corriente que no es más que un transformador eléctrico.

Para la banda transportadora se adquiere una correa a escala de la banda en la empresa **TODOBANDAS S.A.S.**, donde se manda fabricar una correa sin fin **STER 0708** como se ve en la **Figura 105**.

**Figura 105.**

*Banda transportadora fabricada*



**Nota.** La figura muestra la banda fabricada, unida y vulcanizada. Suministrado de **TODOBANDAS S.A.S.**

Por otra parte, para que en el prototipo se pueda experimentar la alimentación automática de las pelotas por medio de “empujadores” se procede a solicitarlos a la empresa. No obstante, estos componentes no se fabrican para tamaños tan reducidos y no se pueden adherir a correas sino a bandas transportadoras como se ve en la **Figura 106**.

**Figura 106.**

*Empujadores para bandas transportadoras*



**Nota.** La figura muestra empujadores planos, pero también se consiguen inclinados. Suministrado de **TODOBANDAS S.A.S.**

Esta banda con sus respectivos empujadores será accionada por el motorreductor adquirido, por su parte, se requiere de un acople para ubicar la banda sobre el eje del motorreductor en la parte superior y un rodillo o eje en la parte inferior. Para tal fin dentro de la tienda donde se compraron

los motores, se solicitan rodillos y un acople para este motor y se obtienen lo siguiente como se ve en la **Figura 107**.

**Figura 107.**

*Eje del motorreductor para el elevador de cangilones*

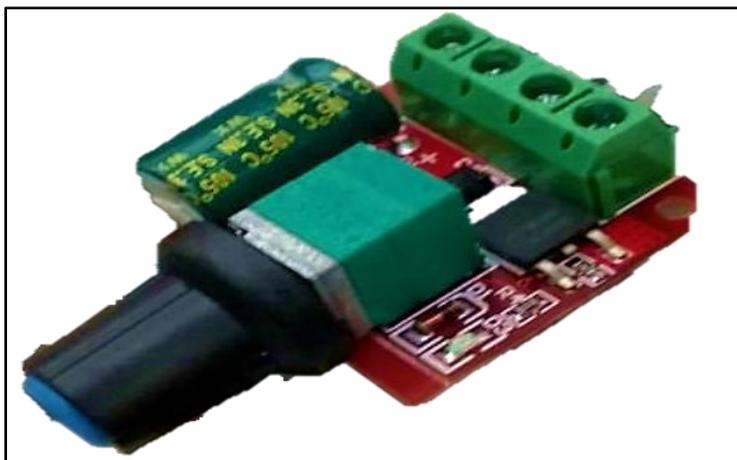


**Nota.** La figura muestra un rodillo que se acopla mediante un tornillo al usillo del motorreductor y este permite la rotación de la banda transportadora.

Para el *subsistema de control* se consiguen dos interruptores de dos posiciones, uno para el motorreductor y otro para los dos motores de lanzamiento, puesto que, ambos deben de encender simultáneamente. Como no se consiguen variadores de frecuencia para esta escala de máquina, los únicos efectos de lanzamiento que tendrá el prototipo serán los de la elevación del disparo y los del cambio de inclinación por medio de los “pines”. Sin embargo, se consiguen variadores de voltaje o “Dimmers” para estos motores como se ven en la **Figura 108**.

**Figura 108.**

*Dimmer o variador de velocidad*



**Nota.** La figura muestra un Dimmer DC de 4,5V-35V.

Finalmente, se realiza la adquisición de una lámina de *policarbonato* para el techo de la estructura, se compra en tiendas de grandes superficies y se consigue una lámina de *4mm* de espesor y de *60x120cm*, por lo cual se tendrá de cortar para anclarse como techo y protección del prototipo como se ve en la **Figura 109**.

### **Figura 109.**

*Lámina para el techo del prototipo*



*Nota.* La figura muestra una lámina de policarbonato de color bronce para protección de luz ultravioleta.

Ya habiendo adquirido la mayoría de los componentes según lo que se pudo conseguir en el mercado, se procede con la fabricación de la estructura y demás componentes que no se obtienen del mercado.

### **6.3 Proceso de fabricación del prototipo**

Para la fabricación de la máquina lanzadora de pelotas de squash (LAPESQ), se procede a realizar el acuerdo con el personal técnico de la empresa LAMITECH, en donde, su propietario, el técnico Jaime Paiba estará a cargo de los procesos técnicos y permitirá la documentación de la fabricación, los cuales, ya se han tratado en el capítulo cinco (5), como se ve en la **Figura 110**.

### Figura 110.

*Empresa solicitada para la fabricación del prototipo*



*Nota.* La figura muestra la información del lugar y del técnico encargado de la fabricación del prototipo.

Con base en la **Figura 94** a modo de plano, se inicia con el proceso de fabricación del *subsistema estructural* tomando como material el perfil tubular cuadrado de  $\frac{1}{2}$ " tal como se vio en la **Figura 99** y que según lo visto en la sección **5.1.1** se realizarán los respectivos cortes con sierra de disco o tronzoadora como se vio en la **Figura 75**.

Se inicia con el corte de las *Viga Base 1*, *Viga Base 2*, *Columna Base Soporte*, *Viga Plataforma 1* y *Viga Plataforma 2*, las cuales se miden respecto al plano suministrado al personal técnico, se acomoda el perfil en la sierra y posteriormente se realiza el corte a  $90^\circ$  como se ve en la **Figura 111**.

### Figura 111.

*Proceso de corte inicial para la base*



*Nota.* La figura muestra el proceso de corte a  $90^\circ$  para la base inferior o falda.

Así pues, realizados los cortes iniciales se van contrastando con las medidas suministradas y se revisa las proporciones de las piezas como se ve en la **Figura 112**.

### Figura 112.

*Revisión de los cortes de los perfiles para la base*



**Nota.** La figura muestra cómo se van ubicando la viga base 1, viga base 2, viga plataforma 1 y viga plataforma 2.

De modo que, ya se tienen estos cuatro tipos de vigas diferentes, se procede a realizar el corte a 45°, en donde, primero se afloja el tornillo de ajuste de la guía de corte, se ajusta en el ángulo deseado y se realiza el corte como se ve en la **Figura 113**.

### Figura 113.

*Proceso de corte angular a 45°*



**Nota.** La figura muestra cómo quedan las vigas después del corte angular.

Del mismo modo, se cuadran las vigas de modo que se garantice que el corte angular genere una alineación perpendicular o “a escuadra” según los planos de medidas o bosquejos como se ve en la **Figura 114**.

### Figura 114.

*Revisión de los cortes angulares a 45°*



**Nota.** La figura muestra como los cortes angulares generan un marco para la base.

En vista de la calidad del corte angular para estos perfiles (ver **Figura 111**), se deben de pulir o limpiar las caras de los perfiles para remover material sobrante o “rebaba” para asegurar que la cara esta lisa y se garantice un contacto completo entre caras. Para tal tarea, se emplea una herramienta de remoción de estas rebabas conocida como pulidora y se realiza el proceso de adecuación como se ve en la **Figura 115**.

**Figura 115.**

*Limpieza de asperezas en los cortes angulares*



*Nota.* La figura muestra el proceso de remoción de material extra indeseado o pulido.

En consecuencia, de haber realizado el proceso anterior, se garantiza una mejor alineación entre piezas y es necesario para el siguiente proceso, la soldadura. Para ello, se hace uso de una máquina para soldar tipo MIG de la cual se revisó en la sección **5.2**, que para fines de la fabricación se observa el respectivo proceso en la **Figura 116**.

**Figura 116.**

*Proceso de soldadura a los cortes angulares*



*Nota.* Para la soldadura de esta sección se realiza un solo punto de unión, dado que después se soldarán las columnas base soporte.

Dado que, las *columnas base soporte* manejan una inclinación de  $60^\circ$  según la **Tabla 28** este corte resulta muy complejo y específico de realizar, para dar tal inclinación se decide por realizar varias remociones de material utilizando la pulidora para poder generar alineación entre ambos “marcos” y generar la base “piramidal” o falda como se ve en la **Figura 117**.

**Figura 117.**

*Pulido de las columnas soporte base*



*Nota.* La figura muestra la adecuación del perfil estructural a la inclinación de  $60^\circ$ .

Posteriormente, se realiza el proceso de soldadura de estas cuatro piezas a los dos marcos previamente soldados para generar la base del *subsistema estructural* como se ve en la **Figura 118**.

**Figura 118.**

*Proceso de soldadura para la base inferior o falda*

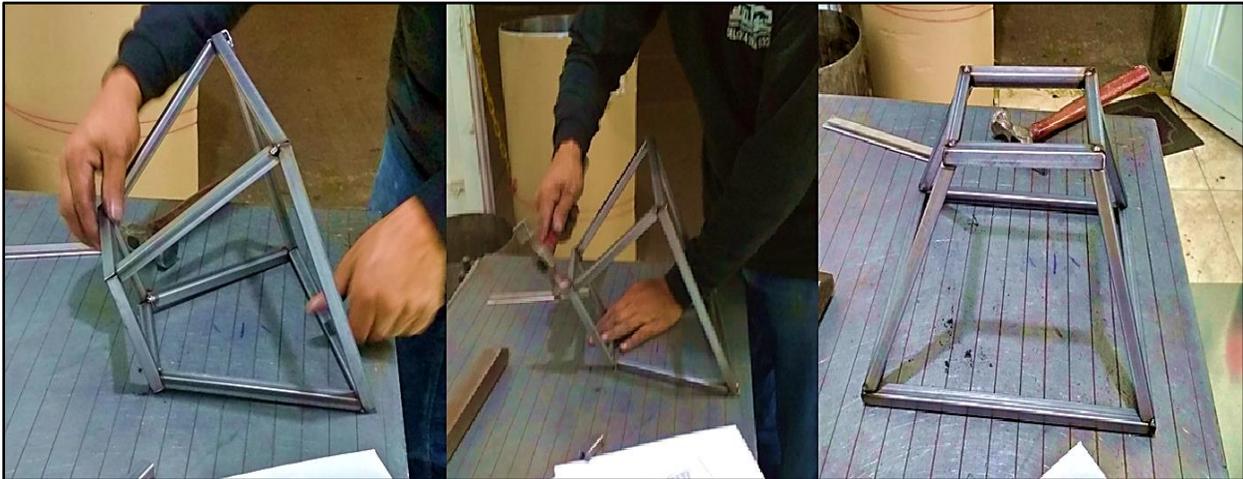


*Nota.* La figura muestra la unión por soldadura de la base inferior del subsistema estructural.

Como previamente se había anunciado, las uniones por soldadura para estas piezas se realizan con un solo punto, dado que, si no se obtiene la alineación deseada, el nivelado de la estructura y las distancias medidas, mediante esos únicos puntos de unión se pueden mover las piezas de tal forma que se alineen de forma requerida, para ello se pueden emplear una base plana y un martillo para “aplanar” las caras de la base inferior, como se ve en la **Figura 119**.

**Figura 119.**

*Nivelado de la base inferior de la estructura*



**Nota.** La figura muestra la adecuación de la base inferior o falda para que quede alineada según planos.

Finalmente, dado de que se requiere que la base inferior pueda soportar una carga viva de dos estudiantes aproximado a **150Kg**, que de manera “escalada” sería de **30Kg**. Sin embargo, dentro del taller de LAMITECH no se cuenta con un elemento de dicho peso y para ese momento los gimnasios estaban cerrados por la coyuntura global.

Ya teniendo una base segura, resistente y soldada del *subsistema estructural*, se continua con la fabricación soldando las *columnas principales 2*, *viga motor cangilón*, *columna motor cangilón*, *columna principal 1*, *viga superior*, *viga superior auxiliar* y *viga superior auxiliar espejo*.

De modo que, *viga motor cangilón* y *columna motor cangilón* son piezas cortas si se revisa la **Figura 94**, estas se soldán primero a las *columnas principales 2* y se pule la soldadura como se ve en la **Figura 120**.

**Figura 120.**

*Adición de soportes del motor cangilón*



**Nota.** La figura muestra el proceso de soldadura y pulido para los perfiles que soportan el motor del elevador de cangilones.

Por consiguiente, se facilita la unión de estos perfiles soldados a la base inferior o falda, teniendo en cuenta que deben de quedar con una alineación perpendicular ( $90^\circ$ ) como se ve en la **Figura 121.**

**Figura 121.**

*Soldadura de primeras columnas a la base inferior*



**Nota.** La figura muestra la unión de las columnas principales 2 junto con los soportes para el motor cangilón.

Del mismo modo, se realiza la soldadura para *columna principal 1, viga superior, viga superior auxiliar y viga superior auxiliar espejo* aparte uniendo solamente las piezas mencionadas como se ve en la **Figura 122.**

**Figura 122.**

*Proceso de soldadura angular para columnas y vigas superiores*



*Nota.* La figura muestra la soldadura de los perfiles previamente cortados angularmente.

De la manera análoga, se realiza la unión de estos perfiles angulares “en L” a la base inferior de la estructura, garantizando su perpendicularidad con la misma y generando así un marco superior de soporte como se ve en la **Figura 123**.

**Figura 123.**

*Unión de los componentes superiores del subsistema estructural*

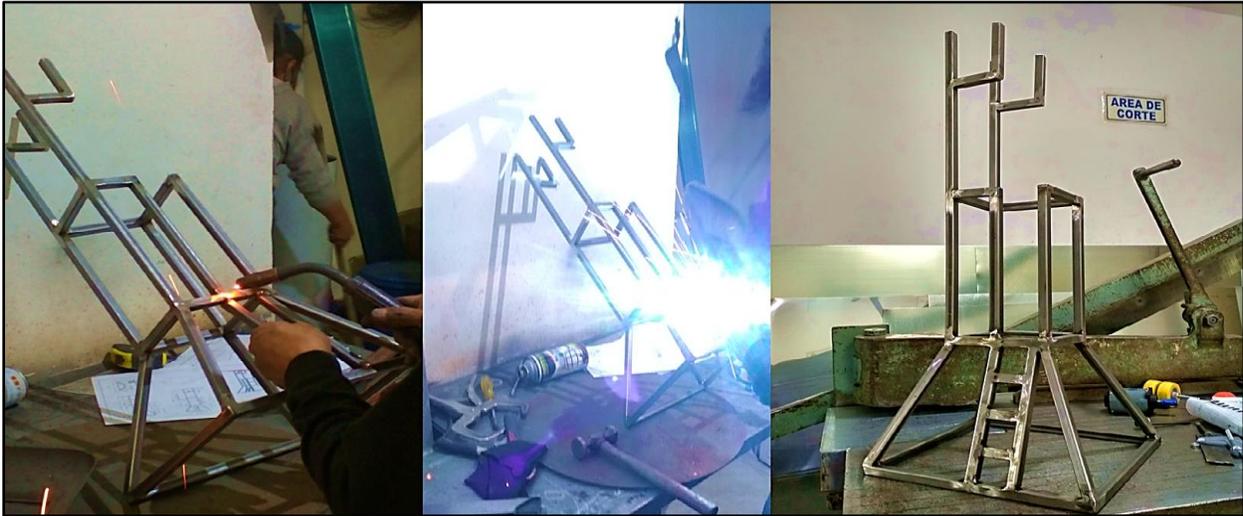


*Nota.* La figura muestra el avance de la fabricación del subsistema estructural.

Finalmente, se realiza la soldadura de la escalera de ingreso a la máquina, que, a pesar de ser un prototipo a escala y no podrá realizarse el ingreso a la máquina, aun así, se realiza esta adición para realizar una aproximación más cercana al modelo real como se ve en la **Figura 124**.

**Figura 124.**

*Adición de la escalera al subsistema estructural*

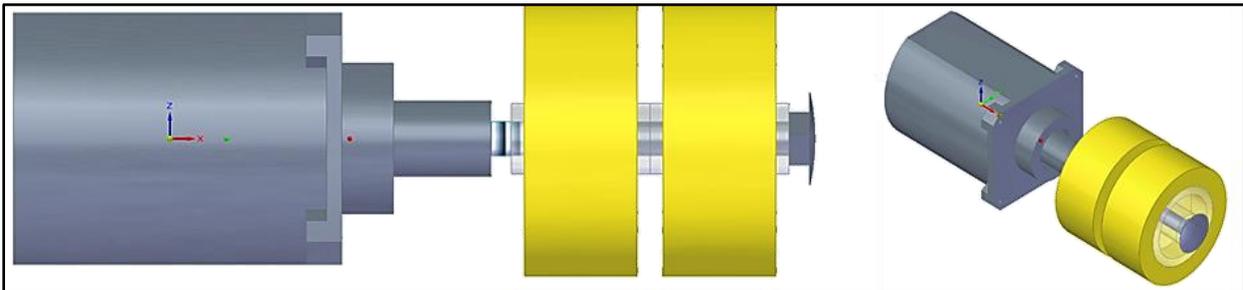


*Nota.* La figura muestra el subsistema estructural finalizado.

Para la fabricación del *subsistema de tracción* se tuvo que realizar un cambio al diseño previsto, dado que los motores que se adquirieron resultaron ser mucho más pesados, más potentes y más grandes que los que se habían calculado teóricamente para la escala (ver **Figura 95**). Por tal motivo se modelan los motores anclados a sus respectivas ruedas de fricción, es decir, modelar el *subsistema de potencia* escalado como se ve en la **Figura 125**.

**Figura 125.**

*Modelado CAD del motor, eje y ruedas de fricción del prototipo*



*Nota.* La figura muestra el modelado del subsistema de potencia a escala.

Al revisar la figura anterior se observa que se cuenta con doble rueda de lanzamiento, se argumenta esta inclusión, dado que, con una sola rueda no se garantiza un lanzamiento controlado por la forma del ancho de la rueda, que cuenta con una línea de unión o rebaba en la parte central de la misma. Y que al contar con ese espacio entre ruedas “vacío” podrá generarse una succión mejor entre las ruedas y la pelota, facilitando la tracción de los motores.

Como resultado de lo anterior mencionado se debe de realizar el cambio del *subsistema de tracción* para el prototipo. Por fortuna, dentro de las máquinas encontradas en el mercado (Ver **Figura 3**) se encuentra la máquina *Skill attack* que, si se revisa la **Tabla 2**, es la máquina más pequeña del mercado como se ve en la **Figura 126**.

**Figura 126.**

*Máquina Skill attack*



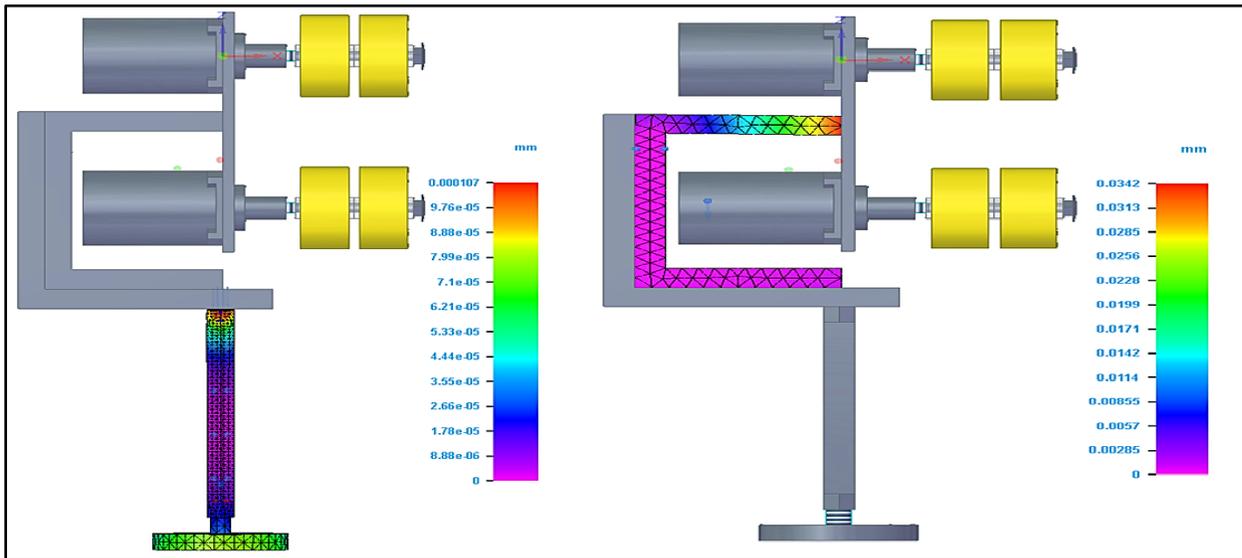
**Nota.** La figura muestra la máquina Skill Attack de la empresa SPORTS ATTACK. Tomado de: SPORTSATTACK, “SKILL ATTACK”. Sports Attack, LLC. [En línea]. Disponible: <https://sportsattack.com/product/skill-attack-volleyball-machine/> [Consultado 25 de Octubre 2020]

Con base en la figura anterior, se toma el diseño de los soportes para los motores, que a simple vista parecen ser similares a los seleccionados, sin embargo, la información acerca de los motores de lanzamiento para las máquinas lanzadoras de balones de voleibol del mercado no muestra dicha característica por cuestiones de patentes y confidencialidad.

Se realiza un modelado CAD de los nuevos “pines” tomando como diseño base el de la **Figura 126** pero adaptándolo al diseño realizado en el capítulo cuatro (2), se seleccionan tubos del mismo perfil del subsistema estructural y se realiza la respectiva simulación numérica como se ve en la **Figura 127**.

**Figura 127.**

*Simulación numérica de un posible cambio al subsistema de tracción*

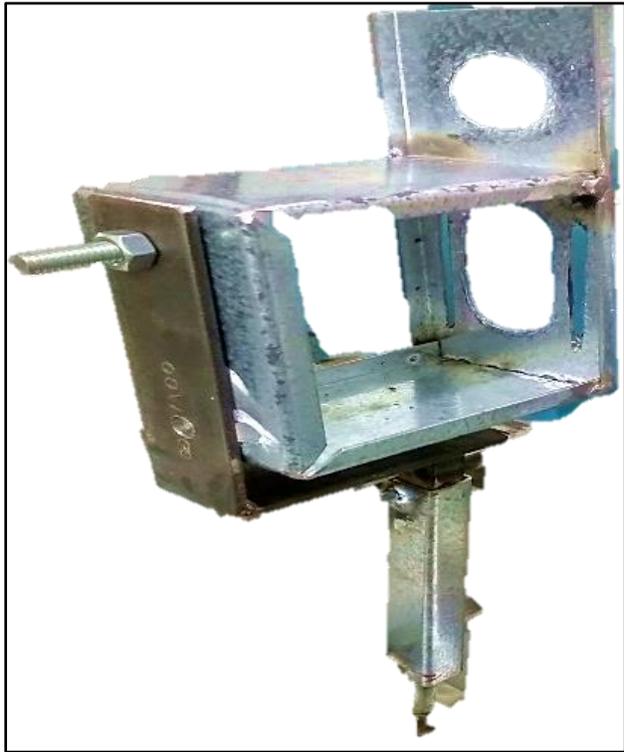


**Nota.** La figura muestra la deformación para el tornillo (izquierda) y la deformación para el pin de giro (derecha)

Sin embargo, llegando a un acuerdo con el personal técnico de LAMITECH se decide por utilizar láminas de acero de **1mm** de espesor para realizar una “caja” que soporte a los dos motores tanto en la cara de los mismos, como en sus lados inferiores, así mismo, en la “caja” realizar una corredera para el efecto de giro de los motores en el plano Y como se ve en la **Figura 128**.

**Figura 128.**

*Cambio del subsistema de tracción*



*Nota.* La figura muestra el nuevo subsistema de tracción para el prototipo.

Para los empujadores de la versión escalada de la máquina se solicita al personal de **TODOBANDAS S.A.S.** que se le adhieren unas barras de polímero blanco que sirvan de empujadores y que puedan rotar en los ejes de los motorreductores como se ve en la **Figura 129.**

**Figura 129.**

*Adición de empujadores a la banda transportadora*



*Nota.* La figura muestra el proceso de adición de los polímeros blancos a la banda transportadora. Suministrado de **TODOBANDAS S.A.S.**

Para finalizar la fabricación falta el *subsistema de alimentación*, este se realiza siguiendo las medidas a escala para su corte en lámina de acero de *1mm* tal como se tiene el espesor para los componentes tamaño real, por otro lado, al realizar la adquisición de la *banda transportadora* o correa para el prototipo, se hizo hincapié en un “tensor” para la banda, que resulta ser bastante necesario y que no se especifica en el manual de instalación en el documento suministrado, por tal motivo, se fabrica un tensor con una varilla, platinas y tornillos en la parte inferior de la estructura como se ve en la **Figura 130**.

**Figura 130.**

*Tensor para la banda transportadora de tornillos*



*Nota.* La figura muestra el tensor creado para el prototipo.

De modo que, se ubicó el tensor creado para la banda transportadora en la parte inferior del *subsistema estructural*, más precisamente debajo de la plataforma, y si se revisa la **Figura 72** que corresponde a la máquina rediseñada se cuenta con el *canal de entrada* en ese lugar donde ahora está el tensor, por lo que se debe de cambiar de ubicación. Se realiza el corte, doblado y soldado de una primera carcasa para el elevador por banda transportadora como se ve en la **Figura 131**.

**Figura 131.**

*Fabricación de la carcasa de elevación*



*Nota.* La figura muestra la carcasa de elevación sin el canal de entrada y el de salida.

Para la ubicación de dichos canales se procede a realizar el ensamblaje de los subsistemas al *subsistema estructural* y realizar el montaje del prototipo.

#### **6.4 Ensamblaje de los subsistemas del prototipo**

En consecuencia, de que los nuevos motores adquiridos requirieron de un rediseño del *subsistema de tracción*, como se vio en la **Figura 128**, al acoplar dicho subsistema al *subsistema estructural* se denota una desproporción en el tamaño, según muestra la **Figura 132**. Se toma como excusa de que no se contó con las dimensiones de los motores finales al momento de realizar la fabricación de la estructura.

**Figura 132.**

*Instalación del subsistema de tracción*



*Nota.* La figura muestra el anclaje del subsistema de tracción al subsistema estructural.

Se continua con los motores de lanzamiento, parte fundamental de la máquina, y que realizaran la función primaria, para ello se realizó la búsqueda de un elemento o “acople” como se le conoce en el mercado para que se pueda extender su eje, y que, si se ve la **Figura 101**, estos cuentan con un eje corto de **8mm** y de **18mm** de largo, por lo cual, es necesario instalarle un usillo para que las ruedas de lanzamiento puedan rodar solidariamente al motor como se ve en la **Figura 133**.

**Figura 133.**

*Ensamble del subsistema de potencia*



*Nota.* La figura muestra cómo se acoplarían las ruedas de lanzamiento a los motores de lanzamiento.

Una vez instalado el *subsistema de tracción* se pueden acoplar los motores de lanzamiento y el motor de elevación correspondientes al *subsistema de potencia* tal como aparecen en la **Figura 133**.

**Figura 134.**

*Instalación del subsistema de potencia*



*Nota.* La figura muestra la inclusión de los tres motores y las cuatro ruedas de fricción.

Por otro lado, se procede a acoplar la carcasa del elevador del *subsistema de alimentación* aprovechando que ya se tiene el tensor (ver **Figura 130**) y el motor de elevación como se muestra en la **Figura 134**.

**Figura 135.**

*Instalación de la carcasa y banda transportadora*



*Nota.* La figura muestra el elevador de banda transportadora y dos empujadores.

Con base en la figura anterior, se puede revisar la altura a la cual ira instalado el *canal de salida* para continuar con el ensamblaje del *subsistema de alimentación* según se ve en la **Figura 135**.

**Figura 136.**

*Adición del canal de salida*



*Nota.* La figura muestra la ubicación del canal de salida del elevador.

En vista que al incluir el tensor fabricado para este prototipo en el lugar donde estaría el *canal de entrada*, se genera el interrogante de una nueva ubicación para suministrarle pelotas al elevador y así realizar el lanzamiento automático. En un primer intento para esta carcasa se coloca dicho elemento en la parte lateral según se muestra en la **Figura 136**.

### **Figura 137.**

*Inclusión del canal de salida*



**Nota.** La figura muestra el acople del canal de salida a la altura de la plataforma.

Una vez instalados los tres subsistemas: potencia, tracción y alimentación, se continua con la respectiva puesta a punto o pruebas de funcionamiento para determinar el desempeño de la máquina y a su vez implementar el *subsistema de control*.

### **6.5 Puesta a punto del prototipo**

Con el cambio en el diseño para el *subsistema de tracción* en función del prototipo, se busca garantizar el funcionamiento de los nuevos “pines”, donde, se omite el *Pin 2* y se restringe la rotación de los motores de forma horizontal o en el plano Z, pero se mantiene el *Pin 3* que permite la rotación de los motores en el plano Y como se ve en la **Figura 138**.

**Figura 138.**

*Rotación del nuevo Pin 3*



*Nota.* La figura muestra el efecto de lanzamiento de rotación de los motores en el eje Y.

Por otro lado, el *tornillo de elevación* no sufrió cambios en la fabricación del prototipo, por lo cual, se realiza la respectiva prueba para la elevación de los pines que sujetan al *subsistema de tracción* y por consiguiente a los motores de lanzamiento como se ve en la **Figura 139**.

**Figura 139.**

*Ensayo del tornillo de elevación en prototipo*

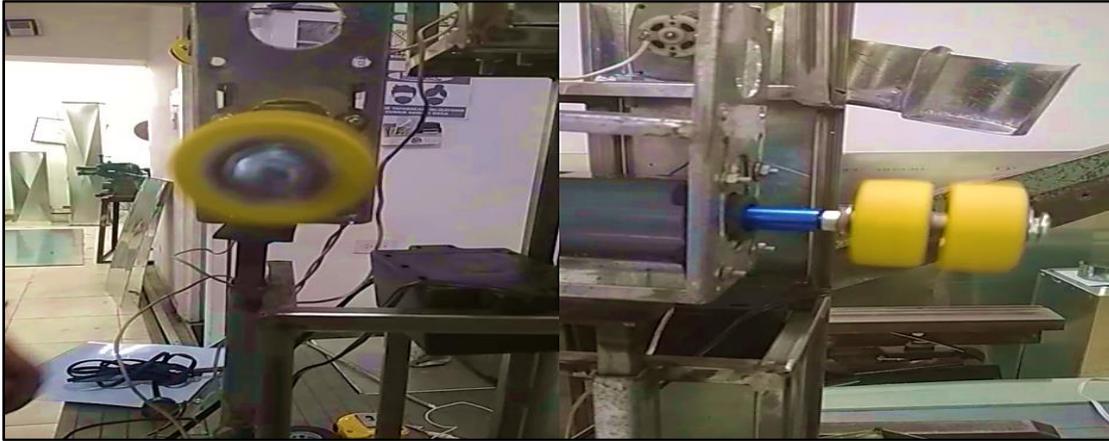


*Nota.* La figura muestra la elevación de los motores con el tornillo de elevación.

Se le realizan las respectivas pruebas a uno de los motores de lanzamiento y se evidencia que los acoples conseguidos (cilindros azules) no están generando el suficiente ajuste para el eje de varilla que se le coloca para sostener a las ruedas de fricción dando como resultado una vibración excesiva y una desalineación de los motores como se ve en la **Figura 140**.

### **Figura 140.**

*Prueba de los motores de lanzamiento*



*Nota.* La figura muestra cómo se defleca el eje acoplado para las ruedas de lanzamiento.

Finalmente se realiza la respectiva prueba al elevador por banda transportadora con dos empujadores de polímeros como se muestra en la **Figura 141**.

### **Figura 141.**

*Prueba de elevación de pelotas*



*Nota.* La figura muestra que la pelota se squash se adhiere a la pared de la carcasa.

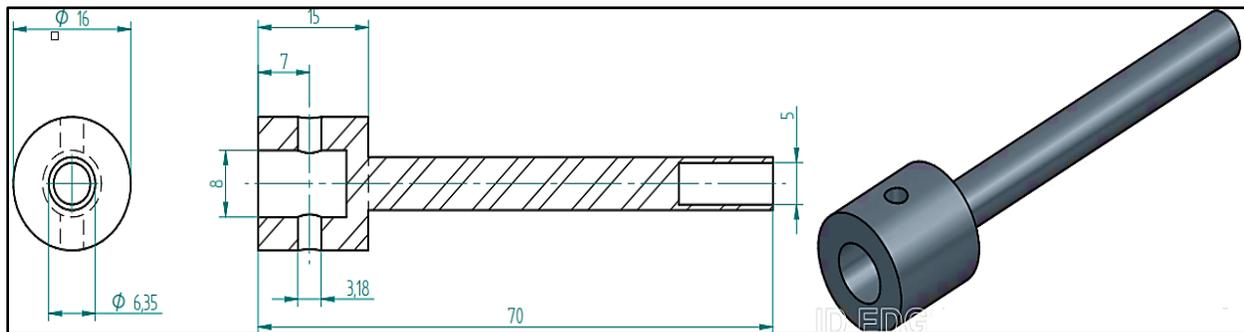
A partir de lo visto en las dos figuras anteriores se determina que se deben de tomar acciones para mejorar el desempeño del prototipo para llegar a un funcionamiento más aproximado a lo que se desea obtener en una fabricación y pruebas del diseño en tamaño real. Así mismo, se toman medidas para superar dichos percances.

### 6.5.1 Mejoramiento del subsistema de potencia

Para corregir la desalineación de los motores de lanzamiento se requiere conseguir un eje específico para este tipo de motor, dado que, este motor es de origen chino y su diámetro de **8mm** no es muy común conseguir accesorios o acoples en el mercado. Por lo que se decide de adquirir un servicio de torno y realizar la fabricación de un eje a medida del motor como se ve en la **Figura 142**.

**Figura 142.**

*Eje diseñado para los motores de lanzamiento*



**Nota.** La figura muestra parte del plano para la fabricación del eje para los motores de lanzamiento.

Se realiza la búsqueda del personal técnico para manejo de torno, ya que, dentro de la empresa LAMITECH no se cuenta con el equipo para tal fin. Se realiza el torneado de dos ejes para los motores en un taller de torno de la empresa SERVICIO TORNO PARA METALES ubicados en la Avenida Rojas. Se fabrican los respectivos ejes como se ve en la **Figura 143**.

**Figura 143.**

*Ejes torneados para motores y ruedas*

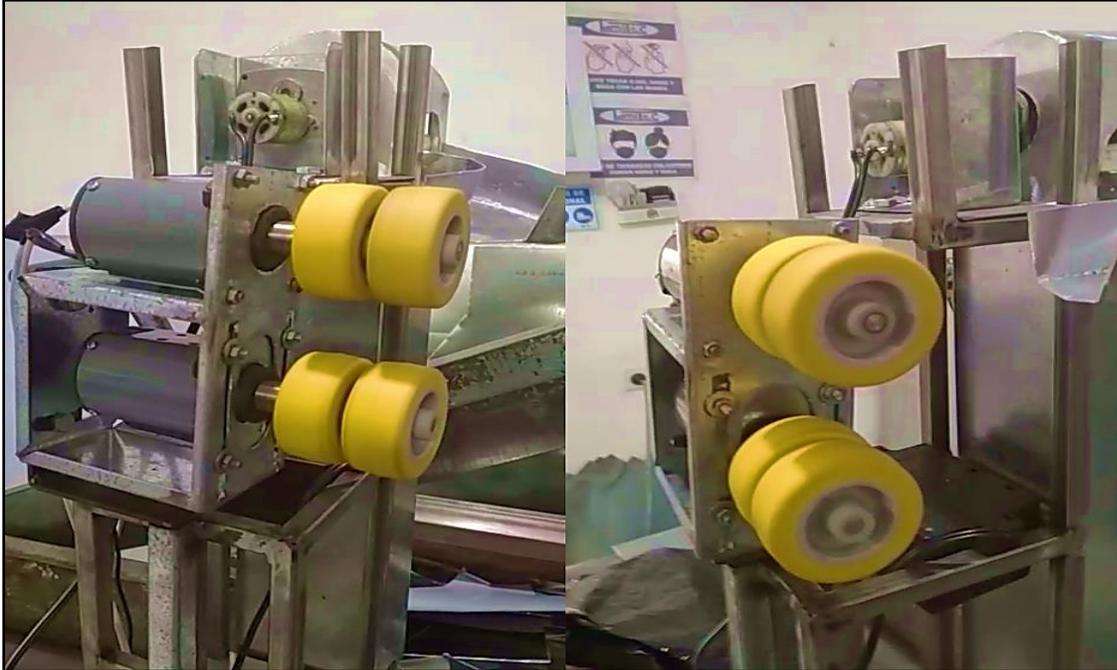


**Nota.** La figura muestra el acople de los nuevos ejes para los motores fabricados en torno.

Con la fabricación de los nuevos ejes, se mitiga la vibración, se garantiza la alineación y se protegen los motores de lanzamiento como se ve en la **Figura 144**.

**Figura 144.**

*Funcionamiento de los motores de lanzamiento con los nuevos ejes*



*Nota.* La figura muestra el subsistema de potencia con los nuevos ejes.

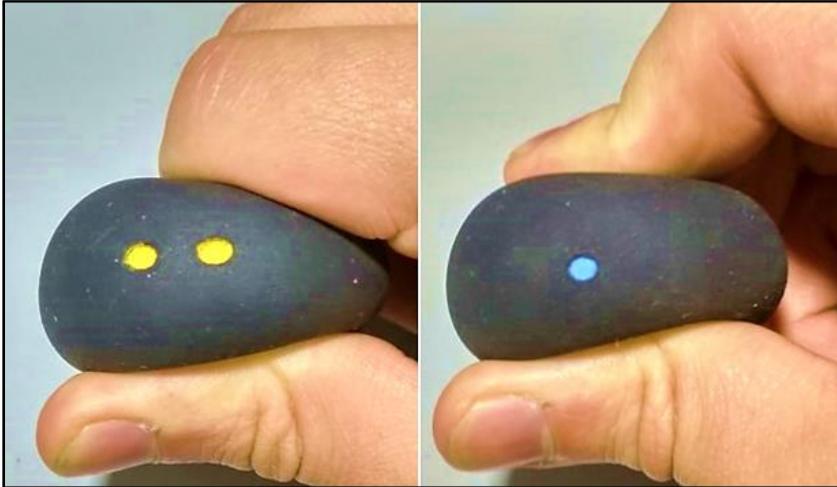
Del mismo modo, se reduce la tensión en los tornillos de anclaje de los motores. Estos ejes al estar fabricados en acero rápido HSS torneados en una sola pieza, garantizan que no se deflecten cuando estén comprimiendo la pelota para efectuar el lanzamiento, ni por daños por fatiga.

**6.5.2 Mejoramiento del subsistema de alimentación**

A partir de lo visto en la introducción de este capítulo, la pelota de squash resulta ser muy diferente a un balón de voleibol o a cualquier pelota que se le pueda inyectar aire. Se realiza la adquisición de dos tipos de pelotas de squash, una de dos puntos amarillos que corresponde a pelotas para profesionales para bajo rebote y de un solo punto azul que son para principiantes que son de alto rebote. Con base en el rebote de la pelota se podría afirmar que la de mayor rebote es menos compresible, sin embargo, al revisarlas se encuentra que ambas son igualmente compresibles como se ve en la **Figura 145**.

**Figura 145.**

*Prueba de compresibilidad a las pelotas de Squash*

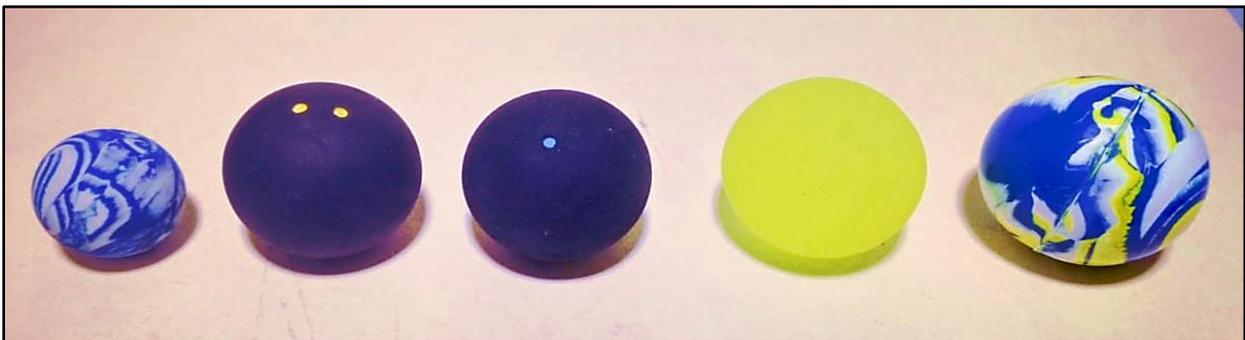


**Nota.** La figura muestra que la compresibilidad de ambas pelotas se similar, dado que, el material es el mismo.

A partir del comportamiento que se da en la **Figura 141** se realiza la compra de diferentes pelotas, como se ve en la **Figura 146**, con diferentes propiedades a parte de las mencionadas pelotas de squash, pero que se aproximen al mismo tamaño, dado que, las pelotas de squash con muy compresibles al tener aire a presión atmosférica en su interior y su material genera demasiada fricción por lo que se opta por realizar pruebas con distintos tipos de pelota de ese tamaño.

**Figura 146.**

*Pelotas adquiridas para realizar las pruebas*



**Nota.** La figura muestra una pelota “loca” de 30mm de diámetro (azul/blanco), pelotas de squash (negras), pelotas “locas” grandes (amarilla) y pelota de goma (azul/amarillo).

De las pelotas de la figura anterior, las pelotas “locas” grandes son de un diámetro bastante cercano a las pelotas de squash siendo de **42mm** a comparación de los **40,5mm** que se tienen registrados

en la **Tabla 34**. Se prueban dichas pelotas que se muestran en la **Figura 147**, lamentablemente obteniendo un resultado similar a la **Figura 141**.

**Figura 147.**

*Pelotas "locas" de 42mm de diámetro*

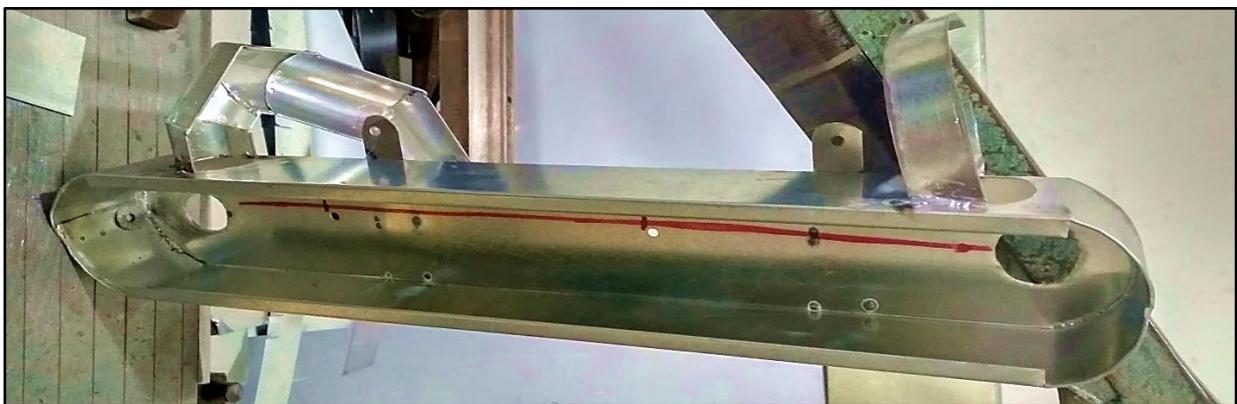


**Nota.** La figura muestra que el acabado superficial para este tipo de pelota tiene una rugosidad que se aprecia mediante la reflexión de la luz.

A raíz de que inclusive con el cambio de pelota el resultado fue insatisfactorio, se intentan realizar cambios en la *carcasa de elevación* tales como: reducir la distancia entre la banda y la pared de la carcasa, inclinar la carcasa y/o instalar una lámina en la mitad de la misma como “alma” para que la banda no se “doble” al momento que hacer contacto con la pelota. Sin embargo, dichos intentos resultaron de forma insatisfactoria, la carcasa inicial se descarta como se muestra en la **Figura 148**.

**Figura 148.**

*Carcasa prototipo versión uno*



**Nota.** La figura muestra un primer prototipo de carcasa para el prototipo de la máquina. La línea roja evidencia la inclusión del “alma”.



**Figura 150.**

*Primera prueba de elevación por banda y empujadores para pelota de goma lisa*

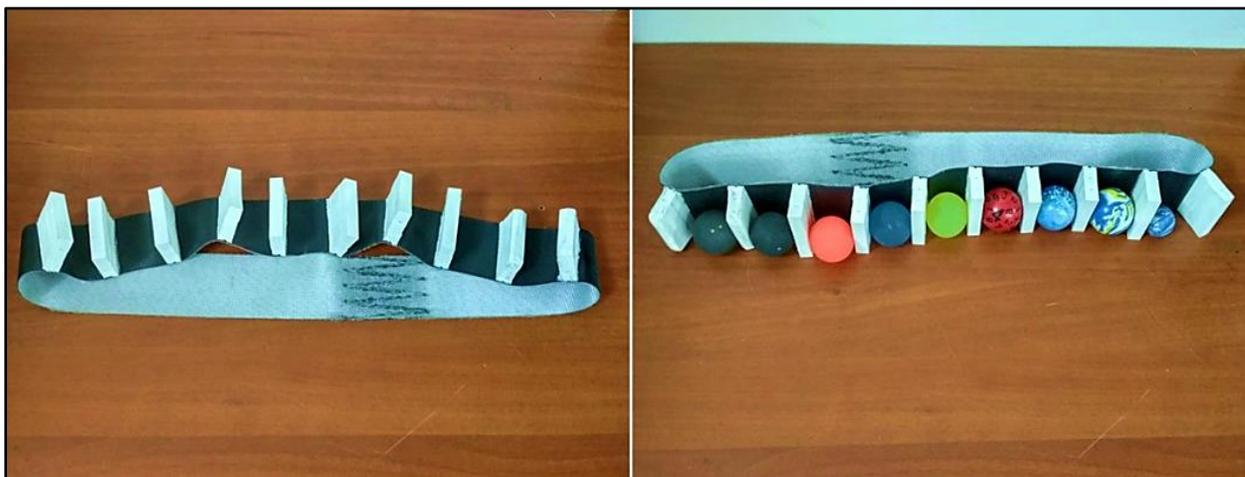


*Nota.* La figura muestra la prueba de elevación exitosa para la pelota de goma lisa.

Ya habiendo probado incluso con esta segunda carcasa, se decide por incluir más empujadores de polímero, pero si se revisa el diseño son 20 en total para una capacidad de **10 balones**, se deberían tener empujadores para cuatro balones, no obstante, se decide por agregar ocho empujadores de más para tener una capacidad de nueve empujadores en total y así evitar que las pelotas rueden por la carcasa y deformen la banda transportadora como se ve en la **Figura 151**.

**Figura 151.**

*Adición de ocho empujadores a la banda transportadora*



*Nota.* La figura muestra la banda con nueve empujadores de polímero.

Para corregir la elevación de las pelotas de squash se modula la velocidad del motorreductor mediante el *Dimmer*, ver **Figura 108**, para que este gire a los **10Hz** que se tienen en el manual de operación del documento suministrado para el diseño [1], además de que, si se rota más rápido, la pelota de squash tiende a adherirse a la pared metálica como se vio en la **Figura 141**. Se alimentan dos pelotas de squash de distinta referencia, una de dos puntos amarillos y otra un solo punto azul y se realiza la elevación con los **10 empujadores** a bajas revoluciones y con una carcasa diferente como se ve en la **Figura 152**.

**Figura 152.**

*Segunda prueba de elevación de pelotas de squash con 10 empujadores*



**Nota.** La figura muestra una elevación exitosa para las pelotas de squash.

Con base en la imagen anterior, se procede a realizar las respectivas pruebas de elevación para los dos tipos de pelotas. Se realiza la prueba para las pelotas “locas” rugosas, las cuales, se cuentan con un total de 12 pelotas, sin embargo, se realiza la prueba con solo cuatro pelotas para tener mayor control de la elevación como se ve en la **Figura 153**.

**Figura 153.**

*Segunda prueba de elevación para las pelotas "locas" rugosas*



**Nota.** La figura muestra una elevación exitosa para las pelotas “locas” rugosas.

De modo que la prueba de elevación para las pelotas de goma lisa fue exitosa con la velocidad normal del motorreductor, disminuyendo dicha velocidad mediante el *dimmer* obtuvo el mismo resultado. Para concluir con las pruebas de elevación empleando la reducción de la velocidad del motorreductor, la carcasa nueva y la banda con 10 empujadores, se procede a realizar una prueba de elevación para los tres tipos de pelota al mismo tiempo como se ve en la **Figura 154**.

**Figura 154.**

*Prueba de elevación para los tres tipos de pelota*



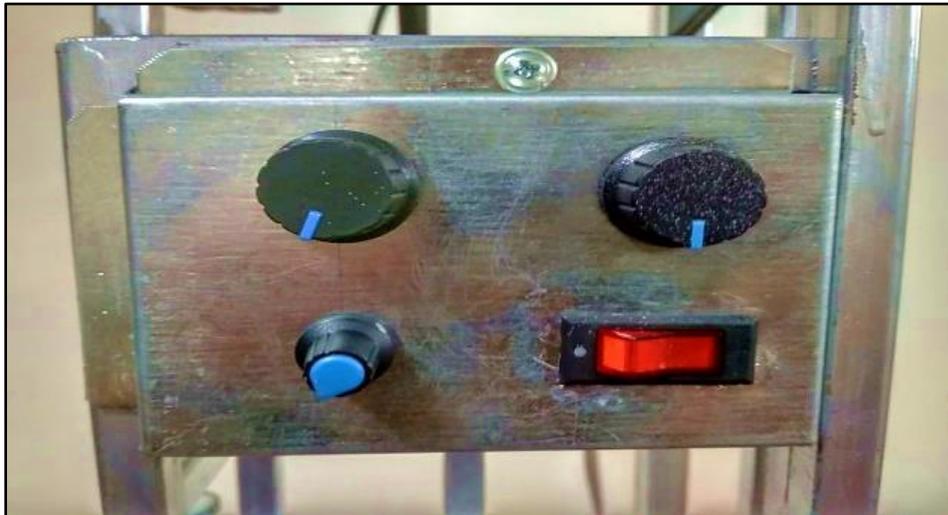
**Nota.** La figura muestra una elevación exitosa para los tres tipos de pelota: goma lisa, squash y pelota “loca” rugosa.

Una vez corregido los problemas de elevación de las pelotas, se finaliza con las pruebas de funcionamiento del propósito primario de este prototipo y diseño, el lanzamiento de balones, pero para este caso del prototipo, serán lanzamiento de pelotas.

Se realiza finalmente el ensamble del *subsistema de control* a modo de panel para manejo de los motores del prototipo por medio de dos *dimmers AC* para los motores de lanzamiento, un dimmer DC para el motor de elevación y solo un interruptor como pulsador de seguridad y control como se ve en la **Figura 155**.

### **Figura 155.**

*Subsistema de control para el prototipo*



*Nota.* La figura muestra el panel de control con tres Dimmers y un interruptor de dos posiciones.

#### **6.5.3 Pruebas de lanzamiento del prototipo**

Ya habiendo realizado múltiples pruebas al elevador con empujadores, solamente queda el funcionamiento primario de la máquina. Con base en la **Figura 144**, se realizó una primera prueba de lanzamiento para la pelota de squash, dado que, es la más compresible y tiene mayor fricción de las tres, se pensaba que se iba a atorar entre las ruedas o que no se podría realizar un lanzamiento, caso contrario al realizar la prueba y evidenciarlo en el **Figura 156**.

**Figura 156.**

*Primera prueba de lanzamiento para pelota de squash*



**Nota.** La figura muestra una prueba inicial del lanzamiento para la pelota de squash.

Para dicha prueba de Squash se tomó la evidencia en video, y después de medir la distancia entre la máquina y la hoja que estaba sobre la máquina dobladora, se determinó que fue de **3m** y después de revisar varias veces el video y corroborar con pruebas realizadas después, se registró que el tiempo promedio en recorrer esa distancia fue de **0,33segundos** o **33centesimas de segundo**.

Por lo cual, se realiza el respectivo cálculo de velocidades para determinar la velocidad que tienen los motores lanzando una pelota de squash.

$$V = \frac{\text{Distancia}}{\text{tiempo}} = \frac{3m}{0,33s} = 9.0909 \frac{m}{s}$$
$$V = 9.0909 \frac{m}{s} * \frac{1Km}{1000m} * \frac{3600s}{1h} = 32.7272 \frac{Km}{h}$$

Con base en la **Tabla 4** se hace referencia a que las velocidades de lanzamiento están en un rango de **80-120Km/h** y que si se realiza el cálculo a escala da como resultado un rango de velocidad de **16-24Km/h** tal como se vio en la **Tabla 36** sin embargo, al seleccionar dichos motores por su tamaño y tipo de acople en lugar de haber realizado el respectivo cálculo para determinar el motor correcto para lanzar las pelotas de squash, dicho calculo no se sustenta.

Por otro lado, aunque se hubiera realizado el cálculo para seleccionar el motor para el prototipo, quizá no se encuentre en el mercado, sea necesario fabricarlo a medida, o posiblemente su eje no permita acoples por medio de accesorios. Por tal motivo no se realizó dicho cálculo, además de que lo que se quería demostrar con el prototipo era la funcionalidad del eje, las ruedas, los pines y demás piezas que tendrían su aproximación.

Se procede a realizar las pruebas de lanzamiento para los dos tipos de pelota restantes y se realiza su toma de tiempo y distancia para calcular su respectiva velocidad y contrastarla con la velocidad del lanzamiento para la pelota de squash como se ve en la **Figura 157**.

**Figura 157.**

*Prueba de lanzamiento para la pelota "loca"*



**Nota.** La figura muestra el lanzamiento para la pelota “loca” rugosa color naranja.

De manera análoga, se toma una distancia de **3m** y se registra el tiempo que le toma a la bola en recorrer dicha distancia y el promedio del tiempo fue de **0,43segundos** y se realiza el respectivo cálculo de velocidad.

$$V = \frac{\text{Distancia}}{\text{tiempo}} = \frac{3m}{0,43s} = 6.9767 \frac{m}{s}$$

$$V = 6.9767 \frac{m}{s} * \frac{1Km}{1000m} * \frac{3600s}{1h} = 25.1163 \frac{Km}{h}$$

Del mismo modo, se realiza la prueba de lanzamiento para las pelotas de goma lisa y se realiza la misma medición de distancia y tiempo mediante registro de video y flexómetro, como se ve en la **Figura 158**.

**Figura 158.**

*Primera prueba de lanzamiento para pelota de goma lisa*



**Nota.** La figura muestra el lanzamiento para una pelota de goma lisa de color azul.

Así mismo, se realiza la medición con cronometro y el tiempo promedio fue de **0,605segundos** en recorrer los respectivos **3m**, se realiza el cálculo de la velocidad para este tipo de pelota

$$V = \frac{\text{Distancia}}{\text{tiempo}} = \frac{3m}{0,605s} = 4.9587 \frac{m}{s}$$

$$V = 4.9587 \frac{m}{s} * \frac{1Km}{1000m} * \frac{3600s}{1h} = 17.8512 \frac{Km}{h}$$

Al realizar estas tres pruebas de lanzamiento se concluye que la pelota más compresible de todas, la pelota de squash, fue la más veloz en comparación con las demás, precisamente esta pelota aparte de la compresibilidad es la de menor diámetro y menor peso y mayor fricción tiene respecto a las otras pruebas de lanzamiento, estos resultados se resumen en la siguiente **Tabla 37**.

**Tabla 37.**

*Resultados de las pruebas de lanzamientos*

| TIPO DE PELOTA | DIÁMETRO (mm) | COMPRESIBILIDAD | FRICCIÓN | PESO (gr) | VELOCIDAD (m/s) |
|----------------|---------------|-----------------|----------|-----------|-----------------|
| Squash         | 40            | Alta            | Alta     | 25        | 32,7272         |
| “Loca” rugosa  | 42            | Media           | Media    | 28        | 25,1163         |
| Goma lisa      | 43            | Baja            | Baja     | 32        | 17,8512         |

**Nota.** La tabla muestra la comparación de las pruebas de lanzamiento para los tres tipos de pelotas usados.

Con base en la tabla anterior, se hace la respectiva analogía de las pelotas empleadas respecto a los balones de voleibol, las cuales son:

- ☹ Las pelotas de squash serian una aproximación a balones de voleibol muy desgastados y desinflados.
- ☹ Las pelotas “locas” rugosas serian una aproximación a balones de voleibol con el cuero desgastado, pero con poco uso.
- ☹ Las pelotas de goma lisas serian un aproximado a balones de voleibol nuevos recién adquiridos e inflados según la normativa internacional.

Hasta este punto podría decirse que ya se evidencia el funcionamiento del prototipo de una máquina lanzadora de balones de voleibol, no obstante, dado que se pudo lograr una fabricación y ensamble aproximado de todos los subsistemas, se pueden realizar demás pruebas, tales como:

- ☹ Lanzamientos automáticos, mediante el uso del elevador con empujadores.
- ☹ Elevación de los motores mediante el tornillo de elevación.

- ⊕ Rotación de los motores mediante los tornillos de ajuste y los “pines” rediseñados para el prototipo.
- ⊕ Ajustando las velocidades del motor mediante el panel de control.

Se inicia entonces con los lanzamientos automáticos, con base en la **Figura 154** que se realiza una prueba exitosa de la alimentación de los tres tipos de pelota, se procede a alimentar los tres tipos de pelota a la espera de un lanzamiento para la misma cantidad, siguiendo el diagrama de caja negra como se vio en la **Figura 2**, este lanzamiento se aprecia en la siguiente **Figura 159**.

### **Figura 159.**

*Prueba de lanzamiento automático de pelotas*



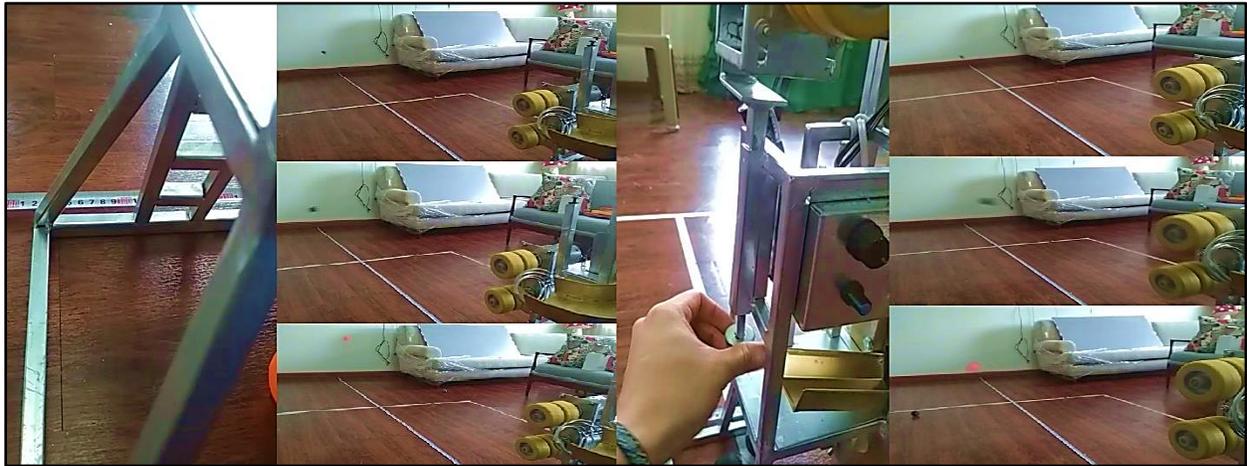
**Nota.** La figura muestra el lanzamiento automático para los tres tipos de pelotas en el orden: goma lisa, squash y pelota “loca” rugosa.

Cabe destacar que, aunque se haya probado que se pudo realizar un lanzamiento automático, fueron múltiples pruebas las que se realizaron para poder llegar a este resultado, dado que, dentro de las pruebas realizadas, se vuelve a encontrar el problema de fricción con la pelota de squash como se evidencio en la **Figura 141**.

Continuando con las pruebas se pasa a realizar los ajustes de elevación de los motores, así como se vio en la **Figura 138**, esta vez se realiza la prueba comparando las distancias que alcanzan a ocupar los tipos de pelota si se modula la altura del lanzamiento como se ve en la **Figura 160**.

**Figura 160.**

*Elevación de los motores mediante el tornillo de elevación*

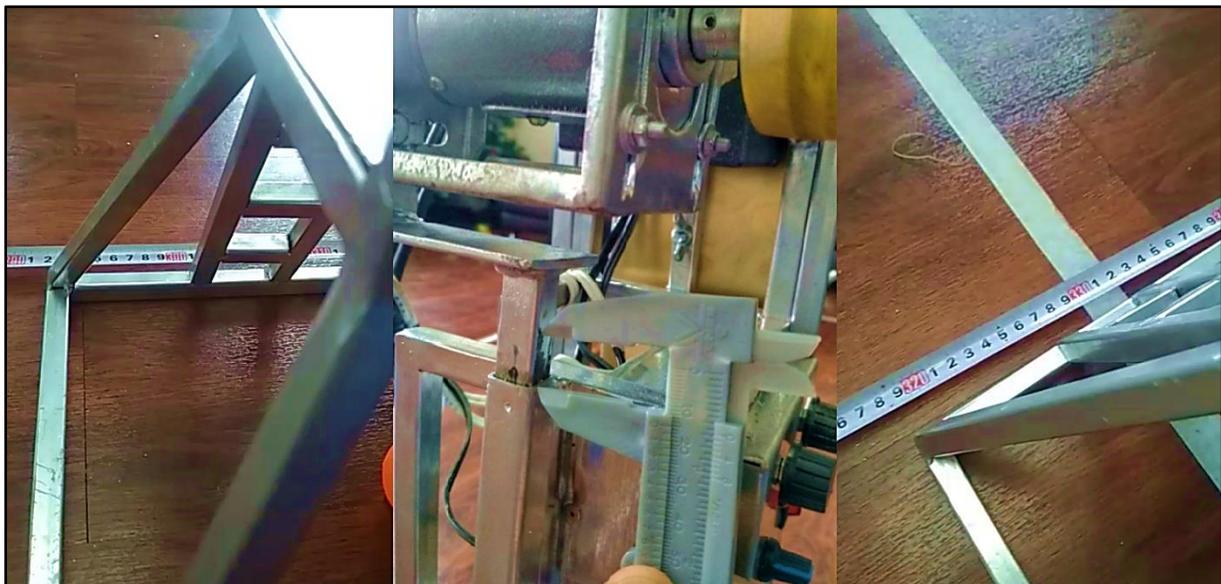


*Nota.* La figura muestra el cambio en la elevación de los lanzamientos.

Con base en la imagen anterior se muestra que tal cual como se tenía el ajuste de la máquina, se obtiene una distancia de lanzamiento de **3m**, pero que al elevar los motores exactamente **15mm** medidos en la rosca, se aumentan en **300mm** la distancia de lanzamiento medida mediante un flexómetro como se ve en la **Figura 161**.

**Figura 161.**

*Medición de la elevación de los motores y distancia abarcada*



*Nota.* La figura muestra que se elevan 15mm los motores y se aumenta en 0,3m la distancia.

Si se realizan los cálculos para la escala en tamaño real de la prueba anterior para proporcionarlos a un posible comportamiento en el diseño real, se encontrarían los resultados que se muestran en la siguiente **Tabla 38**.

**Tabla 38.**

*Proporcionalidad de la elevación de los motores prototipo-máquina real*

| MÁQUINA                          | DISTANCIA INICIAL (m) | ELEVACIÓN MOTORES (mm) | DISTANCIA FINAL (m) |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| Lanzadora de pelotas de squash   | 3                     | 15                     | 3,3                 |
| Lanzadora de pelotas de voleibol | 15                    | 75                     | 16,5                |

**Nota.** La tabla muestra la aproximación del prototipo respecto a la máquina real con la elevación de los motores.

De modo que, para la anterior aproximación se realiza la proporcionalidad de manera lineal, escalando las medidas que se tomaron respecto a una posible situación para el desempeño de la máquina real, aun así, se debe de realizar esta prueba después de la fabricación de la máquina lanzadora de balones de voleibol, para comparar con el “experimento” que se efectuó con el prototipo y revisar si la proporción es lineal o se toman más factores para la medición.

Con la prueba anterior se revisaba el primer efecto, la elevación de los balones, para el segundo efecto, se procede a realizar la prueba de rotación de los motores mediante el tornillo de ajuste en el **Pin 3** del prototipo como se ve en la **Figura 162**.

**Figura 162.**

*Prueba de rotación de los motores de lanzamiento*

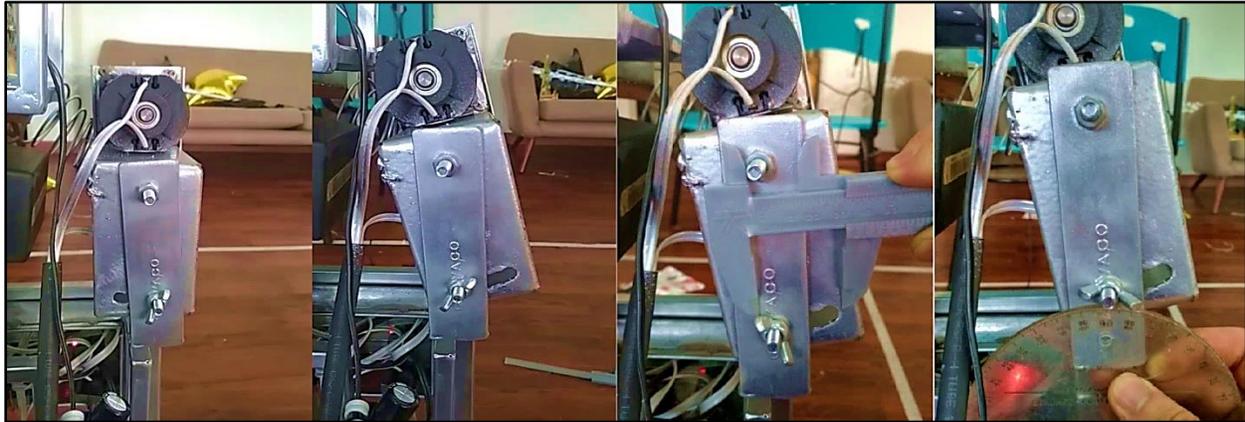


**Nota.** La figura muestra la rotación de los motores de lanzamiento y sus respectivos lanzamientos.

Dado que, se cambia la inclinación del lanzamiento, se procede a realizar la medición de la inclinación y del carril para el ajuste del tornillo de ajuste para el *pin 3*, se mide la inclinación mediante un transportador y la distancia con un calibrador como se ve en la **Figura 163**.

**Figura 163.**

*Medición de la inclinación de los motores*



*Nota.* La figura muestra la rotación para los motores con un ángulo de  $20^\circ$  y 35mm de carril.

Del mismo modo, se realiza la aproximación proporcional de la inclinación de los motores tomando en cuenta que en la prueba inicial sin inclinación se tomó una distancia de **3m** y que después de la inclinación y luego de realizar posteriores mediciones, se concluye que con la inclinación de  $20^\circ$  se extiende la distancia de lanzamiento en **600mm**. Los datos de la proporcionalidad se presentan en la siguiente **Tabla 39**.

**Tabla 39.**

*Proporcionalidad de la inclinación de los motores*

| MÁQUINA                          | DISTANCIA INICIAL (m) | INCLINACIÓN MOTORES ( $^\circ$ ) | DISTANCIA FINAL (m) |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|
| Lanzadora de pelotas de squash   | 3                     | 20                               | 3,6                 |
| Lanzadora de pelotas de voleibol | 15                    | 20                               | 18                  |

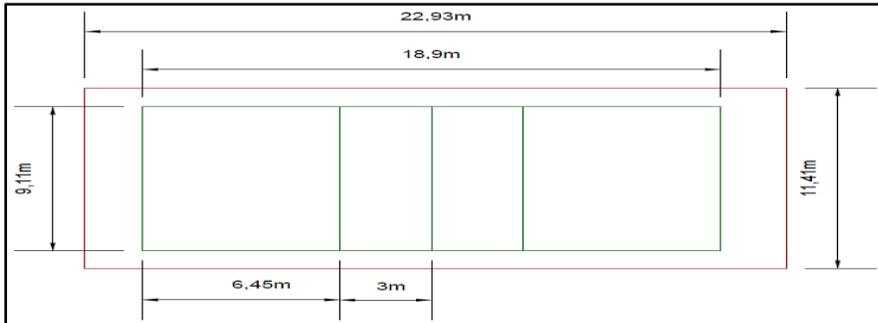
*Nota.* La tabla muestra el aumento en la distancia por la inclinación de los motores y aproximándola a la máquina real.

Después de realizar las dos pruebas de lanzamiento tanto con elevación de los motores, como con inclinación de los mismos, se evidencia que se adquiere más distancia de lanzamiento. Si se revisa la **Figura 164** se ve una distancia para una cancha de voleibol reglamentaria de **18,9m** de largo,

pero, que la cancha con la que se cuenta dentro de la Fundación Universidad de América tiene una longitud de **22,93m**.

### Figura 164.

*Dimensiones de las canchas de voleibol dentro del claustro*

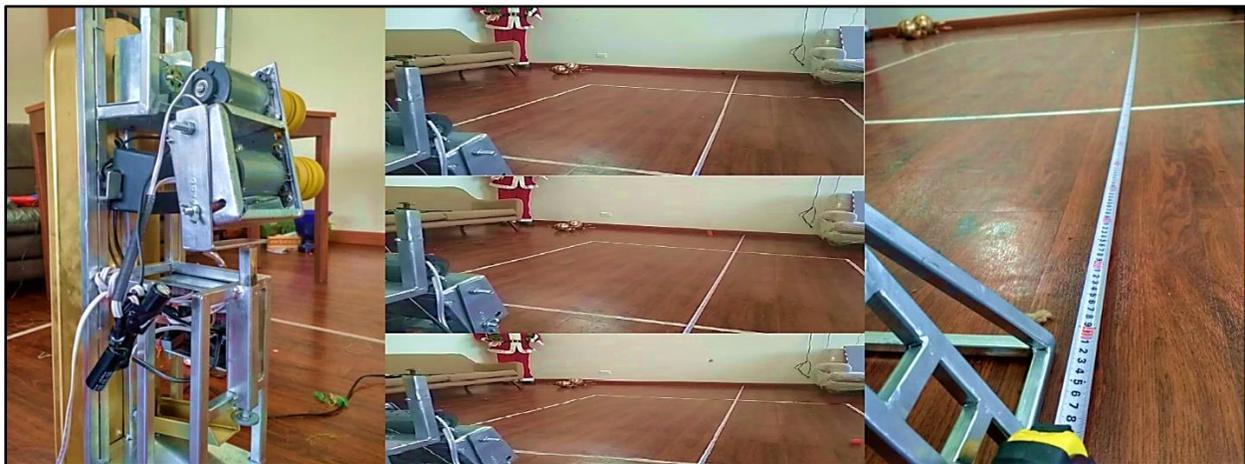


**Nota.** La figura muestra una comparación entre una cancha reglamentaria y la que posee la universidad. Tomado de: Moreno Burbano, D. S. y Vanegas Montoya, D. M. (2020) Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamientos en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7895>

Si se realiza el promedio de estas dos longitudes da como resultado una cancha de **20,915m**, y que si a esa longitud se realiza su proporción a escala **1:5** da como resultado una medida de **4,183m**. Se realiza la respectiva prueba de lanzamiento con la mayor inclinación y mayor elevación para verificar si efectivamente se alcanza esa distancia como se ve en la **Figura 165**.

### Figura 165.

*Prueba de lanzamiento para distancia máxima*

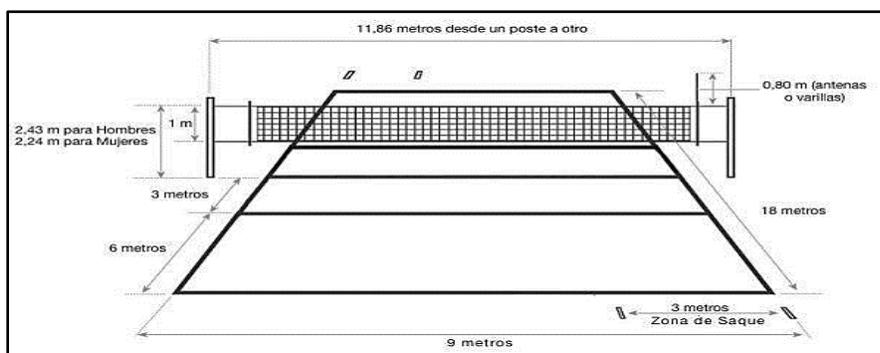


**Nota.** La figura muestra que para el lanzamiento a 4,18m las pelotas de squash y “loca” rugosa alcanzaron esa distancia, por su parte la pelota de goma lisa llegó hasta 3,9m.

Si bien, en la prueba dos de tres tipos de pelota abarcaron la distancia máxima, no significa que se tengan que realizar modificaciones o ajustes para que la distancia sea mayor para el lanzamiento. Según las reglas del voleibol, el saque inicial o servicio se debe de realizar fuera de la cancha y este debe de tener al menos un rebote dentro de los límites de esta, si el rebote se da fuera de la cancha, será una falta. Por consiguiente, la distancia del lanzamiento que este dentro de la longitud máxima establecida será válido. La **Figura 166** muestra las medidas de una cancha de voleibol reglamentaria.

**Figura 166.**

*Plano de una cancha de voleibol profesional*



**Nota.** La figura muestra la zona de saque para un partido de voleibol. Tomado de: BALON DE VOLEIBOL.COM, “Medidas de la Cancha de Voleibol para Hombres y Mujeres”. [En línea]. Disponible: <https://www.balondevoleibol.com/medidas-de-la-cancha-de-voleibol/>. [Consultado 9 de Noviembre 2020]

Con base en la imagen anterior, se observa que la longitud total de la cancha es de **18m**, no obstante, se realizó la respectiva aclaración de las medidas tomadas como longitud total para las pruebas de lanzamiento para distancia.

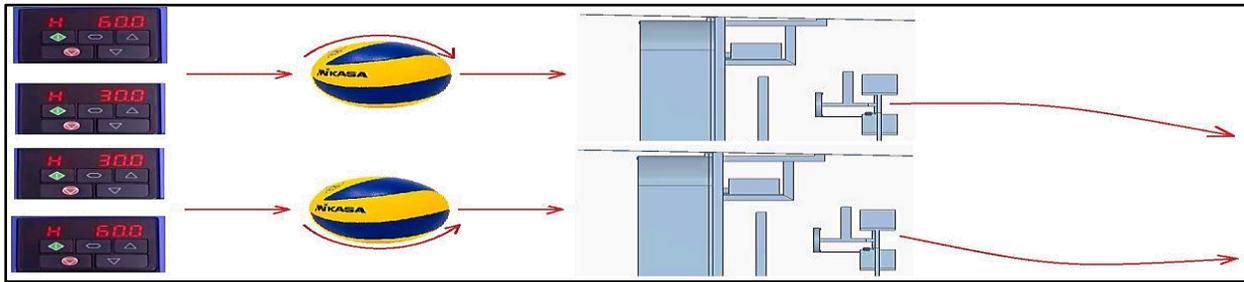
Con esta prueba se corrobora que el prototipo de la máquina tiene un desempeño y un comportamiento bastante sobresaliente si se revisa detenidamente el presente capítulo, dado que, para fabricarla se tuvo que escalar o proporcionar medidas, adquirir componentes que se ofrezcan en el mercado, ensamblar los subsistemas y hacerles pruebas a los mismos para finalmente armar una máquina funcional que por medio de las pruebas previamente vistas, se demuestran las características de la misma y sus capacidades.

Finalmente, la última prueba que se realiza al prototipo es utilizando el subsistema de control, para realizarlo se usan los variadores de velocidad puestos en el **subsistema de control** como se vio en

la **Figura 155**. Este tipo de efecto se puede realizar siguiendo lo que se vio dentro del manual de operación para la maquina lanzadora de balones voleibol suministrado para este proyecto, en la cual se modulan los variadores de frecuencia para los motores colocando uno con **H-60** y el otro motor a **H-30** como se ve en la **Figura 167**.

**Figura 167.**

*Efectos de lanzamiento con los variadores según manual de operación*

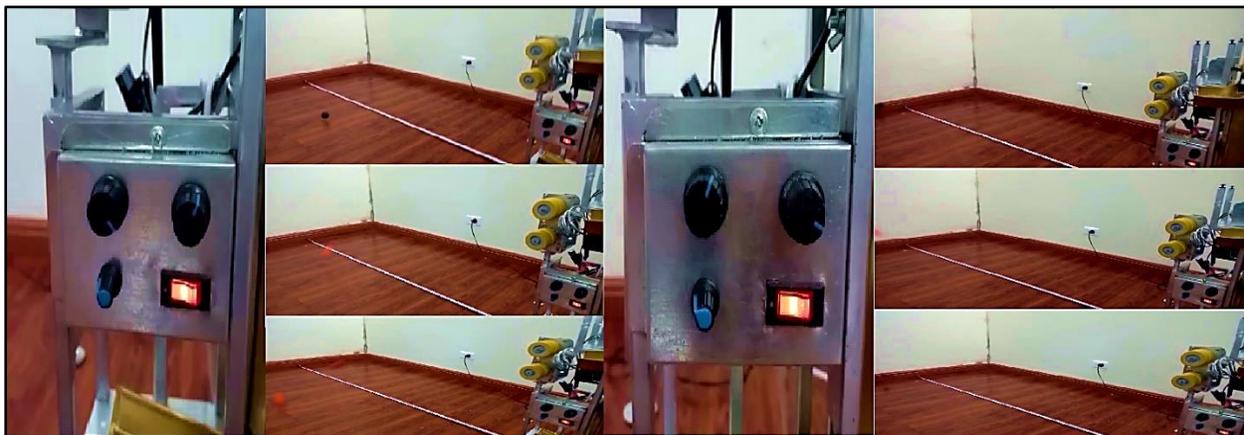


**Nota.** La figura muestra los efectos de lanzamiento variando las velocidades de los motores. Tomado de: D. S. Moreno Burbano y D. M. Vanegas Montoya, Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América, Bogotá: Fundación Universidad de América, 2020.

Se procede a realizar la respectiva prueba variando la velocidad de los motores. Como se cuentan con Dimmers análogos, o que su modulación se hace por medio de un potenciómetro, se deja uno de los potenciómetros en el máximo y el otro en el punto medio según el rango de giro que tiene, luego se realiza la respectiva prueba de lanzamiento tal como se ve en la **Figura 168**.

**Figura 168.**

*Prueba de variación de velocidad para los motores*



**Nota.** La figura muestra la variación de velocidad para los motores.

Con base en la imagen anterior, se realiza la prueba de variación de velocidad para los motores en la cual en la primera parte se coloca el motor superior con baja velocidad, por ende, en las pelotas no llegan a los **2m** que se tuvieron medidos, mientras que con el motor inferior a baja velocidad si se llega a esa distancia. Sin embargo, y a pesar de haber utilizado una buena cámara para realizar la toma de la evidencia, no se logra apreciar el movimiento semi parabólico como se tenía previsto en la **Figura 168**. Finalmente, se realiza la ficha técnica de la maquina en la siguiente **Tabla 40**.

**Tabla 40.**

*Ficha técnica del prototipo*

| MÁQUINA LANZADORA DE PELOTAS DE SQUASH |   |
|--|---|
| PESO (Kg)                              | 8   |
| ALTURA (mm)                            | 73  |
| ANCHO (mm)                             | 26  |
| PROFUNDO (mm)                          | 28  |
| ALIMENTACIÓN (V)                       | 110   |
| POTENCIA LANZAMIENTO (W)               | 75  |
| COBERTURA LANZAMIENTO (m)              | 3,9 – 4,18  |
| VELOCIDAD LANZAMIENTOS (m/s)           | 17,85 – 32,72                                     |
| ALMACENAMIENTO DE PELOTAS              | 9   |
| TIPO DE CONTROL                        | 2 dimmers AC, 1 dimmer DC y pulsador 2 posiciones |
| DIÁMETRO RUEDA LANZAMIENTO (mm)        | 50,8  |

*Nota.* La tabla muestra las propiedades básicas del prototipo.

Por otro lado, ya habiendo visto el desempeño del prototipo, se propone realizar la fabricación a tamaño original de la máquina lanzadora de balones de voleibol, y realizar las respectivas pruebas basadas en las realizadas en el presente documento. Como tal fabricación se encuentra fuera de los límites de este proyecto, se espera en un corto plazo que se realice dicho proyecto por parte de estudiantes y futuros ingenieros mecánicos de la Fundación Universidad de América.

## 7. EVALUACIÓN DE COSTOS DE FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO Y LOS COSTOS FUTUROS PARA LA FABRICACIÓN FINAL DE LA MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE VOLEIBOL PARA ENTRENAMIENTO EN PRÁCTICAS DEPORTIVAS EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

En este capítulo se realizarán los respectivos análisis de costos. Se iniciará con los costos que se requirieron en la materialización del prototipo soportadas por facturas de compra reales (ver ANEXOS). Se continuará con la proyección de los futuros costos para la adquisición de componentes y servicios en la fabricación del diseño de la máquina lanzadora de balones de voleibol en tamaño real, son sus debidas facturas también. Y se finalizara el capítulo con una comparación de costos entre los generados para la máquina real y los que se tenían previstos en el documento suministrado.

### 7.1 Costos asociados a la fabricación del prototipo de la máquina lanzadora de balones de voleibol

Para poder establecer los costos asociados a la fabricación del prototipo de la máquina lanzadora LAPESQ, esta al igual que en la sección 1.3, se va a dividir por subsistemas, iniciando por el *subsistema estructural*.

#### ⊕ SUSBSISTEMA ESTRUCTURAL

Como ya se mencionaba, este subsistema fue realizado en la empresa LAMITECH, en donde, se realiza la discriminación de los costos en la siguiente **Tabla 41**.

**Tabla 41.**

*Costos del subsistema estructural LAPESQ*

| <b>ESTRUCTURA PROTOTIPO</b> |                  |
|-----------------------------|------------------|
| Tubo acero estructural 1/2" | \$150,000        |
| Corte                       | \$100,000        |
| Soldadura                   | \$250,000        |
| <b>TOTAL</b>                | <b>\$500,000</b> |

*Nota.* La tabla muestra los costos dados por el personal técnico de LAMITECH.

Dado que la máquina es un prototipo a escala reducida, los costos asociados a este se reducen considerablemente en comparación a los que se tenían para la máquina real en la sección **3.3.1**

#### ⊕ SUBSISTEMA DE POTENCIA

Para este subsistema, como se mencionaba en la sección 6.2, se adquirieron componentes de la tienda DISIPADOR ELECTRÓNICO, las cuales, generan dos facturas de compra. Así mismo, se resume dicha información de las facturas para calcular el valor monetario para este subsistema en la siguiente **Tabla 42**.

**Tabla 42.**

*Costos del subsistema de potencia LAPESQ*

| COMPONENTE              | VALOR UNIT.      | CANTIDAD | VALOR FINAL      |
|-------------------------|------------------|----------|------------------|
| Motores 110V DC         | \$25,000         | 2        | \$50,000         |
| Puente rectificador     | \$45,000         | 2        | \$90,000         |
| Motorreductor 24V       | \$30,000         | 1        | \$30,000         |
| Adaptador 24V DC        | \$15,000         | 1        | \$15,000         |
| Filtros de 470mF a 250V | \$4,900          | 2        | \$9,800          |
| <b>TOTAL</b>            | <b>\$119,900</b> | <b>8</b> | <b>\$194,800</b> |

*Nota.* La tabla muestra los costos acumulados para el subsistema de potencia.

#### ⊕ SUBSISTEMA DE TRACCIÓN

Para este subsistema se incluyen los valores de las ruedas adquiridas en la empresa RODACHINES INDUSTRIALES Y CIA LTDA mediante la adquisición de cuatro ruedas, dos para cada motor. Del mismo modo, se genera una tabla resumen en la que se muestran los costos de los componentes de este subsistema, que además de las ruedas de lanzamiento, también incluye los ejes que fueron fabricados, grafito para acoplarlos a los motores y el costo de los nuevos “pines” como se ve en la **Tabla 43**.

**Tabla 43.**

*Costos del subsistema de tracción LAPESQ*

| COMPONENTE             | VALOR UNIT.     | CANTIDAD | VALOR FINAL      |
|------------------------|-----------------|----------|------------------|
| Rodachines 2" Amarillo | \$10,000        | 4        | \$40,000         |
| Ejes acople            | \$30,000        | 2        | \$60,000         |
| Grafito                | \$1,000         | 1        | \$1,000          |
| <b>TOTAL</b>           | <b>\$40,000</b> | <b>6</b> | <b>\$101,000</b> |

*Nota.* La tabla muestra los costos para el subsistema de tracción.

#### ⊕ SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Para este subsistema primero se tiene la factura de compra de la banda transportadora que fue adquirida en la empresa TODOBANDAS S.A.S. Como se vio en la sección 6.2, para mover dicha

banda se necesita de un motorreductor y a ese motorreductor se le compra un acople y dos rodillos plásticos para darle la rotación a la banda transportadora con sus empujadores. Finalmente se resumen los costos de este subsistema en la siguiente **Tabla 44**.

**Tabla 44.**

*Costos del subsistema de alimentación LAPESQ*

| COMPONENTE                     | VALOR UNIT.     | CANTIDAD | VALOR FINAL     |
|--------------------------------|-----------------|----------|-----------------|
| Banda transportadora Prototipo | \$67,116        | 1        | \$67,116        |
| Rodillos plásticos             | \$1,000         | 2        | \$2,000         |
| Acople motorreductor 24V       | \$10,000        | 1        | \$10,000        |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>\$78,116</b> | <b>4</b> | <b>\$79,116</b> |

*Nota.* La tabla muestra el valor total para el subsistema de alimentación del prototipo.

#### ⊕ SUBSISTEMA DE CONTROL

Para este subsistema inicialmente se tienen en cuenta el cableado para los motores y sus respectivos adaptadores de corriente, así mismo, los interruptores que controlan a dichos motores. Así mismo, para controlar los motores de tal forma que lo harán los *inversores de frecuencia* se hace la adquisición de *variadores de voltaje* o “*Dimmers*” para el control de los tres motores, se adquieren variadores DC para el motorreductor y variadores AC para los motores de lanzamiento, dado que, para estos últimos no se consiguen en voltajes de 110V. Sin embargo, al contar con los respectivos “puentes rectificadores” se pueden conectar así sean de otro tipo de corriente. Finalmente, se muestra el costo total para este subsistema en la siguiente **Tabla 45**.

**Tabla 45.**

*Costos subsistema de control LAPESQ*

| COMPONENTE                     | VALOR UNIT.    | CANTIDAD  | VALOR FINAL     |
|--------------------------------|----------------|-----------|-----------------|
| Clavijas                       | \$2,600        | 2         | \$5,200         |
| Paralelo 2x14B (Cable DC)      | \$900          | 3         | \$2,700         |
| Alambre 2x22 (Cable motores)   | \$400          | 2         | \$800           |
| Interruptores 3 P10 4P         | \$2,700        | 3         | \$8,100         |
| Dimmer                         | \$9,000        | 2         | \$18,000        |
| Variador de velocidad motor AC | \$22,500       | 2         | \$45,000        |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>\$6,600</b> | <b>14</b> | <b>\$34,800</b> |

*Nota.* La tabla muestra los costos basados en las facturas de compra.

De manera análoga, se suman los costos de los cinco subsistemas que componen el prototipo y se muestran en la siguiente **Tabla 46**.

**Tabla 46.***Costos totales para los subsistemas de LAPESQ*

| SUBSISTEMA   | VALOR FINAL      |
|--------------|------------------|
| Estructural  | \$500,000        |
| Potencia     | \$185,000        |
| Tracción     | \$101,000        |
| Alimentación | \$79,116         |
| Control      | \$44,800         |
| <b>TOTAL</b> | <b>\$909,916</b> |

*Nota.* La tabla muestra el total de costos de fabricación del prototipo.

Por otro lado, durante la fabricación, cotización, y demás trabajo de campo para la realización del prototipo, generaron costos asociados, estos se muestran en la siguiente **Tabla 47**.

**Tabla 47.***Costos adicionales para la fabricación*

| COSTOS ADICIONALES        | VALOR UNIT      | CANTIDAD  | VALOR FINAL      |
|---------------------------|-----------------|-----------|------------------|
| Pelotas squash Súper slow | \$20,000        | 1         | \$20,000         |
| Pelotas squash Fast       | \$17,000        | 1         | \$17,000         |
| Transportes               | \$2,500         | 47        | \$117,500        |
| Pelotas "locas"           | \$1,200         | 12        | \$13,000         |
| Impresión de planos       | \$500           | 21        | \$10,500         |
| <b>TOTAL</b>              | <b>\$41,200</b> | <b>82</b> | <b>\$178,000</b> |

*Nota.* La tabla muestra los demás costos que incurrieron en la fabricación del prototipo.

Realizando la respectiva sumatoria de costos para la **Tabla 48** y la **Tabla 49** se llega a un costo total para el prototipo de **\$1,092,916COP**. Ya teniendo los costos asociados a la fabricación del prototipo se procede a realizar las cotizaciones para la fabricación de la máquina lanzadora de balones de voleibol en tamaño original.

## **7.2 Costos finales de la fabricación de la máquina lanzadora de balones de voleibol**

Para el siguiente análisis se van a revisar los costos asociados a la adquisición de partes y servicios para la fabricación de la máquina después de haber realizado el respectivo rediseño y el prototipo. Del mismo modo, se va a realizar la valoración de precios con el Índice de Precios al Consumidor (IPC) para Marzo del 2021, en vista de que la fabricación final de la máquina se realizara posterior a la aprobación de este proyecto, y que, con base en el alza del salario mínimo y las condiciones económicas del país, este valor va a cambiar.

Dado que, como es un valor proyectado y puede fluctuar dependiendo de la movilidad económica que tenga el país, estos valores son informativos para realizar especulaciones y aproximaciones. Se consulta el *INSTITUTO NACIONAL DE CONTADORES PÚBLICOS (INCP)* como se ve en la **Figura 169**.

**Figura 169.**

*Fuente técnica para el dato del IPC en 2021*



*Nota.* La figura muestra el logo del ente técnico de donde se extrae el valor del IPC para el 2021. Tomado de: MinTrabajo, «incp,» incp, 4 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://incp.org.co/datos-de-inflacion-y-desempleo-cruciales-para-aumento-de-salario-minimo/>. [Último acceso: 19 Enero 2021].

A partir de la fuente mencionada se extrae el siguiente valor: “El experto económico compartió: “la Junta Directiva mantiene la meta de inflación (variación anual del IPC) en 3%, en un rango entre 2% y 4% y seguirá haciendo un cuidadoso monitoreo del comportamiento de la inflación, de la actividad económica, de las proyecciones de estas variables y de la situación internacional, y reitera que sus decisiones buscan llevar la inflación a la meta del 3%, en coordinación con la política económica general”. [12]

Con base en el párrafo anterior se toma un valor de **3%** como valor de *IPC* a Marzo del 2021. Se realizan las respectivas cotizaciones y se generan las respectivas tablas de costos de componentes y servicios aplicando el valor el IPC de manera análoga a como se realizó en la sección **1.3**.

⊕ SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

Con base en los planos realizados en la sección tres (3) y con los respectivos procesos planificados, aparte del techo que es una lámina de policarbonato de **1750x1750mm** se discretizan los componentes metálicos requeridos para este subsistema en la siguiente **Tabla 48**.

**Tabla 48.**

*Componentes metálicos del subsistema estructural a cotizar*

| SUBSISTEMA  | DESCRIPCIÓN                           | CANTIDAD  |
|-------------|---------------------------------------|-----------|
| ESTRUCTURAL | Tubo estructural cuadrado 50x50x1,5mm | 36m       |
|             | Lamina H.R. 3mm                       | 600x500mm |
|             | Lamina H.R. 10mm                      | 600x300mm |
|             | Varilla 1"                            | 1m        |

**Nota.** La tabla muestra las dimensiones y referencias de los componentes metálicos requeridos.

Así mismo, se realizan las respectivas cotizaciones. Inicialmente se habían cotizado en la empresa “HIERROS EL DORADO” dando como resultado la siguiente cotización por un valor de **\$2'506.100COP**, en los cuales no solo están incluidos los componentes metálicos de este subsistema, sino de toda la máquina, por otro lado, no se pudo cotizar la totalidad de los componentes requeridos (ver ANEXOS)

En vista de que no todos los componentes se pudieron cotizar en esta empresa, se opta por realizar otra cotización de todos los componentes también en la empresa “LA CAMPANA”, para realizar la comparación de precios y para tener una cotización más completa (ver ANEXOS) con un valor de **\$2'972.816COP**.

Al revisar ambas cotizaciones de las empresas acereras, se evidencia que ofrecen los materiales bajo medidas estándar, de ahí la planificación de procesos. Las cotizaciones se realizaron a dimensiones que garanticen el mínimo desperdicio de material. Se mantiene la misma cotización para los **100 tornillos** de cabeza hexagonal por parte de la empresa “FERCAR” POR UN VALOR DE **\$218.000COP**, tal y como se vio en la **Figura 30**.

Finalmente, para la cotización del techo se visita una sucursal de “HOMECENTER – CONSTRUCTOR”, en donde, se encuentra que los techos en **policarbonato** se ofrecen bajo medidas y grosores de fábrica, y que, para cortarlo en la medida requerida no ofrecen dicho servicio (ver ANEXOS)

A partir de las figuras anteriores se puede realizar la respectiva sumatoria de los costos de fabricación para el subsistema estructural como se ve en la siguiente **Tabla 49** con un valor de **\$1'896.094COP**.

**Tabla 49.***Costos del subsistema estructural para fabricación final*

| COMPONENTE                            | CANTIDAD | VALOR (UND.) | TOTAL              | IPC 2021 | TOTAL FINAL        |
|---------------------------------------|----------|--------------|--------------------|----------|--------------------|
| Tubo estructural cuadrado 50x50x1,5mm | 6        | \$57,643     | \$345,858          | 3.00%    | \$356,234          |
| Lamina H.R. 3mm                       | 1        | \$161,700    | \$161,700          | 3.00%    | \$166,551          |
| Lamina H.R. 10mm                      | 1        | \$587,010    | \$587,010          | 3.00%    | \$604,620          |
| Varilla 1"                            | 1        | \$69,000     | \$69,000           | 3.00%    | \$71,070           |
| Rodachinas con freno 4"               | 4        | \$31,600     | \$126,400          | 3.00%    | \$130,192          |
| Tornillos cabeza hexagonal            | 100      | \$2,600      | \$260,000          | 3.00%    | \$267,800          |
| Techo                                 | 1        | \$290,900    | \$290,900          | 3.00%    | \$299,627          |
| <b>Total subsistema</b>               |          |              | <b>\$1,840,868</b> | 3.00%    | <b>\$1,896,094</b> |

**Nota.** La tabla muestra los costos de componentes para el subsistema estructural aproximados a Marzo de 2021.

#### ☹ SUBSISTEMA DE TRACCIÓN

Este subsistema también requiere componentes específicos metálicos que se sustraen de las facturas generales de las empresas de aceros que corresponden a los componentes mostrados en la siguiente **Tabla 50**.

**Tabla 50.***Componentes metálicos del subsistema de tracción a cotizar*

| SUBSISTEMA | DESCRIPCIÓN                   | CANTIDAD  |
|------------|-------------------------------|-----------|
| TRACCIÓN   | Varilla cuadrada 20x20mm      | 2m        |
|            | Lamina H.R. 20mm              | 321x171mm |
|            | Tubo estructural redondo 25mm | 1m        |
|            | Esparrago rosca M20           | 1.1m      |
|            | Lamina H.R. 1mm               | 1040x90mm |

**Nota.** La tabla muestra los componentes metálicos que se cotizaron para el subsistema de tracción.

Para las rodachinas de la **Tabla 49** se extrajo el valor de la cotización de RODACHINES INTERNACIONALES LTDA (ver ANEXOS), en la cual, también se cotizan las ruedas de fricción de banda de **PVC**. Realizando la respectiva organización de los valores dados por las cotizaciones se procede a mostrar los respectivos costos de los componentes en la siguiente **Tabla 51** que da como valor **\$779.350COP**. Los valores para los “pines” no se muestran dado que están acordes al material y proceso de fabricación.

**Tabla 51.***Costos del subsistema de tracción para fabricación final*

| COMPONENTE                    | CANTIDAD | VALOR (UND.) | TOTAL            | IPC 2021 | TOTAL FINAL      |
|-------------------------------|----------|--------------|------------------|----------|------------------|
| Varilla cuadrada 20x20mm      | 1        | \$69,000     | \$69,000         | 3.00%    | \$71,070         |
| Lamina H.R. 20mm              | 1        | \$110,000    | \$110,000        | 3.00%    | \$113,300        |
| Tubo estructural redondo 25mm | 1        | \$40,000     | \$40,000         | 3.00%    | \$41,200         |
| Esparrago rosca M20           | 1        | \$120,000    | \$120,000        | 3.00%    | \$123,600        |
| Lamina H.R. 1mm               | 1        | \$376,450    | \$376,450        | 3.00%    | \$387,744        |
| Ruedas de fricción            | 2        | \$20,600     | \$41,200         | 3.00%    | \$42,436         |
| <b>Total subsistema</b>       |          |              | <b>\$756,650</b> | 3.00%    | <b>\$779,350</b> |

**Nota.** La tabla muestra los costos de los componentes cotizados para el subsistema de tracción.

#### ⊕ SUBSISTEMA DE POTENCIA

Para este subsistema solamente se requieren los motores que se volvieron a calcular en el rediseño, se realiza la respectiva cotización, ver ANEXOS, donde se aprecia que el costo para este subsistema es de **\$1'290.000COP** sabiendo que cada motor de la marca cotizada WEG cuesta **\$430.000COP**. Con base en la cotización realizada, se realiza el respectivo calculo con el IPC de Marzo de 2021 tal como se ve en la **Tabla 52**.

**Tabla 52.***Costos del subsistema de potencia para fabricación final*

| COMPONENTE                | CANTIDAD | VALOR (UND.) | TOTAL       | IPC 2021 | TOTAL FINAL        |
|---------------------------|----------|--------------|-------------|----------|--------------------|
| Motor trifásico 1/2HP WEG | 3        | \$430,000    | \$1,290,000 | 3.00%    | <b>\$1,328,700</b> |

**Nota.** La tabla muestra el valor actualizado para los motores de elevación y potencia.

#### ⊕ SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El análisis de costos de este subsistema se simplifica bástate en comparación a lo visto en la sección 1.3.4, dado que se realiza la cotización de los materiales y la banda por separado. Para el acero estructural de **1mm** de espesor empleado se usan las cotizaciones realizadas en función de la siguiente **Tabla 53**.

**Tabla 53.***Componentes cotizados para el subsistema de alimentación*

| SUBSISTEMA   | DESCRIPCIÓN                    | CANTIDAD |
|--------------|--------------------------------|----------|
| ALIMENTACIÓN | Tubo estructural redondo 100mm | 80cm     |
|              | Lamina H.R. 1mm                | 3.5x3.5m |

**Nota.** La tabla muestra los componentes metálicos requeridos para este subsistema.

Del mismo modo se realiza la respectiva cotización de la banda transportadora con los empujadores según planos (ver ANEXOS). Dado que, al precio de la banda no se le ha sumado el precio del IVA, que para este 2020 es de un valor del **19%**, el costo de la banda asciende a **\$1,184,050COP**. Finalmente, se realiza la sumatoria de costos para este subsistema en la siguiente **Tabla 54**.

**Tabla 54.**

*Costos del subsistema de alimentación para fabricación final*

| COMPONENTE                           | CANTIDAD | VALOR (UND.) | TOTAL              | IPC 2021 | TOTAL FINAL        |
|--------------------------------------|----------|--------------|--------------------|----------|--------------------|
| Tubo estructural redondo 100mm       | 2        | \$160,000    | \$320,000          | 3.00%    | \$329,600          |
| Lamina H.R. 1mm                      | 1        | \$1,605,826  | \$1,605,826        | 3.00%    | \$1,654,001        |
| Banda transportadora con empujadores | 1        | \$1,184,050  | \$1,184,050        | 3.00%    | \$1,219,572        |
| <b>Total subsistema</b>              |          |              | <b>\$3,109,876</b> | 3.00%    | <b>\$3,203,172</b> |

**Nota.** La tabla muestra los costos totales de los componentes del subsistema de alimentación.

⊕ SUBSISTEMA DE CONTROL

Para este subsistema se requiere una lámina de **5mm** que se cotizo previamente, de los variadores de frecuencia vistos en su respectiva factura y de los respectivos componentes eléctricos para realizar la respectiva instalación, dichos componentes se cotizan en otra empresa (ver ANEXOS). De manera análoga, se realiza la respectiva sumatoria de costos para este subsistema como se ve en la siguiente **Tabla 55**.

**Tabla 55.**

*Costos del subsistema de control para fabricación final*

| COMPONENTE                                  | CANTIDAD | VALOR (UND.) | TOTAL              | IPC 2020 | TOTAL FINAL        |
|---|----------|--------------|--------------------|----------|--------------------|
| Lamina H.R. 5mm                             | 1        | \$242,550    | \$242,550          | 3.00%    | \$249,827          |
| Variadores de velocidad 1/2HP 220V INVERTEK | 3        | \$511,700    | \$1,535,100        | 3.00%    | \$1,581,153        |
| Conduleta tipo LB 3/4                       | 1        | \$6,000      | \$6,000            | 3.00%    | \$6,180            |
| Conduleta tipo T 3/4                        | 1        | \$8,000      | \$8,000            | 3.00%    | \$8,240            |
| Caja octagonal 3/4                          | 1        | \$12,000     | \$12,000           | 3.00%    | \$12,360           |
| Prensa estopa 3/4                           | 4        | \$1,800      | \$7,200            | 3.00%    | \$7,416            |
| Terminal EMT 3/4                            | 3        | \$2,500      | \$7,500            | 3.00%    | \$7,725            |
| Toma industrial 220V                        | 1        | \$45,000     | \$45,000           | 3.00%    | \$46,350           |
| Cable soldador 4/0                          | 5        | \$32,000     | \$160,000          | 3.00%    | \$164,800          |
| <b>Total subsistema</b>                     |          |              | <b>\$2,023,350</b> | 3.00%    | <b>\$2,084,051</b> |

**Nota.** La tabla muestra los costos de los componentes eléctricos para el subsistema de control.

Por consiguiente, se suman los costos de los cinco subsistemas a partir de las cotizaciones nuevas que se realizaron para llegar al valor monetario total de los componentes a adquirir como se ve en la **Tabla 56**.

**Tabla 56.**

*Costos totales de los componentes para la fabricación final*

| <b>SUBSISTEMA</b>          | <b>VALOR</b>       |
|----------------------------|--------------------|
| Subsistema estructural     | \$1,896,094        |
| Subsistema de tracción     | \$779,350          |
| Subsistema de alimentación | \$3,203,172        |
| Subsistema de potencia     | \$1,328,700        |
| Subsistema de control      | \$2,084,051        |
| <b>TOTAL</b>               | <b>\$9,291,367</b> |

**Nota.** La tabla muestra el valor de los componentes para toda la máquina.

A partir de la tabla anterior se aprecia una reducción sustancial sobre los componentes a como estaban cotizados por los diseñadores, se puede denotar que el rediseño influyo en esta reducción de costos. Del mismo modo, falta agregar los demás costos que inciden en la fabricación. A partir de lo realizado con el prototipo, se realiza la cotización de servicios con el personal técnico de LAMITECH para dar como resultado el valor final de fabricación de la maquina lanzadora de balones de voleibol después de haber realizado un rediseño y prototipo, como se ve en la **Tabla 57**.

**Tabla 57.**

*Precio final de la maquina lanzadora de balones de voleibol*

| <b>COSTO</b>         | <b>VALOR</b>        |
|----------------------|---------------------|
| 5 Subsistemas        | \$9,291,367         |
| Corte                | \$1,250,000         |
| Transporte           | \$200,000           |
| Ensamble             | \$950,000           |
| Soldadura            | \$2,500,000         |
| Ingenieril           | \$3,500,000         |
| <b>TOTAL MÁQUINA</b> | <b>\$17,691,367</b> |

**Nota.** La tabla muestra los valores cotizados para los servicios de manufactura.

De la tabla anterior se puede extraer el costo ingenieril lo que le dará a la maquina un costo de **\$14'191.367COP**, valor en cual, si se realiza la respectiva conversión a dólares, daría un total de **\$4.060USD** y que revisando la **Tabla 16** da como resultado un valor competitivo en vista de que el diseño es una unión de las mejores características de las maquinas encontradas en el mercado.

### 7.3 Análisis comparativo de costos teóricos y finales asociados a la máquina lanzadora de balones de voleibol

En este análisis se van a comparar los respectivos análisis de costos del documento suministrado por los diseñadores, el primer capítulo del presente proyecto y la sección 5.2 para evidenciar que, si bien se realizó un diagnóstico de costos del entregable, estos se reducen.

Se realiza una comparación inicial acerca los costos de los cinco subsistemas con base en las cotizaciones realizadas por ambas partes para verificar sus diferencias, como se aprecia en la **Tabla 58**.

**Tabla 58.**

*Comparación de costos de los subsistemas*

|                            | <i>COSTOS DISEÑADORES</i> | <i>COSTOS DIAGNÓSTICO</i> | <i>COSTOS FINALES</i> |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| <b>SUBSISTEMA</b>          | <b>VALOR</b>              | <b>VALOR</b>              | <b>VALOR</b>          |
| Subsistema estructural     | \$1,356,917               | \$3,404,420               | \$1,896,094           |
| Subsistema de tracción     | \$1,184,200               | \$1,002,670               | \$779,350             |
| Subsistema de alimentación | \$4,677,984               | \$8,473,686               | \$3,203,172           |
| Subsistema de potencia     | \$1,140,000               | \$3,180,746               | \$1,328,700           |
| Subsistema de control      | \$1,915,000               | \$155,199                 | \$2,084,051           |
| <b>TOTAL</b>               | <b>\$10,274,101</b>       | <b>\$16,216,721</b>       | <b>\$9,291,367</b>    |

*Nota.* La tabla muestra la comparación sobre los valores de los subsistemas.

Como era de esperarse, se ve una amplia diferencia entre los costos de los diseñadores y los costos del diagnóstico, pero se recuerda que el costo del diagnóstico fue la sumatoria minuciosa sobre lo que entregaron los diseñadores y se les aplica el IPC de Marzo de 2020.

Si bien, en los costos finales también hay un IPC de por medio, este solamente se aplica a las nuevas cotizaciones, dado que, el diseño sufrió un rediseño que se verificó con la fabricación del prototipo. Este valor se asemeja un poco al dado inicialmente, sin embargo, si se revisan los costos por cada subsistema, estos están más actualizados y soportados mediante las cotizaciones y el prototipo para garantizar su funcionalidad.

Finalmente, se realiza la comparación de los costos finales, sin incluir los costos de ingeniería debido a que se pasa de dos estudiantes a uno solo y estos valores se contrastan con los vistos en la **Tabla 16** para revisar si al realizar el rediseño y el prototipo, el producto final resulta ser más competitivo respecto a las máquinas en el mercado como se ve en la **Tabla 59**.

**Tabla 59.***Comparación de competitividad de precios para el mercado*

| <b>OPCIÓN</b>    | <b>VALOR MAQUINA (Dólares - USD)</b> | <b>COSTOS DE MAQUINA (\$ - COP)</b> |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Winshot 1500     | \$4,950                              | \$17,283,717                        |
| Winshot 800      | \$3,890                              | \$13,582,557                        |
| Total Attack     | \$3,999                              | \$13,963,148                        |
| Attack           | \$3,299                              | \$11,518,986                        |
| Attack II        | \$2,999                              | \$10,471,488                        |
| Skill Attack     | \$1,299                              | \$4,535,666                         |
| Air Cat          | \$2,400                              | \$8,379,984                         |
| S6638 SIBOA SI   | \$6,884                              | \$24,036,587                        |
| Diseñadores 2019 | \$3,922                              | \$13,714,101                        |
| Diagnostico 2020 | \$5,522                              | \$19,306,721                        |
| Rediseño 2020    | \$4,060                              | \$14,191,367                        |

**Nota.** La tabla muestra los valores a enero de 2021 de las maquinas en el mercado respecto a los propuestos.

De la tabla anterior se puede concluir que el precio promedio de una maquina lanzadora de balones de voleibol está en **\$12'971.517COP** y que, si se revisa el valor final del documento, este se encuentra con un excedente de **\$1'219.850COP**, el cual, puede ser el costo de nacionalización de una maquina importada, aparte de que cuenta con elevación automática mediante banda transportadora.

## 8. CONCLUSIONES

Del diagnóstico se concluye que se recibe el modelado CAD de una máquina lanzadora de balones de voleibol que pesa **1288,095Kg** es **6 veces** más pesada que la máquina más pesada del mercado, la **WinShot 1500**.

Se aprecia un desplazamiento máximo mediante simulación numérica de **334mm** lo que equivale a **0,3m** causado por el **subsistema de alimentación** que puede causar efecto de volcamiento o tumbado y generar un riesgo para los usuarios.

En el diagnóstico para el análisis de costos se encuentra que la máquina es costosa dada su cálculo de precios en **\$22,858,324COP** respecto a las demás máquinas que se encuentran en el mercado donde la más costosa tiene un valor de **\$6,884USD** que corresponde a **\$25'508.731COP** para la máquina **S6638 SIBOASI**

Se realiza un rediseño al **subsistema de potencia** en el que se vuelve a calcular la potencia del motor y se selecciona un motor de **300W** o **1/2hp** en lugar del motor de **1/4hp** que habían calculado erróneamente los diseñadores.

Se sustituye la cremallera para el **subsistema de tracción** por un tornillo y tuercas de rosca **M20** que, realizando sus respectivos análisis por el método de los elementos finitos, este brinda un buen **factor de seguridad** de **2,8**.

Se disminuyen los calibres para los componentes del **subsistema de alimentación** dando como resultado una reducción de peso que pasa de **1071,674Kg** a **115.329Kg**. La máquina rediseñada pasa de tener un peso de **1288,095Kg** a un peso de **289,706Kg**.

Se realizaron **48 planos** para la fabricación de la máquina lanzadora de balones de voleibol a partir de los procesos de corte, doblado y soldadura.

El escalado del prototipo se realizó para que lanzara pelotas de squash realizando una proporción de **1:5** o el **20%** del tamaño de la máquina. El costo del prototipo fue de **\$ 1,087,916COP**

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. S. Moreno Burbano y D. M. Vanegas Montoya, *Diseño de una máquina lanzadora de balones de voleibol para entrenamiento en prácticas deportivas en la Fundación Universidad de América*, Bogotá: Fundación Universidad de América, 2020.
- [2] S. Ito, *Development and performance of a ball shooting machine*, Elsevier Ltd, 2010.
- [3] Real Academia Española, «Diccionario lengua española,» [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/diagnosticar>. [Último acceso: 23 Septiembre 2020].
- [4] Real Academia Española, «Diccionario lengua española,» [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/viable>. [Último acceso: 23 Septiembre 2020].
- [5] Real Academia Española, «Diccionario lengua española,» [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/factible?m=form>. [Último acceso: 23 Septiembre 2020].
- [6] LEXICO, «Lexico,» Oxford, 2021. [En línea]. Available: <https://www.lexico.com/es/definicion/redisenar>. [Último acceso: 30 Septiembre 2020].
- [7] Dimensions, «dimensions,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.dimensions.com/element/volleyball>. [Último acceso: 30 Septiembre 2020].
- [8] S. Perumalsamy , P. Ragupathi y K. R. Rahul , «Design and Development of Volley Ball,» *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, vol. 4, n° 1, p. 8, Mayo 2014.
- [9] M. GROOVER, *Fundamentos de Manufactura moderna*, vol. Tercera edición, Ciudad de México: Editorial Prentice Hal, 2008.
- [10] P. Moro Vigo, «Scribd,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/231325083/Acero-Al-Carbono-Estructural-ASTM-A36>. [Último acceso: 16 Mayo 2020].
- [11] R. L. Norton, *MACHINE DESIGN an Integrated Approach*, vol. Quinta edición, Ed Prentice Hall, 2013.
- [12] MinTrabajo, «incp,» incp, 4 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://incp.org.co/datos-de-inflacion-y-desempleo-cruciales-para-aumento-de-salario-minimo/>. [Último acceso: 19 Enero 2021].
- [13] KOOM. "Transmisiones por cremallera piñón". [PDF] Disponible: <http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/engranaje/spitkoom.1.pdf> [En línea] [Consultado 16 de Mayo 2020].

- [14] SIEMENS. SITASA. "Motores eléctricos" Toledo, España [PDF] Disponible: [http://www.catalogo.sitasa.com/familias/motores\\_reductores/02\\_1.pdf](http://www.catalogo.sitasa.com/familias/motores_reductores/02_1.pdf) [En línea] [Consultado 18 de Mayo 2020].
- [15] G. BULTACO. (17, sep, 2018) "BALEROS SKF EBOOK DOWNLOAD" [En línea] <http://gustavobultaco.com/baleros-skf-40/> [Consultado 20 de Mayo 2020]
- [16] DANE, "Boletín Técnico Índice de Precios al Consumidor (IPC) Marzo 2020" Bogotá, Colombia, 4, abril, 2020. [PDF] Disponible: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ipc/bol\\_ipc\\_mar20.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ipc/bol_ipc_mar20.pdf). [Consultado 22 de Julio 2020]
- [17] BOVE-AG, "Coeficiente de fricción plásticos". bove-ag plásticos y elastómeros S.L. [En línea]. Disponible: <https://bove-ag.com/coeficiente-friccion-plasticos>. [Consultado 10 de Agosto 2020]
- [18] MOTORES SIEMENS COLOMBIA, "Motores Siemens". SIEMENS. [En línea]. Disponible: <https://www.motores.siemens.com/>. [Consultado 12 de Agosto 2020]
- [19] COVAL COLMENA, "Línea Estructural PERFILES CERRADOS (ASTM A 500 GRADO C) NTC 4526 Grado C". [PDF] Disponible: [https://coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_colmena\\_linea\\_estructural.pdf](https://coval.com.co/pdfs/manuales/man_colmena_linea_estructural.pdf) [Consultado 20 de Agosto 2020]
- [20] SKF, "Rodamientos rígidos de bolas". SKF. [En línea]. Disponible: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>. [Consultado 25 de Agosto 2020]
- [21] SHURJOINT, "TORQUE Ó FUERZA DE TORSIÓN DE LOS TORNILLOS PARA UN APROPIADO ENSAMBLE DE LOS ACOPLAMIENTOS". [PDF] Disponible: [http://webcervices.weebly.com/uploads/1/5/0/3/15034326/b-17\\_bolt\\_torque-spa.pdf](http://webcervices.weebly.com/uploads/1/5/0/3/15034326/b-17_bolt_torque-spa.pdf) [Consultado 28 de Agosto 2020]
- [22] POWER TECH, "Tensores". Power Tech de México. [En línea]. Disponible: <https://www.powertech.com.mx/tensores/>. [Consultado 02 de Septiembre 2020]
- [23] DIPAC ACENOR, "Techo de policarbonato Alveolar". DIPAC MANTA S.A. [En línea]. Disponible: <http://www.dipacmanta.com/techos-de-policarbonato-alveolar>. [Consultado 09 de Septiembre 2020]
- [24] LUIS. (16, sep, 2017). "Cortadora de Metales DW872 DeWalt: 2200 W con disco de corte dentado". EntreHerramientas.com. [En línea]. Disponible: <https://entreherramientas.com/cortadora-de-metales-dw872-dewalt-2200-w-con-disco-de-corte-dentado/>. [Consultado 15 de Septiembre 2020]
- [25] INDURA, "Equipos de Corte". INDURA Grupo AIR PRODUCTS. [En línea]. Disponible: <http://www.indura.cl/Mobile/cl/Menu/103>. [Consultado 21 de Septiembre 2020]

- [26] MAQUÍTULS, “CIZALLA MANUAL CON BANCO METALLKRAFT BSS 1020 E”. [En línea]. Disponible: <https://www.maquituls.es/cizallas-para-taller-metalico/4093-cizalla-manual-con-banco-metallkraft-bss-1020-e.html>. [Consultado 22 de Septiembre 2020]
- [27] METALTOOLS, “DOBLADORA DE LAMINA MANUAL”. METALTOOLS S.A.S. [En línea]. Disponible: <https://metaltools.com.co/producto/dobladora-de-lamina-manual/>. [Consultado 26 de Septiembre 2020]
- [28] DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS. (14, sep, 2015). “¿Qué tener en cuenta al elegir una mesa de corte por plasma? Parte III”. Demaquinasyherramientas.com. [En línea]. Disponible: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/que-tener-en-cuenta-al-elegir-una-mesa-de-corte-por-plasma-parte-iii>. [Consultado 30 de Septiembre 2020]
- [29] DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS. (7, ene, 2011). Introducción a la Soldadura MIG”. Demaquinasyherramientas.com. [En línea]. Disponible: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-mig>. [Consultado 05 de Octubre 2020]
- [30] ROBERT WOOD, “Sports Ball Size Comparison”. Topend Sports Website. 2008 [En línea]. Disponible: <https://www.topendsports.com/resources/equipment-ball-size.htm>. [Consultado 13 de Octubre 2020]
- [31] DIMENSIONS.COM, “VOLLEYBALL”. Fantastic Offense. [En línea]. Disponible: <https://www.dimensions.com/element/volleyball#:~:text=The%20diameter%20of%20a%20volleyball,%E2%80%9D%20%7C%2020.7%2D21.3%20cm.&https://sites.google.com/site/squashballmaterials/>. [Consultado 14 de Octubre 2020]
- [32] SQUASH BALLS, “Squash ball materials”. [En línea]. Disponible: <https://sites.google.com/site/squashballmaterials/>. [Consultado 14 de Octubre 2020]
- [33] BRUCEBINKLEY, “Mabuchi 775 Motor De 12v - 24v/4000 - 8000 Rpm”. Mercado libre. [En línea]. Disponible: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-574014419-mabuchi-775-motor-de-12v-24v4000-8000-rpm-\\_JM/](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-574014419-mabuchi-775-motor-de-12v-24v4000-8000-rpm-_JM/). [Consultado 16 de Octubre 2020]
- [34] POLOLU, “Motorreductor de metal HP 50:1”. Electronilab. [En línea]. Disponible: <https://electronilab.co/tienda/motorreductor-de-metal-hp-50-1/>. [Consultado 16 de Octubre 2020]
- [35] SPORTSATTACK, “SKILL ATTACK”. Sports Attack, LLC. [En línea]. Disponible: <https://sportsattack.com/product/skill-attack-volleyball-machine/> [Consultado 25 de Octubre 2020]
- [36] BALON DE VOLEIBOL.COM, “Medidas de la Cancha de Voleibol para Hombres y Mujeres”. [En línea]. Disponible: <https://www.balondevoleibol.com/medidas-de-la-cancha-de-voleibol/>. [Consultado 9 de Noviembre 2020]

## **ANEXOS**

**ANEXO 1.**  
**PLANOS DE FABRICACIÓN MÁQUINA LANZADORA DE BALONES DE**  
**VOLEIBOL.**

**ANEXO 2.**  
**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DEL PROYECTO.**

**ANEXO 3.**  
**RECOMENDACIONES.**

Se recomienda cambiar la disposición de la *carcasa cangilones* y volver a realizar los respectivos análisis para que la fabricación de la máquina real quede igual al prototipo.

Se recomienda adquirir una *sierra* o *tronzadora* por parte de la Fundación Universidad de América para disposición de la fabricación y futuros procesos.

Se recomienda realizar la inspección de la *soldadura* para la base inferior del *subsistema estructural* para la fabricación de la máquina tamaño real.

Se recomienda realizar las pruebas de lanzamiento en la máquina lanzadora de balones de voleibol tamaño real y compararlas con las realizadas con el prototipo.

Se recomienda cotizar en diversos proveedores para disminuir costos para la fabricación de la máquina lanzadora de balones de voleibol.