



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Implementación de la Ingeniería Concurrente para el Diseño de un Sistema de Ensayo a Carga de Impacto IK en Luminarias de Alumbrado Público de Acuerdo a la Norma IEC 60068-2-75 para el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador.

Andrade Clavijo, Diego Michael

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Ing. Manjarrés Arias, Félix Xavier M. Sc.

Latacunga

23 de febrero de 2021



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “**IMPLEMENTACIÓN DE LA INGENIERÍA CONCURRENTES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENSAYO A CARGA DE IMPACTO IK EN LUMINARIAS DE ALUMBRADO PÚBLICO DE ACUERDO A LA NORMA IEC 60068-2-75 PARA EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO DEL ECUADOR**”. Fue realizado por el señor **ANDRADE CLAVIJO DIEGO MICHAEL**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de febrero de 2021

Firmado digitalmente por
FELIX JAVIER MANJARRES
ARIAS
Motivo: Estoy aprobando este
documento
Fecha: 2021.02.24 12:40:34
-05'00'

Ing. FÉLIX J. MANJARRÉS A. M.Sc.

C.C.: 0501987416

Document Information

Analyzed document	TESIS_ANDRADE_DIEGO_CLAVIJO.pdf (D96085289)
Submitted	2/19/2021 11:48:00 PM
Submitted by	Manjarres Arias Felix Xavier
Submitter email	fxmanjarres@espe.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	fxmanjarres.espe@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS_1.pdf Document TESIS_1.pdf (D26103781) Submitted by: jeperez@espe.edu.ec Receiver: jeperez.espe@analysis.orkund.com	2
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/23118/1/T-ESPEL-EMI-0395.pdf Fetched: 1/28/2021 6:08:34 AM	2
W	URL: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence... Fetched: 10/13/2019 11:20:36 PM	31
W	URL: https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/3102/1/T-UIDE-2179.pdf Fetched: 11/25/2019 11:50:22 AM	1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Proyecto_Investigacion_Carranza_Bohorquez.pdf Document Proyecto_Investigacion_Carranza_Bohorquez.pdf (D56321447) Submitted by: ccarranza.ldu@gmail.com Receiver: lamena.espe@analysis.orkund.com	2
W	URL: https://doi.org/10.1108/aa.2008.03328cae.001 Fetched: 2/19/2021 11:49:00 PM	1
W	URL: https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v5n1.54231 Fetched: 2/19/2021 11:49:00 PM	1
W	URL: http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/963/1/85T00170.pdf Fetched: 2/19/2021 11:49:00 PM	1
SA	TRABAJO DE TITULACION JAIRO LOPEZ.pdf Document TRABAJO DE TITULACION JAIRO LOPEZ.pdf (D19690347)	1



Firmado digitalmente por FELIX JAVIER MANJARRÉS ARIAS
Motivo: Estoy aprobando este documento
Fecha: 2021.02.24 13:08:36 -05'00'

Ing. FÉLIX J. MANJARRÉS A. M.Sc.

C.C.: 0501987416



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **ANDRADE CLAVIJO DIEGO MICHAEL**, con cedula de ciudadanía 1726091406 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"IMPLEMENTACIÓN DE LA INGENIERÍA CONCURRENTES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENSAYO A CARGA DE IMPACTO IK EN LUMINARIAS DE ALUMBRADO PÚBLICO DE ACUERDO A LA NORMA IEC 60068-2-75 PARA EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO DEL ECUADOR"**. Es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 23 de febrero de 2021

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "Andrade Clavijo Diego Michael".

ANDRADE CLAVIJO DIEGO MICHAEL

C.C.: 1726091406



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **ANDRADE CLAVIJO DIEGO MICHAEL**, con cedula de ciudadanía 1726091406 autorizo a la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“IMPLEMENTACIÓN DE LA INGENIERÍA CONCURRENTE PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENSAYO A CARGA DE IMPACTO IK EN LUMINARIAS DE ALUMBRADO PÚBLICO DE ACUERDO A LA NORMA IEC 60068-2-75 PARA EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO DEL ECUADOR”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 23 de febrero de 2021

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "Andrade Clavijo Diego Michael".

ANDRADE CLAVIJO DIEGO MICHAEL

C.C.: 1726091406

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi padre Holger Andrade del que su sonrisa es mi tesoro más valioso que guardo en mi memoria y mis recuerdos, a mi madre Elvia Clavijo, por motivarme a alcanzar mis sueños metas reflejándose como logros que la llenan de alegría, a mi pequeño hermano Martin Andrade por su amor, cariño y preocupación por mi bienestar.

A toda mi familia que a pesar de los momentos tristes y alegres seguimos estando unidos ya que ellos me inculcaron valores de respeto por la vida, además a mi gran amigo Mauro Llerena que forma parte importante de mi crecimiento con su apoyo incondicional. Gracias a todos por formar parte del camino de mi vida.

Diego Andrade C.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen del Quinche por darme vida y salud para compartirla con toda mi familia y amigos en momentos que recordaremos por toda la vida.

Agradezco a mi amada Jhomaira Santamaria por regalarme un poco de su historia dándole vida, alegría a mi corazón y hacerme sentir en paz conmigo mismo.

Agradezco a mi gran amigo y tutor Félix Manjarrés por sus consejos, conocimientos y humildad permitiéndome crecer en mi formación profesional además del tiempo que se ha trabajado en este proyecto.

A mis mejores amigos Diego, Eugenio y Esteban por sus palabras de ánimo y consejos de seguir adelante con sus colaboraciones para ser un profesional que haga la diferencia incondicional en todo momento.

Diego Andrade C.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	1
CERTIFICACIÓN	2
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA.....	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS	15
ÍNDICE DE FIGURAS	17
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	20
RESUMEN	21
ABSTRACT.....	22
Marco Metodológico de la Investigación.....	23
Planteamiento del Problema	23
Antecedentes	25
Justificación e Importancia	26
Objetivos	27
<i>Objetivo General</i>	27
<i>Objetivos Específicos</i>	27
Marco Teórico.....	28

Definición de la Ingeniería Concurrente.....	28
Diseño Para la Calidad, QFD.....	29
<i>Despliegue Para la Función de Calidad</i>	29
<i>Casa de la Calidad</i>	29
<i>Voz del Usuario</i>	29
<i>Análisis de Competencia</i>	29
<i>La Voz del Ingeniero</i>	30
<i>Correlaciones</i>	30
<i>Evaluación Técnica</i>	30
<i>Compromisos Técnicos</i>	30
<i>Implantación del QFD</i>	31
Herramientas para la ingeniería concurrente	32
<i>Estructura Modular</i>	32
<i>Módulos e Interfaces</i>	32
Complejidad	33
<i>Evaluación de la Complejidad</i>	34
Diseño de Experimentos, DOE.....	35
<i>Estrategias de Experimentación</i>	35
Diseño Robusto	35
<i>Sistema de Ingeniería de Calidad de Taguchi</i>	36
<i>Diseño de Tolerancias</i>	37
<i>Tolerancias Geométricas</i>	37
<i>Rugosidad de Superficie</i>	39

	10
Diseño para la Fabricación y Montaje, DFMA	40
<i>Selección de Materiales y Procesos</i>	<i>40</i>
Diseño de Producto para Ensamblaje Manual (DFA)	42
<i>Pautas Generales de Diseño para el Montaje Manual.....</i>	<i>42</i>
<i>Desarrollo de la Metodología Sistemática, DFA.....</i>	<i>43</i>
<i>Eficiencia de Montaje.....</i>	<i>43</i>
Diseño para la Fabricación y Diseño Asistido por Computadora	45
<i>Análisis para Vincular el CAD y DFMA</i>	<i>46</i>
Proceso de Diseño en un Entorno Vinculado CAD/DFMA	46
<i>Extracción de Datos DFMA de la Base de Datos del Sistema CAD</i>	<i>47</i>
<i>Diseño Experto y Estimación de Costos</i>	<i>47</i>
Diseño para el Entorno, DFE.....	48
<i>Diseño y Disponibilidad.....</i>	<i>48</i>
<i>Estrategias Frente a la Disponibilidad.....</i>	<i>49</i>
La Problemática del Fin de Vida	51
<i>Formas de Fin de Vida</i>	<i>51</i>
<i>Consideraciones Iniciales de Reciclabilidad.....</i>	<i>52</i>
Norma Internacional IEC 60068-2-75	53
<i>Método de Martillo de Péndulo.....</i>	<i>53</i>
<i>Altura de Caída.....</i>	<i>54</i>
Factor de Seguridad	56
Métodos de Elementos Finitos	58
<i>Tipos de Malla.....</i>	<i>58</i>

	11
<i>Calidad de Malla</i>	59
Metodología	61
Modalidad de Investigación	61
Diseño de la Investigación	62
Niveles de Investigación	63
<i>Exploratoria</i>	63
<i>Descriptiva</i>	63
<i>Explicativa</i>	64
Muestra	64
Técnicas de Recolección de Datos	64
<i>Observación por Medio de la Simulación</i>	64
Técnicas de Análisis de Datos	65
Técnicas de Comprobación de Hipótesis	65
Ingeniería Concurrente	66
Diseño para la Calidad	66
<i>Clientes Potenciales</i>	66
<i>Estadísticas</i>	67
<i>Casa de Calidad</i>	74
<i>Resultados de la Matriz de la Casa de la Calidad</i>	75
<i>Especificaciones Técnicas</i>	76
<i>Análisis Funcional</i>	78
<i>Desarrollo de los Diagramas Funcionales</i>	79
<i>Análisis de los Diagramas Funcionales</i>	80

	12
<i>Definición y Generación de Módulos</i>	80
<i>Planteamiento de la Matriz Morfológica</i>	82
<i>Matrices de Criterios Ponderados</i>	83
<i>Selección de la Mejor Alternativa</i>	83
<i>Principios de solución</i>	84
<i>Evaluación de los Principios de Solución</i>	86
<i>Evaluación de la complejidad</i>	87
Diseño y Cálculo de la Máquina Evaluada	88
<i>Brazo Pendular 90° IK08</i>	88
<i>Tornillo de Potencia</i>	93
<i>Factor de Seguridad de la Tuerca</i>	97
<i>Factor de Seguridad del Tornillo de Potencia</i>	99
Diseño y Cálculo de la Máquina Propuesta	100
<i>Velocidad al Momento de Impacto</i>	100
<i>Tiempo del Evento</i>	101
<i>Energía de Impacto</i>	102
<i>Brazo Pendular 90° IK10</i>	103
<i>Brazo Pendular 0° IK10</i>	108
<i>Tornillo de Potencia</i>	109
<i>Factor de Seguridad de la Tuerca</i>	113
<i>Factor de Seguridad del Tornillo de Potencia</i>	115
<i>Selección del actuador</i>	116
Análisis Static Structural	118
<i>Adecuación de la Geometría</i>	119

<i>Procesamiento de Mallado</i>	121
<i>Análisis Estructural de la Contextura de la Máquina de la Alternativa a)</i>	127
<i>Análisis de Cargas de la Máquina de la Alternativa a)</i>	129
<i>Análisis Estructural de la Contextura de la Máquina de la Alternativa b)</i>	131
<i>Análisis de Cargas de la Máquina de la Alternativa b)</i>	133
<i>Análisis de Impacto</i>	136
<i>Deformación direccional en Impacto</i>	137
<i>Esfuerzos Principales en Impacto</i>	138
<i>Velocidad direccional en Impacto</i>	138
<i>Evaluación Mecánica de Alternativas</i>	139
Diseño para la Fabricación	140
<i>Guías de Referencias Principales para el Proceso de Fabricación</i>	140
<i>Operación de Torneado del Péndulo y Martillo</i>	142
<i>Operación de Taladrado</i>	144
<i>Operación de Soldadura de la Estructura</i>	144
Diagramas para el Análisis de Operaciones	145
<i>Selección del Material</i>	146
<i>Número de Observaciones para la Elaboración de las Piezas</i>	147
<i>Fabricación de las Piezas Péndulo y Martillo de Impacto</i>	148
<i>Diagrama Hombre – Máquina del Péndulo</i>	151
<i>Diagrama Hombre – Máquina del Martillo de Impacto</i>	152
<i>Tiempo Estándar del Ciclo de Trabajo Observado</i>	153
<i>Tiempo Estándar del Ciclo de Trabajo para el Péndulo</i>	154
<i>Tiempo Estándar del Ciclo de Trabajo para el Martillo de Impacto</i>	154

	14
<i>Fabricación del Sistema de Ensayo a Carga de Impacto IK</i>	155
Diseño para el Montaje	156
<i>Montaje Manual</i>	156
<i>Evaluación del Montaje Manual</i>	159
Inversión del Sistema de Ensayo a Carga de Impacto IK	163
<i>Materiales, Componentes y Herramientas</i>	163
<i>Consumo de Máquinas Eléctricas</i>	165
Conclusiones y Recomendaciones.....	167
Conclusiones.....	167
Recomendaciones.....	169
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170
ANEXOS	173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de las tolerancias.....	38
Tabla 2 Relación entre superficies y mecanizados.....	39
Tabla 3 Altura de caída	55
Tabla 4 Características coordinadas de los elementos	55
Tabla 5 Factores de Seguridad para Materiales Dúctiles	57
Tabla 6 Calidad de mallado en función de Skewness	60
Tabla 7 Calidad de mallado en función de Orthogonal Quality	60
Tabla 8 Identificación de clientes	66
Tabla 9 Análisis de la pregunta uno	67
Tabla 10 Análisis de la pregunta dos	68
Tabla 11 Análisis de la pregunta tres	69
Tabla 12 Análisis de la pregunta cuatro	70
Tabla 13 Análisis de la pregunta cinco.....	71
Tabla 14 Análisis de la pregunta seis.....	72
Tabla 15 Análisis de la pregunta siete.....	73
Tabla 16 Perspectiva de las necesidades del cliente	75
Tabla 17 Perspectivas de los requerimientos funcionales	76
Tabla 18 Especificaciones técnicas para el diseño del sistema a carga de impacto.....	77
Tabla 19 Matriz morfológica	82
Tabla 20 Selección de alternativas.....	84
Tabla 21 Factor de complejidad de un conjunto, Cf.....	88
Tabla 22 Torques ejercidos de los tornillos de potencia	117
Tabla 23 Especificación de los actuadores del equipo	118
Tabla 24 Evaluación de alternativas.....	139

Tabla 25 Guía de referencia para el diseño de piezas torneadas.....	140
Tabla 26 Guía de referencia para el diseño de piezas taladradas.....	141
Tabla 27 Guía de referencia para el diseño de conjuntos soldados.	142
Tabla 28 Operación de procesos de péndulo.....	143
Tabla 29 Operación de procesos del martillo.	143
Tabla 30 Operación de taladrado de piezas.....	144
Tabla 31 Operación de soldado de piezas.	145
Tabla 32 Símbolos para elaborar diagramas de flujo.	146
Tabla 33 Resumen y análisis de la información para la fabricación del péndulo	151
Tabla 34 Factor de valoración para el tiempo de ciclo actual	153
Tabla 35 Factor de suplementos para el tiempo de ciclo actual	154
Tabla 36 Piezas que pueden ser manipuladas por una mano sin ayuda de útiles.....	159
Tabla 37 Piezas que pueden ser manipuladas por una mano con ayuda de útiles.....	160
Tabla 38 Piezas flexibles que pueden cogerse con una mano con o sin útiles.....	160
Tabla 39 Piezas grandes que requieren dos manos para la prensión y el transporte ..	160
Tabla 40 Piezas montadas, pero no aseguradas	161
Tabla 41 Piezas montadas y aseguradas inmediatamente.....	161
Tabla 42 Operaciones sobre piezas montadas	161
Tabla 43 Componentes Estructurales	163
Tabla 44 Componentes Mecánicos	163
Tabla 45 Componentes Eléctricos.....	164
Tabla 46 Componentes Electrónicos.....	164
Tabla 47 Elementos de sujeción y accesorios.....	164
Tabla 48 Herramientas y Equipos	165
Tabla 49 Consumo eléctrico por horas.....	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Participación en equipos de modelos tradicionales.....	28
Figura 2 Estructura funcional.....	33
Figura 3 Clasificación de la complejidad.....	34
Figura 4 Sistema de ingeniería de calidad del Dr. Taguchi.....	36
Figura 5 Tolerancia.....	37
Figura 6 Rugosidad de superficie.....	39
Figura 7 Sierra eléctrica diseño inicial de 41 piezas.....	44
Figura 8 Sierra eléctrica rediseño de 29 piezas.....	45
Figura 9 Evolución de las batidoras y su relación con la estrategia de mantenimiento.....	50
Figura 10 Derivación del punto de medición.....	54
Figura 11 Aparato de prueba.....	54
Figura 12 Una malla rectangular uniforme.....	58
Figura 13 Mallas no estructuradas cuadrilátera y hexaédrica.....	59
Figura 14 Representación gráfica de la pregunta uno.....	67
Figura 15 Representación gráfica de la pregunta dos.....	68
Figura 16 Representación gráfica de la pregunta tres.....	69
Figura 17 Representación gráfica de la pregunta cuatro.....	70
Figura 18 Representación gráfica de la pregunta cinco.....	71
Figura 19 Representación gráfica de la pregunta seis.....	72
Figura 20 Representación gráfica de la pregunta siete.....	73
Figura 21 Matriz de la casa de la calidad.....	74
Figura 22 Sistema de ensayo a carga de impacto IK.....	79
Figura 23 Sistema de ensayo a carga de impacto IK.....	79
Figura 24 Módulo Mecánico.....	81

	18
Figura 25 Módulo Eléctrico	81
Figura 26 Selección de alternativa a).....	86
Figura 27 Selección de alternativa b).....	87
Figura 28 Diagrama de cuerpo libre péndulo a 90°	89
Figura 29 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del péndulo	90
Figura 30 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del péndulo	92
Figura 31 Tornillo de potencia tipo ACME.....	93
Figura 32 Diagrama de cuerpo libre péndulo a 90°	103
Figura 33 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del péndulo IK10	104
Figura 34 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del péndulo	106
Figura 35 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del péndulo	107
Figura 36 Diagrama de cuerpo libre péndulo a 0°	108
Figura 37 Tornillo de potencia tipo ACME.....	109
Figura 38 Bloque Static Structural	119
Figura 39 Modelo Cad estructura de la alternativa a).....	120
Figura 40 Modelo Cad estructura de la alternativa b).....	120
Figura 41 Configuraciones generales Sizing.....	121
Figura 42 Refinado Sizing parte superior de la estructura de la alternativa a).....	122
Figura 43 Refinado Sizing estructura completa de la alternativa a).....	122
Figura 44 Refinado Sizing parte superior de la estructura de la alternativa b).....	123
Figura 45 Refinado Sizing estructura completa de la alternativa b).....	123
Figura 46 Parámetros de calidad Ortogonal Quality máquina alternativa a).....	124
Figura 47 Parámetros de calidad Ortogonal Quality máquina alternativa b).....	124
Figura 48 Mesh Metric máquina alternativa a)	125
Figura 49 Mesh Metric máquina alternativa b)	125

Figura 50 <i>Parámetros de calidad Skewness máquina alternativa a)</i>	126
Figura 51 <i>Parámetros de calidad Skewness máquina alternativa b)</i>	126
Figura 52 <i>Mesh Metric máquina alternativa a)</i>	126
Figura 53 <i>Mesh Metric máquina alternativa b)</i>	127
Figura 54 <i>Deformación total estructural, alternativa a)</i>	127
Figura 55 <i>Esfuerzos principales de Von Mises en la estructura, alternativa a)</i>	129
Figura 56 <i>Deformación total en la base de luminaria, alternativa a)</i>	130
Figura 57 <i>Factor de seguridad de los soportes, alternativa a)</i>	131
Figura 58 <i>Deformación total estructural, alternativa b)</i>	132
Figura 59 <i>Esfuerzos principales de Von Mises en la estructura, alternativa b)</i>	133
Figura 60 <i>Deformación total en la base para luminarias de la alternativa b)</i>	134
Figura 61 <i>Esfuerzos principales en la base para luminarias, alternativa b)</i>	135
Figura 62 <i>Factor de seguridad del tornillo de potencia, alternativa b</i>	135
Figura 63 <i>Diagrama de flujo del proceso de fabricación del péndulo</i>	149
Figura 64 <i>Diagrama de flujo del proceso de fabricación del martillo</i>	150
Figura 65 <i>Grafico de porcentaje de utilización operario - máquina del péndulo</i>	151
Figura 66 <i>Análisis de la información para la fabricación del martillo de impacto</i>	152
Figura 67 <i>Porcentaje de utilización operario - máquina del martillo de impacto</i>	152
Figura 68 <i>Diagrama de flujo del proceso de fabricación del sistema de impacto IK....</i>	155
Figura 69 <i>Partes de la máquina de la alternativa a)</i>	157
Figura 70 <i>Proceso de montaje de la alternativa a)</i>	157
Figura 71 <i>Partes de la máquina de la alternativa b)</i>	158
Figura 72 <i>Proceso de montaje de la alternativa b)</i>	158

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1</i> Evaluación técnica.....	30
<i>Ecuación 2</i> Evaluación de la complejidad.....	34
<i>Ecuación 3</i> Eficiencia de montaje.....	43
<i>Ecuación 4</i> Factor de Seguridad	56
<i>Ecuación 5</i> Esfuerzos de diseño acero estructural (AISC).....	57
<i>Ecuación 6</i> Esfuerzos de diseño Aluminio (Aluminum Association).....	57
<i>Ecuación 7</i> Deflexión.....	128
<i>Ecuación 8</i> Cálculo del tamaño de la muestra.....	147
<i>Ecuación 9</i> Tiempo de ciclo observado	153
<i>Ecuación 10</i> Eficiencia de montaje.....	162

RESUMEN

La implementación de la ingeniería concurrente es la metodología que se aplicará para el diseño de un sistema de ensayo a carga de impacto IK, por medio de las herramientas que han producido un cambio en la filosofía del concepto de ciclo de vida de los productos. Primero se pone en marcha el diseño para la calidad (QFD), que considera las necesidades y requerimientos del cliente, que facilita obtener las especificaciones para los parámetros de diseño. Segundo se realizará el diseño para la fabricación y montaje (DFMA), que provee un procedimiento sistemático de combinación de materiales y procesos de acuerdo a varios criterios para simplificar la estructura y reducción del conteo de piezas, buscando aminorar costos de ensamblaje, acortar tiempos de fabricación y calidad mejorada, además se tomará en cuenta la relación hombre-máquina, ahorro energético, que nos permitirá obtener una respuesta para las herramientas de cálculo y simulación. Se creará escenarios en sistemas (CAD) de Diseño Asistido por Computadora que concede el cumplimiento de las normativas de carga de tenacidad que deben ser resistentes a una colisión IK08 de 5 J equivalente a 1,7 Kg asimismo aplicando las técnicas (CAE) simulación asistida por computadora se efectuara un análisis estructural así como de impacto para evitar gastos en construcción y pruebas de funcionamiento incluso ser capaces de comprender cargas repetitivas, esfuerzos, tensiones además garantizar la durabilidad del producto y de esta manera dar valor agregado a la investigación científica y tecnológica.

Palabras clave:

- **INGENIERÍA CONCURRENTE**
- **PRUEBAS DE IMPACTO IK**
- **DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN Y MONTAJE**

ABSTRACT

The concurrent engineering implementation is the methodology that is applied for the design of an IK impact load test system, through the tools that have produced a change in the philosophy of the product life cycle concept. Firstable, the design for quality (QFD) is launched, it considers the needs and requirements of the client, it allows to obtain the specifications for the parameters of design. Second, will be executed the design for manufacturing and assembly (DFMA), it provides a systematic material combination procedure and processes according to several criteria to simplify the structure and reduce the part count, seeking to reduce assembly costs, shorten time of production, manufacturing and improved quality, will also be considered the man-machine relationship, the energy savings that allows us to obtain an answer of the calculation and simulation tools. Scenarios will be created in (CAD) systems, Computer Aided Design that give the compliance with the tenacity load regulations that must be resistant to a collision IK08 of 5J equivalent to 1.7 Kg also applying the (CAE) techniques, Computer Aided Engineering, will be make a structural analysis, as well as an impact analysis to avoid expenses in construction and during functional tests, even being able to analyze repetitive loads, stresses, stresses, thus guaranteeing the durability of the product and in this way giving added value to scientific and technological research.

Key words:

- **CONCURRENT ENGINEERING**
- **IK IMPACT TESTS**
- **DESIGN FOR THE MANUFACTURE AND ASSEMBLY**

1. Marco Metodológico de la Investigación

1.1. Planteamiento del Problema

Actualmente, la norma técnica ecuatoriana, menciona que la clasificación de los grados de protección del armazón de los equipos eléctricos que actúan para mitigar la posible severidad de un evento de impacto especificado proporciona información de resistencia del dispositivo, el que deberá presentar un nivel aceptable de tenacidad mecánica al impacto para evaluar la seguridad del producto que no debe superar un voltaje nominal de 72.5 kV.

El Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador a través de su Laboratorio de Luminotecnia, que es el encargado de garantizar una iluminación eficaz y eficiente mediante el control y distribución exacta del haz de luz, por medio de ensayos fotométricos en lámparas y luminarias de descarga de alta intensidad, no cuenta con un sistema de ensayo tipo impacto IK que permita evaluar la resistencia a carga de impacto, lo que resulta perjudicial en la producción de luminarias las que se encuentran en algunos escenarios de funcionamientos expuestos a este tipo de fenómenos físicos.

Resulta importante asegurar los sistemas de iluminación ante la presencia de agentes externos nocivos para los componentes internos de las luminarias con la finalidad de que estas mantengan su función; con la presente propuesta se pretende determinar la influencia de determinados factores físicos externos, en la resistencia a carga de impacto de los materiales constitutivos de las lámparas las que deben resistir una solicitud mínima de índice IK08 con un impacto de 1.7 Kg equivalente a un impacto que genera una energía de 5 J, mediante un método con control de la velocidad al

momento del choque. Esto permite asegurar el sistema de iluminación para que pueda ser utilizado con fiabilidad en distintos lugares públicos.

Los modelos comerciales de máquinas de ensayos tipo Charpy e Izod ofrecen grandes prestaciones como posicionamiento automático, control de los sistemas de seguridad y sistema de frenado controlados desde un HMI, no obstante, estos equipos no están diseñados para realizar pruebas en luminarias; por otro lado, si fueren necesario adquirir el equipo tiene un costo elevado, así también son elevados los precios de mantenimiento y reposición.

Es fundamental que los sistemas de alumbrado público garanticen el nivel de iluminación requerido y un funcionamiento óptimo a condiciones de operación, que por más agrestes que estas sean no afecten su vida útil, es decir se debe considerar factores externos que pueden influir como: el flujo de peatones, el tránsito vehicular y el tamaño de las calles; por lo tanto, se plantea realizar una investigación mediante la implementación de la ingeniería concurrente para la concepción de un sistema de ensayo tipo impacto IK, que permitirá realizar procesos normados de pruebas de seguridad y de calidad exigidos según la normalización vigente del país.

Debido al crecimiento de las ciudades, la demanda de luminarias ha tendido al aumento para garantizar la seguridad de los sistemas de iluminación pública, es necesario implementar procesos normados, por ejemplo, para un ensayo tipo impacto IK es necesario una ingeniería pluridisciplinaria que se apoye en nuevos métodos de diseño, para la fabricación, el montaje, la calidad y el entorno que aporten mejoras en las funciones y prestaciones del producto y en su proceso de fabricación para un diseño relacionado directamente a la calidad, para evitar problemas de ganancias y competitividad.

Sin embargo, se debe diseñar el ensayo tipo impacto IK con funciones de atributos múltiples, materiales de bajo costo para que, a partir de la etapa de planificación y diseño, se determine un diseño conceptual hasta llegar a la etapa de costo de producción porque después será tarde para cambiar el diseño o problemas de fabricación provocando medidas nada ingenieriles para alcanzar a los tiempos de comercialización.

1.2. Antecedentes

El uso de métodos para efectuar ensayos a carga de impacto como el tipo Charpy, permite determinar las propiedades mecánicas de los materiales dúctiles y frágiles, lo que es importante para definir: su resistencia estructural, vida útil y comportamiento cuando estos constituyen elementos y componentes, de manera que sean seguros para su aplicación en ingeniería y construcción. Una fuerza externa aplicada a una estructura o a una parte, se llama carga de impacto, si el tiempo de aplicación es menor que un tercio del periodo natural de vibración mínimo del componente o la estructura. De otro modo, se llama simplemente carga estática (Budynas & Nisbett, 2012).

En la actualidad el desarrollo de productos está dirigido por estrictas normas, tanto es así que, para fabricación de diferentes aplicaciones importantes de ingeniería se requiere el apego a la norma especializada según la función del sistema. El ser humano ha diseñado y construido importantes proyectos lo que le ha aportado con el conocimiento que todos los materiales se comportan de manera diferente cuando existen factores externos actuando sobre ellos llamadas cargas y que están presentes en su entorno de trabajo. Específicamente los ensayos de impacto Charpy, permiten conocer el comportamiento del material cuando se encuentra sometido a carga de

impacto (Chagoyén et al., 2016). “Esto permite evaluar los parámetros adecuados de diseño de seguridad y servicio del sistema o estructura” (Jaramillo & Ruiz, 2003). El diseño de una máquina para pruebas IK, permitirá determinar la resistencia que tienen los equipos eléctricos ante impactos ocasionados por ciertos agentes externos, de forma que se asegure la integridad de los componentes internos del sistema.

1.3. Justificación e Importancia

El Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador, cuenta con el Laboratorio de Luminotecnia que está acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE) que tiene la disposición tecnológica de realizar ensayos de matriz de intensidad en lámparas y luminarias de descarga de alta intensidad, para medir el flujo luminoso, temperatura correlacionada de color, índice de reproducción cromática, consumo eléctrico entre otros sin embargo se encuentra con la limitación de realizar pruebas de grados de protección al impacto IK en las luminarias para verificar que cumplan los estándares de eficiencia energética en alumbrado público establecidos en la normativa del país, siendo esta una prueba necesaria para garantizar la función del sistema integral a condiciones de trabajo normal.

El presente proyecto propone el análisis e implementación de ingeniería concurrente para la gestión de un sistema de pruebas a colisión que generen una mejora de calidad del sistema concebido para el ensayo tipo impacto IK, ya que, durante el proceso, se utilizarán herramientas de simulación asistidas por computadora para modelar las variables claves del proceso y producto reduciendo las fallas, detección de errores, y gastos innecesarios en la preparación del modelo, además permitirá probar diferentes posibilidades para obtener resultados con una funcionalidad

mejor, menor tiempo de desarrollo y sin gastar recursos en construir nuevos prototipos para ensayos.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo General*

Implementar una metodología de ingeniería concurrente para un sistema de ensayo tipo impacto IK en luminarias de alumbrado público de acuerdo con la norma IEC 60068-2-75 en el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

- Recopilar información correspondiente a un conjunto de libros, artículos de revista, publicaciones, monografías, estudios previos realizados en tesis que se hayan llevado a efecto en mención al sistema de ensayo tipo impacto IK.
- Aplicar el método de la ingeniería concurrente, en relación a la estructura modular del sistema para la productividad y los procesos de fabricación
- Realizar un procedimiento sistemático de combinación de materiales y procesos de acuerdo con varios criterios para simplificar la estructura y reducción del conteo de piezas del sistema de ensayo tipo impacto IK.
- Planificar el proceso de la producción, donde obtendremos las especificaciones de los valores para los parámetros del diseño conceptual, estableciendo tolerancias para una eficiente línea de producción.

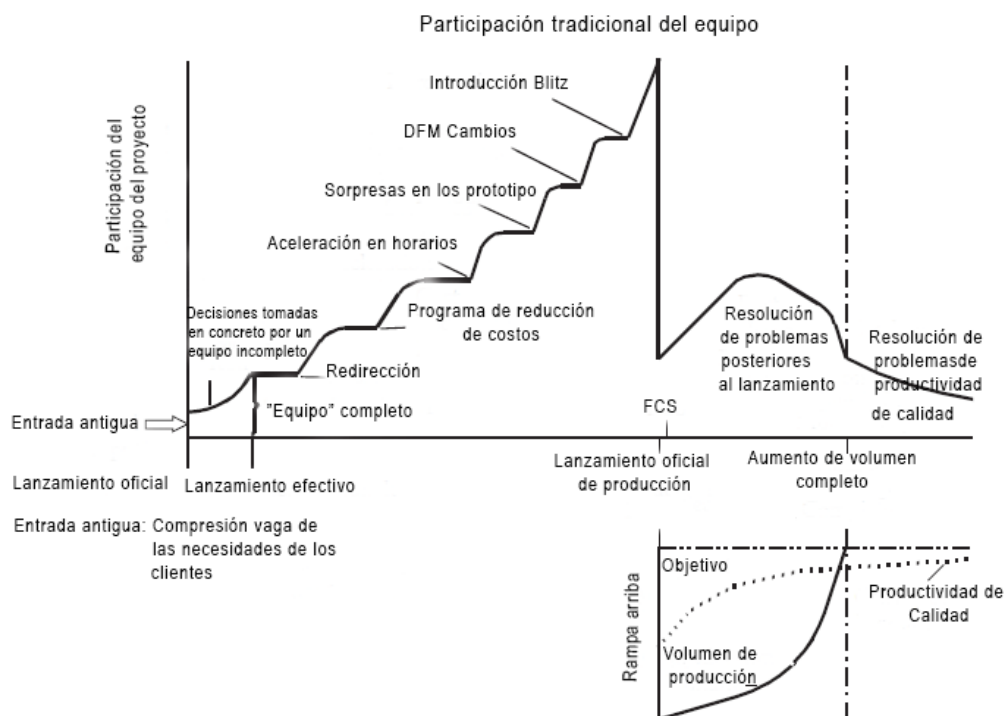
2. Marco Teórico

2.1. Definición de la Ingeniería Concurrente

Es desplegar la fabricación de dispositivos multifuncionales desde un principio con el mayor número de profesionales involucrados formando equipos completos como se describe en la Figura 1, considerando como factor crítico el tiempo de desarrollo, problemas de fabricación, costos y mantenimiento para lograr una producción rápida de acuerdo con los tiempos programados de comercialización. (Anderson, 2014)

Figura 1

Participación en equipos de modelos tradicionales



Nota. Tomado de (Anderson, 2014).

2.2. Diseño Para la Calidad, QFD

2.2.1. Despliegue Para la Función de Calidad

Se desarrolló como una herramienta que reduce el error en la calidad durante el desarrollo de diseño del producto como por ejemplo su seguridad, ecología, vida útil, finanzas etc., Esto se lleva acabo con un control de calidad total de toda la empresa capaz de orientar el producto hacia las necesidades del usuario. (Franceschini, 2001)

2.2.2. Casa de la Calidad

La primera matriz que se utilizará en QFD se conoce como la casa de la calidad esta matriz sirve para describir el proceso básico subyacente a la QFD: la transición basada en una estrategia de entrada-salida de una lista de requisitos del cliente, el "qué", hasta una lista de consideraciones sobre "cómo" se cumplirán los requisitos. (Franceschini, 2001)

2.2.3. Voz del Usuario

Todo el proceso de un diseño de un nuevo producto está directamente relacionado con los requerimientos del cliente a través de un brainstorming o lluvia de ideas, pero estas son incompletas o son redundantes, por medio de un experto en QFD estas son formuladas de forma concreta, idónea, eficaz y útil como entradas al sistema. (Riba, 2002)

2.2.4. Análisis de Competencia

Esta se relaciona con el cumplimiento de las demandas del cliente; objetivos, índice de mejora de la empresa, factor de venta, importancia. Que son relacionados con las demandas de los clientes para obtener el grado de cumplimiento de los productos evaluados en un rango de 1 a 5 que posteriormente se introducirán a la casa de calidad. (Riba, 2002)

2.2.5. La Voz del Ingeniero

Permite la creación de un listado de características medibles al alcance de la empresa que puedan dar cumplimiento a las demandas subjetivas de los clientes, como mínimo para cada demanda se debe identificar una característica técnica para la construcción de la casa de la calidad. (Riba, 2002)

2.2.6. Correlaciones

Se establece hasta qué punto se puede cumplir las demandas por medio de las particularidades técnicas establecidas, con este resultado se puede inferir los niveles: fuerte, mediano, débil, no existe relación. Para la fomentación y trabajo común entre el personal de todo el departamento de trabajo. (Riba, 2002)

2.2.7. Evaluación Técnica

Evaluación de la incidencia de cada una de las características técnicas en la satisfacción de las demandas del usuario, normalmente se señalan unas pocas características técnicas para ser mejoradas, en función del valor de la importancia y de la posición en la evaluación técnica. (Riba, 2002)

$$\text{Importancia } t = \sum I_d \cdot S_{dt}$$

Ecuación 1

Evaluación técnica

Nota. (Riba, 2002).

Donde:

I_d = Función de cada correlación

S_{dt} = Valor de la ponderación

2.2.8. Compromisos Técnicos

De acuerdo con el autor (Riba, 2002) los miembros del equipo de diseño realizan un diseño conceptual meticuloso por medio de técnicas de ingeniería concurrente en el

cual se sitúan en el techo de la casa de la calidad las características técnicas que tendrán mayor impacto, beneficio y acogida en el mercado donde pueden darse varios casos de interacción entre características técnicas:

- **Correlación positiva**

Al mejorar una característica técnica, también mejor la otra

- **Correlación negativa**

Al mejorar una característica técnica, empeora la otra

- **Sin correlación**

Las variaciones de dos características técnicas no tienen influencia mutua

2.2.9. Implantación del QFD

De acuerdo con el autor (Riba, 2002) es necesario convencer al personal de trabajo que los objetivos del QFD y la recolección de datos y documentación es beneficioso para una gestión participativa presidida por el desarrollo y la determinación de la dirección general. Entre los beneficios de la implantación del QFD se encuentran los siguientes:

- Define de forma muy consistente el producto
- Acorta los plazos de desarrollo
- Acumula conocimiento
- Requiere pocos cambios durante el desarrollo
- Mejora la relación entre departamentos de la empresa
- Elimina procesos que no añaden valor
- Identifica procesos que requieren mejoras
- Genera una documentación mucho más accesible
- Descubre nichos de mercado

- Facilita los cambios rápidos
- Aumenta la productividad
- Elimina reclamaciones de los usuarios

2.3. Herramientas para la ingeniería concurrente

Es una organización formada por la estructura modular y sus módulos, para que estos faciliten la etapa de diseño a través de un desarrollo simultáneo de todas las áreas que conllevan la creación del producto de tal manera que este dividido en departamentos de calidad, fabricación, montaje y entorno a fin de que el producto cumpla las demandas del cliente y las normas de calidad y medio ambiente vigentes en el país. (Riba, 2002)

2.3.1. Estructura Modular

Es el despliegue de las diferentes soluciones que puede llegar a tener el producto para que cumpla con las funciones de trabajo a cabalidad y con un alto grado de exactitud para que facilite la creación de nuevos módulos con nuevas funciones. (Riba, 2002)

2.3.2. Módulos e Interfaces

Agrupar las funciones en módulos. Es ventajoso la creación de un solo módulo para facilitar el proceso que conlleva a las funciones del producto, en el caso de no ser posible, cada módulo tiene que estar delimitado a detalle y analizar todas sus funciones e interrelaciones cuidadosamente. (Riba, 2002)

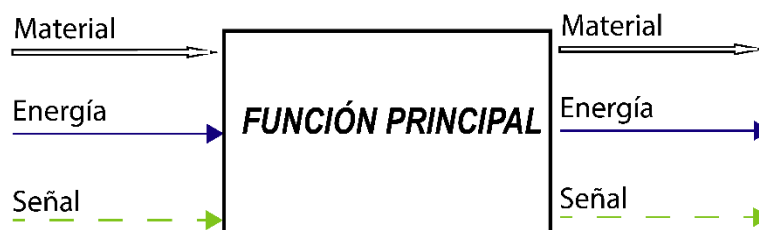
Establecer interfaces adecuadas entre módulos. Es el ámbito real o imaginario que se da entre dos módulos mediante interfaces mecánicas, energía, transferencia de materiales, señal. Estos detalles deben ser considerados a cabalidad

desde lo más simple del producto a lo más complejo para evitar problemas difíciles de resolver en el transcurso de desarrollo del producto. (Riba, 2002)

Descripción Simbólica. Se implementa la simbología de la norma VDI 2222 como se observa en la Figura 2, la cual permite tener una representación flexible y adecuada de las funciones y de los flujos en la estructura funcional de un producto para generar los principios de solución a través de la descripción de las funciones, flujos, sistema, subsistema y módulos. (Riba, 2002)

Figura 2

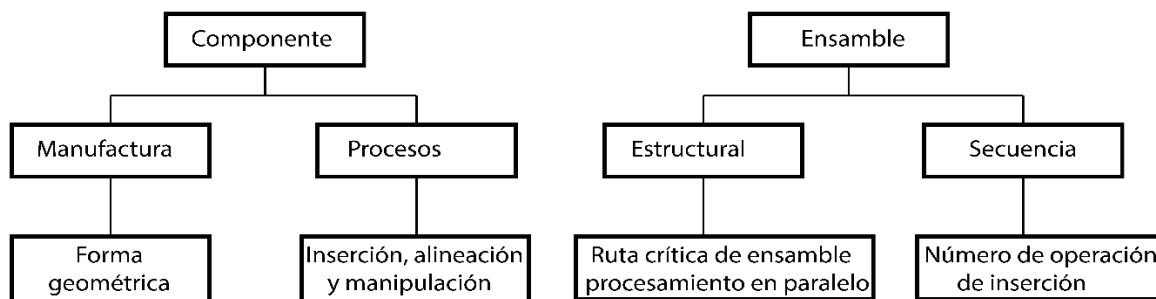
Estructura funcional



Nota. Tomado de (Riba, 2002).

2.4. Complejidad

La complejidad está determinada por una pieza, producto o sistema donde se debe determinar dos aspectos importantes primero la complejidad de piezas y componentes y segundo la complejidad de un conjunto estos dos criterios permiten la valoración de la forma de la pieza por ejemplo su valoración grado de precisión también el número de piezas y componentes todo esto para emplear al momento de su fabricación y montaje, en la Figura 3, se observa una clasificación aproximada de la complejidad de un producto o sistema. (Riba, 2002)

Figura 3*Clasificación de la complejidad*

Nota. Tomado de (Mejía & Pumisacho, 2008).

2.4.1. Evaluación de la Complejidad

Se determina a partir de la discontinuidad en la fabricación de piezas y componentes por ejemplo superficies, chaflanes, roscas, variedad de piezas para esto existe dos métodos para evaluar la complejidad el primero factor de complejidad de piezas y componentes y el segundo factor de complejidad de un conjunto. (Riba, 2002)

$$C_f = \sqrt[3]{N_p N_t N_i}$$

Ecuación 2

Evaluación de la complejidad

Nota. (Riba, 2002).

Donde:

N_p = Número de piezas o componentes del conjunto considerado

N_t = Número de tipos distintos de piezas o componentes

N_i = Número de interfaces, enlaces o conexiones del conjunto

f = Número de funciones que realiza el conjunto, el número de funciones es el mismo en propuestas alternativas por lo que se suprime este parámetro

2.5. Diseño de Experimentos, DOE

Consiste en determinar el conjunto de pruebas a realizar para obtener el máximo conocimiento útil sobre el sistema con el mínimo número de experimentos para determinar parámetros relacionados con la calidad de los productos y los procesos sean óptimos, estas características de calidad dependen de las variables cuantitativas o cualitativas, y algunas de ellas como dimensiones, disposiciones dependen del diseñador y mientras otras como tolerancias, fabricación, acciones del usuario dependen de la producción. (Riba, 2002)

2.5.1. Estrategias de Experimentación

De acuerdo con el autor (Riba, 2002) mediante un parámetro de pruebas permite determinar de mejor forma cómo evoluciona las características de calidad de un sistema, por lo cual se establece el número de pruebas en relación al presupuesto, o se puede seguir una estrategia secuencial que proporciona resultados más fiables o requiere de menor número de experimentos pero puede ser inviable cuando las condiciones de las pruebas son difícilmente reproducibles.

2.6. Diseño Robusto

Son diseñados para la satisfacción ideal del cliente y facilitan la línea de producción a través de tolerancias, parámetros y se controla mediante diversas pruebas realizadas en laboratorios bajo diversas condiciones de trabajo para que este funcione correctamente, aunque exista factores externos e internos que alteren las características de calidad del producto. (Mejía & Pumisacho, 2008)

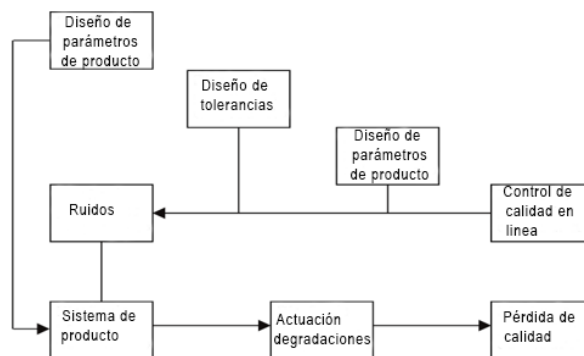
2.6.1. Sistema de Ingeniería de Calidad de Taguchi

De acuerdo con el autor (Haug, 1993) determina que las grandes pérdidas de calidad se dan por la falta de robustez que causa la alteración de la productividad en la salida del producto como se puede observar en la Figura 4, estas alteraciones son causadas por los tres tipos de ruido que afectan al producto, para reducir el costo total, la pérdida de calidad y el costo de fabricación se realizan las siguientes actividades:

- Parámetro del producto diseño, la optimización sistemática de la robustez del diseño del producto.
- Diseño de tolerancia, para seleccionar los niveles de precisión económicos alrededor de los valores nominales.
- Proceso de diseño de parámetros, la optimización sistemática de los procesos de producción más importantes para que inherentemente producirán productos más consistentes.
- Control de calidad en línea, prudente intervención en el piso de la fábrica para mejorar aún más la consistencia de producción.

Figura 4

Sistema de ingeniería de calidad del Dr. Taguchi



Nota. Tomado de (Haug, 1993).

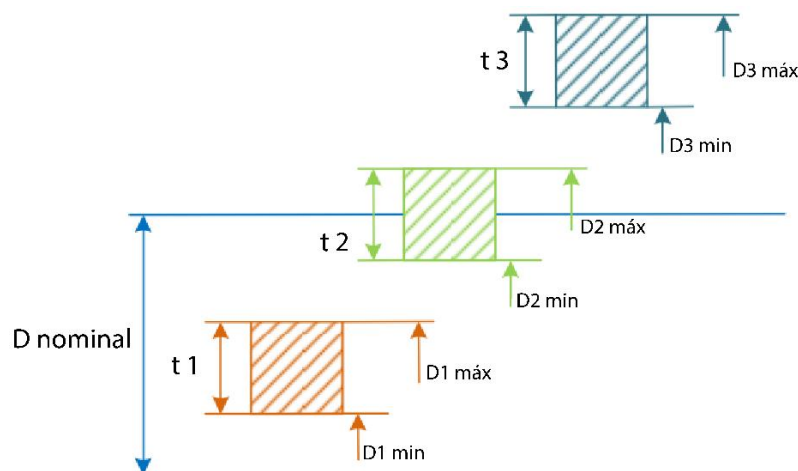
2.6.2. Diseño de Tolerancias

Contiene tres tipos esenciales de información de un dibujo de ingeniería, estas son: el material que se utilizara, el tamaño y dimensiones de la pieza, la forma y características geométrica de la pieza; con esta información permite a los profesionales realizar variaciones permisibles muy exactas de forma que son adecuadas al momento del proceso de fabricación y montaje. (Jensen et al., 2012)

Medida de dimensiones. Está conformada por dimensión y tolerancia como se observa en la Figura 5; por ende, la dimensión permite especificar el tamaño, diámetro, ángulo entre otras características de la pieza, mientras que la tolerancia es la variación de su tamaño, y esta no debe incurrir en aumentos a los costos del producto y tiempos de procesos. (Jensen et al., 2012)

Figura 5

Tolerancia



Nota. Tomado de (Mejía & Pumisacho, 2008).















2.6.3. Tolerancias Geométricas

Garantizan el control de desviaciones o errores que son; paralelismo, perpendicularidad, flexión de partes, lóbulos y excentricidad para que las piezas estén

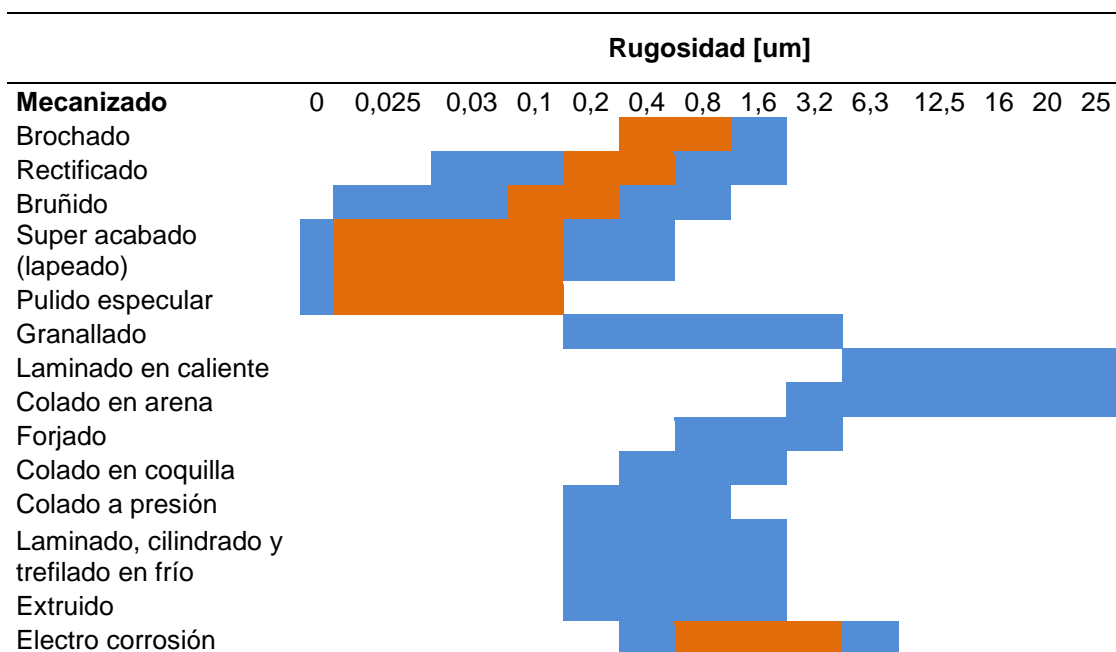
dentro de los límites especificados por tamaño, orientación y posición como se especifica en la Tabla 1 donde estos diseños aportan con la especificación de las tolerancias geométricas ocupando un espacio reducido en la hoja de planos. (Jensen et al., 2012)

Tabla 1

Clasificación de las tolerancias

Símbolos de características geométricas			
	Tipo de tolerancias	Características	Símbolo
Para elementos individuales	Forma	Rectitud	
		Planicie o aplanamiento	
		Circularidad (redondez)	
		Cilindricidad	
Para elementos individuales o relacionados	Perfil	Perfil de una línea	
		Perfil de una superficie	
	Orientación	Angularidad	
		Perpendicularidad	
		Paralelismo	
Para elementos relacionados	Localización	Posición	
		Concentricidad	
	Corrimiento	Simetría	
		Corrimiento circular	
		Corrimiento total	

Nota. Tomado de (Mitchell et al., 2006)



Nota. Rugosidad más frecuente color anaranjado, Rugosidad menos frecuente color celeste.

Tomado de (Mejía & Pumisacho, 2008)

2.7. Diseño para la Fabricación y Montaje, DFMA

2.7.1. Selección de Materiales y Procesos

En las etapas iniciales del diseño del proceso se establece la eficiencia, eficacia y calidad de las fabricaciones con limitados procesos que están familiarizados los diseñadores lo que implica posibles combinaciones ineficientes con determinados. Materiales, lo cual se establece elegir otros procesos más rentables y amigables al medio. (Appleton, 2008)

2.7.2. Requisitos Generales para Materiales Tempranos y Selección de Procesos

La relación inicial de combinaciones de materiales y proceso está directamente relacionada con la etapa de diseño conceptual donde se incluye parámetros como: volumen del producto, apariencia, precisión, complejidad, requisitos ambientales entre

los más importantes a considerar. En la etapa conceptual es importante evaluar el proceso económico para determinar costos aproximados del producto, del tamaño, de la complejidad, de su eficiencia como punto de partida de la relación entre el diseño conceptual y costos de fabricación y proceso del producto elegido. (Appleton, 2008)

2.7.3. Selección de Proceso de Fabricación

Se determina una “lista de compras” formulando las propiedades del material, condiciones geométricas, condiciones de puesta en servicio, que están relacionadas con la función final de la pieza terminada, y esto es necesario porque necesita más de un proceso para proporcionar calidad y atributos a las piezas y estructura del producto. (Appleton, 2008)

2.7.4. Capacidades de Proceso

Se determina el rango de las capacidades, características, las cuales determinan si un proceso se lo puede utilizar como guía para la selección de tolerancias, rugosidad de la superficie, procesos térmicos entre otros con el objetivo básico de simplificar la estructura del producto y la facilidad de montaje. (Appleton, 2008)

2.7.5. Selección de Materiales

Se considera combinaciones apropiadas de procesos y utilización de materiales idóneas para sus aplicaciones respectivas, mitigando atributos no considerados en procesos primarios, para obtener un procedimiento para mejoras de selección de material selección de procesos, selección de geometrías, por lo cual la geometría de la pieza se determina por sus características, forma, tamaño respecto a su aplicación o trabajo que realiza en la máquina. (Appleton, 2008)

2.8. Diseño de Producto para Ensamblaje Manual (DFA)

El proceso de diseño al aplicar la herramienta DFA, la comunicación entre los departamentos de fabricación y diseño mejora las soluciones de ensamblaje del producto también elimina el juicio subjetivo de la evaluación del diseño lo que permite vincular entre los departamentos de trabajo comparaciones de diseños alternativos, identificar puntos problemáticos de ensamblaje, simplificar la estructura para asegurar resultados rápidos simples para la reducción de costos de fabricación y montaje del producto. (Appleton, 2008)

2.8.1. Pautas Generales de Diseño para el Montaje Manual

De acuerdo con el autor (Appleton, 2008) para facilitar el manejo de piezas se debe intentar:

- Diseñar piezas que tengan simetría de extremo a extremo y simetría rotacional sobre el eje de inserción. Si esto no se puede lograr intente diseñar piezas que tengan máxima simetría posible.
- Diseñe partes que, en aquellos casos en que la parte no se pueda hacer simétricos, obviamente son asimétricos.
- Proporcione características que eviten el atasco de partes que tienen a anidarse o apilarse cuando se almacena en granel.
- Evite las características que permitirán enredar las piezas cuando se almacena a granel.
- Evite las partes que se pegan o sean resbaladizas, delicadas, flexibles, muy pequeñas o muy grandes o que son peligrosos para el manipulador.

2.8.2. Desarrollo de la Metodología Sistemática, DFA

Se desarrollaron estudios experimentales para determinar medir efectos de peso, tamaño, flexibilidad, grosor, agarre, fijación, etc. Para facilitar la inserción y fijación manual de las piezas por lo cual se evita atascos, acceso obstruido y visión restringida en operaciones de montaje. (Appleton, 2008)

2.8.3. Eficiencia de Montaje

La eficiencia del ensamblaje de un diseño propuesto está relacionada con dos factores que influyen en su costo de ensamblaje son:

- EL número de partes en un producto
- La facilidad de manejo, inserción y fijación de piezas

Por lo tanto, se obtiene:

$$E_{ma} = N_{min} \frac{t_a}{t_{ma}}$$

Ecuación 3

Eficiencia de montaje

Nota. (Riba, 2002).

Donde:

N_{min} = Número mínimo de piezas

t_a = Tiempo de una parte del ensamble básico

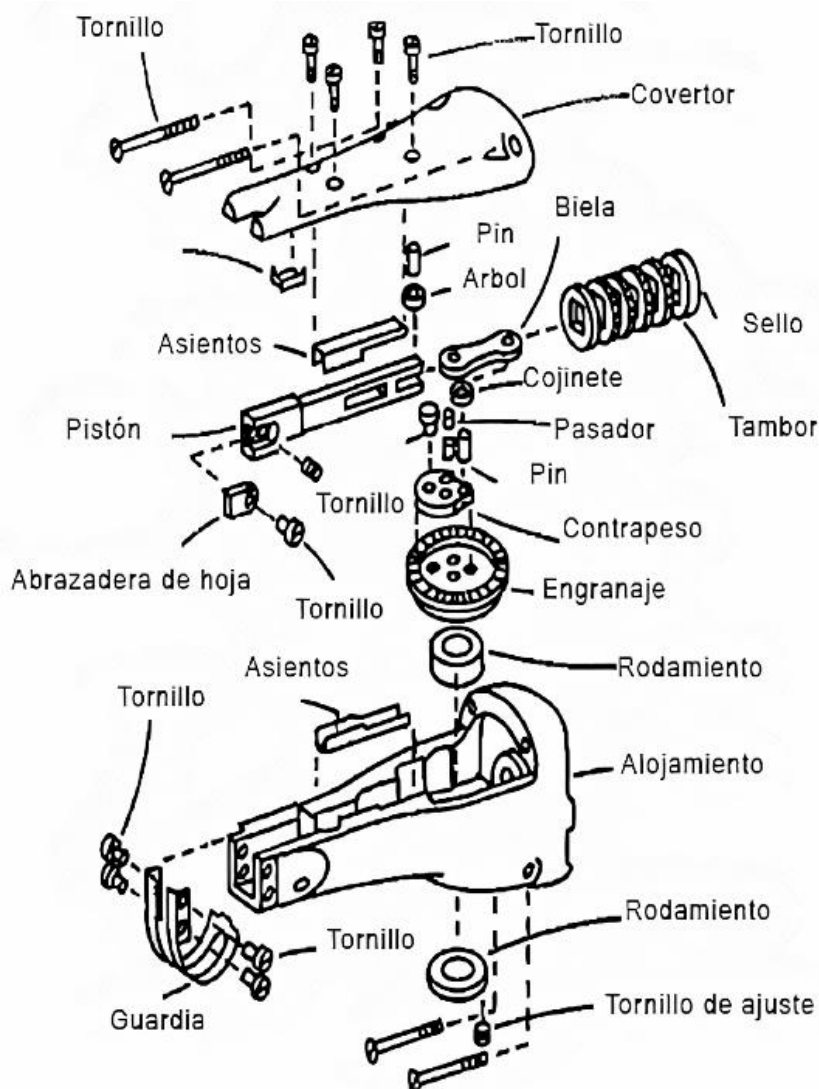
t_{ma} = Tiempo estimado para completar el ensamble del producto

Por ejemplo, al evaluar la efectividad de este método se analizó una sierra mecánica y los productos fueron rediseñados para un montaje más fácil, el diseño inicial de la sierra mecánica ver Figura 7, tuvo 41 partes y un estimado de montaje de 6.37 minutos, el rediseño ver Figura 8 tuvo 29 partes para un 29% de reducción de piezas y

un tiempo de montaje estimado de 2.58 minutos para un 59% de reducción en el montaje de tiempo lo que resulta más del 50 % de mejora anticipada en el rendimiento del producto. (Appleton, 2008)

Figura 7

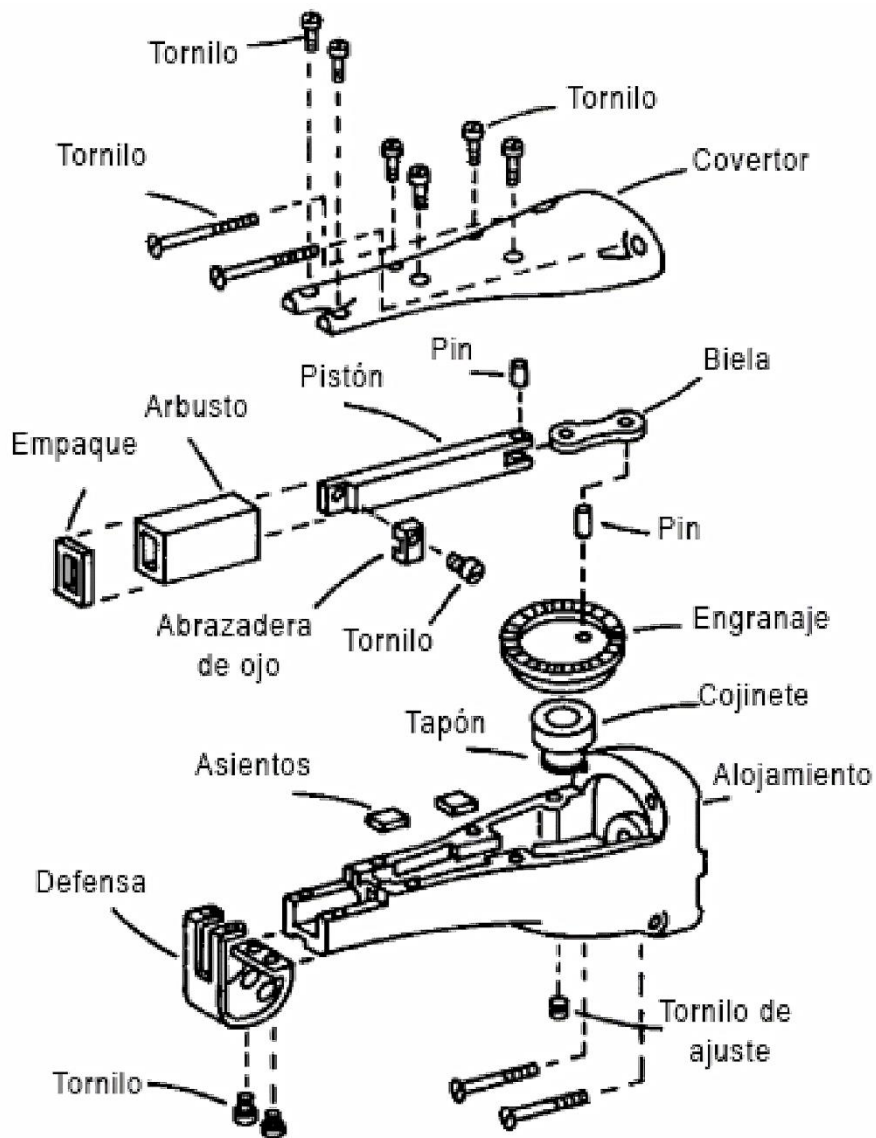
Sierra eléctrica diseño inicial de 41 piezas



Nota. Tomado de (Appleton, 2008).

Figura 8

Sierra eléctrica rediseño de 29 piezas



Nota. Tomado de (Appleton, 2008).

2.9. Diseño para la Fabricación y Diseño Asistido por Computadora

Las herramientas de diseño asistido por computadora, son útiles para el diseño de productos en las empresas, como consecuencia se integran los procedimientos de análisis de fabricación y ensamblaje en forma temprana para obtener el mayor

beneficio, para evitar perder tiempo y esfuerzo para diseñar todas las piezas y subconjuntos de un producto. (Appleton, 2008)

2.9.1. Análisis para Vincular el CAD y DFMA

Este análisis se lo realiza en dos etapas: Diseño para ensamblaje DFA y Evaluación temprana de fabricación de componentes costos DFM.

Diseño para análisis de ensamblaje. Se lo realiza por medio de un equipo multidisciplinario para promover y discutir conceptos de simplificación del producto y la reducción del conteo de piezas y diseños alternativos para cumplir los requisitos básicos de funcionamiento del producto y un ensamblaje simple. (Appleton, 2008)

DFA detallado. El análisis se lo realiza de forma efectiva en productos o prototipos existentes, para considerar las formas geométricas de cada parte de la estructura obteniendo una idea de la dificultad del ensamblaje, pero en etapas de diseño conceptual un procedimiento diferente es más aplicable. (Appleton, 2008)

Evaluación temprana de los costos de fabricación de componentes. Se lo realiza con el criterio de justificar y evaluar la selección de materiales, costos reales del mercado, costo del procesos y fabricación. Por lo cual se necesita la información de las geometrías de le estructura del producto para ser vinculado a un entorno CAD. (Appleton, 2008)

2.10. Proceso de Diseño en un Entorno Vinculado CAD/DFMA

Se integra de forma lógica el análisis DFA en el CAD, donde el sistema DFA maneja al sistema CAD para crear la geometría de cada elemento en el ensamble lo que permite simplificar la estructura del producto para acomodar de forma eficaz al producto. (Appleton, 2008)

2.10.1. Extracción de Datos DFMA de la Base de Datos del Sistema CAD

De acuerdo con el autor (Appleton, 2008) se pide proporcionar información importante para el montaje y manejo de cada parte para el ensamble, lo cual para un ensamble manual se requiere información más subjetiva de las características de la pieza, complejidad de cada una y hacerse las siguientes preguntas:

- ¿Se puede agarrar la pieza con una mano?
- ¿Las partes se anidan o se enredan?
- ¿Las piezas son fáciles o difíciles de agarrar y manipular?
- ¿Se requieren herramientas de manejo?
- ¿Está obstruido el acceso de parte, herramientas o manos?
- ¿Está restringida la visión de las superficies de acoplamiento?
- ¿Es necesario mantener presionado para mantener la orientación o ubicación de la pieza durante operaciones posteriores?
- ¿La parte es fácil de alinear y posicionar?
- ¿Es la resistencia a la inserción suficiente para dificultar el ensamblaje manual?

2.10.2. Diseño Experto y Estimación de Costos

El diseño experto es un sistema CAD inteligente que dispone de algoritmos relevantes de fabricación al inicio del proceso de diseño lo cual permite advertir al diseñador que no está considerando especificaciones del cliente, por lo cual se sugiere mejoras adecuadas que proporciona un proceso de retroalimentación inmediata a través de características que relacionan los costos de las piezas del sistema CAD con un proceso específico. (Appleton, 2008)

2.11. Diseño para el Entorno, DFE

De acuerdo con el autor (Riba, 2002) está formado para asegurar la calidad de vida de la sociedad, regulado por entes directivas por ejemplo la CE 93/1989 y las normas EN 292 y 293 para seguridad de las máquinas y la ISO 1400 de gestión del medio ambiente, con el fin de limitar el diseño desde números puntos de vista que son:

- La disponibilidad de los productos y sistemas
- La relación hombre-máquina
- La seguridad de las máquinas
- El ahorro energético y los impactos ambientales
- La problemática del fin de vida de los productos

2.11.1. *Diseño y Disponibilidad*

De acuerdo con el autor (Riba, 2002) la condición de una máquina para cumplir su función en cualquier momento bajo diferentes parámetros de trabajo como la disponibilidad, porcentaje de tiempo de uso y operatividad, que determina la capacidad de concretar las metas planteadas y efectividad productiva de la máquina, la noción de disponibilidad se basa en:

Fiabilidad. Es la capacidad que se determina en todos los sistemas en un tiempo, función, por lo cual si no cumple sus parámetros básicos se considera como fallo.

Mantenibilidad. Es la capacidad de restablecer y mantener un equipo a sus condiciones óptimas de funcionamiento a lo largo de su ciclo de vida con costos establecidos dentro de lo permitido.

Logística de Mantenimiento. Son conjuntos de equipos que, mediante el uso de herramientas, transporte y otros medios llevan la maquina a condiciones de funcionamiento optimas en su ubicación dentro de un área de trabajo.

2.11.2. Estrategias Frente a la Disponibilidad

De acuerdo con el autor (Riba, 2002) existe dos estrategias la primera es la fiabilidad, son productos que no se realiza mantenimiento ni logística de mantenimiento porque son productos altamente fiables en su campo de utilización, la segunda es la producción de pocas unidades o una sola que hacen referencia al mantenimiento y su logística al ser productos altamente dificultosos de hacer ensayos y condiciones de funcionamiento por que se eleva su costo y no existe márgenes de ganancia.

2.11.3. Usar Hasta Fallar

Esta estrategia se aplica a productos pequeños en base a la fiabilidad estudiada de precio frente al tiempo de utilización para una producción en masa, con el propósito de eliminar el mantenimiento y su logística del producto para abaratar costos y problemas ambientales. (Riba, 2002)

2.11.4. Evolución de la Batidora Frente a la Disponibilidad

Como se observa en la Figura 9a, las batidoras de 1950 – 1960 tenían dificultades de operación al tener el motor en la base y encima el vaso el cual era complicado desmontar con el producto encima, y a su vez desconectarlo del eje que conlleva a filtraciones del líquido hacia el motor produciendo fallos, todo esto con complicaciones al momento de la limpieza, su confianza era el mantenimiento y su logística por su altos costo. (Riba, 2002)

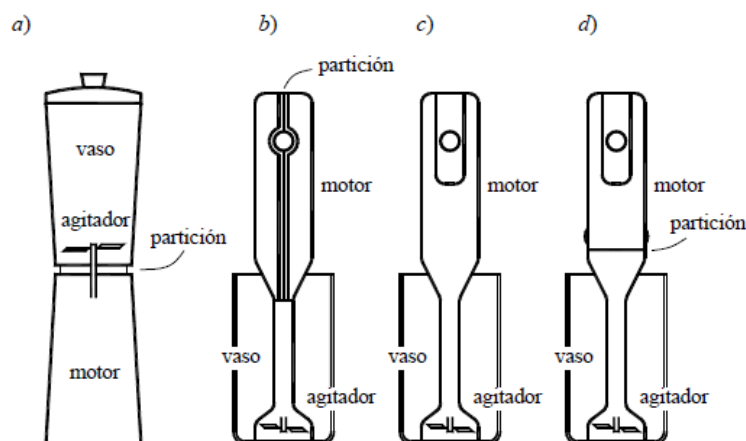
En la Figura 9b, las batidoras de 1970 se mejora la fiabilidad está previsto para ser desmontado en caso de reparación y mejora su funcionamiento al tener ubicado el motor en la parte de arriba del vaso ya que por la gravedad evita filtraciones de líquidos que produzcan fallas con en la Figura 9a (Riba, 2002)

En la Figura 9c, es una batidora que se refiere a la fiabilidad al no poderse desmontar se pierde el mantenimiento y su logística lo que permite mejorar las filtraciones del agua a los componentes interiores y reduces los costos de venta al no eliminar las actividades como reparaciones manuales. (Riba, 2002)

En la Figura 9d, en esta se asegura la fiabilidad ya que se evita por completo el contacto de las partes eléctricas con el agua por medio de los grados de protección IP, inclusive se puede hacer uso de otros equipos como lavaplatos para lavarlos, eliminando por completo el mantenimiento y disminuyendo los costos más que en los casos anteriores. (Riba, 2002)

Figura 9

Evolución de las batidoras y su relación con la estrategia de mantenimiento



Nota. La imagen representa la evolución de las batidoras: a) Batidora de vaso; b) Batidora de mano, mantenible; c) Batidora de mano integral, no mantenible; d) Batidora de mano integral con agitador separable, no mantenible. Tomado de (Riba, 2002).

2.12. La Problemática del Fin de Vida

Es el aumento de la conciencia y las acciones encaminadas a la protección del medio ambiente por medio de reciclaje, conciencia del impacto de los carburantes fósiles entre otros, por lo cual se produjo un importante giro creando las normas ISO 14000 sobre sistemas de gestión ambiental y la ISO 14040 sobre el análisis del ciclo de vida, como base para tomar decisiones entre los sistemas tecnológicos el medio ambiente orientadas a un desarrollo más sostenible teniendo en cuenta lo ambiental, social y económico. (Riba, 2002)

2.12.1. Formas de Fin de Vida

Reutilización. Es la forma que menor impacto genera en el entorno limitada a la clasificación de diferentes productos con el propósito de la recuperación de diferentes componentes por ejemplo neumáticos triturados, material informático, plásticos, este proceso permite producir menos basura y consumir menos recursos económicos. (Riba, 2002)

Reciclaje. Utilización de materiales como materia prima en nuevos procesos para resolver el fin de vida de los productos, con la clasificación de metales que se recicla de una forma más fácil y eficaz en comparación de los polímeros que son dificultosos y tienen elevados costos de operación. (Riba, 2002)

Vertido. Es la preparación del terreno para la eliminación de los productos en la etapa de su fin de vida, pero este recurso es el último que se debe utilizar porque contamina el agua, superficies de tierra, subsuelo, producen también malos olores e impacto paisajístico. (Riba, 2002)

2.12.2. Consideraciones Iniciales de Reciclabilidad

Reciclaje de los plásticos. Se clasifican en materiales termoplásticos estos no tienen una buena reciclabilidad cuando conforman parte de aleaciones de fibras, plastificantes o están combinados por medio de pinturas, recubrimientos mientras que los materiales termostables se los reutiliza a partir de su fraccionamiento como carga para materiales compuestos. (Riba, 2002)

Reciclaje de aluminio. Este material facilita la fabricación de productos, maquinas debido a sus excelentes propiedades de resistencia, fundición, inyección, mecanizado, tratamientos térmicos, y también por su buena reciclabilidad la cual es considerada al momento de diseñar los productos por su alto costo energético al solo recuperarse el 5% de esta energía inicial. (Riba, 2002)

2.12.3. Criterios para una Buena Eco cultura del Diseño

Orientar el diseño hacia el reciclaje y reutilización. Esta orientación pretende realizar un diseño pensando en la recuperación de materiales y su nueva utilización en procesos productivos a largo plazo, aprovechando sus diferentes propiedades de cada material para evitar la incineración o vértigo que producen contaminación al medio ambiente entre los más afectados el agua y la superficie de la tierra. (Riba, 2002)

Simplificar y estandarizar los materiales. De acuerdo con el autor (Riba, 2002) las nuevas recomendaciones respecto a los materiales pueden ser:

- a) Reducir la cantidad de material usado.
- b) Reducir la variedad de materiales usados.
- c) Eliminar, o reducir, las aleaciones y las mezclas, así como soluciones que comportan la imbricación íntima de materiales distintos.

Facilitar el desmontaje y el desguace. De acuerdo con el autor (Riba, 2002)

los principales puntos de este apartado son:

- a) Establecer la estructura modular de los productos no tan solo orientada hacia la fabricación, sino también al desmontaje para el reciclaje o la reutilización.
- b) Avanzar en la creación de nuevos tipos de uniones que permitan fácilmente la separación de componentes, así como las uniones entre partes de materiales distintos.

Diseñar para la reutilización. De acuerdo con el autor (Riba, 2002) los

siguientes puntos proporcionan impactos ambientales menores:

- a) Diseñarse para la reutilización, dar una mayor prioridad a la reparación frente a la simple sustitución.
- b) Facilitar la reutilización estandarizando las piezas y componentes.
- c) Impulsar los talleres dedicados a la reparación, rebobinado entre otros aspectos, de los productos tecnológicos del mercado.

2.13. Norma Internacional IEC 60068-2-75

La norma IEC 60068-2-75 proporciona tres métodos de pruebas; el método de martillo de péndulo, el método de martillo de resorte y el método de martillo vertical para determinar el impacto mecánico en equipos eléctricos en servicio y evaluar la seguridad del producto. (IEC, 1997)

2.13.1. Método de Martillo de Péndulo

Punto de Medición. Según la norma (IEC, 1997), considera que en la Figura 10, “el punto marcado en la superficie de la pieza de golpeo, donde la línea que pasa a través del punto de intersección de los ejes de brazo de péndulo y el elemento llamativo, perpendicular al plano a través de los dos ejes, en contacto con la superficie”.

Según la norma IEC (1997), de acuerdo a la Tabla 3. “para producir la severidad requerida de los impactos, el elemento de choque debe caer desde una altura en función de la masa equivalente del péndulo”.

Tabla 3

Altura de caída

Energía J	0,14	0,2	0,3	0,35	0,4	0,5	0,7	1	2	5	10	20	50		
Masa equivalente Kg	0,25	0,2	0,25	0,2	0,25	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,5	1,7	5	5	10
Altura de caída ± 1% mm	56	100	80	150	140	200	250	200	280	400	400	300	200	400	500

Nota. En esta parte de la norma IEC 60068. Energía J se calcula tomando la aceleración normal de la gravedad el número inmediatamente anterior, es decir $10 \frac{m}{s^2}$. Tomado de (IEC, 1997)

2.13.3. Aparato de Prueba

Según la norma IEC (1997), considera que en la Tabla 4:

El medio de ensayo consiste esencialmente de un péndulo pivotante en su extremo superior, de manera que no se mueva en un plano vertical. El eje de pivote está en 1,000 mm por encima del punto de medición. El péndulo se compone de un brazo rígido y una pieza de trabajo incide sobre ella cumple con los requisitos.

Tabla 4

Características coordinadas de los elementos

Energía J	≤ 1 ± 10%	2 ± 5%	5 ± 5%	10 ± 5%	20 ± 5%	50 ± 5%
Masa equivalente ± 2% kg	0,25 (0,2)	0,5	1,7	5	5	10
material	1) Poliamida			2) Acero		

Energía J	$\leq 1 \pm 10\%$	$2 \pm 5\%$	$5 \pm 5\%$	$10 \pm 5\%$	$20 \pm 5\%$	$50 \pm 5\%$
R mm	10	25	25	50	50	50
D mm	18,5 (20)	35	60	80	100	125
F mm	6,2 (10)	7	10	20	20	25
r mm			6		10	17
l mm	Para el ajuste de la masa equivalente					

1) $85 \leq \text{HRR} \leq 100$, la dureza Rockwell de acuerdo con ISO 2039-2.

2) Fe 490-2, de acuerdo con ISO 1052: dureza Rockwell: HR 80 ... 85 según la norma ISO 6508.

Nota. Los valores entre paréntesis para la masa equivalente y el diámetro de las partes sorprendentes para los valores de potencia inferiores o igual a 1 J son los de la prueba existente Ef. También se dan los valores actuales de la prueba, por ejemplo: Para estos dos parámetros. Por motivos de coordinación, los valores entre paréntesis se eliminarán cinco años después de la publicación de esta norma. Tomado de (IEC, 1997)

2.14. Factor de Seguridad

Está basado en los criterios ingenieriles y la experiencia adquirida en el campo laboral para tomar decisiones de que factores puede provocar o llevar las piezas a la falla, en la Tabla 5 se observa factores de seguridad para diseñar maquinas o elementos que garantice su funcionabilidad y calidad de acuerdo a las propiedades de los materiales implementados. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$N = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

Ecuación 4

Factor de Seguridad

Nota. (R. Mott, 2009).

Donde:

S_y = Resistencia del material a la fluencia

σ_d = esfuerzo de diseño o permisible

Tabla 5*Factores de Seguridad para Materiales Dúctiles*

Factor de seguridad	Información
N= 1.25 a 2.0	El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño
N= 2.0 a 2.5	Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño
N= 2.5 a 4.0	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente
N= 4.0 a más	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente

Nota. Se utiliza un factor de seguridad de 4 o más para cargas estáticas, mostrando un alto grado de incertidumbre en procesos industriales. Tomado de (Mott, 2006)

EL esfuerzo de diseño debe considerar esfuerzos de compresión y tensión este está relacionado directamente con el factor de seguridad y la propiedad del material con el que se diseña, se debe evitar que el material al momento de estar sometido a carga falle o se rompa para así evitar gastos en rediseños y accidentes. (R. Mott, 2009)

$$\sigma_d = \frac{S_y}{1.5} = 0.66S_y$$

Ecuación 5

Esfuerzos de diseño acero estructural (AISC)

Nota. (R. Mott, 2009).

$$\sigma_d = \frac{S_y}{1.65} = 0.61S_y \text{ o } \sigma_d = \frac{S_y}{1.95} = 0.51S_y$$

Ecuación 6

Esfuerzos de diseño Aluminio (Aluminum Association)

Nota. (R. Mott, 2009).

2.15. Métodos de Elementos Finitos

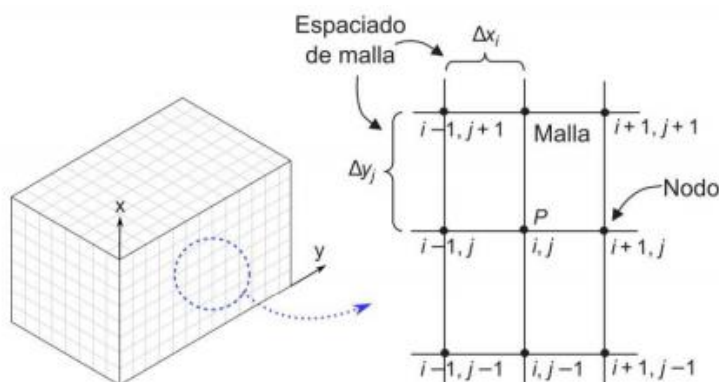
Es un recurso que mediante la solución de ecuaciones diferenciales parciales de alta complejidad simuladas por computadora permite mejorar los diseños, productos aplicados en la industria e investigación, con este método ha permitido resolver problemas de ingeniería que no son fáciles de resolver de forma matemática o física siendo así el grado de aportación de este procedimiento en la reducción de costos, tiempos de proceso y mejorando la fiabilidad de la calidad y seguridad del producto. (Díaz et al., 2018)

2.15.1. Tipos de Malla

Malla Estructurada. Permite la solución de ecuaciones diferenciales de alta complejidad mediante la discretización de componentes cuadriláteros en 2D y hexaédricos en 3D, para esto es necesario dividir los componentes hexaédricos para refinar las regiones que tienen complejidad caso contrario lo contradictorio de esta malla como se observa en la Figura 12, es la cantidad de tiempo en resolver geometrías complejas. (Guascal & Quispe, 2019)

Figura 12

Una malla rectangular uniforme

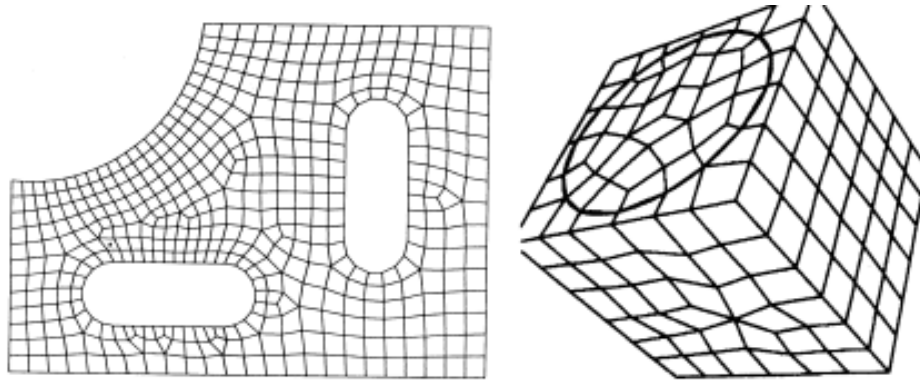


Nota. Tomado de: (Guascal & Quispe, 2019).

Malla no Estructurada. En la actualidad existe discretización de componentes cuadriláteros en 2D y hexaédricos en 3D como se observa en la Figura 13, pero son poco conocidos, caso contrario está más enfocado en la discretización de los componentes triangular en 2D y tetraédrico en 3D incluso los patrones de estos ya está determinado por el contorno del problema, los nodos interiores ya que su principal característica es su conectividad irregular. (Diaz, 2000)

Figura 13

Mallas no estructuradas cuadrilátera y hexaédrica



Nota. Tomado de: (Diaz, 2000).

2.15.2. Calidad de Malla

Permite realizar estudios con convergencia correcta, donde se muestra la información de nodos, elementos y así determinar su valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de manera que se seleccione una correcta relación de aspecto como Jacobiano, Skewness, Orthogonal Quality entre otros y observar mediante la simulación resultados correctos dentro de los rangos, de forma que se evite la construcción para realizar pruebas siendo gastos innecesarios y altos en caso de obtener ensayos fallidos. (Ardila-Marín et al., 2016)

Tabla 6

Calidad de mallado en función de Skewness

Skewness	Calidad de la malla
1	Degenerada
0.9 - 1	Mala
0.75 – 0.9	Pobre
0.50 – 0.75	Aceptable
0.25 – 0.50	Buena
0 – 0.25	Excelente
0	Equilátero

Nota. La Tabla 6 muestra los niveles de calidad de la malla, donde los niveles bajos hacen referencia a una excelente calidad. Tomado de (ANSYS, 2020)

Tabla 7

Calidad de mallado en función de Orthogonal Quality

Orthogonal Quality	Calidad de la malla
0 – 0.001	Inaceptable
0.001 – 0.14	Mala
0.15 – 0.20	Aceptable
0.20 – 0.69	Buena
0.70 – 0.95	Muy Buena
0.95 - 1	Excelente

Nota. Tomado de (ANSYS, 2020)

3. Metodología

3. Modalidad de Investigación

La metodología de investigación posibilita resolver problemas de ingeniería, psicológicos, económicos entre una gran variedad de problemas a fin de realizar métodos y técnicas que permitan investigar de forma eficaz y clara por medio de gráficos estadísticos para que los resultados que se obtienen sean de exactitud y confiabilidad. (Hernández et al., 2010)

El proyecto inicia a partir de investigaciones bibliográficas, por lo que se recoleta información de fuentes oficiales documentadas y bases digitales centrados en ingeniería concurrente, herramientas tecnologías para diseño de sistemas mecánicos, asimismo el cálculo analítico de un elemento estructural ideal para el sistema de ensayo tipo impacto IK aplicado en luminarias de alumbrado público.

El siguiente paso es la investigación experimental a través de la norma IEC 60068-2-75 que determina los medios de prueba que se puede llevar a cabo consolidando valores de energía y puntos de impacto a cuenta de tomar decisiones más rápidas respecto al análisis estructural por medio de simulaciones asistidas por computador de forma que permite prever el comportamiento del material y desempeño del producto a través de confiabilidad, mallas ideales para cada modelo, algoritmos automáticos para agregar ajustes finales de cargas, vibraciones, impactos entre otros.

Mediante el método científico se pretende implementar la ingeniería concurrente, para el desarrollo de nuevos productos que son competitivos en la economía global. Combinación de métodos ingenieriles, enfoques de gestión y el mejor trabajo en equipo para reducir en gran medida el tiempo de desarrollo y todos los costos, a fin de mejorar

la calidad y aumentar la variedad de productos, todo lo cual mejora enormemente la satisfacción del cliente.

Se utiliza al momento de realizar el diseño del sistema de ensayo tipo IK. El método deductivo para recolectar información sobre los efectos causados por fuerzas, cargas para crear una hipótesis de la vida útil y bajo condiciones extremas de trabajo que pueden tener las luminarias, además la verificación de la luminaria al ser sometida a pruebas de impacto de forma que determine la capacidad de una carcasa para proteger su contenido de influencias externas para contribuir a la eficiencia de alumbrado público del Ecuador.

3.1. Diseño de la Investigación

Para (Uribe, 2004), “el plan concebido para responder a las interrogantes de investigación, se lo conoce como diseño de investigación. El diseño señala lo que es necesario hacer para alcanzar los objetivos, así como dar respuesta a las interrogantes y estudiar la veracidad de las hipótesis formuladas”

Como objetivo del proyecto se tiene “aplicar ingeniería concurrente para diseñar un sistema de ensayo a carga de impacto IK en luminarias de alumbrado público y compararlo con una máquina comercial IK que es vendida en el mercado mundial”, por lo que se realiza dos geometrías mediante dibujo asistido por computadora (CAD), posteriormente procesar las variables necesarias mediante técnicas de simulación asistida por computadora (CAE) lo cual optimiza y reduce costos de las pruebas físicas y así buscar resultados rápidos y precisos para determinar la eficiencia y confiabilidad de los escenarios del proyecto

3.2. Niveles de Investigación

3.2.1. Exploratoria

El nivel inicial exploratorio se emplea para establecer los fines de normalización que deben poseer los equipos eléctricos que están en servicio contra impactos externos producidos por cualquier agente, de modo que es muy importante ya que contribuye a que estos sistemas eléctricos sean eficientes, con un mayor beneficio de la sociedad, a fin de solucionar estos problemas se recurre a la metodología de la ingeniería concurrente que se basa en un trabajo minucioso inicial y busca dar un gran salto en diseño de productos en comparación con las empresas competidoras, de modo que si la competencia está ingresando nuevos productos al mercado de mejor calidad, desempeño, menos costo y mejor entrega estas tengan pocas posibilidades de ponerse a la par.

3.2.2. Descriptiva

En este apartado se da la formulación de la hipótesis que se precede el en nivel exploratorio en relación al progreso de la investigación a partir de esto se ha definido los procesos más idóneos del proyecto, es decir se empezó con la metodología de ingeniería concurrente, después se procedió con el diseño de los elementos más importantes de la maquina comercializada y el diseño del sistema de ensayo a carga de impacto IK, luego se realizó las dos geometrías mediante dibujo asistido por computadora (CAD) y posteriormente se modelo un análisis estructural mediante simulación asistida por computadora (CAE) y entre los puntos finales se realizó el diseño de fabricación y montaje, logrando así un correcto desarrollo del proyecto de forma similar se efectuó una simulación de dinámica explícita de impacto para medir la deformación de la luminaria y del martillo de colisión.

3.2.3. Explicativa

¿Por qué se realiza la investigación comparativa por medio de análisis estructural e impacto mediante una herramienta de simulación computacional CAE?

Con la ayuda de la herramienta CAE, se resuelve problemas de ingeniería estructural complejos aportando al ingeniero tomar decisiones más rápidas proporcionando información del desempeño y comportamiento, de esta forma se provee disminuir los costos al momento de construir para por último analizar la probable deformación que tendrá la luminaria y el martillo al ser los dos cuerpos colisionados y verificar si es viable el sistema de ensayo a carga de impacto IK.

3.4. Muestra

La indagación del proyecto se realiza en las Instalaciones del “Laboratorio de Luminotecnia del Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador además de los negocios industriales dedicados a los procesos de manufactura de la ciudad de Quito”.

3.5. Técnicas de Recolección de Datos

3.5.1. Observación por Medio de la Simulación

Este método permite rediseñar una máquina puesto que la ingeniería concurrente evita demoras de fabricación y montaje, posteriormente se realiza un análisis estructural mediante simulación asistida por computadora CAE, entre las dos máquinas y por definitivo un análisis dinámico transitorio implícito que es realizado en un instante dado tomando en cuenta la velocidad y fuerza con la que es impactada la luminaria y así obtener resultados de precisión para a partir de este estudio determinar la solución más eficiente y que satisfaga las necesidades, requerimientos del cliente.

3.6. Técnicas de Análisis de Datos

El análisis de datos se realizó por medio de encuestas al personal del Laboratorio de Luminotecnia del Instituto de Investigación Geológico y Energico del Ecuador, para establecer las necesidades que tienen y que el sistema de impacto IK debe cumplir para normalizar las luminarias de alumbrado público esportadas y elaboradas en el país, además se obtiene resultados mediante plantillas técnicas de observaciones de tiempo, diagramas del flujo de procesos, diagramas hombre – máquina, efectos de simetría realizados a los negocios industriales de la ciudad de Quito para esclarecer que maquinaria disponen para la elaboración de las partes, piezas y otros componentes permitiendo determinar costos de manufactura, mantenimiento, materiales, hora - máquina, consumo eléctrico, etc.

3.7. Técnicas de Comprobación de Hipótesis

En términos generales la validación se la realiza por medio del rediseño de un sistema de impacto utilizando herramientas para el diseño concurrente y aplicando técnicas de dibujo CAD y simulación CAE, a fin de determina la máquina más adecuada para la validación de equipos eléctricos que son normalizados por pruebas de severidad de impacto generado por martillos a fin de cumplir y validar los requisitos mínimos para su instalación en los sistemas de alumbrado público u otro medio.

4. Ingeniería Concurrente

En el presente capítulo luego de la exhaustiva investigación, se procederá en forma multidisciplinaria a la implementación de la metodología de ingeniería concurrente en un sistema de ensayo a carga de impacto IK en luminarias de alumbrado público, para obtener procesos de calidad, fabricación, montaje y entorno para garantizar la calidad, durabilidad y fuerza lumínica, cumpliendo con las exigencias planteadas por el cliente.

4.1. Diseño para la Calidad

4.1.1. *Clientes Potenciales*

La primera fase como se observa en la Tabla 8 identifica a las empresas, organizaciones y personas naturales que puede convertirse en compradores del diseño del producto, el producto se diseña de forma multidisciplinaria considerando todos los departamentos desde diseño hasta ventas.

Tabla 8

Identificación de clientes

Clientes Internos	Clientes Externos
Área de Gerencia	Instituciones de Educación Superior
Área Financiera	Institutos de Investigación
Área de Recursos Humanos	Servicio de Normalización
Departamento de Diseño	Empresa de Fabricación de Ensayos
Departamento de Producción	Laboratorios de Materiales
Departamento de Ventas	Empresas de Innovación
Personal de Bodega	Empresas de Energía Eléctrica

4.1.2. Estadísticas

Las encuestas realizadas a los profesionales del IIGE, el objetivo de esta es determinar las funciones que cumplan con las necesidades del cliente y también con los parámetros que el profesional puede aportar a este diseño que corresponde al funcionamiento bajo ciertas condiciones ya establecidas en conversaciones previo al proyecto por ejemplo importancia de realizar ensayos mecánicos, visualizar la fractura, beneficios de la máquina de impacto IK para el país, aplicación de la ingeniería concurrente en el entorno, fabricación, calidad, montaje en estas máquinas.

Pregunta 1 ¿Considera que una máquina de ensayos IK que permite visualizar la fractura en una luminaria de alumbrado público, contribuya a la mejora de los procesos que se genera en el laboratorio de luminotecnia??

Tabla 9

Análisis de la pregunta uno

Alternativa		Frecuencia	Porcentaje %
Validos	Si	8	100
	No	0	0
Total		8	100

Figura 14

Representación gráfica de la pregunta uno



Interpretación Tabla 9

De acuerdo a la Tabla 9 se registra los datos realizadas a 8 profesionales del IIGE, 8 de ellos que representan el 100% de la población conocen de la importancia de fabricar máquinas de ensayos IK para visualizar la fractura al momento de ser impactada por agentes externos y garantizar el funcionamiento de los componentes internos de las luminarias a fin de que estas sean certificadas, aprobadas e implementadas en su respectiva área de trabajo.

Pregunta 2 ¿Es fundamental un funcionamiento óptimo de las lámparas de alumbrado público?

Tabla 10

Análisis de la pregunta dos

Alternativa		Frecuencia	Porcentaje %
Validos	Si	8	100
	No	0	0
Total		8	100

Figura 15

Representación gráfica de la pregunta dos



Interpretación Tabla 10

De acuerdo a la Tabla 10 se registra los datos realizadas a 8 profesionales del IIGE, 8 de ellos que representan el 100% de la población reconocen que es necesario

para todos los usuarios tanto peatones como para conductores mantener una calidad de iluminación a lo largo de la calzada para mitigar accidentes y reducir la inseguridad todo con el fin de un uso eficiente de la energía eléctrica y una vida útil del producto.

Pregunta 3 ¿Un diseño conceptual de la máquina de ensayos IK por medio de técnicas de ingeniería concurrente permitirá reducir costos?

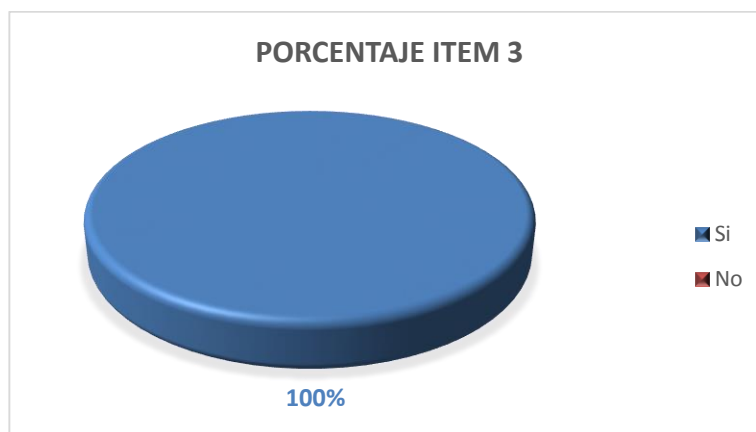
Tabla 11

Análisis de la pregunta tres

	Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
Validos	Si	8	100
	No	0	0
Total		8	100

Figura 16

Representación gráfica de la pregunta tres



Interpretación Tabla 11

De acuerdo a la Tabla 11 se registra los datos realizadas a 8 profesionales del IIGE, 8 de ellos que representan el 100% de la población concuerdan que la metodología de la ingeniería concurrente es favorable para la obtención de productos al integrar procesos y obtener una relaciones entre requerimiento y beneficio, con el fin de

que los productos, sistemas o máquinas tengan una mejor calidad, y en efecto permitan ahorrar tiempos de producción y reducir costos en procesos repetitivos e innecesarios.

Pregunta 4 ¿Es importante la simplificación del producto, reducción de conteo de piezas y diseños alternativos para cumplir los requisitos básicos de funcionamiento de la máquina de ensayos IK?

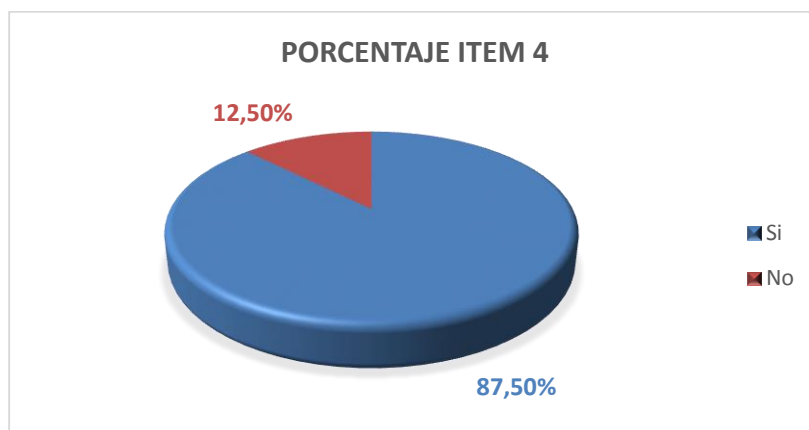
Tabla 12

Análisis de la pregunta cuatro

Alternativa		Frecuencia	Porcentaje %
Validos	Si	7	87.50
	No	1	12.50
Total		8	100

Figura 17

Representación gráfica de la pregunta cuatro



Interpretación Tabla 12

De acuerdo a la Tabla 12 se registra los datos realizadas a 8 profesionales del IIGE, 7 de ellos que representan el 87,50% y 1 profesional equivalente al 12,50% de la población resuelven que el 87.50% concuerdan que la reducción de conteo de piezas y diseños alternativos permite eficiencia al momento del montaje y desmontaje del producto por que se facilita la inserción, visión, ubicación de piezas de forma manual

para evitar que estas sufran daños por contacto de superficies, desgaste por fricción, atascos de forma que se obtenga una reducción y mejor rendimiento en el tiempo de montaje del producto.

Pregunta 5 ¿Cuáles son las condiciones que debe tener la máquina de ensayos IK para cumplir su función en cualquier momento bajo diferentes parámetros de trabajo?

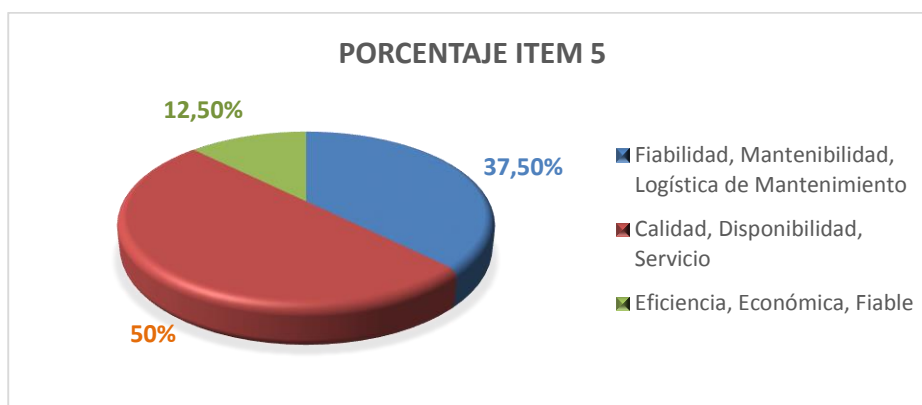
Tabla 13

Análisis de la pregunta cinco

	Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
Validos	Fiabilidad, Mantenibilidad, Logística de Mantenimiento	3	37,50
	Calidad, Disponibilidad, Servicio	4	50
	Eficiencia, Económica, Fiable	1	12,50
Total		8	100

Figura 18

Representación gráfica de la pregunta cinco



Interpretación Tabla 13

De acuerdo a la Tabla 13 se registra los datos realizadas a 8 profesionales del IIGE, 3 profesionales que equivale al 37.50% asemejan que el sistema en efecto posea fiabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento estas permiten establecer condiciones admisibles de funcionamiento para que funcione en un tiempo determinado,

y sea accesible a ser mantenido, restablecido a condiciones iniciales o admisibles de trabajo, asegurando sus funciones y que se disponga de logística para ser transportada la máquina al entorno o ubicación de trabajo. mientras que 4 representantes del laboratorio corresponden al 50% y consideran que el sistema está sujeto a calidad, disponibilidad y servicio, por último 1 profesional que representan el 12,50% de la población concuerdan que las condiciones que necesita son eficiencia, economía y fiable.

Pregunta 6 ¿Cuál estrategia frente a la disponibilidad debe tener la máquina de ensayos IK?

Tabla 14

Análisis de la pregunta seis

	Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
Validos	Un solo uso	0	0
	Usar y tirar	0	0
	Usar hasta fallar	8	100
Total		8	100

Figura 19

Representación gráfica de la pregunta seis.



Interpretación Tabla 14

De acuerdo a Tabla 14 se registra los datos realizadas a 8 profesionales del IIGE, 8 de ellos que representan el 100% de la población concuerdan que la

disponibilidad de una máquina es usar hasta fallar donde se considera los parámetros de precio contra tiempo de utilización.

Pregunta 7 ¿Qué método es mejor para evaluar los ensayos IK?

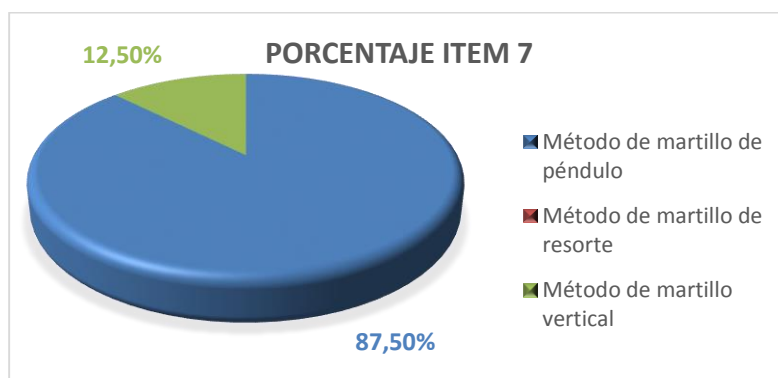
Tabla 15

Análisis de la pregunta siete

	Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
Validos	Método de martillo de péndulo	7	87,50
	Método de martillo de resorte	0	0
	Método de martillo vertical	1	12,50
Total		8	100

Figura 20

Representación gráfica de la pregunta siete



Interpretación Tabla 15

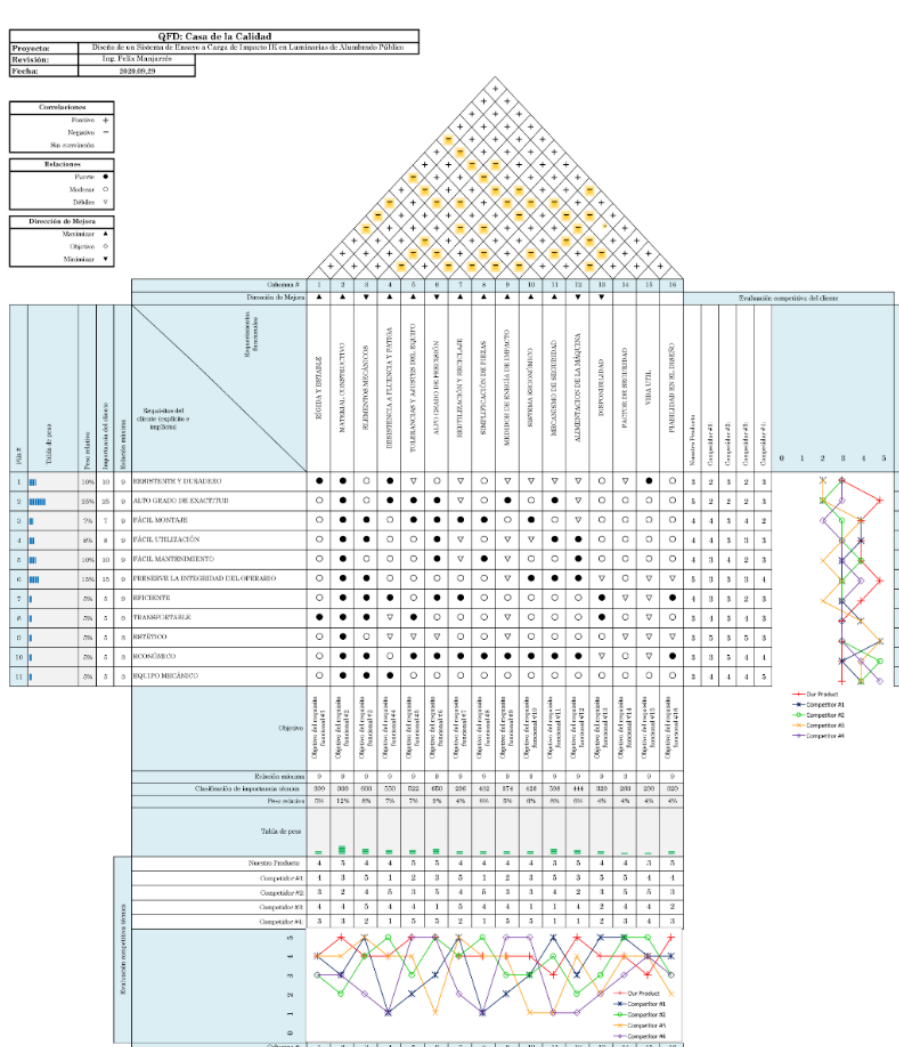
De acuerdo a Tabla 15 se registra los datos realizadas a 8 profesionales del IIGE, 7 de ellos que representan el 87,50% de la población concuerdan que el método de martillo de péndulo es el más acertado para realizar ensayos de impacto por su grado de exactitud en valores de energía, el diseño de la máquina para la evaluación de diferentes tipos de luminarias, ergonomía y seguridad para el operario, en tanto al último profesional equivalente al 12,50% considera que el laboratorio necesita un equipo con el método de martillo vertical .

4.1.3. Casa de Calidad

Se emplea la casa de la calidad como se observa en la Figura 21, como una de las herramientas para el despliegue de la función de la calidad QFD, esto ayuda a controlar los parámetros de diseño que son necesarios para cumplir las demandas del cliente y obtener soluciones en el proceso de diseño conceptual. Revisar el ANEXO A-1 para más información.

Figura 21

Matriz de la casa de la calidad



Nota. Características de un sistema de ensayo a carga de impacto IK.

4.1.4. Resultados de la Matriz de la Casa de la Calidad

La matriz de la casa de la calidad determina las necesidades del cliente como se observa en la Tabla 16 mediante una lluvia de ideas, la principal meta que debe cumplir es el alto grado precisión del producto que proporciona resultados confiables para acreditar las luminarias de alumbrado público para su uso bajo cualquier condición de trabajo.

Tabla 16

Perspectiva de las necesidades del cliente

Requisitos del Cliente	Peso Relativo
Alto grado de exactitud	25%
Preservar la integridad del operario	15%
Resistente y duradero	10%
Fácil mantenimiento	10%
Fácil utilización	8%
Fácil montaje	7%
Eficiente	5%
Transportable	5%
Estético	5%
Económico	5%
Equipo mecánico	5%

Nota. Necesidades más requeridas por el cliente IIGE

Los requerimientos funcionales como se observa en la Tabla 17 proporcionan una idea clara de los factores que el ingeniero debe enfocar en el producto cumpliendo estándares, normas y expectativas del cliente.

Tabla 17*Perspectivas de los requerimientos funcionales*

Requerimientos funcionales	Peso Relativo
Material constructivo	12%
Alto grado de precisión	9%
Elementos mecánicos	8%
Mecanismos de seguridad	8%
Tolerancias y ajustes del equipo	7%
Resistencia a la fluencia y fatiga	7%
Energización de la máquina	6%
Sistema ergonómico	6%
Simplificación de piezas	6%
Rígida y estable	5%
Medidor de energía de impacto	5%
Reutilización y reciclaje	4%
Disponibilidad	4%
Factor de seguridad	4%
Vida útil	4%
Fiabilidad en el diseño	4%

Nota. Requerimientos que debe cumplir el sistema de ensayo a carga de impacto IK

4.1.5. Especificaciones Técnicas

La información obtenida de la casa de la calidad permite establecer los parámetros iniciales del diseño de la estructura que garanticen la calidad del producto abarcando las necesidades del cliente hasta todos los profesionales inmersos en el desarrollo de la máquina donde:

Propone:

- *C = Cliente*
- *I = Ingeniería*

R/D:

- *R = Requerimiento*

- *MR = Modificación de requerimiento*
- *NR = Nuevo requerimiento*
- *D = Deseo*

Tabla 18

Especificaciones técnicas para el diseño del sistema a carga de impacto

Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Sede Latacunga		Producto: Sistema de Ensayo a Carga de Impacto IK en Luminarias de Alumbrado Público	
Concepto	Especificaciones del Producto		
	Propone	R/D	Descripción
Función	C+I	R	La máquina debe tener un alto grado de precisión.
	C	R	La máquina generará un impacto hacia las luminarias
	I	R	Deberá medir la energía absorbida por la luminaria.
	I	R	Determinar si provoca daño en los elementos externos e internos de la luminaria.
	I	D	Control de calidad de las luminarias en alumbrados públicos.
	C+I	R	Certificar el uso de las luminarias en diferentes aplicaciones en el país.
Dimensión	C	D	La máquina debe tener dimensiones de acuerdo con normas y estándares que se rigen en la construcción de este tipo de máquinas.
	I	D	La forma y geometría de la máquina debe ser optimizada.
	I	D	Facilitar el manejo de piezas y evitar atascamiento.
Movimiento	I	R	La máquina debe tener un peso que sea transportable con facilidad
	I	R	El péndulo debe caer verticalmente
	C	R	El péndulo debe impactar en diferentes lados de la luminaria de alumbrado público
Montaje	I	D	Acceso y visión fácil a los componentes de ajuste que integran el sistema
	I	D	Facilitar la inserción y fijación manual de piezas
	I	R	La máquina debe ser de fácil utilización, montaje y mantenimiento
Fuerzas	I	D	Simplificar la estructura y conteo de piezas para asegurar resultados rápidos y simples
	I	D	Características coordinadas de los elementos establecidos en normas
Materiales	I	R	Resistente a cargas de flexión y fatiga
	I	D	Selección de procesos de manufactura

Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Sede Latacunga		Producto: Sistema de Ensayo a Carga de Impacto IK en Luminarias de Alumbrado Público	
Especificaciones del Producto			
Concepto	Propone	R/D	Descripción
	I	D	Determinar características de forma tamaño respecto a la aplicación de trabajo del sistema
	I	R	La máquina debe ser diseñada con materiales existentes en el mercado
	I	D	Considerar procesos primarios de construcción
Energía	I	D	El control del dispositivo será eléctrico
Vida útil	I	D	La máquina será diseñada para la reutilización y reciclaje
	I	D	La máquina cuenta con una jaula de vidrio templado
Seguridad	C+I	R	Dispositivo que mantenga el martillo en condiciones iniciales
Ergonomía	C+I	D	La máquina esté diseñada para la comodidad del operario
	I	D	Ahorro energético
Costos	C+I	R	Costos de procesos de fabricación y procesos
	I	R	Patentar el sistema de ensayo de impacto IK
Aspectos Legales	I	R	Seguridad de las máquinas y gestión del medio ambiente

Nota. Documento de especificaciones obtenida después del estudio de mercado

4.1.6. Análisis Funcional

El sistema de ensayo a carga de impacto IK cumple con las especificaciones de la norma que está delegado de evaluar un equipo eléctrico en servicio por diversos métodos de martillo para valorar la resistencia mecánica del producto. Este proceso es realizado por el sistema mecánico y el operador de la máquina.

La máquina está diseñada con una estructura de materiales que existen en el mercado del país acero estructural A36, además de tener una reducción de piezas para que tenga una visión y acceso fácil a los componentes de ajuste, esto facilita la inserción y fijación manual de las piezas. Esta máquina también está diseñada para la seguridad y comodidad del operario, ahorro energético dando como resultado todos

estos criterios tomados para una alta precisión de medida al momento de impactar el martillo de péndulo con la luminaria de alumbrado público.

4.1.7. Desarrollo de los Diagramas Funcionales

A continuación, se observa en la Figura 22, Figura 23 y Figura 24 **Figura 23.**

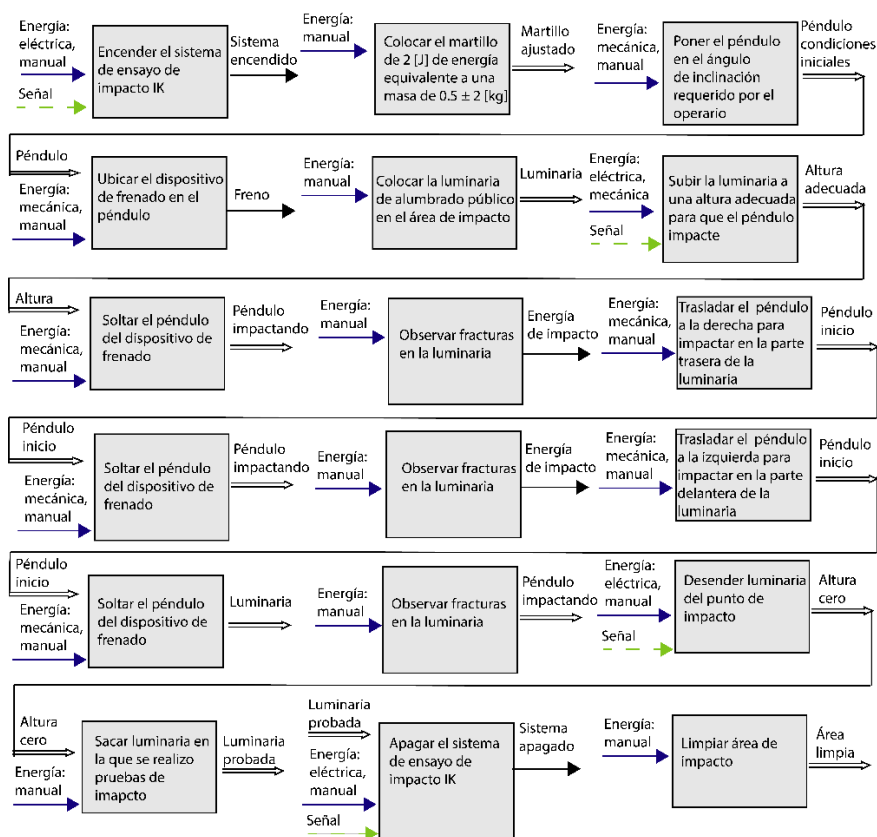
Sistema de ensayo a carga de impacto IK.



Nota. Nivel cero (0).

Figura 22

Sistema de ensayo a carga de impacto IK



Nota. Nivel uno (1).

4.1.8. Análisis de los Diagramas Funcionales

Se realiza un diagrama funcional hasta el nivel uno, donde se ejecuta en el nivel cero (0), el resultado absoluto del sistema de ensayo a carga de impacto IK; de manera integrada en este nivel se formula la colaboración de departamentos con la tarea de planificar las etapas del diseño concurrente incluso en esta etapa se planea la estructura funcional del producto para determinar la gestión de trabajo, tecnología que tendrá el producto, gama de producto, módulos constructivos a fin de planificar costos y reducir tiempos que conlleva desarrollar cada fase del proceso, para establecer interfaces correctas entre módulos de energía mecánica y energía eléctrica.

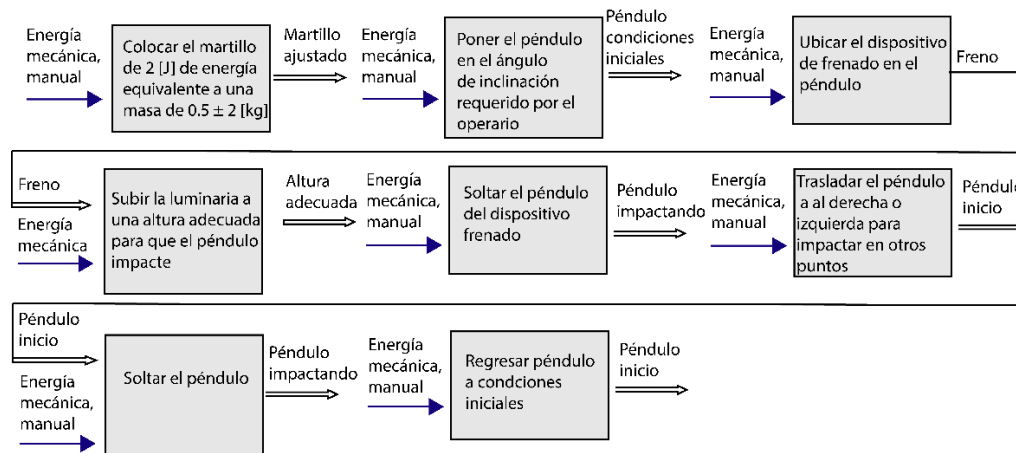
En el nivel uno (1), se formula los procedimientos de forma manual a través del operador, asimismo las interfaces de energía mecánica y energía eléctrica sirven para operar de forma correcta el sistema de ensayo de impacto IK, desde la construcción de la estructura, ensamble, montaje, desmontaje, y el ciclo de fin de vida del producto a través del reciclaje o reutilización hasta el cableado de alimentación eléctrica.

4.1.9. Definición y Generación de Módulos

Módulo Mecánico. Se fundamenta en todo lo mecánico del sistema de ensayo de impacto IK como se observa en la Figura 23, relacionando procesos de manufactura, productividad, fabricación de piezas, que todos estos procedimientos elevan costos de comercialización. Los mecanismos de accionamientos manuales se encargan del frenado del péndulo incluso se debe enroscar el martillo en el péndulo también ubicar el péndulo en condiciones iniciales para el momento de impacto, trasladar el péndulo por el carril con una libertad de 180° para impactar en diferentes puntos de la luminaria de ser necesario para comprobar su resistencia.

Figura 23

Módulo Mecánico

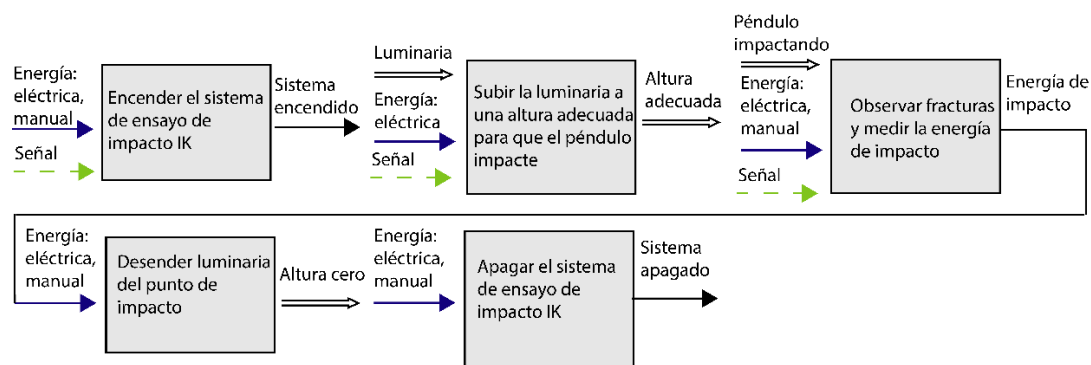


Nota. Principios de solución parte mecánica.

Módulo Eléctrico. Cómo se observa en la Figura 24, este compuesto de un motor nema 23 que se encarga de elevar y descender la luminaria para investigación del laboratorio en impactos a diferentes alturas y con variaciones de la geometría de los martillos y planificar nuevos valores de energía de colisión para acreditación en diferentes sitios de la misma, asimismo estos resultados verificaran la resistencia para determinar si la luminaria es idónea para cumplir con su funcionalidad.

Figura 24

Módulo Eléctrico










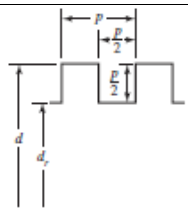
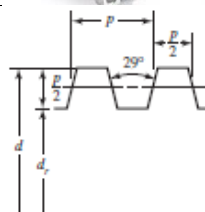
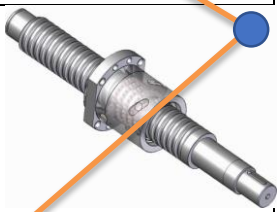





Nota. Principios de solución parte eléctrica.

4.1.10. Planteamiento de la Matriz Morfológica

Tabla 19

Matriz morfológica

Componente	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Módulo 1			
Estructura			
Medio de movilidad y transporte			
Elemento Propulsor			
Tornillo de potencia			
Control del sistema			

Nota. Elementos principales para la construcción del sistema de ensayo a carga de impacto IK

4.1.11. Matrices de Criterios Ponderados

Alternativa 1

- Sistema de ensayo a carga de impacto IK
- Ruedas giratorias de goma SSFD6
- Volante de giro mecánico
- Tornillo de potencia rosca cuadrada
- Control por sistema electromecánico

Alternativa 2

- Sistema de ensayo a carga de impacto IK
- Ruedas MPG4 160 PGL5 140kg
- Motor NEMA 23 23HS2430-PLUS
- Tornillo de potencia rosca ACME
- Controlado por PLC

Alternativa 3

- Sistema de ensayo a carga de impacto IK
- Rueda giratoria de goma WBD3
- Impulsado por pistón neumático
- Husillo de bolas SFU1204
- Controlado por Arduino

4.1.12. Selección de la Mejor Alternativa

Por medio de la matriz morfológica de la Tabla 19 se analiza la mejor alternativa de cada componente de la máquina para planificar e implementar la calidad esperada por los requisitos del cliente, incluso estos se evalúan para determinar la competitividad en el mercado mediante un ranking de importancias técnicas generando diferentes

soluciones, para este caso se ajusta diferentes elementos de las alternativas propuestas para idear el sistema idóneo que cumpla con los parámetros de la casa de la calidad y con la ayuda de decisiones ingenieriles del equipo interdisciplinario hacer frente a las expectativas del cliente.

Tabla 20

Selección de alternativas

Parámetros	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
	%	Peso relativo	%	Peso relativo	%	Peso relativo
Alto grado de exactitud	0,07	6	0,08	7	0,07	6
Preserve la integridad del operario	0,11	9	0,09	8	0,09	8
Resistente y duradero	0,08	7	0,11	9	0,11	9
Fácil mantenimiento	0,11	9	0,11	9	0,11	9
Fácil utilización	0,08	7	0,11	9	0,09	8
Fácil montaje	0,11	9	0,08	7	0,07	6
Eficiente	0,09	8	0,09	8	0,09	8
Transportable	0,09	8	0,05	5	0,07	6
Estético	0,09	8	0,08	7	0,08	7
Económico	0,08	7	0,09	8	0,11	9
Equipo mecánico	0,09	9	0,11	9	0,11	9
Total	1	7,91	1	7,82	1	7,73

Nota. Criterios ponderados del esquema de QFD: Casa de la Calidad

4.1.13. Principios de solución

Partiendo de un diseño conceptual intervenido por todos los departamentos multidisciplinarios que conlleva a la creación de un nuevo producto hasta el análisis de

los diagramas funcionales se comparan dos principios de solución para cumplir con la acreditación de luminarias que son los siguientes:

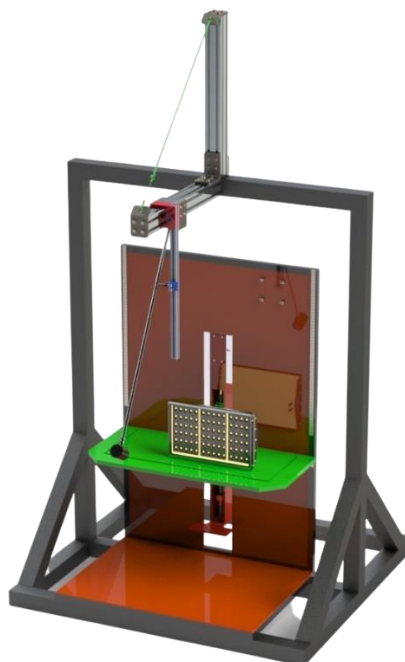
- a) Se trata de una máquina que realiza prueba de impacto de IK07, IK08, IK09, IK10. Esta inicia colocando el martillo con un grado de energía de impacto que se identifica por los dos últimos dígitos de su nomenclatura, en el péndulo después se ubica el péndulo en condiciones iniciales y se asegura con el dispositivo de freno, posteriormente tenemos que colocar la luminaria en la mesa de colisión, después se eleva a la altura de impacto mediante el accionamiento de un motor eléctrico, después se suelta el péndulo para que el martillo impacte en la luminaria y verificar que resista el grado de colisión ubicado al inicio del proceso.
- b) Es una propuesta adecuada a las necesidades del cliente, capaz de mejorar las pruebas de impacto en las luminarias considerando obtener un mayor grado de exactitud en los resultados de los ensayos también evitar accidentes en el operario por desprendimiento del material. La variante es una estructura más liviana, el péndulo tiene un movimiento de 180° para golpear en tres puntos de la luminaria para evitar que se manipule de forma manual la luminaria como la máquina de la alternativa a) porque esto altera los resultados, será de fácil inserción y fijación de piezas tanto al momento de su ensamble como de su desguace, solucionar el problema de fin de vida de la máquina y realizar los pasos del ensayo de forma consecutiva operando de forma correcta los elementos mecánicos y eléctricos.

4.1.14. Evaluación de los Principios de Solución

Empezando de que entre más simple sea constructivamente el sistema de ensayo y de tener un funcionamiento de gran precisión es la mejor opción para el cliente, pero además se tiene que considerar parámetros de normas al igual de entorno, calidad y precio como se observa en la Figura 25, esta alternativa es comercializada en el mercado pero tiene varias consideraciones que se debe tomar en cuenta; como su estructura robusta ya que esto dificulta su translación al no poseer elementos de movilidad que la desplacen a diferentes lugares del entorno asimismo la tabla de colocación de la luminaria al no estar sujeta con ningún mecanismo provoca resultados no fiables y esto limita poder mover la luminaria a diferentes ángulos para ser impactada incluso esto puede desprender material afectando al operario.

Figura 25

Selección de alternativa a)



Nota. Dispositivo para prueba de impacto por martillo de péndulo IK07-10.

Figura 26

Selección de alternativa b)



Nota. Sistema de ensayo a carga de impacto por martillo de péndulo IK08-10.

4.1.15. Evaluación de la complejidad

Se evalúa en la Tabla 21 el factor de complejidad para que el diseñador sea capaz de percibir la incidencia de cualquier modificación que sea necesario realizar al diseño para la alternativa a) se obtuvo un factor de complejidad de 60,252 mientras que para la alternativa b) se obtuvo un factor de complejidad de 45,040 donde se evidencia

que se reduce en un 25,24% la complejidad de manera que facilita realizar su construcción. Aplicando la Ecuación 2 del criterio de Pugh en las dos alternativas presentadas se obtiene:

Tabla 21

Factor de complejidad de un conjunto, C_f

		Alternativa a)	Alternativa b)
Número de componentes	N_p	588	431
Número de componentes diferentes	N_t	62	53
Número de interfaces	N_i	6	4
Factor de complejidad	C_f	60,252	45,040

4.2. Diseño y Cálculo de la Máquina Evaluada

Se tomó una maquina existente en el mercado para determinar sus componentes más importantes al momento de impactar contra otros por medio de un martillo de péndulo y obtener resultados para compararlos con la propuesta que se diseñó en este contexto que es una variante de esta máquina, considerando las características y atributos más importantes para el cliente.

4.2.1. Brazo Pendular 90° IK08

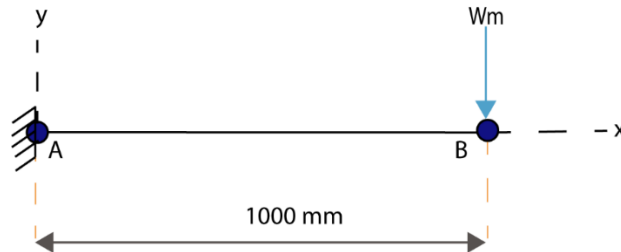
Tiene la función de hacer oscilar al martillo normalizado con el fin de fracturar o impactar a la luminaria, por lo cual el péndulo se encuentra en la posición de mayor altura que es a 90° donde este impactará con mayor fuerza y solo se acciona a través de la liberación del mismo por un sistema de freno.

Donde:

$$W_m = 1.7kg \text{ (Norma IEC 60068-2-75)}$$

Figura 27

Diagrama de cuerpo libre péndulo a 90°



Nota. Representación gráfica para analizar fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

$$\sum F_y = 0$$

$$W_m = 1.7kg \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_m = 16.677 N$$

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I_x} = \frac{M}{W}$$

$$W = \frac{\pi \phi^3}{32}$$

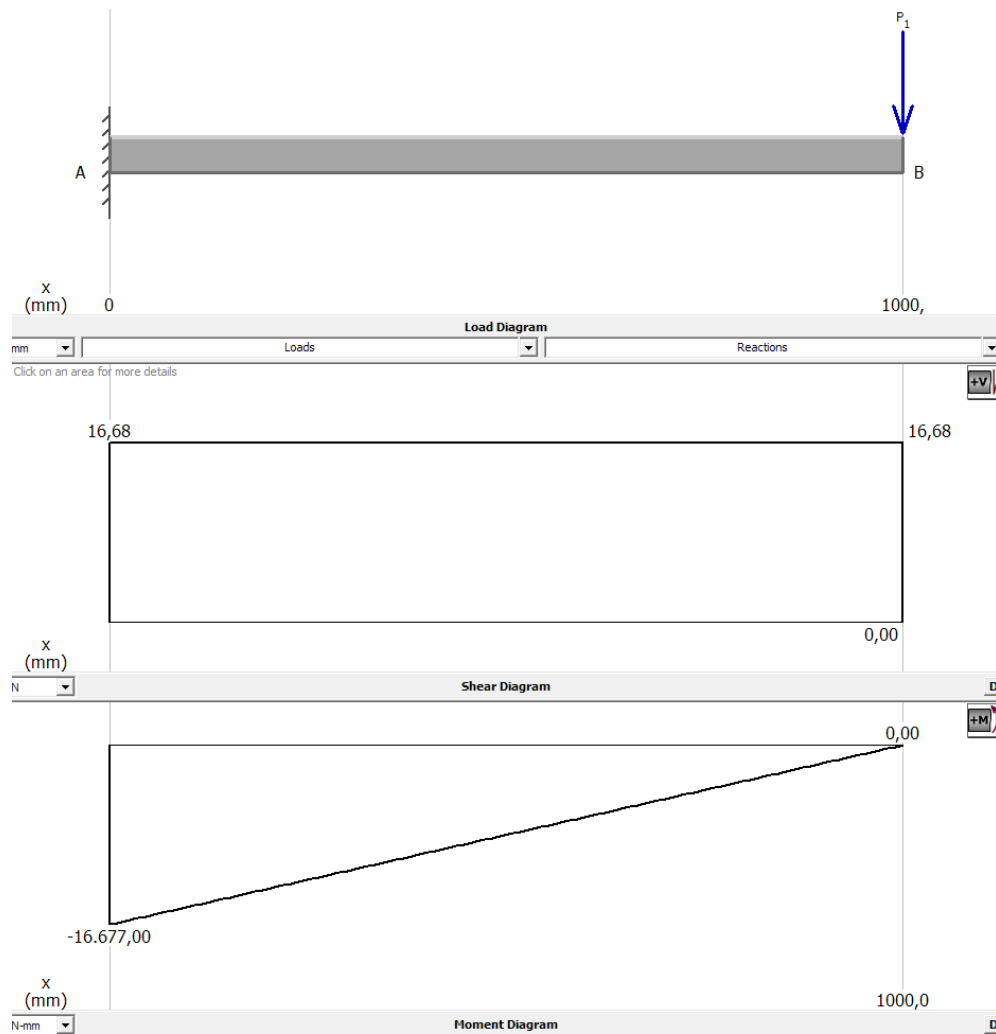
$$M = 1.7kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 1000 mm$$

$$M = 16677 N.mm$$

Se realiza el diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores como se observa en la Figura 28, con la masa del martillo de 1.7 kg determinados por la norma IEC 60068-2-75 obteniendo una fuerza de 16.667 N.

Figura 28

Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del péndulo



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2020).

Por medio de la Tabla 5 elegimos un n factor de seguridad de 4 por que existe incertidumbre acerca del diseño estructural como de las cargas y materiales utilizados, dado que no se conoce el material con el que está fabricado la máquina se lo ha diseñado con un material que cumpla con los factores de seguridad para este caso se seleccionó el material AISI 1060 con una resistencia a la fluencia de 370 MPa. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\sigma_x = \frac{S_y}{n}$$

$$S_y = 370 \text{ MPa} = 370 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{0.66 \times S_y}{n} = \frac{\pi \phi^3}{32}$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32 \times 16677 \times 4}{0.66 \times 370 \times \pi}}$$

$$\phi = 14,065 \text{ mm} \rightarrow \frac{9}{16} \text{ in}$$

Se elige un eje comercial de $\frac{9}{16} \text{ in} \rightarrow 14.288 \text{ mm}$ y se realiza un recalcu­lo del factor de seguridad para este caso consideramos el peso del péndulo más el peso del martillo con el momento máximo del péndulo que se observa en la Figura 29.

$$v = \pi r^2 l$$

$$v = \pi \left(\frac{14,288}{2}\right)^2 \times 1000 \text{ mm}$$

$$v = 1,6033 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\delta = \frac{m}{v}$$

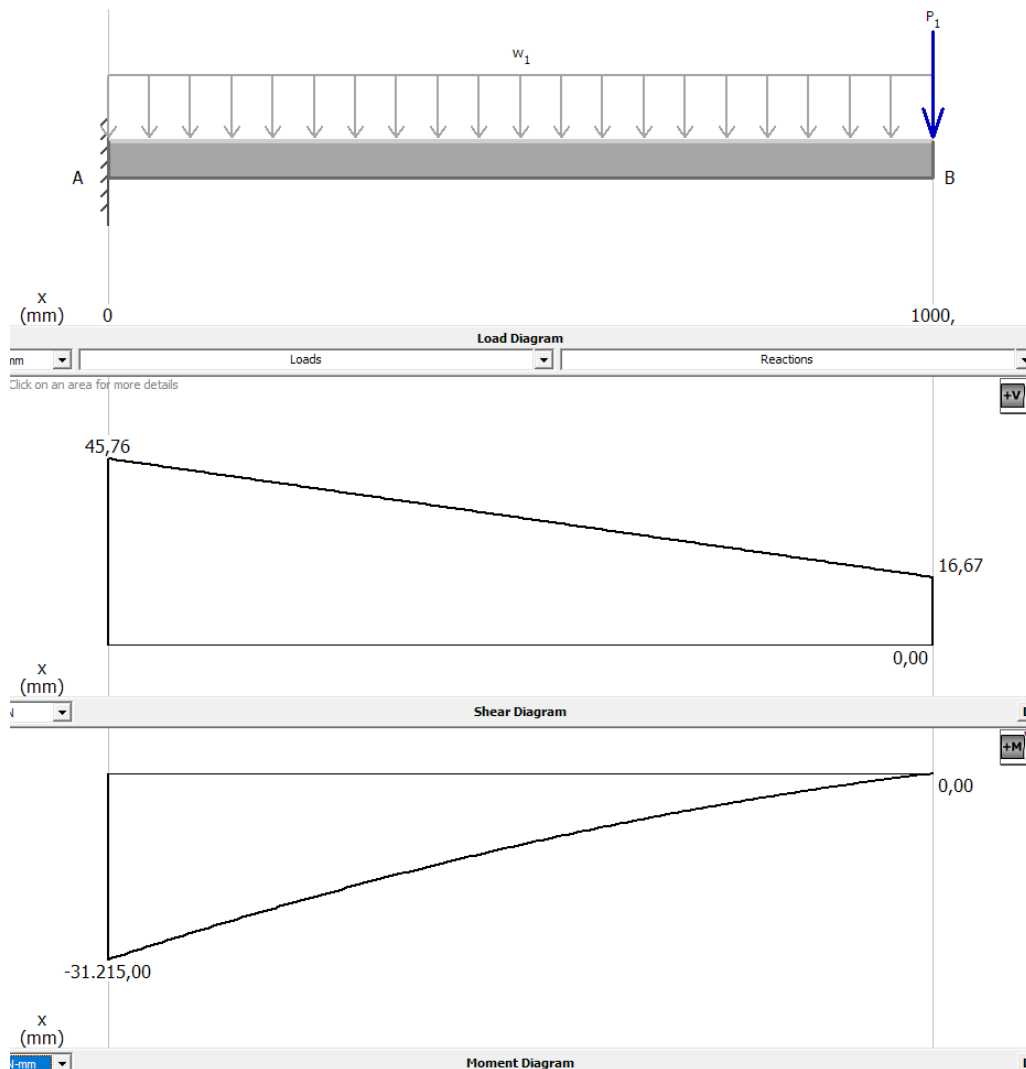
$$m = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,6033 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m = 1,266 \text{ kg}$$

$$W_{total} = (1,266 \text{ kg}) + (1.7 \text{ kg}) \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 29,096 \text{ N}$$

Figura 29

Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del péndulo



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2020).

$$n_{ik08} = \frac{0.66 \times 370 \times 14.288^3 \times \pi}{32 \times 31215}$$

$$n_{ik08} = 2.240$$

Como resultado se obtiene un factor de seguridad $n = 2.240$ para un momento máximo de $31215 \frac{N}{mm}$, por lo cual nuestra selección de material es correcta por que la máquina se encuentra bajo cargas estáticas.

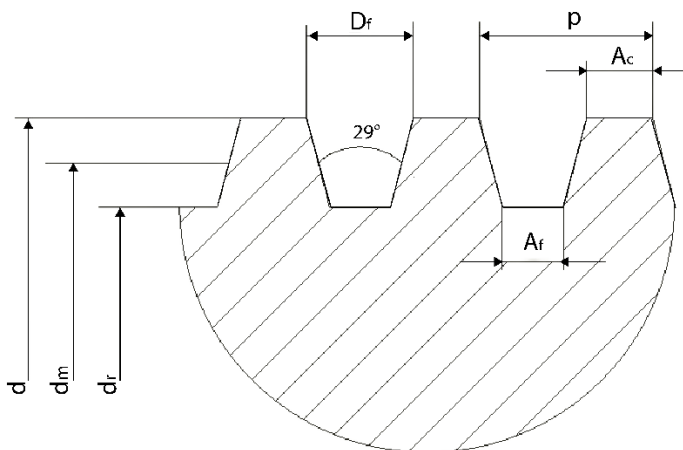
4.2.2. Tornillo de Potencia

Para determinar el tornillo que permite elevar o descender la luminaria del punto de impacto se lo diseña con un roscado tipo ACME de filete simple, para ello se selecciona un diámetro exterior de 20 mm con un paso de 2.50 mm para levantar o bajar un peso de aproximadamente 60 kg, peso medido por el Laboratorio de Luminotecnia del Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador, los datos seleccionados son considerados según (Budynas & Nisbett, 2012)

En la Figura 30, se calculan los parámetros de la rosca ACME que son: avance (l), diámetro medio (d_m), diámetro de raíz (d_r), ancho de fondo (A_f), ancho de cresta (A_c), profundidad de filete (P_f) y profundidad de filete (P_f). El coeficiente de fricción estático (μ) es de 0.15, el cual se toma del libro. (R. L. Mott, 2006)

Figura 30

Tornillo de potencia tipo ACME



Nota. Representación gráfica de rosca ACME de una entrada.

Donde:

$$n = 1$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$p = 2,50 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,15$$

$$m_z = 60 \text{ kg (valor pesado por IIGE)}$$

A manera que la rosca es milimétrica los hilos por milímetro no va a poseer un valor entero.

$$N = \frac{1}{p}$$

$$p = 2.5 \text{ mm} \rightarrow 0,098 \text{ in}$$

$$N = \frac{1}{0,098 \text{ in}}$$

$$N = 10,20 \text{ hilos/in} \rightarrow 0,4015 \text{ hilos/mm}$$

$$N = 0,4015 \text{ hilos/mm}$$

La profundidad del filete

$$P_f = \frac{p}{2}$$

$$P_f = \frac{2,5}{2}$$

$$P_f = 1,25 \text{ mm}$$

Ancho de cresta

$$A_c = \frac{p}{2,7}$$

$$A_c = \frac{2,5}{2,7}$$

$$A_c = 0,926 \text{ mm}$$

Ancho de fondo

$$A_f = \frac{p}{2,7} - 0,0052$$

$$A_f = \frac{2,5}{2,7} - 0,0052$$

$$A_f = 0,92 \text{ mm}$$

Distancia entre flancos

$$D_f = p - \frac{p}{2,7}$$

$$D_f = 2,5 - \frac{2,5}{2,7}$$

$$D_f = 1,57 \text{ mm}$$

Diámetro de raíz

$$d_r = d - p$$

$$d_r = 20 - 2,5$$

$$d_r = 17,5 \text{ mm}$$

Diámetro medio

$$d_m = d - \frac{p}{2}$$

$$d_m = 20 - \frac{2,5}{2}$$

$$d_m = 18,75 \text{ mm}$$

Avance

$$l = 1 (p)$$

$$l = 1 (2,5)$$

$$l = 2,5 \text{ mm}$$

En vista de que el tornillo de potencia es el encargado de desplazar la luminaria por medio de un torque tanto de subida como de bajada, este torque depende del diámetro de paso y el número de hilos por pulgada ya que esto nos indicará que tipo de motor es necesario acoplar para su buen funcionamiento. (Collazo et al., 2016)

Se debe tomar en consideración la fuerza que ejerce el peso de la luminaria en dirección vertical.

$$F = m \cdot g$$

$$F = 60(9,8) \text{ m/s}^2$$

$$F = 588 \text{ kg m/s}^2$$

$$F = 588 \text{ N}$$

Torque para ascenso de carga

$$T_s = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m + l \cdot \cos(\alpha)}{\pi \cdot d_m \cdot \cos(\alpha) - \mu \cdot l} \right)$$

$$T_s = \frac{588 (18,75)}{2} \left(\frac{18,75 (0,15\pi) + 2,5 \cos(14,5)}{18,75 \pi \cos(14,5) - 2,5 (0,15)} \right)$$

$$T_s = 1095,239 \text{ Nmm}$$

Torque para descenso de carga

$$T_b = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m - l \cdot \cos(\alpha)}{\pi \cdot d_m \cdot \cos(\alpha) + \mu \cdot l} \right)$$

$$T_b = \frac{588 (18,75)}{2} \left(\frac{18,75 (0,15\pi) - 2,5 \cos(14,5)}{18,75 \pi \cos(14,5) + 2,5 (0,15)} \right)$$

$$T_b = 616,070 \text{ Nmm}$$

La eficiencia o rendimiento

$$n = \frac{F \cdot l}{2 \pi T_s} \times 100\%$$

$$n = \frac{588 (2,5)}{2 \pi 1095,239} \times 100\%$$

$$n = 21,361 \%$$

Este rendimiento nos permite evaluar de forma correcta el funcionamiento del tornillo de potencia para este caso la eficiencia es baja por la presencia de la fricción,

rozamiento entre el tornillo y la tuerca por ese motivo es importante engrasar o lubricar los filetes para disminuir el rozamiento entre los mismos y prolongar la vida útil como mantener su eficiencia constante.

4.2.3. Factor de Seguridad de la Tuerca

El factor de seguridad se considera respecto a la Tabla 5, siendo un indicador de exactitud y confiabilidad ya que se encuentra bajo cargas dinámicas y este valor otorga una confianza promedio en todos los datos de diseño en los cálculos.

Área de esfuerzo a la tensión

$$A_{ttu} = \pi d \left(\frac{n}{N} \right)$$

El tipo de filete es simple, por lo tanto:

$$n = 1$$

$$A_{ttu} = 20 \pi \left(\frac{1}{0,4015} \right)$$

$$A_{ttu} = 156,492 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo de tensión de la tuerca

$$\tau_{tu} = \frac{F}{A_{ttu}}$$

$$\tau_{tu} = \frac{588}{156,492}$$

$$\tau_{tu} = 3,757 \text{ MPa}$$

Área de esfuerzo de compresión de la tuerca

$$A_{ctu} = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_r^2) \left(\frac{n \cdot N}{3} \right)$$

$$A_{ctu} = \frac{\pi}{4} (20^2 - 17,5^2) \left(\frac{1 \times 0,4015}{3} \right)$$

$$A_{ctu} = 9,854 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo de compresión de la tuerca

$$\sigma_{tu} = \frac{F}{A_{ctu}}$$

$$\sigma_{tu} = \frac{588}{9,854}$$

$$\sigma_{tu} = 59,671 \text{ MPa}$$

Teniendo en cuenta que se considera una carga normal el peso de las luminarias y que el diámetro del tornillo de potencia esta dimensionado bajo la observación de catálogos de la maquina comercial de impacto IK, se escoge un material bronce SAE 62 con propiedades de resistencia a la tensión tracción de 310 MPa y una resistencia a la compresión de 275 MPa. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$S_{uf} = 310 \text{ Mpa}$$

$$S_{uc} = 275 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad de corte de la tuerca

$$n_{tt} = \frac{S_{uf}}{\tau_{tu}}$$

$$n_{tt} = \frac{310 \text{ Mpa}}{3,757 \text{ Mpa}}$$

$$n_{tt} = 82,5126$$

Factor de seguridad de compresión de la tuerca

$$n_{ctu} = \frac{S_{uf}}{\sigma_{tu}}$$

$$n_{ctu} = \frac{275 \text{ Mpa}}{59,671 \text{ Mpa}}$$

$$n_{ctu} = 4,60$$

4.2.4. Factor de Seguridad del Tornillo de Potencia

Área de esfuerzo a la tensión

$$A_{tt} = \pi d_r \left(\frac{n}{N} \right)$$

El tipo de filete es simple, por lo tanto:

$$n = 1$$

$$A_{tt} = 17,5 \pi \left(\frac{1}{0,4015} \right)$$

$$A_{tt} = 136,93 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo de tensión en el tornillo

$$\tau_t = \frac{F}{A_{tt}}$$

$$\tau_t = \frac{588}{136,93}$$

$$\tau_t = 4,294 \text{ MPa}$$

Área de esfuerzo de compresión del tornillo de potencia

$$A_{ctu} = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_r^2) \left(\frac{n \cdot N}{3} \right)$$

$$A_{ctu} = \frac{\pi}{4} (20^2 - 17,5^2) \left(\frac{1 \times 0,4015}{3} \right)$$

$$A_{ctu} = 9,854 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo de compresión de la tuerca

$$\sigma_t = \frac{F}{A_{ctu}}$$

$$\sigma_t = \frac{588}{9,854}$$

$$\sigma_t = 59,671 \text{ MPa}$$

Se considera un tornillo normalizado de material de AISI 1060 con una resistencia a la fluencia de 370 MPa y una resistencia a la tensión de 680 MPa.

(Budynas & Nisbett, 2012)

Factor de seguridad de corte del tornillo de potencia

$$n_t = \frac{0,577 \times S_y}{\tau_t}$$

$$n_t = \frac{0,577 \times 370 \text{ MPa}}{4,294 \text{ MPa}}$$

$$n_t = 49,718$$

Factor de seguridad de esfuerzo de compresión del tornillo de potencia

$$n_{ct} = \frac{S_y}{\sigma_t}$$

$$n_{ct} = \frac{370 \text{ Mpa}}{59,671 \text{ Mpa}}$$

$$n_{ct} = 6,20$$

El factor de seguridad está dentro de los parámetros establecidos en la Tabla 5 por ende el tornillo de potencia y la tuerca del tornillo, dan confiabilidad al momento de realizar su trabajo en elevar y descender la luminaria no obstante este factor es muy elevado y es reflejado en los costos del material.

4.3. Diseño y Cálculo de la Máquina Propuesta

4.3.1. Velocidad al Momento de Impacto

En el momento que el martillo de impacto se encuentra en la posición inicial tiene una energía potencial $E_p = mgh$ donde para este caso la altura está dado desde el centro de gravedad del martillo a 90° hasta la luminaria, es por esto que al momento de

dejarlo caer la energía potencial se transforma en energía cinética $E_c = \frac{mv^2}{2}$; de acuerdo a la ley de la conservación de la energía:

$$E_p = E_c = m \times g \times h = \frac{m \times v^2}{2}$$

$$v = \sqrt{2 \times g \times h}$$

$$v = \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1,585 \text{ m}}$$

$$v = 5,576 \text{ m/s (antes de impacto)}$$

4.3.2. Tiempo del Evento

En el instante que el movimiento del péndulo se asimila como movimiento circular uniformemente acelerado se determina el tiempo que dura el suceso, partiendo desde que el péndulo con el martillo de impacto hace contacto con la luminaria por consiguiente se calcula:

Velocidad angular:

$$v = r * \omega$$

$$\omega = \frac{5,576 \text{ m/s}}{0,5 \text{ m}}$$

$$\omega = 11,152 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 100 \text{ rpm (antes de impacto)}$$

Aceleración angular:

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$$

En este caso se elige 90° ángulo que barre el péndulo desde la posición inicial hasta el momento de impacto y se considera como peor condición de partida el cual produce más destrucción a la luminaria.

$$\theta = 90^\circ = 1,57 \text{ rad/s}$$

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2\theta}$$

$$\alpha = \frac{(11,52 \text{ rad/s})^2}{2 \times 1,57 \text{ rad/s}}$$

$$\alpha = 39,60 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Tiempo del evento:

$$t = \frac{\omega}{\alpha}$$

$$t = \frac{11,152 \text{ rad/s}}{39,60 \text{ rad/s}^2}$$

$$t = 0,281 \text{ s}$$

4.3.3. Energía de Impacto

Con un material Fe 490-2 con dureza Rockwell HR80-85 según las normas ISO 1052 y 6508 La energía normada es de 5 J, equivalente a 1.7 kg con esto obtenemos la altura que se suelta el péndulo como se observa en la Figura 11.

$$E_p = mgh$$

$$h = \frac{5 \text{ J}}{\frac{1,7 \text{ kg}}{\text{m}} \times \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2}}$$

$$h = 0.30 \text{ m}$$

En este diseño se eligió un material AISI 1045 con un diámetro de 80 mm por una longitud de 200 mm, para que después de un proceso de manufactura cumpla las dimensiones establecidas de la norma se obtiene un peso de 1,31 Kg/m valor pesado en el laboratorio de luminotecnia, entonces la energía con la que impacta este material es:

$$E_p = mgh$$

$$E_p = 1,31 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,4 \text{ m}$$

$$E_p = 5,14 \text{ N}$$

Donde se obtiene una energía de 5,14 N, valor dentro del rango del 5% con una altura de 40 cm.

4.3.4. Brazo Pendular 90° IK10

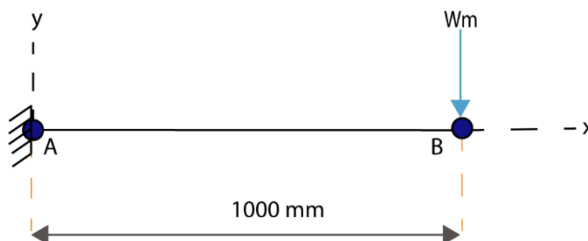
En este apartado a diferencia del ítem 4.2.1. Donde se evalúa el nivel de protección contra golpes IK08, en este caso se lo realizara para un IK10 en el cual se tiene mayores cargas sobre el sistema de ensayo de impacto considerando así las peores condiciones de entorno de funcionamiento y obteniendo un factor de potencia más eficiente para el apartado IK08 hasta IK10, que de la máquina que se comercializa.

Donde:

$$W_m = 10 \text{ kg (Norma IEC 60068-2-75)}$$

Figura 31

Diagrama de cuerpo libre péndulo a 90°



Nota. Representación gráfica para analizar fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

$$\sum F_y = 0$$

$$W_m = 10 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_m = 98,1 \text{ N}$$

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I_x} = \frac{M}{W}$$

$$W = \frac{\pi \phi^3}{32}$$

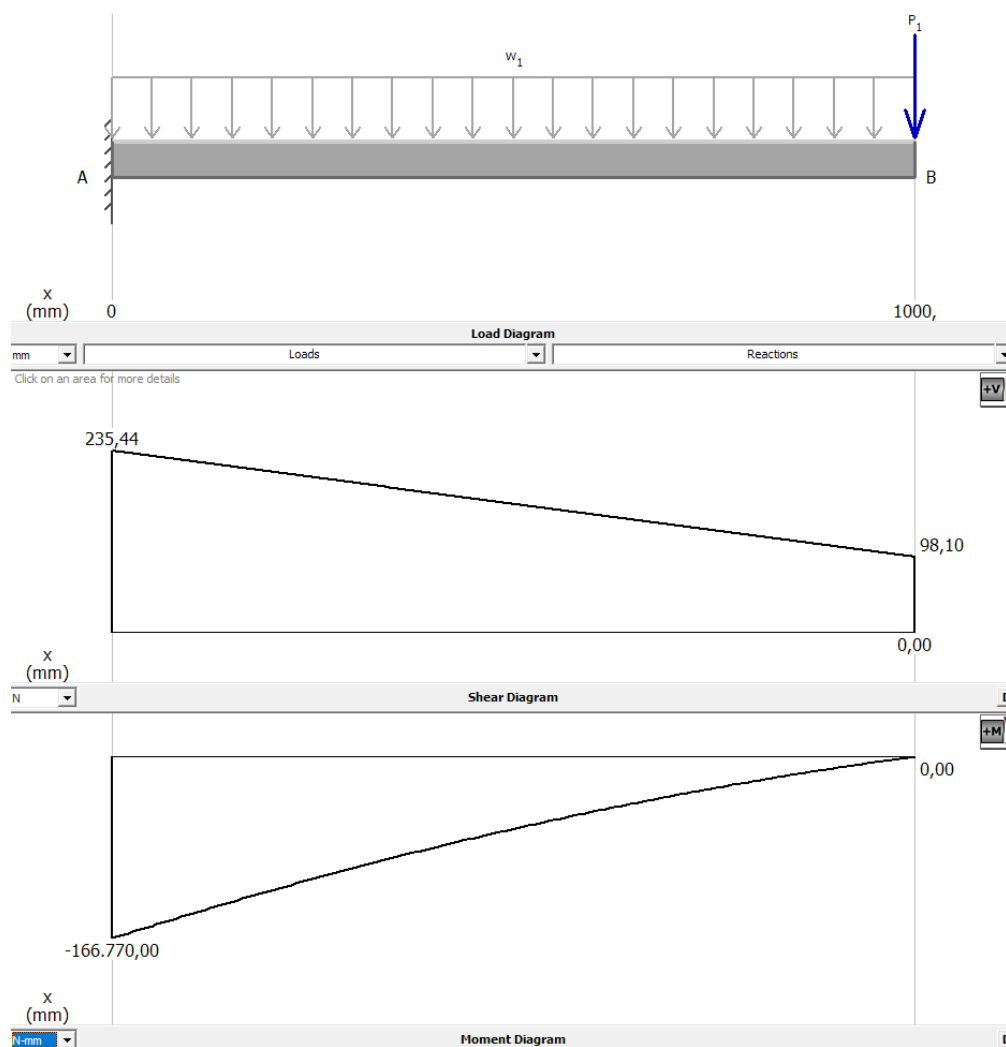
$$M = 10 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1000 \text{ mm}$$

$$M = 98100 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Una vez calculado el momento para un impacto IK10 en la Figura 32 se procede a realizar el diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores.

Figura 32

Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del péndulo IK10



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2020)

Se elige un factor de seguridad de 4 como se dictamina en la Tabla 5 por que este péndulo está sujeto a cargas dinámicas e impacto, el material utilizado es un AISI 1045 que se lo comercializa con facilidad dentro del mercado del país para facilidades de construcción y tiene una representación de costos más económica en comparación con la máquina comercializada, una vez seleccionado el material se indaga sobre la resistencia a la fluencia que es de 290 MPa. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\sigma_x = \frac{S_y}{n}$$

$$S_y = 290 \text{ MPa} = 290 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{0.66 \times S_y}{n} = \frac{\pi \phi^3}{32}$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32 \times 98100 \times 4}{0.66 \times 290 \times \pi}}$$

$$\phi = 27,537 \text{ mm} \rightarrow 1\frac{1}{8} \text{ in}$$

Se elige un eje comercial de $1\frac{1}{8} \text{ in} \rightarrow 28,575 \text{ mm}$ y se realiza los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores como se observa en la Figura 33.

$$v = \pi r^2 l$$

$$v = \pi \times \left(\frac{28,575}{2}\right)^2 \times 1000 \text{ mm}$$

$$v = 6,4130 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\delta = \frac{m}{v}$$

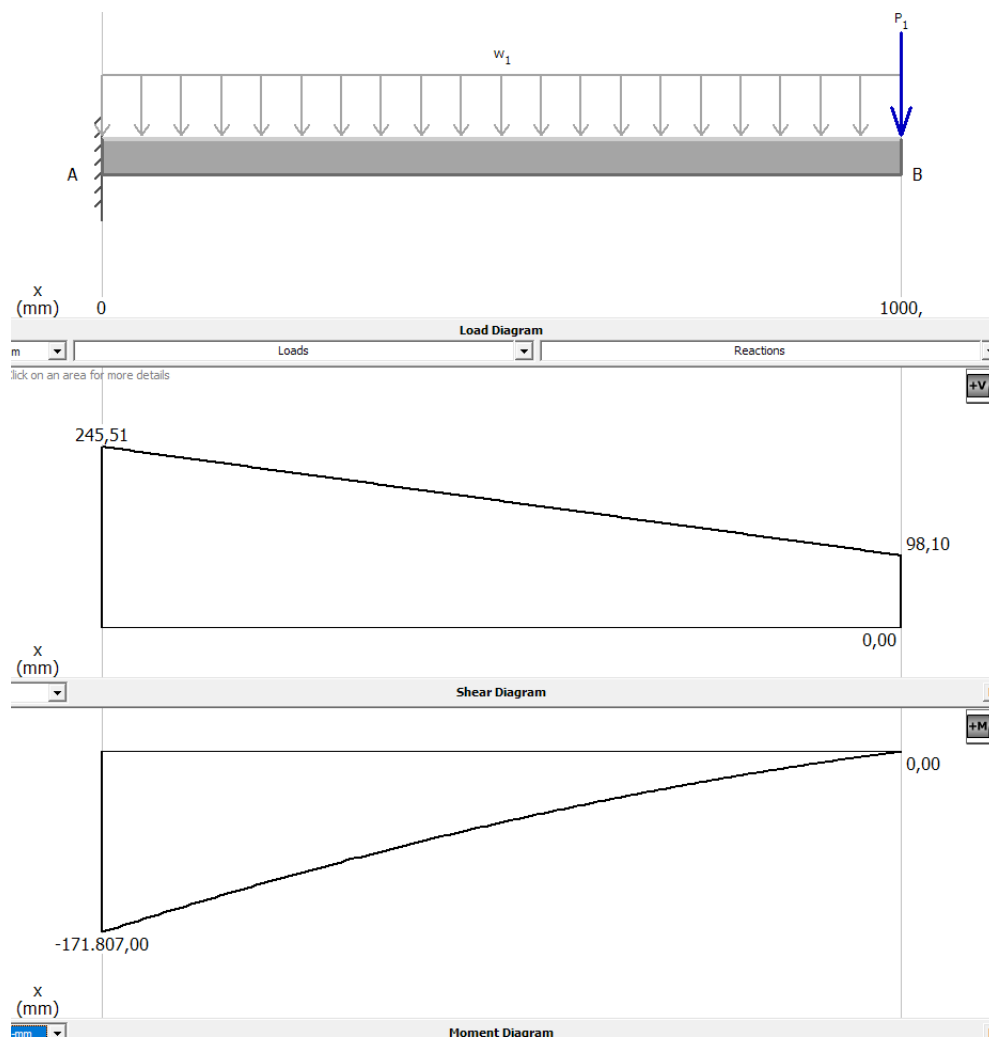
$$m = 7840 \frac{kg}{m^3} \times 6,4130 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m = 5,027 \text{ kg}$$

$$W_{total} = (5,027 \text{ kg}) + (10 \text{ kg}) \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 147,414 \text{ N}$$

Figura 33

Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del péndulo



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2020)

$$n_{ik10} = \frac{0.66 \times 290 \times 28,575^3 \times \pi}{32 \times 171807}$$

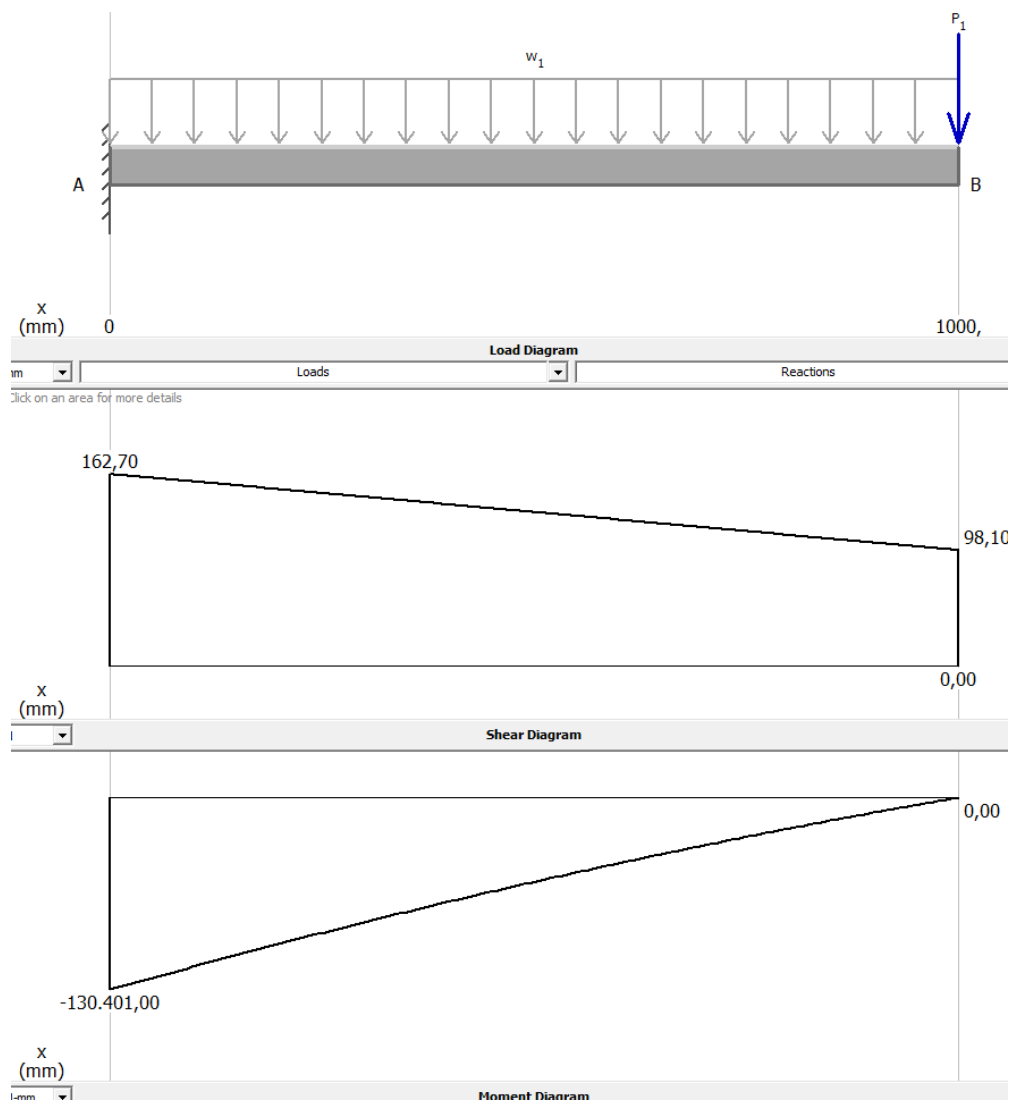
$$n_{ik10} = 2.551$$

Como resultado se obtiene un factor de seguridad $n_{ik10} = 2,551$, también se realiza la comparación para n_{ik08} del apartado 4.2.1.

$$W_{total} = (5,027 \text{ kg}) + (1,31 \text{ kg}) \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 64,602 \text{ N}$$

Figura 34

Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del péndulo



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2020).

$$n_{ik08} = \frac{0,66 \times 290 \times 28,575^3 \times \pi}{32 \times 130401}$$

$$n_{ik08} = 3,362$$

Finalmente se ha comparado el factor de seguridad n_{ik08} con el del factor de seguridad de n_{ik08} del ítem 4.2.1. al igual que se obtiene un aumento de seguridad de 33,372% permitiendo este factor otorgar resultados más fiables al momento de impactar con otros materiales de las mismas o diferentes características mecánicas que el péndulo.

4.3.5. Brazo Pendular 0° IK10

Figura 35

Diagrama de cuerpo libre péndulo a 0°



Nota. Representación gráfica para analizar fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

$$\sigma_x = \frac{F}{A}$$

$$47,85 \frac{N}{mm^2} = \frac{98,1 N \times 4}{\pi \phi^2}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{98,1 N \times 4}{\pi 47,85 N/mm^2}}$$

$$\phi = 1,61 mm \rightarrow \frac{1}{16} in$$

Analizando este apartado se obtiene un diámetro de $\frac{1}{16}$ in para soportar un martillo de impacto IK10.

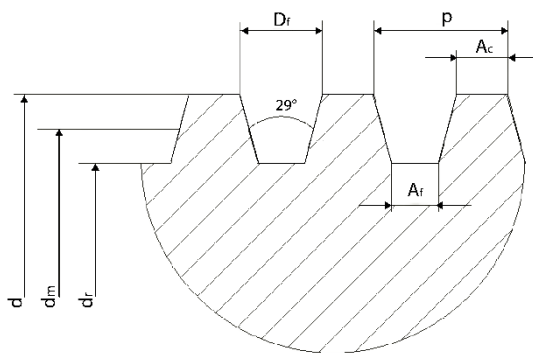
Ante todo, se realizó los cálculos para dos determinadas posiciones más críticas de 90 grados y 0 grados para conocer el diámetro del péndulo respectivamente, por ende, se selecciona el diámetro de $1\frac{1}{8}$ in del ítem 4.3.4 por qué el péndulo se encuentra a plena carga máxima.

4.3.6. Tornillo de Potencia

Estos componentes son los más utilizados en las aplicaciones de diseño de máquinas por el desplazamiento de cargas a lo largo de su eje, los coeficientes de rozamiento llegan a ser bajos si están bien lubricados caso contrario este rozamiento puede producir calentamiento y desgaste excesivo entre el tornillo de potencia y la tuerca una de las mejores combinaciones de materiales para estos casos son el acero sobre el bronce. Se diseña un tornillo de potencia con un roscado tipo ACME de filete simple, para ello se ha selecciona un diámetro exterior de 12 mm con un paso de 1.75 mm para levantar y bajar un peso de aproximadamente 60 kg de la luminaria a este peso se elevará un 15% para que la máquina soporte esfuerzos que el operario puede incrementar por error.

Figura 36

Tornillo de potencia tipo ACME



Nota. Representación gráfica de rosca ACME de una entrada.

Donde:

$$n = 1$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$p = 1,75 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,15$$

$$m_z = 60 \text{ kg} + 15\% \text{ (valor pesado por IIGE)}$$

A manera que la rosca es milimétrica los hilos por milímetro no va a poseer un valor entero.

$$N = \frac{1}{p}$$

$$p = 1,75 \text{ mm} \rightarrow 0,068 \text{ in}$$

$$N = \frac{1}{0,068 \text{ in}}$$

$$N = 14,70 \text{ hilos/in} \rightarrow 0,578 \text{ hilos/mm}$$

$$N = 0,578 \text{ hilos/mm}$$

La profundidad del filete

$$P_f = \frac{p}{2}$$

$$P_f = \frac{1,75}{2}$$

$$P_f = 0,875 \text{ mm}$$

Ancho de cresta

$$A_c = \frac{p}{2,7}$$

$$A_c = \frac{1,75}{2,7}$$

$$A_c = 0,648 \text{ mm}$$

Ancho de fondo

$$A_f = \frac{p}{2,7} - 0,0052$$

$$A_f = \frac{1,75}{2,7} - 0,0052$$

$$A_f = 0,643 \text{ mm}$$

Distancia entre flancos

$$D_f = p - \frac{p}{2,7}$$

$$D_f = 1,75 - \frac{1,75}{2,7}$$

$$D_f = 1,101 \text{ mm}$$

Diámetro de raíz

$$d_r = d - p$$

$$d_r = 12 - 1,75$$

$$d_r = 10,25 \text{ mm}$$

Diámetro medio

$$d_m = d - \frac{p}{2}$$

$$d_m = 12 - \frac{1,75}{2}$$

$$d_m = 11,125 \text{ mm}$$

Avance

$$l = n (p)$$

$$l = 1 (1,75)$$

$$l = 1,75 \text{ mm}$$

En vista de que el tornillo se encarga de desplazar la luminaria se necesita determinar el torque de subida como el de bajada para realizar la selección del motor idónea para un correcto acoplamiento y funcionalidad.

$$F = m \cdot g$$

$$F = 69(9,8)$$

$$F = 676,2 \text{ kg m/s}^2$$

$$F = 676,2 \text{ N}$$

Torque para ascenso de carga

$$T_s = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m + l \cdot \cos(\alpha)}{\pi \cdot d_m \cdot \cos(\alpha) - \mu \cdot l} \right)$$

$$T_s = \frac{676,2 (11,125)}{2} \left(\frac{11,125 (0,15\pi) + 1,75 \cos(14,5)}{11,125 \pi \cos(14,5) - 1,75 (0,15)} \right)$$

$$T_s = 791,572 \text{ Nmm}$$

Torque para descenso de carga

$$T_b = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m - l \cdot \cos(\alpha)}{\pi \cdot d_m \cdot \cos(\alpha) + \mu \cdot l} \right)$$

$$T_b = \frac{676,2 (11,125)}{2} \left(\frac{11,125 (0,15\pi) - 1,75 \cos(14,5)}{11,125 \pi \cos(14,5) + 1,75 (0,15)} \right)$$

$$T_b = 384,488 \text{ Nmm}$$

La eficiencia o rendimiento

$$n = \frac{F \cdot l}{2 \pi T_s} \times 100\%$$

$$n = \frac{676,2 (1,75)}{2 \pi \times 791,572} \times 100\%$$

$$n = 23,792 \%$$

El rendimiento en este apartado es muy bajo, pero no tiene gran importancia debido a que la potencia que se necesita transmitir es muy pequeña, este rozamiento está en función de la tuerca y el tornillo de potencia; para obtener un rendimiento más elevado se considera el ángulo de avance, pero esto provoca que la transmisión mecánica disminuya considerablemente produciendo fallas.

4.3.7. Factor de Seguridad de la Tuerca

El factor de seguridad se considera aceptable que se encuentre en un valor entre 2 a 3 considerando cargas estáticas y dinámicas además de impacto y vibraciones internas entre los elementos, es por esto que se considera no tomar un factor de seguridad menor a 2 para garantizar la durabilidad del producto y prevenir que ocurran fallas.

Área de esfuerzo a la tensión

$$A_{ttu} = \pi d \left(\frac{n}{N} \right)$$

El tipo de filete es simple, por lo tanto:

$$n = 1$$

$$A_{ttu} = 12 \pi \left(\frac{1}{0,578} \right)$$

$$A_{ttu} = 65,223 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo de tensión de la tuerca

$$\tau_{tu} = \frac{F}{A_{ttu}}$$

$$\tau_{tu} = \frac{676,2}{65,223}$$

$$\tau_{tu} = 10,367 \text{ MPa}$$

Área de esfuerzo de compresión de la tuerca

$$A_{ctu} = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_r^2) \left(\frac{n \cdot N}{3} \right)$$

$$A_{ctu} = \frac{\pi}{4} (12^2 - 10,25^2) \left(\frac{1 \times 0,578}{3} \right)$$

$$A_{ctu} = 5,892 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo de compresión de la tuerca

$$\sigma_{tu} = \frac{F}{A_{ctu}}$$

$$\sigma_{tu} = \frac{676,2}{5,892}$$

$$\sigma_{tu} = 114,765 \text{ MPa}$$

Se escoge un material bronce SAE62 con propiedades de resistencia a la tensión de tracción 310 MPa y una resistencia a la compresión de 275 MPa. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$S_{uf} = 310 \text{ Mpa}$$

$$S_{uc} = 275 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad de corte de la tuerca

$$n_{tt} = \frac{S_{uf}}{\tau_{tu}}$$

$$n_{tt} = \frac{310 \text{ Mpa}}{10,367 \text{ Mpa}}$$

$$n_{tt} = 29,90$$

Factor de seguridad de compresión de la tuerca

$$n_{ctu} = \frac{S_{uc}}{\sigma_{tu}}$$

$$n_{ctu} = \frac{275 \text{ Mpa}}{114,765 \text{ Mpa}}$$

$$n_{ctu} = 2,396$$

4.3.8. Factor de Seguridad del Tornillo de Potencia

Área de esfuerzo a la tensión

$$A_{tt} = \pi d_r \left(\frac{n}{N} \right)$$

El tipo de filete es simple, por lo tanto:

$$n = 1$$

$$A_{tt} = 10,25 \pi \left(\frac{1}{0,578} \right)$$

$$A_{tt} = 55,711 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo de tensión en el tornillo

$$\tau_t = \frac{F}{A_{tt}}$$

$$\tau_t = \frac{676,2}{55,711}$$

$$\tau_t = 12,137 \text{ MPa}$$

Área de esfuerzo de compresión del tornillo de potencia

$$A_{ctu} = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_r^2) \left(\frac{n \cdot N}{3} \right)$$

$$A_{ctu} = \frac{\pi}{4} (12^2 - 10,25^2) \left(\frac{1 \times 0,578}{3} \right)$$

$$A_{ctu} = 5,892 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo de compresión de la tuerca

$$\sigma_t = \frac{F}{A_{ctu}}$$

$$\sigma_t = \frac{676,2}{5,892}$$

$$\sigma_t = 114,765 \text{ MPa}$$

Se elige el material de AISI 1045 con propiedades de resistencia a la fluencia 310 MPa y resistencia a la tensión de 570 MPa. (Budynas & Nisbett, 2012)

Factor de seguridad de corte del tornillo de potencia

$$n_t = \frac{0,577 \times S_y}{\tau_t}$$

$$n_t = \frac{0,577 \times 310 \text{ MPa}}{12,137 \text{ MPa}}$$

$$n_t = 14,737$$

Factor de seguridad de esfuerzo compresión del tornillo de potencia

$$n_{ct} = \frac{S_y}{\sigma_t}$$

$$n_{ct} = \frac{310 \text{ Mpa}}{114,765 \text{ Mpa}}$$

$$n_{ct} = 2,70$$

Se obtiene un factor de seguridad de 2,70 en comparación con el factor de seguridad del ítem 4.2.4 de 4,60 en otras palabras este parámetro obtuvo una disminución del 41,30% pero está dentro de los márgenes para un factor de calidad para cargas dinámicas con incertidumbre no obstante al elegir este material se disminuye los costos de construcción y procesos de manufactura que conlleva a incremento de gastos al cliente y luego abortar el proyecto.

4.3.9. Selección del actuador

Para el diseño de la máquina alternativa b), se selecciona los servomotores o motores a pasos de una CNC, con esto se logra obtener pequeños desplazamientos angulares dependiendo del número de ciclos por revolución (CPR) del encoder acoplado al actuador. (Guanoluisa & Sánchez, 2013)

Los torques calculados son el momento originado para que la fuerza del tornillo de potencia pueda desplazar para arriba y de igual forma hacia abajo la estructura de la luminaria.

En la Tabla 22, se observa los torques de ascenso y descenso y la eficiencia de cada alternativa de máquina.

Tabla 22

Torques ejercidos de los tornillos de potencia

Máquina	Torque de ascenso [N.mm]	Torque de descenso [N.mm]	Eficiencia
Alternativa a)	1095,239	616,070	21,361
Alternativa b)	791,572	384,488	23,792

El parámetro de diseño que se toma es el valor de torque de subida de la alternativa b), ya que es la máquina que cumple con las demandas del cliente establecidas en la casa de la calidad. Para calcular el torque que se necesita para desplazar el tornillo de potencia en el eje Y, primero se procese por calcular el torque para vencer la fuerza de fricción. (Guanoluisa & Sánchez, 2013)

$$T = \frac{F \times r}{\phi \times \theta}$$

F: Fuerza mínima para levantamiento de la luminaria

T: Torque mínimo que se entrega al motor

ϕ : Relación de movimiento del tornillo sin fin

r: Radio de movimiento del tornillo sin fin

θ : Porcentaje de trabajo de motor, se elige un trabajo constante al 75%.

Por lo tanto, para obtener la relación de movimiento se calcula por.

$$\phi = \frac{\pi \times D}{p}$$

$$\phi = \frac{\pi \times 12}{1,75}$$

$$\phi = 21,542$$

Por lo tanto, el torque de diseño para los actuadores es:

$$T = \frac{676,2 \times 6}{21,542 \times 0,75}$$

$$T = 251,118 \text{ Ncm}$$

$$T = 25,61 \text{ kg cm}$$

Tabla 23

Especificación de los actuadores del equipo

Motor NEMA 23 23HS2430-PLUS	
Características Técnicas	Especificaciones
Torque máximo	30 kg cm
Corriente Nominal	3,2 A
Voltaje Nominal	3,8 V
Angulo de paso	1.8 °

Se selecciona un motor a pasos NEMA 23 23HS2430-PLUS para generar un torque necesario de 251,118 N.cm, a fin de elevar y descender un peso de las luminarias de alumbrado público de 69 Kg, se enmarca las especificaciones del respectivo motor en la Tabla 23; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

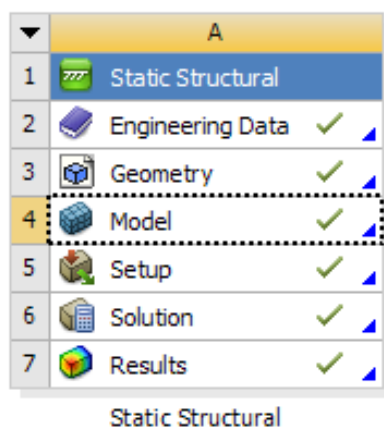
4.4. Análisis Static Structural

El análisis estructural computacional se realizó empleando la herramienta del software Ansys Academic - Static Structural Figura 37, este bloque está compuesto del Pre-procesamiento, Procesamiento y Post-procesamiento, dentro del Pre-procesamiento en la pestaña Engineering Data se encuentra características como la selección o creación de materiales, dentro de la pestaña Geometry se dibuja o importa

modelos 3D o 2D y en la pestaña Model o Mesh se realiza el respectivo mallado del modelo, el Procesamiento en la pestaña Setup se ingresan las condiciones de contorno cumpliendo con los parámetros para los diversos análisis según sea el caso, y por último en el Post-procesamiento la pestaña Setup, Solution, Results se observa los resultados respectivamente como deformaciones, desplazamientos, factores de seguridad entre otros resultados en función de colores.

Figura 37

Bloque Static Structural



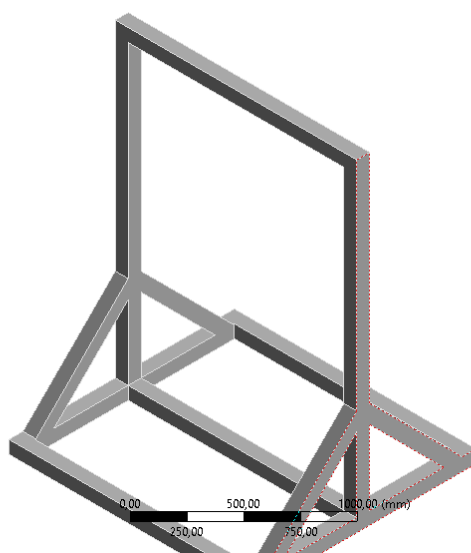
4.4.1. Adecuación de la Geometría

En este punto se corrige y repara la geometría para el correcto análisis estructural por medio del software SpaceClaim de Ansys Academic cómo se observa en la Figura 38 y Figura 39, para aportar soluciones eficientes de alto grado y su facilidad como simplicidad al momento de manejo de sus herramientas Corregir, Modifica Curvas, Solidificar, Ajustar, para obtener un solo cuerpo después se genera la geometría dentro del Static Structural. Otra forma de realizar estas correcciones es mediante el software DesingModeler de Ansys Academic, realizando click en la pestaña Create después dar click en la operación Boolean, a continuación, seleccionar todas las

partes del cuerpo del Cad y selecciona Unir, para terminar la operación dar click en el botón Generate para proceder a la formar un solo cuerpo de la geometría.

Figura 38

Modelo Cad estructura de la alternativa a)



ANSYS
2021 R1
ACADEMIC

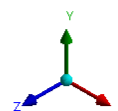
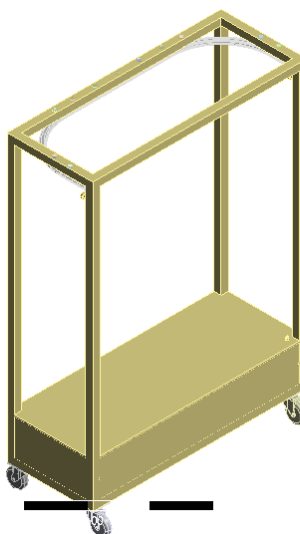
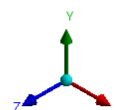


Figura 39

Modelo Cad estructura de la alternativa b)



ANSYS
2021 R1
ACADEMIC



4.4.2. Procesamiento de Mallado

El primer paso es realizar un mallado por defecto para determinar si la geometría presenta defectos como interferencias de zonas, elementos sobre montados, dando a conocer la cantidad de nodos, valores mínimos y máximos de celda, después se procede a seleccionar el método Skewness o por otro lado se selecciona el método Orthogonal Quality de acuerdo a criterios de diseño y experiencia por ende estos deben cumplir con los valores de las Tabla 6 y Tabla 7.

De ser el caso de que no cumpla con estos parámetros se realiza la inserción del comando Sizing como se observa en la Figura 40 de manera que permite refinar el mallado considerando elementos, cara, aristas curvaturas para un dimensionamiento correcto de la geometría y generar una malla de calidad con los parámetros antes mencionados como se observa en las Figura 41, Figura 42, Figura 43 y Figura 44.

Figura 40

Configuraciones generales Sizing

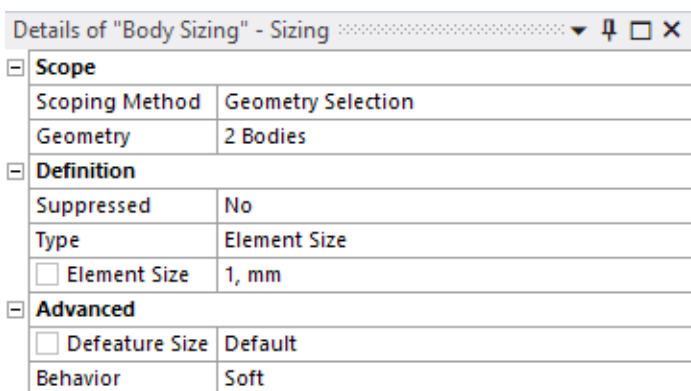
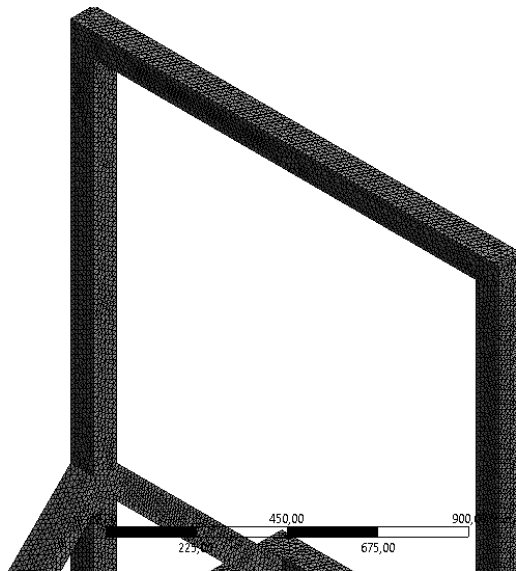
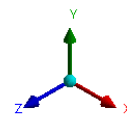


Figura 41

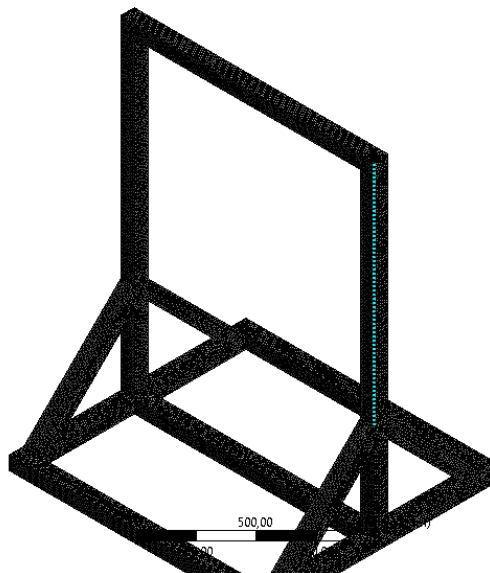
Refinado Sizing parte superior de la estructura de la alternativa a)



ANSYS
2021 R1
ACADEMIC

**Figura 42**

Refinado Sizing estructura completa de la alternativa a)



ANSYS
2021 R1
ACADEMIC

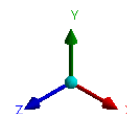
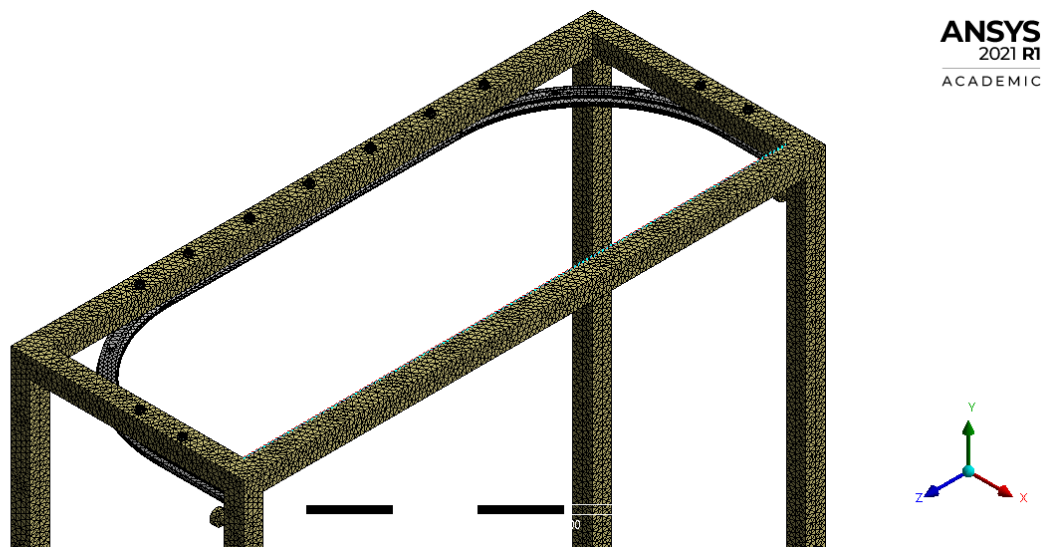
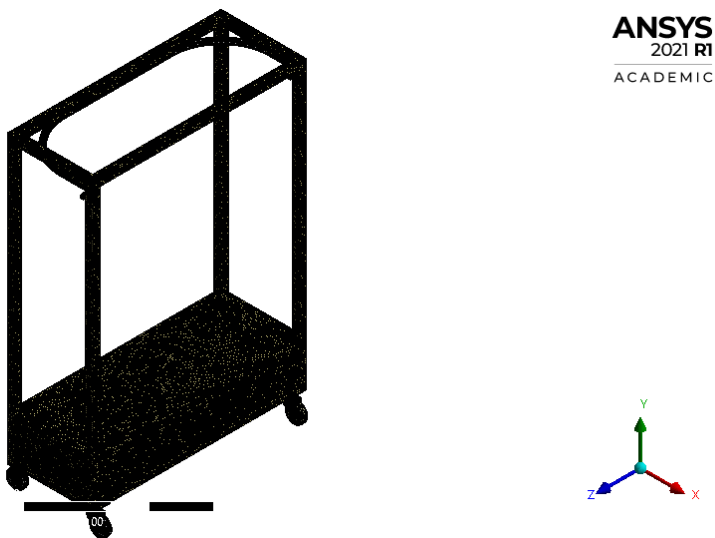


Figura 43

Refinado Sizing parte superior de la estructura de la alternativa b)

**Figura 44**

Refinado Sizing estructura completa de la alternativa b)



En la Figura 45, Figura 46, se muestra los valores de mallado de la máquina de la alternativa a) y alternativa b), que con la opción Orthogonal Quality (Valores

Ortogonales) se consiguen resultados para la alternativa a), de un valor máximo de 0,9958 y un promedio de 0,778, mientras tanto para la máquina de la alternativa b), se obtienen los resultados de valor máximo de 0,9959 y valor promedio de 0,712 donde estos valores están dentro de lo considerado como Muy Bueno respecto a la Tabla 7, y aseguran que se encuentran dentro de los parámetros de calidad para un análisis aceptable.

Figura 45

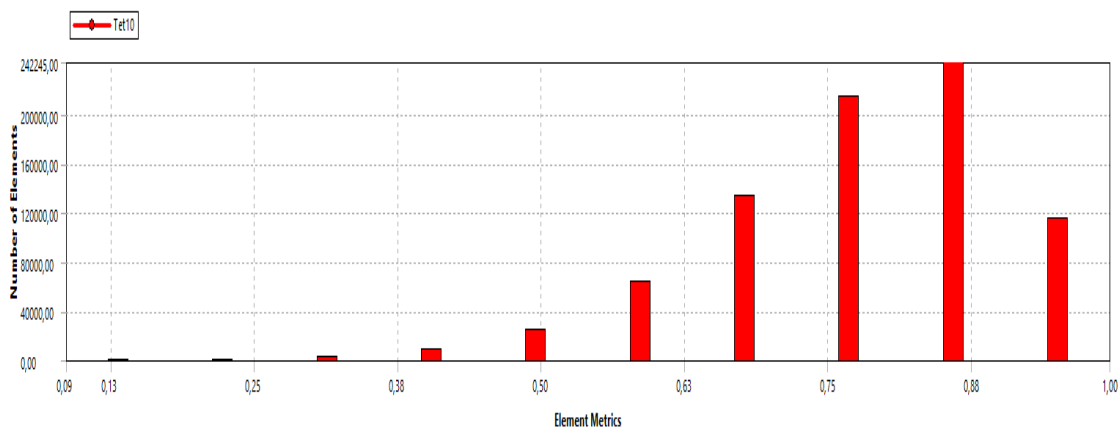
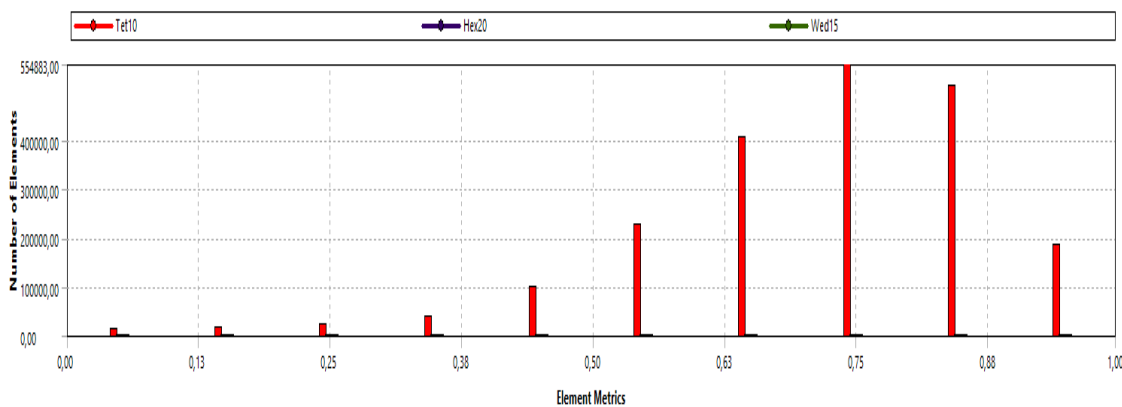
Parámetros de calidad Orthogonal Quality máquina alternativa a)

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	8,5923e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,9958
<input type="checkbox"/> Average	0,77804
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,12139

Figura 46

Parámetros de calidad Orthogonal Quality máquina alternativa b)

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	2,8779e-005
<input type="checkbox"/> Max	0,99597
<input type="checkbox"/> Average	0,71255
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,15995

Figura 47*Mesh Metric máquina alternativa a)***Figura 48***Mesh Metric máquina alternativa b)*

Para comprobar la calidad de mallado de las máquinas, se realiza el procedimiento con la opción Skewness como se observa en la Figura 49, Figura 50, y se obtiene como resultado para la alternativa a), un valor máximo de 0,914 y valor promedio de 0,220, entretanto para la alternativa b), se alcanza un valor máximo de 0,999 y valor promedio de 0,286 esto muestra que estos valores entre más se acerquen a cero, esta forma un triángulo equilátero y se considera con respecto a la Tabla 6 como Excelente para obtener resultados de absoluta exactitud.

Figura 49

Parámetros de calidad Skewness máquina alternativa a)

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	2,3585e-004
<input type="checkbox"/> Max	0,91408
<input type="checkbox"/> Average	0,22079
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,12283

Figura 50

Parámetros de calidad Skewness máquina alternativa b)

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1,842e-004
<input type="checkbox"/> Max	0,99997
<input type="checkbox"/> Average	0,28635
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,16122

Figura 51

Mesh Metric máquina alternativa a)

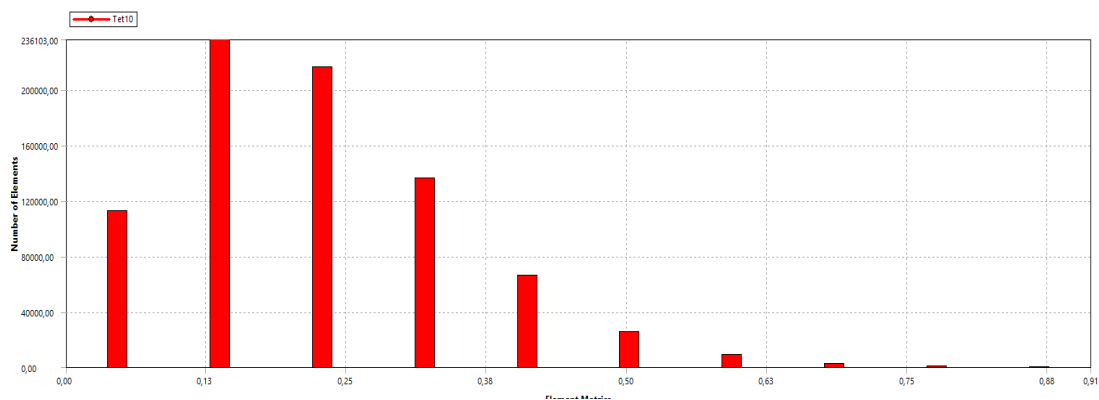
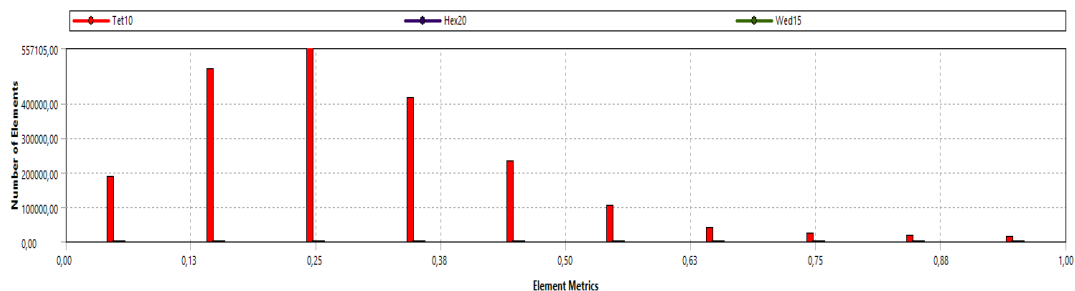


Figura 52

Mesh Metric máquina alternativa b)



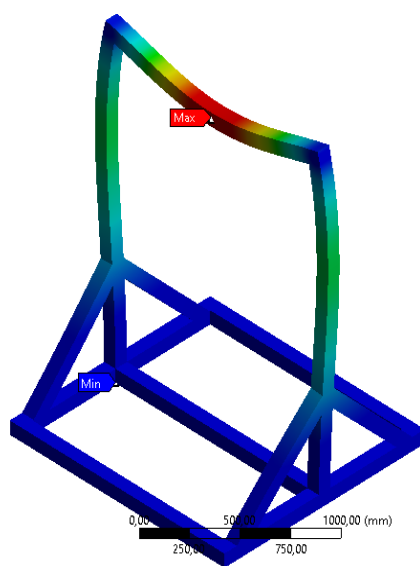
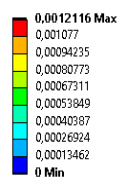
4.4.3. Análisis Estructural de la Contextura de la Máquina de la Alternativa a)

Se procedió cumpliendo las condiciones de contorno y los parámetros establecidos en el análisis estático, en el procesamiento se asigna un material de acero estructural A36 con una resistencia a la cadencia de 248 MPa, después de una muestra de pasos se realiza el pre-procesamiento aplicando una fuerza de 45.941 N aplicadas a la estructura, para el análisis de deformación y Von mises.

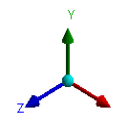
Figura 53

Deformación total estructural, alternativa a)

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1



ANSYS
2021 R1
ACADEMIC



Se comprueba el valor obtenido en la simulación mediante la siguiente condición para la deflexión:

$$\delta r < [\delta]$$

Donde:

$\delta r =$ deflexión de la viga

$\delta =$ deflexión permisible, criterio típico

$L =$ longitud del componente

$$\delta r < [\delta] = \frac{L}{800}$$

Ecuación 7

Deflexión

Nota: (Jaramillo, 2015, pág. 80)

$$\delta r < [\delta] = \frac{1500 \text{ mm}}{800}$$

$$0.0012116 \text{ mm} < 1,875 \text{ mm}$$

Se obtiene como resultado en la Figura 53, una deformación máxima de 0,001211 mm de desplazamiento en el eje Y además esta deflexión real es menor a la deflexión permisible entonces se concluye que no existe falla en el diseño, por otro lado, nos indica que la estructura soporta las cargas aplicadas por el impacto del péndulo.

No obstante, en este apartado de la Figura 54, se verifica que la estructura no presente fallas mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66S_y$$

Donde:

$\sigma_{real} =$ Esfuerzo real o calculado

$\sigma_d =$ Esfuerzo permisible

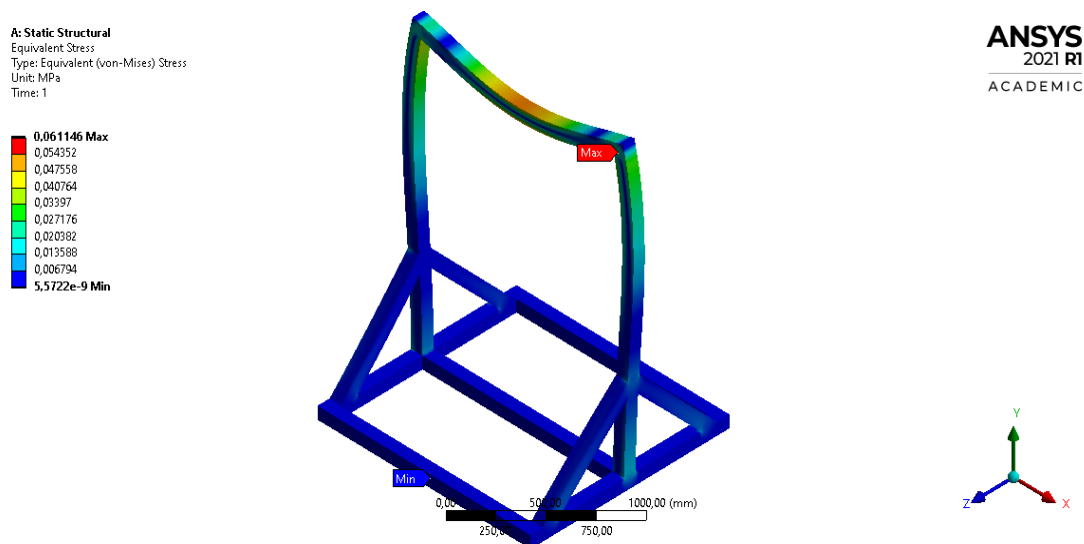
$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66(248 \text{ MPa})$$

$$0,061146 \text{ MPa} < 163,68 \text{ MPa}$$

A partir entonces de la Figura 54, se visualiza el resultado del perfil estructural A36 que alcanza un esfuerzo máximo de 0.061 MPa comparando con la propiedad del límite a cadencia de 248 MPa, finalmente para concluir el factor de seguridad está sobredimensionado en el área de la estructura, por tal razón no presentará problemas en soportar las presentes cargas.

Figura 54

Esfuerzos principales de Von Mises en la estructura, alternativa a)

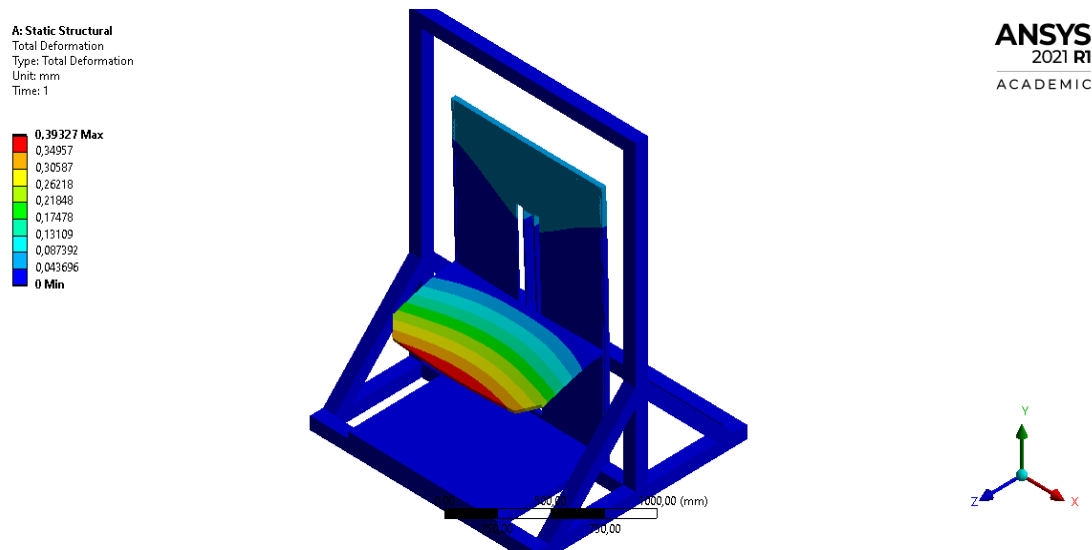


4.4.4. Análisis de Cargas de la Máquina de la Alternativa a)

Se aplica una fuerza de 588 N que esta correlacionado a un peso de la luminaria equivalente a 60 Kg, en vista que se necesita determinar el desplazamiento que sufre el conjunto del alumbrado público, antes que nada, se obtuvo como resultado una deformación de 0,393 mm que es un valor despreciable al compararlo con la deflexión permisible y por ende esto se observa en la Figura 55.

Figura 55

Deformación total en la base de luminaria, alternativa a)



$$\delta r < [\delta] = \frac{L}{800}$$

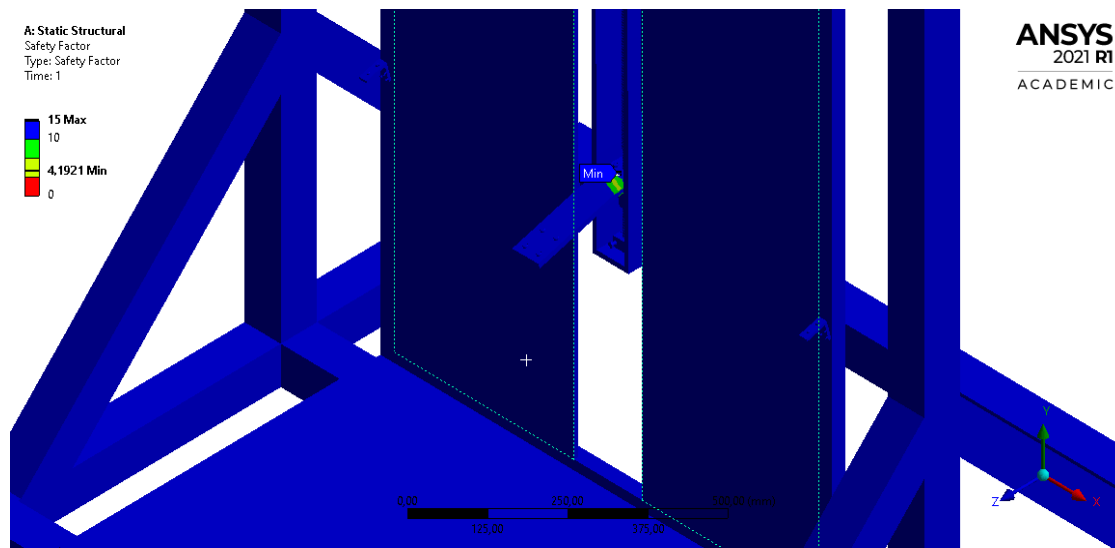
$$\delta r < [\delta] = \frac{1000 \text{ mm}}{800}$$

$$0,39327 \text{ mm} < 1,25 \text{ mm}$$

En la Figura 56, se obtiene el factor de seguridad, donde el área más afectada son los soportes laterales, es aquí donde se apoya la base para elevar o descender la luminaria, finalmente se calculó un factor de seguridad de 4.1921 en la zona más crítica por una parte es un valor aceptable por la incertidumbre que se tiene en el diseño de las cargas estáticas, dinámicas, propiedades de materiales, ya que solo se cuenta con referencias de planos y catálogos de la máquina que es comercializada a nivel internacional.

Figura 56

Factor de seguridad de los soportes, alternativa a)

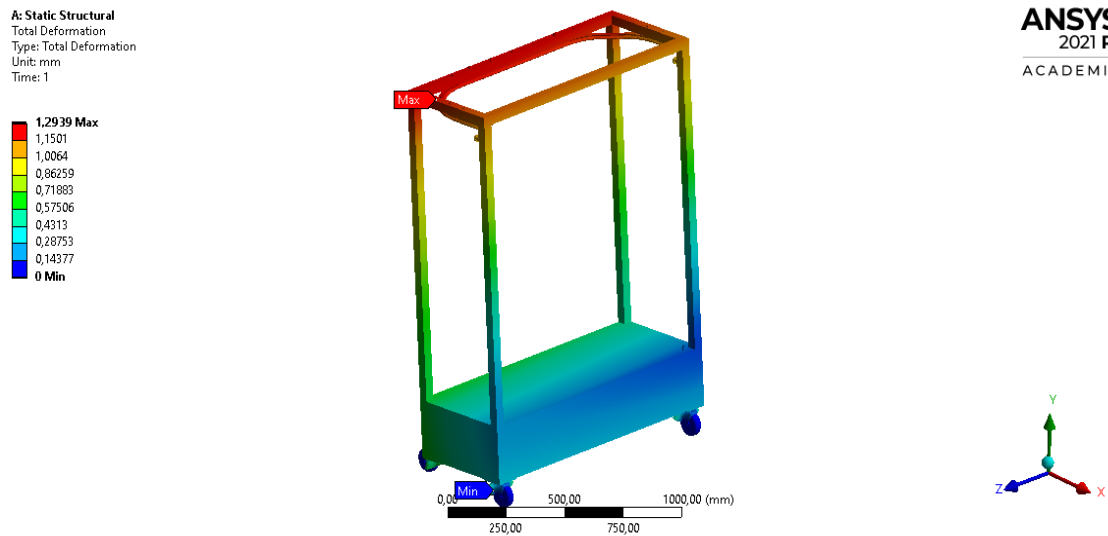


4.4.5. Análisis Estructural de la Contextura de la Máquina de la Alternativa b)

Se plantea como solución la máquina de la alternativa b), para cumplir los parámetros de construcción de la norma IEC 60068-2-75 que son requeridos por el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador para contribuir a la transformación de la matriz productiva y energética del país por medio de ensayos de tenacidad en las carcasas de los equipos de iluminación importados y nacionales, en otras palabras se observa los resultados de la Figura 57, esto quiere decir que se computarizo una deformación máxima de 1,2939 mm con respecto a 0,0012 mm.

Figura 57

Deformación total estructural, alternativa b)



$$\delta r < [\delta] = \frac{L}{800}$$

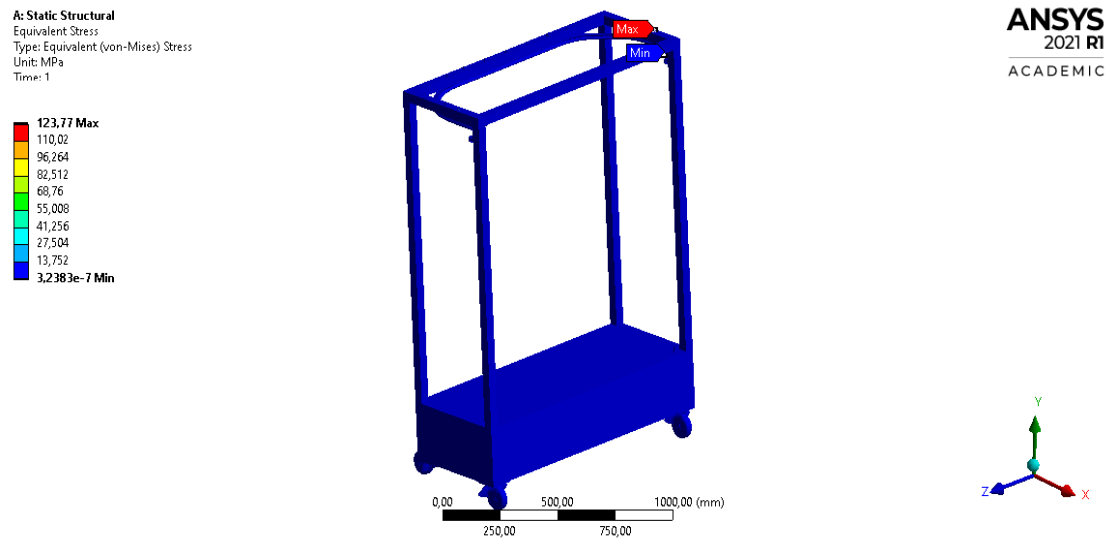
$$\delta r < [\delta] = \frac{1250 \text{ mm}}{800}$$

$$1,2939 \text{ mm} < 1,5625 \text{ mm}$$

Para este caso se utiliza el mismo material estructural en las dos soluciones por ende se divisa un resultado de 123,77 MPa en la Figura 58, al que se llega como deducción que la máquina de la alternativa b), presenta resultados más elevados respecto a la alternativa a), pero estos factores cumplen con los criterios de diseño aportando seguridad a la máquina, por ejemplo se logra reducir el peso de la estructura y permite la transportabilidad de la máquina.

Figura 58

Esfuerzos principales de Von Mises en la estructura, alternativa b)



$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66S_y$$

$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66(248 \text{ MPa})$$

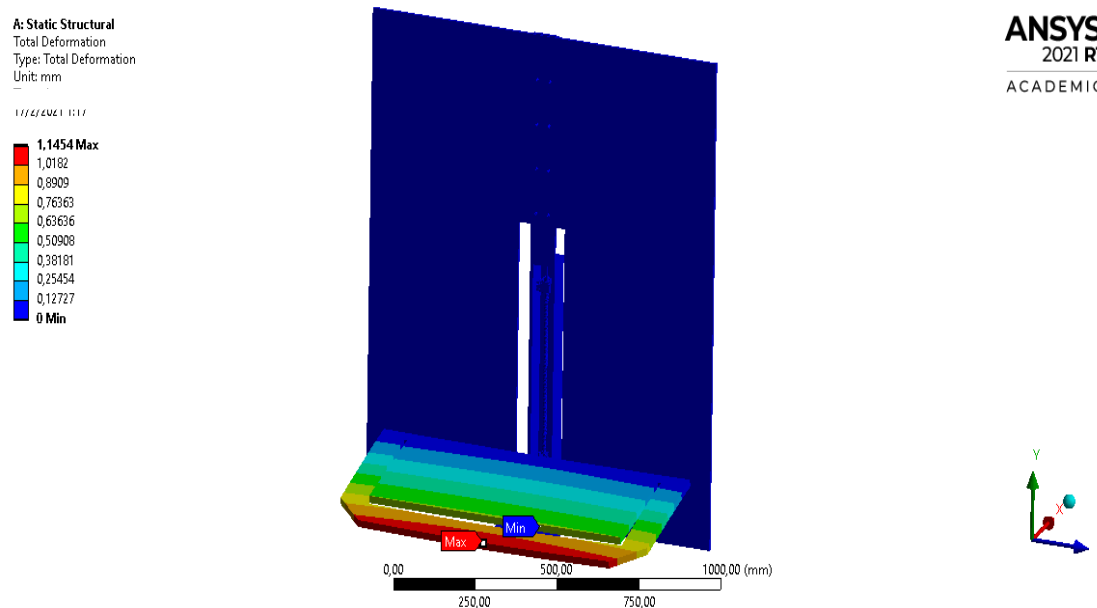
$$123,77 \text{ MPa} < 163,68 \text{ MPa}$$

4.4.6. Análisis de Cargas de la Máquina de la Alternativa b)

Se sitúa en la máquina de solución criterios ingenieriles para prever el mal uso del operario de forma que se aplica un 15% al peso de la luminaria como solución a sobrecarga y evitar cizallamiento en el tornillo de potencia, por medio de una fuerza aplicada sobre la base para luminarias de 676,89 N, esto quiere decir que en la Figura 59, se evidencia un resultado de deformación en el eje de ordenadas de 1,1454 mm en otras palabras está garantizado la rigidez necesaria de la estructura para elaborar los ensayos de impacto.

Figura 59

Deformación total en la base para luminarias de la alternativa b)



$$\delta r < [\delta] = \frac{L}{800}$$

$$\delta r < [\delta] = \frac{1000 \text{ mm}}{800}$$

$$1,1454 \text{ mm} < 1,25 \text{ mm}$$

En la Figura 60, se obtiene 170,46 MPa en relación elegida al material AISI 1045 con una resistencia a la fluencia de S_y 434,37 MPa.

$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66S_y$$

$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66(434,37 \text{ MPa})$$

$$170,46 \text{ MPa} < 286,684 \text{ MPa}$$

Figura 60

Esfuerzos principales en la base para luminarias, alternativa b)

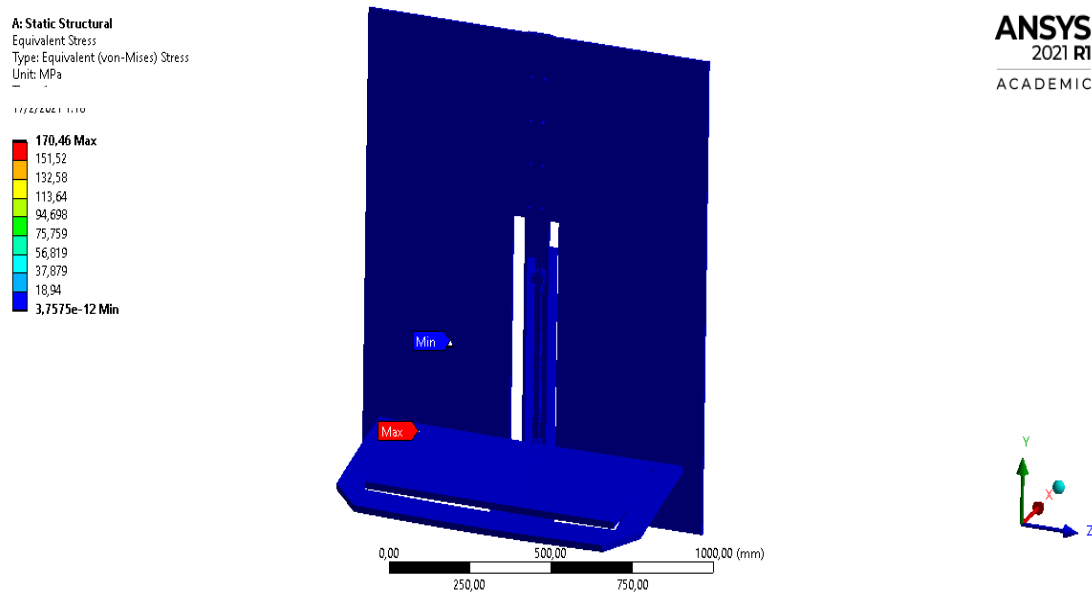
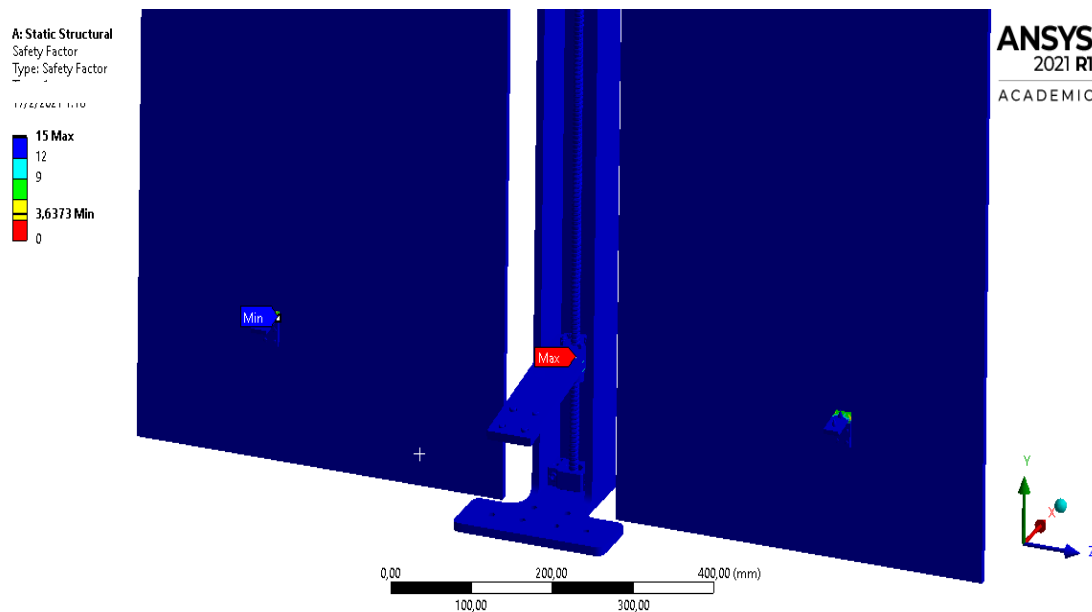


Figura 61

Factor de seguridad del tornillo de potencia, alternativa b)

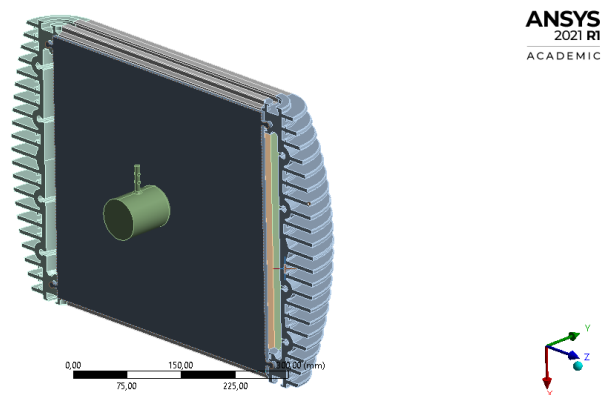


Se realiza el análisis de factor de seguridad puesto que en la Figura 61, se obtiene un resultado de 3,6373 valor que está dentro del rango correcto de la Tabla 5, este resultado se da al elegir un material AISI 1045 en el tornillo de potencia y se escoge un material bronce SAE62 para el caso de la rosca por causa de que este termine su función útil más rápido para evitar costos en mantenimiento y complicaciones al momento de montaje y desmontaje en las piezas que están vinculadas.

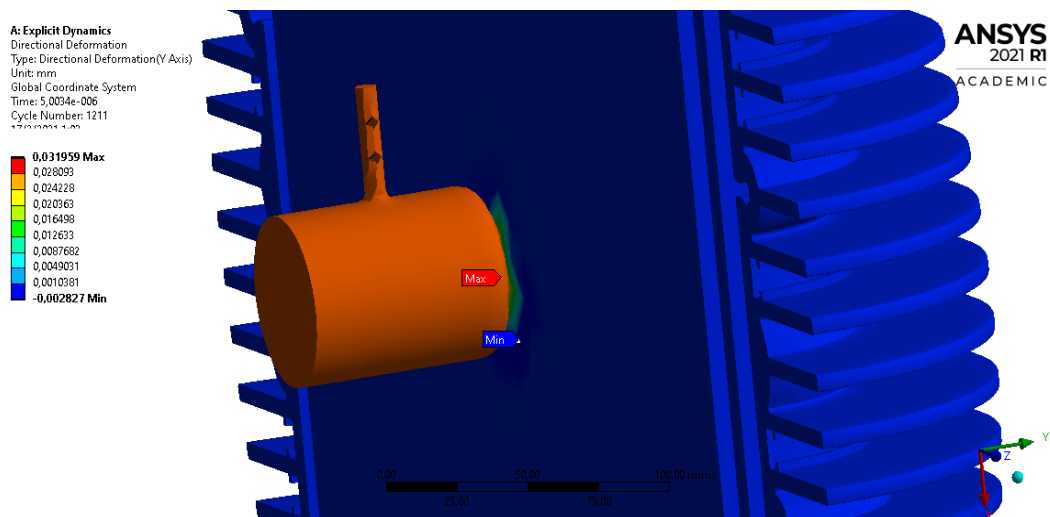
De esta forma se reduce el factor de seguridad de la alternativa b), con respecto a la alternativa a), en un 13,33%, ya que en esta máquina se consideró los costos que genera cambiar el tornillo de potencia y el tiempo que puede estar la máquina fuera de servicio produciendo pérdidas a la empresa lo cual genera retrasos en las evaluaciones de impacto en los dispositivos eléctricos y esto lleva a una demora en las instalaciones eléctricas de alumbrado público resultando como afectado mayor el peatón o conductor al no tener la luminosidad correcta sobre la calzada.

4.4.7. Análisis de Impacto

Se realiza una simulación de impacto IK por medio de dinámica explícita como se observa en la Figura 62, a través de un martillo que colisiona con la luminaria que están construidas en policarbonato o metacrilato que brinda una solución efectiva a resistencia de actos vandálicos, condiciones atmosféricas de modo que el sistema de ensayo IK revisará la eficacia del diseño al momento del choque y aprobará el uso de estas luminarias en los alumbrados públicos.

Figura 62*Impacto martillo contra luminaria***4.4.8. Deformación direccional en Impacto**

Se aplica una velocidad de 5,576 m/s antes de colisionar y una fuerza de impacto de 5 N como se observa en la Figura 63, teniendo en cuenta que se obtiene una deformación de 0,031959 mm en el material policarbonato de la luminaria por esta razón cumple con los estándares para su utilización en aceras y vías de tránsito.

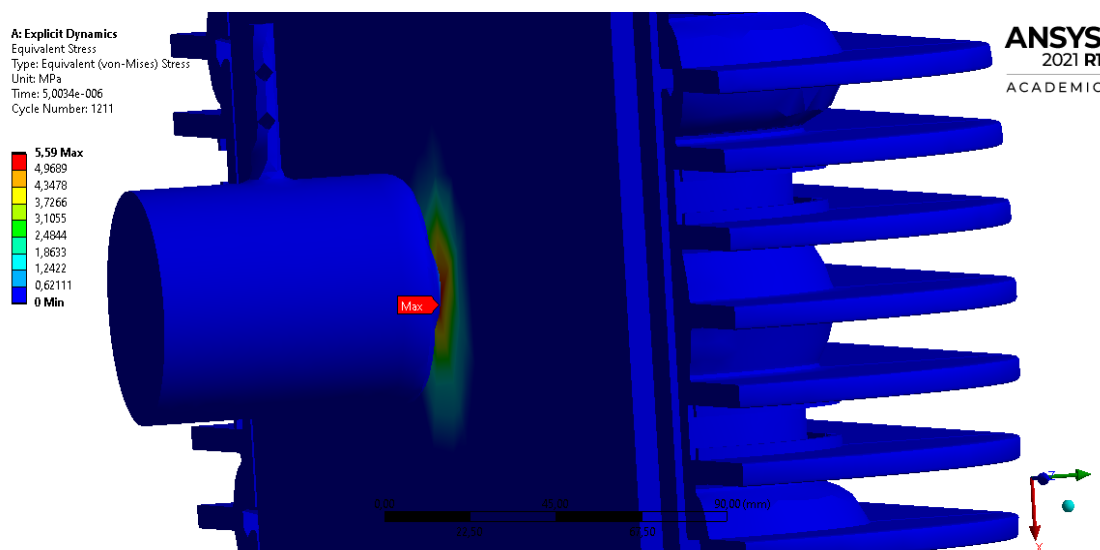
Figura 63*Deformación Direccional eje Y*

4.4.9. Esfuerzos Principales en Impacto

En la Figura 64, se obtiene un esfuerzo máximo de 5.59 MPa por este motivo comparando con la propiedad del límite a cadencia de 154 MPa de policarbonato, se alcanza un factor de seguridad alto para la luminaria, por tal razón soportara al aplicarse estas cargas a las velocidades especificadas.

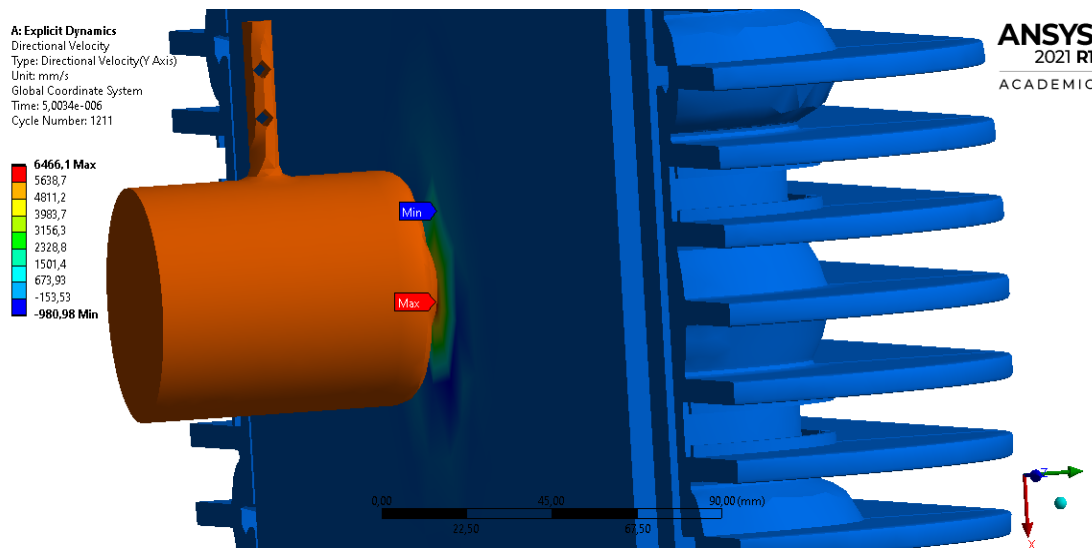
Figura 64

Esfuerzo de Von Mises en impacto



4.4.10. Velocidad direccional en Impacto

En la Figura 65, se impactó la luminaria con una velocidad de 5,576 m/s antes de impacto alcanzando la velocidad máxima de 6,466 m/s, después de este punto la velocidad se transforma a negativa hasta -1,535 m/s, debido al revote que existe entre la pantalla de policarbonato de la luminaria y el martillo de impacto. La norma IEC 60068-2-75 determina realizar tres impactos en el mismo punto a la misma velocidad y no debe existir revote.

Figura 65*Velocidad de impacto*

En el ANEXO A-2 se emite un informe donde se detallan los materiales que están compuestas la carcasa y elementos internos de la luminaria de alumbrado público, calidad de mallado, gráficos de dinámica explícita de deformación direccional, velocidad direccional, esfuerzos de Von mises, deformación plástica equivalente, factor de seguridad.

4.4.11. Evaluación Mecánica de Alternativas

Se realiza la comparación de resultados de las alternativas entre las propiedades mecánicas de cada simulación realizada en el software Ansys Academic.

Tabla 24*Evaluación de alternativas*

Parámetros	Alternativa a)	Alternativa b)	Unidad
Deformación total estructural	0,0012116	1,2939	mm
Esfuerzos principales de Von Mises en la estructura	0,061146	123,77	MPa
Análisis de Cargas de la Máquina	0,39327	1,1454	mm
Factor de seguridad	4,1921	3,6373	

Nota. Resultados generados en Ansys Academic

4.5. Diseño para la Fabricación

Se considera como factor principal en la fabricación de la máquina de la alternativa b), la facilidad de montaje a fin de obtener resultados rápidos y de uso simple de forma que asegura un producto económico.

4.5.1. Guías de Referencias Principales para el Proceso de Fabricación

El tipo de proceso que se elige para la fabricación de ciertas piezas es por subcontratación de maquinaria industrial por ejemplo torno, centro de mecanizado y utilizar productos elaborados en el país y otros exportados todo esto a fin de realizar un montaje manual de la máquina de ensayos IK de la alternativa b), con el objeto de reducir costos y tiempos de elaboración ya que en el sector industrial actual del país utiliza un mayor porcentaje de máquinas semiautomáticas y manuales.

Las guías de referencia se planifican con la finalidad de facilitar los procesos de fabricación y como recomendaciones se tiene etapas de incidencia: diseño (*D*), utilillaje (*U*), proceso (*P*), mecanizado (*M*) y los efectos de repercusión son: coste (*C*), calidad (*Q*). (Riba, 2002)

Tabla 25

Guía de referencia para el diseño de piezas torneadas.

Recomendaciones	Etapas	Efectos
Tomar medidas de seguridad para la máquina industrial (torno)	P	Q
Utilizar los equipos de protección personal además de usar ropa ajustada que no tengan superficies flojas que pueden entrar en contacto con las partes móviles	P	C
Identificar la posición de los interruptores de seguridad que desconectan toda la máquina de la alimentación eléctrica	P	C
Elegir las herramientas correctas de fijación y sujeción	P, U	C, Q
Seleccionar la geometría del inserto de acuerdo a la operación	P, U	C, Q
Seleccionar buriles de acero en caso de elegir esta opción afilar el ángulo de ataque o elegir la portaplaquita y plaquita adecuadas para cada proceso	P, U	C, Q

Recomendaciones	Etapas	Efectos
Seleccionar la geometría de romper virutas	P	C, Q
Elegir las condiciones de corte	P	C, Q
Seleccionar el portaherramientas	P, U	C, Q
Considerar el tipo de avance longitudinal y transversal	P	C, Q
Diseñar los parámetros con referencias normalizadas	D, U	C
Elegir el material que disminuya la pérdida del trabajo por efecto de fricción	D, P	C
Considerar el desgaste superficial para determinar las velocidades de operación	D, P	C
Tener en cuenta las deformaciones de piezas por tensiones internas	D	C
Considerar el error admisible aplicada a las medidas o acotaciones	D	Q
Confirma medidas con el calibrador	P	C
Cuando se finalice limpie el área de trabajo	P	C

Tabla 26

Guía de referencia para el diseño de piezas taladradas.

Recomendaciones	Etapas	Efectos
Tomar medidas de seguridad para la máquina industrial (taladrado)	P	C
Usar herramientas de calidad que garantice el producto	P, U	C, Q
Utilizar el tipo de taladro de acuerdo con la operación	P	C
Mantener la pieza estable para un corte continuo	D, U	Q
Utilizar brocas adecuadas para los materiales respectivos	P	C
Utilizar brocas helicoidales para extracción de viruta del fondo del agujero	D, P	C
No utilizar la mano para detener el husillo del taladro	D, P	C
Proteger de caídas la punta de la broca al momento de ser cambiada	P	Q
Detener el taladro cada respectivo tiempo para limpiar la viruta	D	C
Limpiar la viruta con brochas para evitar cortes en las manos del operador	D	Q
No utilizar aire a presión para limpiar las virutas puede ocasionar cortes o lesiones en los ojos	D	Q
Evitar riesgos de alimentación eléctrica por cables defectuosos	P	C
Verificar el estado de las escobillas o carbones para evitar sobrecalentamientos del motor	P	C, Q
Utilizar ropa ajustada que no tengan superficies flojas que pueden entrar en contacto con las partes móviles	P	C
Sujetar con firmeza el manubrio para evitar deslices	P	C, Q
No utilice el taladro para otras finalidades por ejemplo como destornillador	P	C
Cuando se finalice el trabajo limpie las virutas adheridas al taladro con una franela de taller y guarde en su lugar	P	C

Tabla 27

Guía de referencia para el diseño de conjuntos soldados.

Recomendaciones	Etapas	Efectos
Asegurar que el área de trabajo no esté húmeda o mojada	D, U	C
Ubicar el interruptor principal en caso de emergencia	D, U	Q
Verificar que los cables de alimentación sean los correctos para una tensión nominal de 1000 v	D, P	C
Utilizar los equipos de protección correspondientes	D, P	C
Seleccionar la corriente adecuada respecto al electrodo que se utilizara	P	C
Procurar que existan el mínimo número de cordones de soldadura	P	Q
Considerar un acceso fácil en puntos conflictivos para realizar los cordones de soldadura	D	C
Seleccionar un electrodo de acuerdo al material		
Colocar en pinza de masa en la pieza que se considera soldar	D	Q
Realizar una soldadura correcta mediante los pasos de: producir arco, mover el electrodo formando un cordón, limpiar y cepillar el cordón de soldadura	D	Q
Limpiar el área de trabajo	P	C

4.5.2. Operación de Torneado del Péndulo y Martillo

En las siguientes Tabla 28, Tabla 29 por medio de la herramienta de la industria metalmeccánica torno se realiza diferentes operaciones a una velocidad, profundidad y avance. Para remover el exceso de material de la superficie transformándose en viruta, considerar tolerancias además se describe los tiempos obtenidos con una investigación de campo en los negocios y talleres industriales. Revisar el ANEXO A-3, ANEXO A-4 para hoja de procesos donde se detalla herramientas, parámetros de corte y las operaciones de refrentado y cilindrado para las piezas péndulo y martillo de impacto en un material de acero AISI 1045 de diámetro 28.58 mm y un diámetro de 60 mm con una tolerancia $\pm 1\%$ mm respectivamente a una respectiva profundidad de pasada y un acabado superficial N7 o $Ra = 1,6 \mu m$.

Tabla 28*Operación de procesos de péndulo.*

Tiempos minutos	Elemento	Operación
5-10	Equipos de protección	Colocación correcta de los equipos de protección personal
3-5	Mandril de tres mordazas auto centradas	Colocación del mandril de tres mordazas auto centrada
3-5	Material	Colocación del eje $1\frac{1}{8}$ in x 39.3701 in
3-5	Luneta móvil	Montaje de luneta móvil
3-5	Contrapunto fijo	Colocación de contrapunto fijo en el centro del eje
3-5	Portaherramientas	Montaje de torreta portaherramientas
3-5	Plaquita SNMG 120416-PM 4325	Realizar un refrentado de 1mm
3-5	Plaquita CNMG 120408-PR 4325	Realizar un cilindrado paralelo al eje de 1mm
5-15	Herramientas	Desmontar las herramientas de trabajo
5-10	Limpieza	Limpiar el área de trabajo

Tabla 29*Operación de procesos del martillo.*

Tiempos minutos	Elemento	Operación
3-5	Equipos de protección	Colocación correcta de los equipos de protección personal
3-5	Mandril de tres mordazas auto centradas	Colocación del mandril de tres mordazas auto centrada
3-5	Material	Colocación del eje 80 mm x 200 mm
3-5	Contrapunto fijo	Colocación de contrapunto fijo en el centro del eje
3-5	Portaherramientas	Montaje de torreta portaherramientas
3-5	Plaquita SNMG 120416-PM 4325	Realizar tres pasadas con un refrentado de 1mm
3-5	Plaquita CNMG 120408-PR 4325	Realizar un cilindrado paralelo al eje de 1mm
3-5	Plaquita CNMG 120408-PR 4325	Realizar un redondeo de R= 50 mm, desde el punto 0mm hasta 20mm
5-15	Herramientas	Desmontar las herramientas de trabajo
5-10	Limpieza	Limpiar el área de trabajo

4.5.3. Operación de Taladrado

En la Tabla 30 se representa el proceso para taladro vertical de las piezas correspondientes por medio de una broca helicoidal esta realiza agujeros y perforaciones de tipo pasantes o ciegos y tiene un diámetro determinado además avanza de forma perpendicular a la superficie de trabajo desprendiendo viruta como material desperdiciado.

Tabla 30

Operación de taladrado de piezas.

Tiempos minutos	Elemento	Operación
5-10	Equipos de protección	Colocación correcta de los equipos de protección personal
3-5	Punta de trazador	Trace de forma clara y precisa la ubicación del agujero
3-5	Broca helicoidal	Seleccione la broca de acuerdo al material que se va a perforar, además elija los rpm del árbol de taladrado en relación al diámetro y material
3-5	Llave de banco de sujeción	Sujetar de forma firme la pieza en la mesa
3-5	Broca helicoidal	Taladrar los agujeros señalados con las brocas respectivas a los diámetros descrito en los planos
3-5	Calibrador pie de rey	Medir en cada proceso que se taladra para obtener precisión en las medidas
3-5	Equipos de limpieza	Limpiar el área de trabajo

4.5.4. Operación de Soldadura de la Estructura

La estructura de la máquina se procede a obtener por medio de soldadura SMAW mediante la unión de los tubos cuadrados de 40 x 40 mm, para que soporte los esfuerzos que produce el péndulo, esta unión de los tubos se da por un arco eléctrico entre el electrodo y el material base a soldar, se elige este procedimiento por sus bajos costos y al no ser de gran complejidad la forma de la estructura.

Tabla 31

Operación de soldado de piezas.







Tiempos minutos	Elemento	Operación
5-10	Equipos de protección	Colocación correcta de los equipos de protección personal
3-5	Soldadora	Conectar la soldadora a la fuente de alimentación, tener en cuenta el voltaje de la misma
3-5	Porta electrodo	Posicionar el electrodo seleccionado a partir del espesor y tipo de material
3-5	Masa	Colocar la masa al material a ser soldado para que se cierre el circuito y se forme el arco eléctrico
3-5	Cebado	Realizar el cebado para aumentar la temperatura del electrodo y no se adhiera al material
3-5	Electrodo	Realizar un cordón de soldadura a través de una distancia constante entre 2 a 4 mm del material y el electrodo
3-5	Electrodo	Realizar un refuerzo de la soldadura a través de varios cordones paralelos a una distancia de 8 - 10 mm, en caso que se termine el electrodo realizar un cambio con uno de las mismas características
3-5, 5-15	Martillo apropiado Herramientas	Retirar la escoria del material Recoger los cables de la porta electrodo y masa a demás enrollarlos y desconectar de la fuente de alimentación
5-10	Limpieza	Limpiar el área de trabajo

4.6. Diagramas para el Análisis de Operaciones

En el estudio de la industria se realiza diagramas de procesos por medio del análisis de métodos, se procede mediante pasos consecutivos; primero se selecciona la producción, segundo compilar y registrar toda la información competente a las herramientas de producción. Se utiliza símbolos de ASME que representan la información obtenida para un mejor entendimiento de cualquier profesional.

Tabla 32

Símbolos para elaborar diagramas de flujo.

Simples, Compuestos	
Símbolo	Descripción
	Operación. - Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento
	Inspección. - Indica que se verifica la calidad y cantidad de algo
	Desplazamiento o transporte. - Indica el movimiento de los empleados, material y equipo de un lugar a otro
	Deposito provisional o espera. - Indica demora en el desarrollo de los hechos
	Almacenamiento permanente. - Indica el depósito de un documento o información dentro de un archivo, o de un objeto cualquiera en un almacén
	Actividades combinadas. - Cuando dos o más actividades descritas anteriormente se ejecutan simultáneamente

Nota. Tomado de (Carrillo & Naula, 2010)

4.6.1. Selección del Material

La selección minuciosa del material al inicio del proceso de diseño contribuye con información para las etapas de modelado y simulación para la elaboración correcta del martillo de impacto IK08 – IK10, el péndulo del martillo, el tornillo de potencia, y demás piezas que se sujetaran a las repercusiones positivas en el producto final tanto en rendimiento, acabados superficiales, impacto medioambiental, costo, entre otros.

La industria ecuatoriana se basa en reglas simples adheridas a la experiencia o reglas prácticas para elegir un material, para el diseño de este producto se considera como un factor importante el costo para marcar la diferencia con el producto de la

competencia que es la máquina de la alternativa b), concluyendo que Material optimizado + Diseño optimizado = Producto ideal.

Se tiene en cuenta la importación y escasez de productos que forman parte del sistema de ensayo a carga de impacto IK, debido al actual situación de varios países. También nos enfrentamos al reto de encontrar datos sobre características, propiedades, información económica, regulatoria y ambiental referentes a este proyecto, pero estas se solventan con una típica hoja de datos técnicos y uso de herramientas informáticas a fin de solventar y garantizar la creación de un producto líder en el mercado.

4.6.2. Número de Observaciones para la Elaboración de las Piezas

Conforme se necesita tomar los tiempos de fabricación de cada pieza o parte y en factor que no se tiene investigaciones anteriores similares a este proyecto se lleva a cabo un estudio estadístico con los parámetros que se considera a continuación el tamaño de la muestra, nivel de confianza del 95% equivalente a z igual a 1,96, error máximo de 5% asimismo se imputa un valor de 0.5 a la proporción para realizar un ajuste al tamaño de la muestra y determinar si los resultados nos otorgan confianza por medio de la siguiente ecuación:

$$n_0 = \frac{z^2 p x q}{e^2}$$

Donde:

N =Número de talleres

z =Factor probabilístico del nivel de confianza

$p x q$ = Varianza de la proporción

e =error máximo permitido

Ecuación 8

Cálculo del tamaño de la muestra

Nota. (Fuentelsaz Gallego, 2012)

$$n_0 = \frac{(1,96)^2 \times 0.5 \times 0.5}{(0.05)^2}$$

$$n_0 = 384$$

Se obtiene un tamaño de la muestra de 384 talleres, pero como se conoce el tamaño de los talleres industriales que nos colaboraran con sus instalaciones para la investigación, se realiza un ajuste.

$$n' = \frac{n_0}{1 + \left(\frac{n_0 - 1}{N}\right)}$$

$$n' = \frac{384}{1 + \left(\frac{384 - 1}{5}\right)}$$

$$n' = 4,94$$

Como resultado para la medición de tiempos con la ayuda de un cronometro en la fabricación de cada pieza del proyecto los 5 talleres otorgan confianza al estudio, y estos permitan realizar la hoja de observaciones donde se detalla el tiempo que conlleva realizar cada operación que se puede visualizar en el ANEXO A-5 y ANEXO A-6.

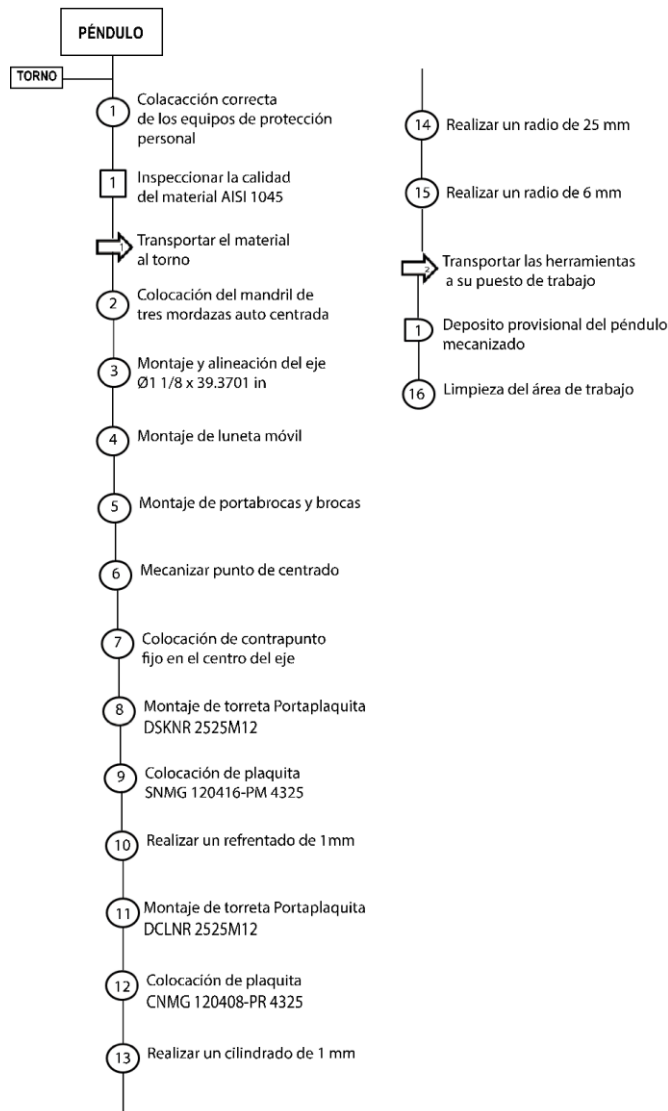
4.6.3. Fabricación de las Piezas Péndulo y Martillo de Impacto

En esta sección se lleva a cabo como podría ser la creación de las piezas por medio de flujos de diagramas y hojas de procesos de interpretación sencilla desde la recepción de la materia prima hasta la pieza terminada, los pasos consecutivos para el flujo de diagramas de cada uno de las piezas permite comprender de mejor manera en que proceso se encuentra el operario.

En la Figura 66, se muestra el proceso realizado para la obtención del ciclo de trabajo del péndulo también se puede visualizar el diagrama del proceso del péndulo en el ANEXO A-7 desde el inicio de las actividades del operario, cantidad de material, distancias entre áreas de producción a fin de fabricar el péndulo, es así que en estos diagramas se consideró la mejor alternativa para minimizar los tiempos, de actividad, inspección e incluso en el ANEXO A-3 se encuentra la hoja de procesos del péndulo.

Figura 66

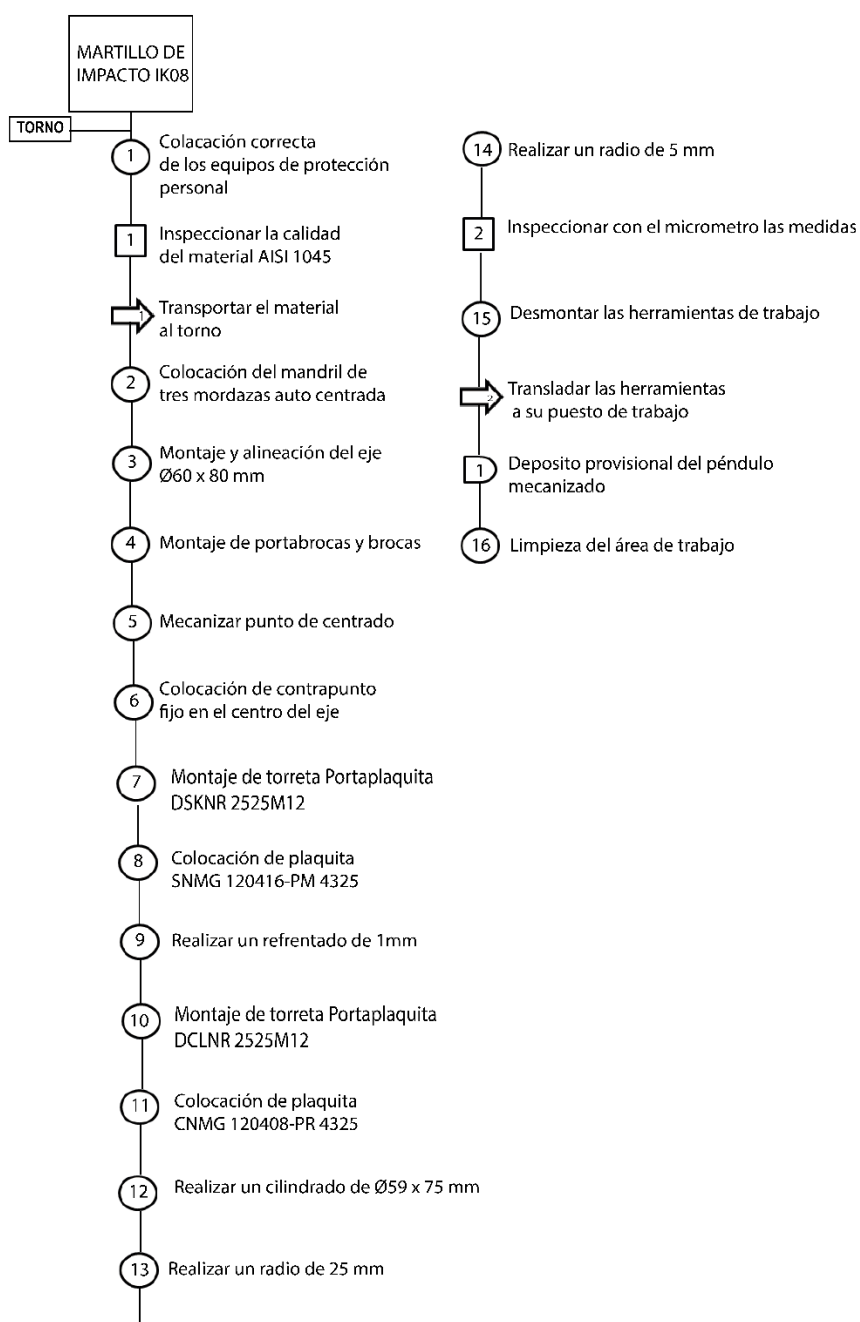
Diagrama de flujo del proceso de fabricación del péndulo



En la Figura 67, se muestra el proceso realizado para la obtención del ciclo de trabajo del martillo de impacto es así que los tiempos medidos se encuentra en el ANEXO A-8 y en el ANEXO A-4 se encuentra la hoja de procesos.

Figura 67

Diagrama de flujo del proceso de fabricación del martillo



4.6.4. Diagrama Hombre – Máquina del Péndulo

Se emplea para mejorar las estaciones de construcción del sistema de ensayo a carga de impacto IK, por medio de una retroalimentación y midiendo las relaciones exactas de tiempo en función del ciclo de trabajo del operario versus ciclo de operación de la máquina con el fin de cuantificar los tiempos muertos. Este diagrama se lo puede observar en el ANEXO A-9.

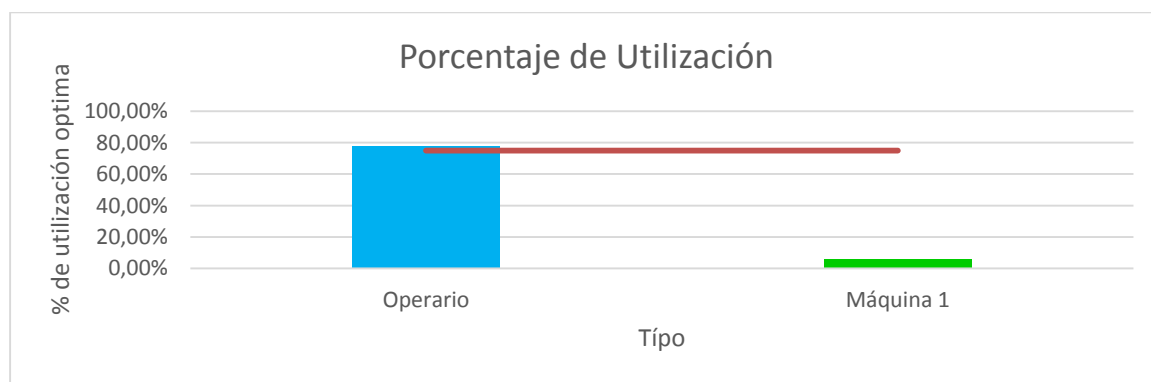
Tabla 33

Resumen y análisis de la información para la fabricación del péndulo

Resumen y análisis de la información					
Tipo	Tiempo del ciclo (min)	Tiempo de acción (min)	Tiempo de inactividad (min)	% de Utilización	% de Utilización Optima
Operario	104	80,94	23,06	77,83%	75%
Máquina 1	104	6,38	97,62	6,13%	75%
Máquina 2	0	0	0	0	0

Figura 68

Porcentaje de utilización operario - máquina del péndulo



Como resultado se obtuvo que para el ciclo de fabricación del péndulo es de 104 minutos, mientras que el tiempo de acción o tiempo de trabajo realizado por el operario fue de 80,94 minutos y de la máquina 6,38 minutos, así mismo el porcentaje de utilización para el caso del operario es de 77,83% que sobrepasa nuestro porcentaje de

75% de utilización óptima establecidos como objetivo siendo así que el operario trabajaría cerca de sus 8 horas laborables, pero para el caso de la maquina se tiene un porcentaje de utilización de 6,13% que provocaría perdida de dinero al estar la máquina el resto del tiempo detenida.

4.6.5. Diagrama Hombre – Máquina del Martillo de Impacto

Como resultado se obtuvo que para el ciclo de fabricación del péndulo es de 102 minutos, mientras que el tiempo de acción por el operario fue de 71,7 minutos y de la maquina 7,24 minutos, así mismo el porcentaje de utilización para el caso del operario es de 70,29% pero para el caso de la maquina se tiene un porcentaje de utilización de 7,10% que provocaría perdida de dinero al estar la máquina el resto del tiempo detenida. Este diagrama se lo puede observar en el ANEXO A-10.

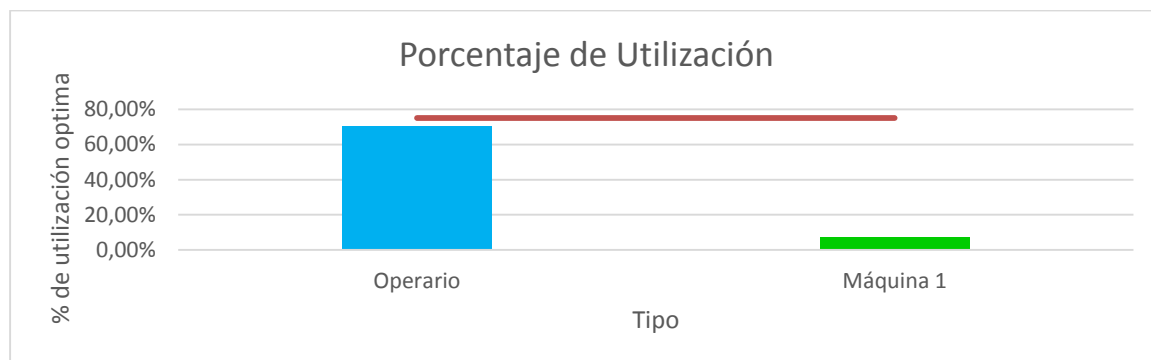
Figura 69

Análisis de la información para la fabricación del martillo de impacto

Resumen y análisis de la información					
Tipo	Tiempo del ciclo (min)	Tiempo de acción (seg)	Tiempo de inactividad (min)	% de Utilización	% de Utilización Optima
Operario	102	71,7	30,3	70,29%	75%
Máquina 1	102	14	94,76	7,10%	75%
Máquina 2	0	0	0	0	0

Figura 70

Porcentaje de utilización operario - máquina del martillo de impacto



4.6.6. Tiempo Estándar del Ciclo de Trabajo Observado

Al concluir con las lecturas de los tiempos medidos del ciclo de trabajo para fabricar el péndulo y martillo de impacto el siguiente paso es calcular el tiempo estándar con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$T_s = t_o \times F_v \times (1 + f) \times (1 + f_s)$$

Ecuación 9

Tiempo de ciclo observado

Nota.(Gástelo & Modesto, 2017)

Donde:

t_o = Tiempo observado

F_v = Factor de valoración

f = Frecuencia

f_s = Factor de suplementos

Se tiene un promedio de 104 minutos de la hoja de hombre - máquina para la fabricación del péndulo, pero además se utiliza las tablas de factores de Westinghouse para conocer el resto de los parámetros de la Ecuación 9 y donde dictamina que para la frecuencia el valor de 1 para las actividades que se repiten.

Tabla 34

Factor de valoración para el tiempo de ciclo actual

Factor de valoración	Valor del factor	Desempeño
Habilidad	+0,06	Bueno
Esfuerzo	+0,05	Bueno
Condiciones	0,00	Media
Consistencia	+0,03	Excelente
Total	+0,14	

Nota. Tomado de (Gastelo & Modesto, 2017)

Tabla 35*Factor de suplementos para el tiempo de ciclo actual*

Factor de suplemento	Valor del factor
Suplementos constantes hombre	9%
Tensión visual por trabajo de precisión	2%
Tensión auditiva ruido intermitente y fuerte	2%
Suplementos por trabajar de pie	2%
Total	15%

Nota. Tomado de (Gastelo & Modesto, 2017)

4.6.7. Tiempo Estándar del Ciclo de Trabajo para el Péndulo

Entonces el tiempo estándar total para el ciclo de trabajo es:

$$T_s = 104 \times 1 \times (1 + 0,14) \times (1 + 0,15)$$

$$T_s = 136,34 \text{ minutos}$$

El tiempo que le toma al operario en fabricar 1 unidad del péndulo es de 136,34 minutos por consiguiente se procede a calcular cuántos péndulos se produciría en 8 horas laborables equivalente a 480 minutos.

$$P = \frac{480 \text{ min}}{136,34 \text{ min}} = 4 \text{ unidades}$$

4.6.8. Tiempo Estándar del Ciclo de Trabajo para el Martillo de Impacto

Se tiene un promedio de 102 minutos de la hoja de observación de tiempos para la fabricación del martillo de impacto, entonces el tiempo estándar total para el ciclo de trabajo es:

$$T_s = 102 \times 1 \times (1 + 0,14) \times (1 + 0,15)$$

$$T_s = 133,72 \text{ minutos}$$

El tiempo que le toma al operario en fabricar 1 unidad de martillo de impacto es de 133,72 minutos por consiguiente se procede a calcular cuántos péndulos se produciría en 8 horas laborables equivalente a 480 minutos.

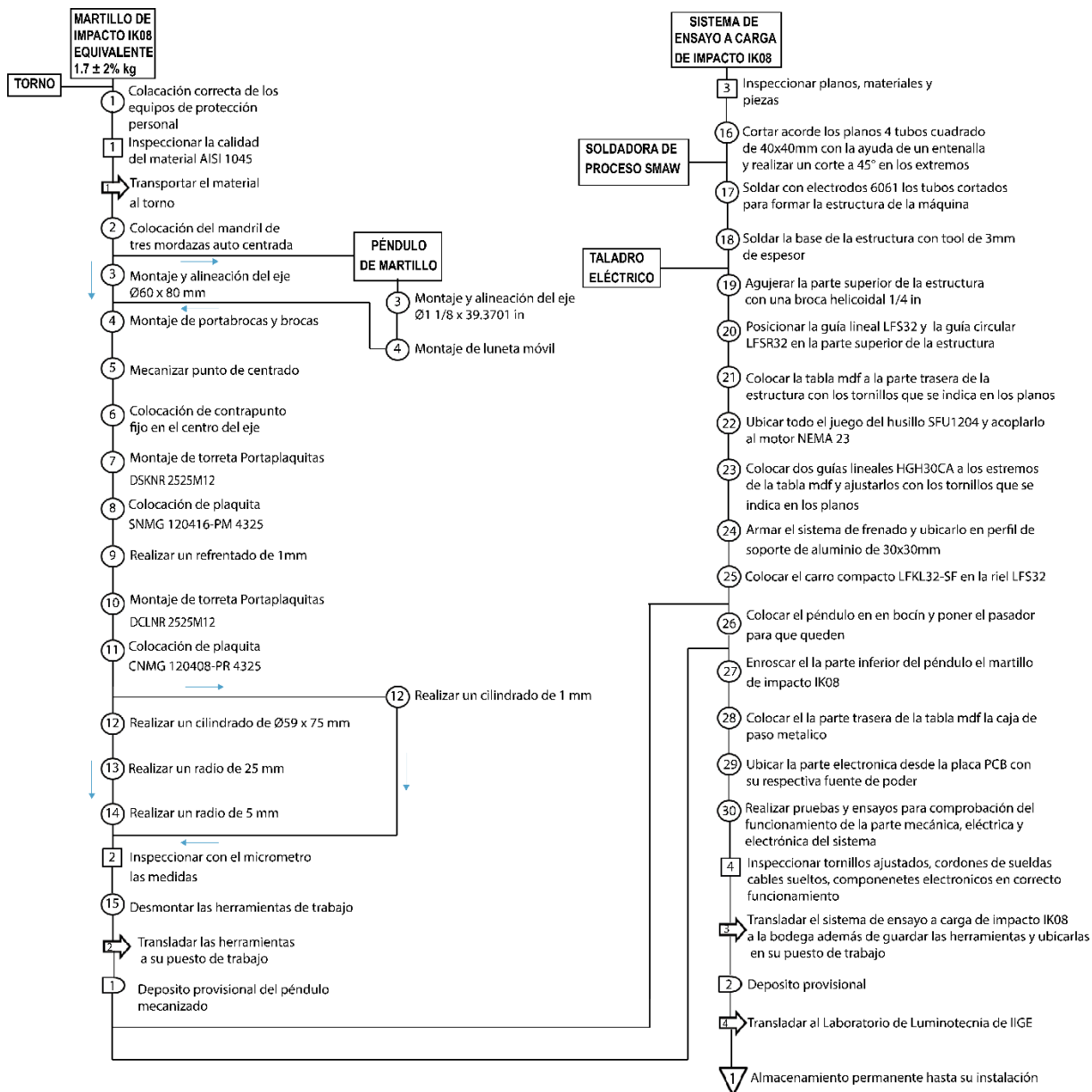
$$P = \frac{480 \text{ min}}{133,72 \text{ min}} = 4 \text{ unidades}$$

4.6.9. Fabricación del Sistema de Ensayo a Carga de Impacto IK

Una vez concluido los procesos de fabricación de las piezas, observar la Figura 71 donde se procede al montaje final del sistema de ensayo a carga de impacto IK08.

Figura 71

Diagrama de flujo del proceso de fabricación del sistema de impacto IK



4.7. Diseño para el Montaje

Se considera la manipulación, composición, unión, operaciones de ajuste y operaciones de verificación que son necesarios para poner el mecanismo en función del trabajo para el que fue ideado. Se decide ensamblar la máquina de ensayo de impacto de forma manual a partir del rediseño de la alternativa comercial, de forma que reduce los costos de ensamblaje un 80% en comparación con un montaje automático por medio de sistemas robóticos que requiere grandes inversiones y son solo recuperadas si el producto es producido en masa.

El diseño de montaje impulsa al ingeniero a realizar un rediseño del producto a fin de reducir costos de producción donde se visualiza que el ensamblaje automático reduce el 50% con respecto al montaje manual mientras que un ensamblaje automático específico reduce el 75% con respecto al montaje manual, pero se otorga un porcentaje del 80% manteniendo el montaje manual si se decide seguir el camino del rediseño.

(Riba, 2002)

4.7.1. Montaje Manual

Se realiza un montaje de forma manual simplificando número de piezas, disminución de direcciones o movimiento de partes e inserción y fijación, por lo tanto, la máquina de la alternativa b), esta rediseñada con las pautas de simetría de piezas y obviamente asimétricas en aquellos casos necesarios para evitar el atascamiento de partes y que estas se enreden al momento de ser almacenadas igualmente prevenir que sean resbaladizas muy pequeñas o muy grandes o que estas produzcan daño al manipulador por partes astilladas o afiladas.

Figura 72

Partes de la máquina de la alternativa a)

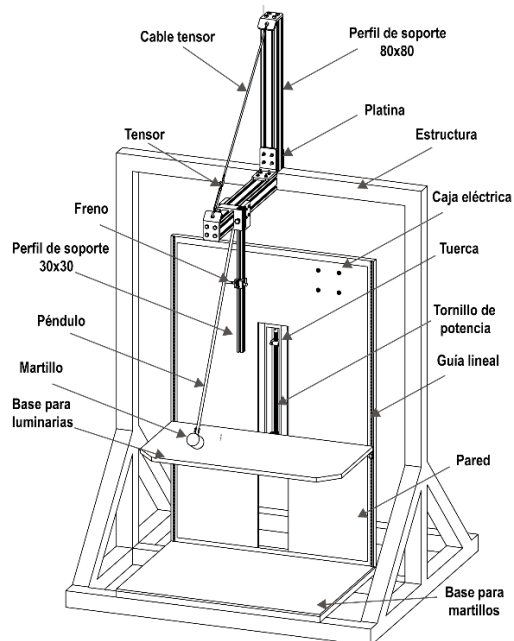


Figura 73

Proceso de montaje de la alternativa a)

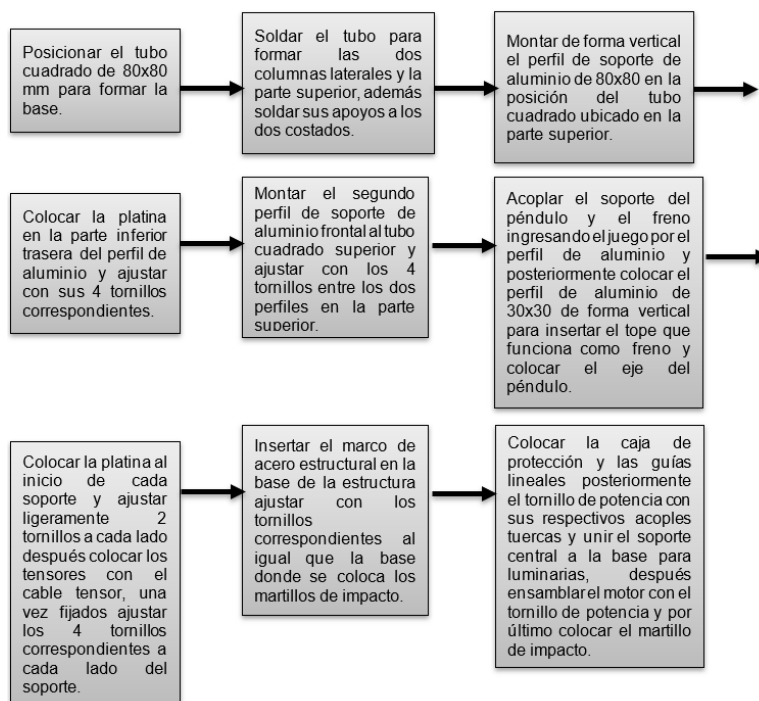


Figura 74

Partes de la máquina de la alternativa b)

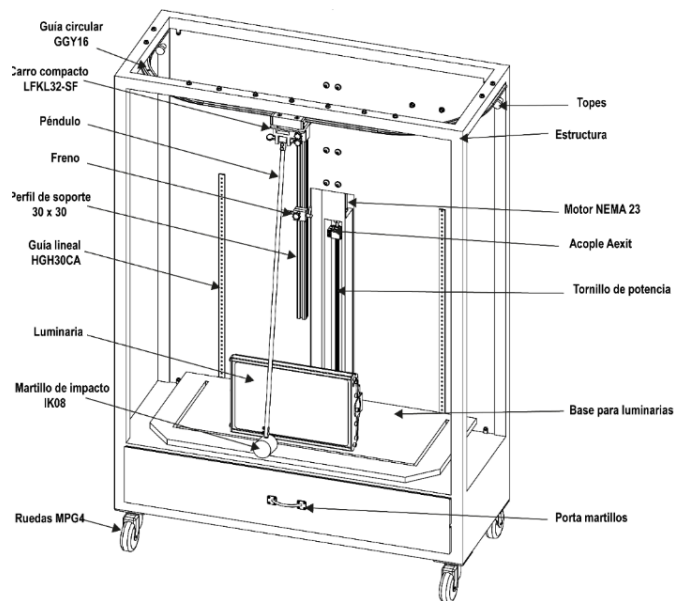
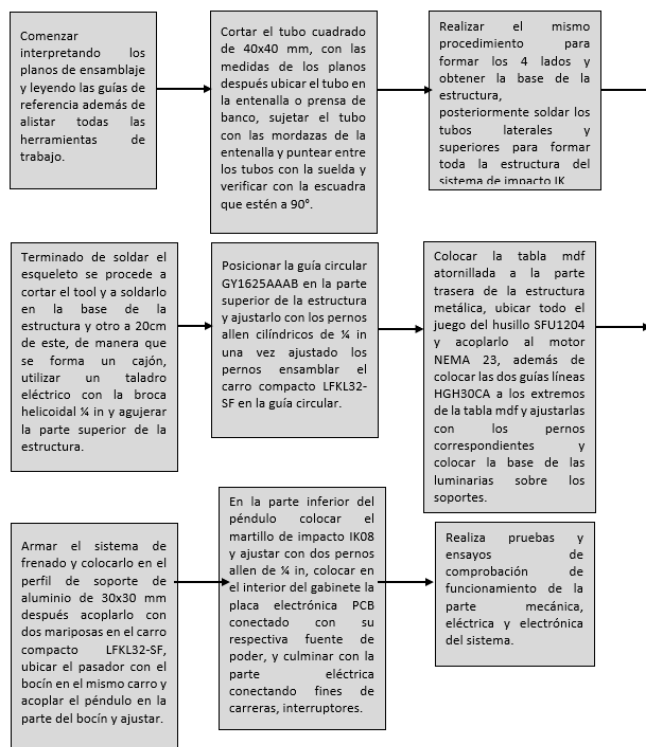


Figura 75

Proceso de montaje de la alternativa b)



4.7.2. Evaluación del Montaje Manual

Las principales características que se encaminaron a partir de la etapa de diseño conceptual fueron una estructura simple que sustente y favorezca al ensamblaje manual, limitar las direcciones del posicionamiento de las piezas montadas con una o dos manos, reducir al máximo el número de piezas atornilladas y soldadas es así que se sabe que entre menos piezas se tiene menos susceptibilidad a que falle la máquina entonces se toma como puntos importantes del ensamblaje el número de piezas haciendo que el producto sea sencillo, definición correcta de las interfaces mecánicas, materiales, energía y señal, que toda las piezas a excepción de la estructura sean acopladas por medio de piezas atornilladas para facilitar el desmontaje y desguace de las mismas al momento de un mantenimiento periódico orientando la producción al reciclaje o la reutilización.

En el ANEXO A-11 se puede observar los efectos de simetría α y β de las geometrías del sistema de ensayo a impacto en especial el grosor y tamaño que estos afectan al tiempo asimilado para operar con una o dos manos, de esta manera se tomaron los tiempos en segundos de las Tabla 36, Tabla 37, Tabla 38, Tabla 39, Tabla 40, Tabla 41 y Tabla 42. A fin de asegurar integridad en la evaluación de la capacidad de ensamblaje del producto.

Tabla 36

Piezas que pueden ser manipuladas por una mano sin ayuda de útiles

	Fácil de coger y manipular					Difícil de coger y manipular					
	>2		>2			>2		>2			
Grosor	>15	6-15	<6	>6	<6	>15	6-15	<6	>6	<6	
Tamaño	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$(\alpha+\beta) < 360^\circ$	0	1,13	1,43	1,88	1,69	2,18	1,84	2,17	2,65	2,45	2,98
$360^\circ \leq (\alpha+\beta) < 540^\circ$	1	1,50	1,80	2,25	2,06	2,55	2,25	2,57	3,06	3,00	3,38
$540^\circ \leq (\alpha+\beta) < 720^\circ$	2	1,80	2,10	2,55	2,36	2,85	2,50	2,90	3,38	3,18	3,70
$(\alpha+\beta) = 720^\circ$	3	1,95	2,25	2,70	2,51	3,00	2,73	3,06	3,55	3,34	4,00

Nota. Unidades en milímetros y segundos. Tomado de (Riba, 2002)

Tabla 37

Piezas que pueden ser manipuladas por una mano con ayuda de útiles

		Se necesitan pinzas								otros útiles	útiles especiales	
		Sin ampliación óptica				Con ampliación óptica						
		Fácil		Difícil		Fácil		Difícil				
Coger y manipular		>25	≤0,25	>25	≤0,25	>25	≤0,25	>25	≤0,25	8	9	
Grosor		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$\alpha \leq 180^\circ$	$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$	4	3,60	6,85	4,35	7,60	5,60	8,35	6,35	8,60	7,80	7,00
	$\beta = 360^\circ$	5	4,00	7,25	4,75	8,00	6,00	8,75	6,75	9,00	8,00	8,00
$\alpha = 360^\circ$	$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$	6	4,80	8,05	5,55	8,80	6,80	9,55	7,55	9,80	8,00	9,00
	$\beta = 360^\circ$	7	5,10	8,35	5,85	9,10	7,10	9,55	7,85	10,1	9,00	10,0

Nota. Unidades en milímetros y segundos. Tomado de (Riba, 2002)

Tabla 38

Piezas flexibles que pueden cogerse con una mano con o sin útiles

	Sin dificultades adicionales Pegajosas, delicadas, resbaladizas										
	$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha \leq 360^\circ$			$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha \leq 360^\circ$	
	Tamaño	>15	6-15	<6	>6	<6	>15	6-15	<6	>6	<6
con ayuda de útiles	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
de prensión, si es necesario	8	4,10	4,50	5,10	5,60	6,75	5,00	5,25	5,85	6,35	7,00

Nota. Unidades en milímetros y segundos. Tomado de (Riba, 2002)

Tabla 39

Piezas grandes que requieren dos manos para la prensión y el transporte

		Se pueden manipular por una persona sin ayuda mecánica								Piez, liadas o flexibles	dos personas o ayuda mecánica	
		no son muy liadas ni flexibles										
		Pesan menos de 2,5 kg				Pesan más de 2,5 kg						
Coger y manipular		Fácil		Difícil		Fácil		Difícil		8	9	
α		≤180°	360°	≤180°	360°	≤180°	360°	≤180°	360°	8	9	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
		9	2,00	3,00	2,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	7,00	9,00

Nota. Unidades en milímetros y segundos. Tomado de (Riba, 2002)

Tabla 40*Piezas montadas, pero no aseguradas*

Después de montar	no necesita sujeción				necesita sujeción				
	fácil		difícil		fácil		difícil		
Posicionar y alinear	no	si	no	si	no	si	no	si	
Resistencia a la inserción	0	1	2	3	6	7	8	9	
Fácil acceso	0	1,50	2,50	2,50	3,50	5,50	6,50	6,50	7,50
Obstrucción, mala visión	1	4,00	5,00	5,00	6,00	8,00	9,00	9,00	10,00
Obstrucción, mala visión	2	5,50	6,50	6,50	7,50	9,50	10,50	10,50	11,50

Nota. Unidades en milímetros y segundos. Tomado de (Riba, 2002)

Tabla 41*Piezas montadas y aseguradas inmediatamente*

	circlips, ecliquetajes		Deformación plástica después inserción								
			flexión o torsión plástica				remaches o similar				
	fácil	difícil	fácil	difícil	difícil	fácil	difícil	difícil	fácil	difícil	
posicionar y alinear	no	si/no									
resistencia a la inserción	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
fácil acceso	3	2,00	5,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	6,00	8,00
obstrucción, mala visión	4	4,50	7,50	6,50	7,50	8,50	9,50	10,50	11,50	8,50	10,50
obstrucción, mala visión	5	6,00	9,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	10,00	12,00

Nota. Unidades en milímetros y segundos. Tomado de (Riba, 2002)

Tabla 42*Operaciones sobre piezas montadas*

	Procesos mecánicos				Procesos no mecánicos			Sin fijación			
	sin deformación plástica			gran deformación plástica	proceso metalúrgico			adhesivos y procesos químicos	manipulaciones (levantar, ajustar)	otros procesos (llenado líquidos)	
	doblado y similares	remaches y similares	atornillados y similares		sin material adicional	con material adicional					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
piezas ya en su sitio	9	4,00	7,00	5,00	12,00	7,00	8,00	12,00	12,00	9,00	12,00

Nota. Unidades en milímetros y segundos. Tomado de (Riba, 2002)

Una vez considerado todos los tiempos estimados de manipulación manual que se visualiza en los ANEXOS A-12, ANEXO A-13. Se procede a verificar la eficiencia del ensamblaje con la Ecuación manual de ambas alternativas.

$$E_{ma} = \frac{N_{min} \times t_a}{t_{ma}}$$

Donde:

N_{min} = Número mínimo de piezas del conjunto considerado (eliminando las que no son funcionalmente necesarias)

t_a = Tiempo genérico de montaje de una pieza (se toma $t_a = 5s$)

t_{ma} =Tiempo estimado para el montaje del producto real

Ecuación 10

Eficiencia de montaje

Nota.(Riba, 2002)

Se calcula la eficiencia de montaje de la alternativa a).

$$E_{ma} = \frac{588 \times 5}{4848,32}$$

$$E_{ma} = 0,606$$

$$E_{ma} = 60,60\%$$

Se calcula la eficiencia de montaje de la alternativa b).

$$E_{ma} = \frac{431 \times 5}{3178,54}$$

$$E_{ma} = 0,678$$

$$E_{ma} = 67,80\%$$

Como resultado la alternativa a), una máquina comercializada presenta mayor número de componentes de mayor volumen que hace que los tiempos de manejo con

una o ambas manos aumente, es así que se evidencia una eficiencia de montaje del 60,6%, mientras tanto la máquina de la alternativa b), que es un rediseño de la primera alternativa pero con mayor facilidad de piezas sin restricciones de acceso de visión, influencias de chaflanes, tolerancias y tiempos de inserción de piezas atornilladas se tiene una eficiencia de montaje de 67,8% mejorando en un 10,62%. Una de las incidencias de la eficiencia de montaje es el factor de complejidad ya calculado con anterioridad además que entre más piezas atornilladas, ensambladas, remachadas, dobladas entre otros hace que este valor disminuya considerablemente.

4.8. Inversión del Sistema de Ensayo a Carga de Impacto IK

4.8.1. Materiales, Componentes y Herramientas

Tabla 43

Componentes Estructurales

Descripción	Unidades	Costo Unitario \$	Costo Total \$
Tubo Cuadrado de 40x40x2 mm	4	12,5	50
Barra de acero inoxidable AISI 1045 1 1/8 x 39.3701 in	1	42	42
Barra de acero AISI 1045 inoxidable 60x75 mm	1	12	12
Perfil 6063T5 de soporte con ranura de 8mm, retículo de 30x30x1000 mm	1	30	30
Tool de acero inoxidable 3mm de espesor	1	46	46
Plancha de mdf de 5mm de espesor	1	45	45
		Total	225 \$

Tabla 44

Componentes Mecánicos

Descripción	Unidades	Costo Unitario \$	Costo Total \$
Guía lineal HGH30-AC	2	20	40
Guía LFSR32-R100	2	150	300
Guía LFS32-700	1	200	200
Carro compacto LFKL32 -SF	1	45	45
Husillo SFU1204	1	30	30
Acoplamiento Aexit 8mm	1	14	14
Manivela perfil estrella	4	3	12

164

Soportes de rodamiento de precisión BK/BF10 para tornillo de bola de movimiento lineal	1	70	70
		Total	711 \$

Tabla 45*Componentes Eléctricos*

Descripción	Unidades	Costo Unitario \$	Costo Total \$
Motor NEMA 23 23HS2430-PLUS	1	75	75
Tablero de gabinete metálico	1	15	15
Pulsadores	2	5	10
Finales de carrera	2	5	10
		Total	110 \$

Tabla 46*Componentes Electrónicos*

Descripción	Unidades	Costo Unitario \$	Costo Total \$
Driver Nema 23 Tb6600 Motor Paso 5a	1	27,99	27,99
Fuente de alimentación +8-42vdc	1	25	25
Arduino Uno R3	1	10	10
Cable de comunicación USB Tipo A - Tipo B	1	2	2
Placa PCB	1	30	30
		Total	94,99 \$

Tabla 47*Elementos de sujeción y accesorios*

Descripción	Unidades	Costo Unitario \$	Costo Total \$
Tornillo allen 1/4 x 2 1/2 in	11	3,79	41,69
Tuerca 1/4 in	11	0,80	8,8
Arandela plana 1/4 in	11	0,45	4,95
Tornillo allen cabeza de botón M10	18	1,78	32,04
Tuerca hexagonal con arandela M10	18	0,60	10,8
Arandela M10	18	0,35	6,3
Tornillo en cruz M2	106	0,25	26,5
Tuerca M2	106	0,15	15,9
Tornillo allen M5	6	1,84	11,04
Tuerca hexagonal M5	6	1,96	11,76
Tornillo hexagonal M6	8	2,25	18
Tuerca hexagonal M6	8	0,82	6,56

Descripción	Unidades	Costo Unitario \$	Costo Total \$
Tornillo roscador con cabeza avellanada plana M2.5	8	1,75	14
Tornillo allen M4	6	1,45	8,7
Tuerca M4	6	0,75	4,5
Tornillo allen cabeza de botón M8	4	1,50	6
Tornillo de cabeza plana M7	24	0,50	12
Tornillo de cabeza plana M11	4	0,75	3
Tornillo de cabeza redonda M5	4	0,35	1,40
Tuerca hexagonal con arandela M4	4	0,65	2,60
		Total	246,54 \$

Tabla 48*Herramientas y Equipos***Herramientas y Equipos**

Descripción	Unidades	Costo Unitario \$	Costo Total \$
Electrodos 6011	4	3,5	14
Set de brocas helicoidales de acero	5	1	5
Juego de llaves allen	1	15	15
Juego de llaves mixtas	1	32	32
Sierra manual	2	4,5	9
SERRUCHO	1	4	4
Juego de destornilladores	1	20	20
Alicate	1	7	7
Pela cables	1	6	6
Martillo	1	9	9
Lija de acero y madera	10	0,35	3,5
Casco de soldar	2	17	34
Gafas de protección	2	3,5	7
Conectores eléctricos	30	0,12	3,6
Manguera corrugada	10	0,65	6,5
		Total	175,6 \$

4.8.2. Consumo de Máquinas Eléctricas**Tabla 49***Consumo eléctrico por horas*

Descripción	kW consumido	Horas al día	kWh/día	Costo del kW/hora	\$ kW de las operaciones
Soldadora de arco eléctrico	6	1	6	0,09	0,54
Torno	50	3	150	0,09	13,5
Taladro eléctrico	1	2	2	0,09	0,18

Amoladora angular	1	2	2	0,09	0,18
Compresor	1	2	2	0,09	0,18
				Total	14,58 \$

Se calculó un total de USD 1577,71 en la adquisición de herramientas, componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos además de elementos de sujeción y accesorios más un costo de consumo eléctrico de USD 14.58 por 13 horas de trabajo y un costo de USD 250 por mano de obra de ensamblaje del sistema de ensayo a impacto dando un total de USD 1827.71.

Mientras que la maquina comercializada tiene un costo de USD 1500 pero a esto se le debe agregar valores de importación de AD-VALOREM (Arancel cobrado de las mercancías), FODINFA (Fondo de desarrollo para la infancia), IEC (impuesto a los consumos especiales), IVA (impuesto al valor agregado) valores que dependen del producto a importar que se encuentran establecidos en la aduana del país, de manera que el producto llegue a costar de 3 a 5 veces su costo inicial.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se realiza un proceso sistemático de forma que se logre un desarrollo ordenado y coherente, que a su vez permita obtener datos, variables claves que generen un diseño conceptual, simulación estructural e impacto, fabricación y montaje manual con validez y confiabilidad teniendo en cuenta que contribuya de forma favorable al proyecto

Se determinó que el método de la ingeniería concurrente asocia las necesidades del cliente y los parámetros que el profesional puede involucrar en el área de diseño con la intención de que la máquina cumpla la función de evaluar las luminarias de alumbrado público con el mínimo de índice de energía de impacto IK08 cabe destacar que estas deben garantizar una calidad de iluminación para mitigar accidentes y reducir el nivel de inseguridad con el fin del uso correcto y eficiente de la energía eléctrica, es así que la luminaria al estar sometida a esfuerzos puede presentar fallas o fracturas bajo diferentes áreas de trabajo.

La minuciosa selección del material dio inicio al proceso del diseño ya que contribuye con información de características mecánicas positivas en el rendimiento del producto, acabados superficiales, impacto medioambiental y costos de obtención del mismo, entonces se realizó escenarios (CAD) dibujo asistido por computadora de dos alternativas de máquinas de impacto IK, para ponerlas a estudio por medio de (CAE) simulación asistida por computadora a fin de evitar la construcción de la máquina física, cabe destacar que se obtuvo como resultados para la máquina comercializada una deformación total de 0.0012 mm, un esfuerzo principal de Von Mises de 0.061 MPa y un factor de seguridad de 4.19, mientras tanto para el sistema que se propone alcanzo los resultados de una deformación total de 1.29 mm, un esfuerzo principal de Von Mises de

123.77 MPa y un factor de seguridad de 3.63, es necesario destacar que estos valores se deben a que en la propuesta se aplica un 15% de aumento a la carga total para prever el mal uso del operario y que provoque cizallamientos o aplastamiento de ciertos componentes.

Los diagramas de flujo y las hojas de procesos indican la cantidad de material, distancias entre áreas de producción a fin de obtener los diagramas de hombre - máquina que determina los tiempos muertos, por esta razón se obtuvo que se demora 104 minutos en la fabricación del péndulo y 102 minutos para el martillo por consiguiente se establece el 75% como utilización óptima, es necesario resaltar que el operario es productivo en sus 8 horas de jornada laboral y la máquina industrial no es utilizado a su máxima capacidad lo que conlleva a pérdidas para la producción a gran escala.

El montaje se lo realiza de forma manual considerando la manipulación de componentes, uniones, operaciones de ajustes para poner el sistema de ensayo a impacto IK en función del trabajo que fue ideado, es así que los efectos de simetría α y β de las piezas del producto dictaminan los tiempos de manipulación con una o ambas manos o si se utiliza ayuda de componentes mecánicos, transporte u otra persona.

La eficiencia de montaje para la maquina comercializada es de 60,60% con un factor de complejidad de 60,25% para 588 componentes, por consiguiente para la solución que se lleva a cabo se obtuvo una eficiencia de montaje de 67,80%, un factor de complejidad de 45,04% para un número de 431 componentes, cabe destacar que esto es debido a la facilidad de inserción de piezas, de ello resulta necesario decir que es más factible la construcción de la máquina propuesta a la que se vende comercialmente.

5.2. Recomendaciones

Realizar un diseño conceptual con un correcto despliegue de la función de la calidad para así tener una máquina orientada a las necesidades del cliente con el fin de que cumpla su trabajo.

Realizar diferentes tipos de mallados al cuerpo con criterios ingenieriles para disminuir el consumo de recursos computacionales, pero obteniendo resultados correctos y evitar errores de convergencia al sobrepasar la resolución de los modelos matemáticos por medio del software Ansys Academic.

Ayudarse por medio de las guías de referencia, diagramas de análisis de operación, símbolos de diagramas de flujo y diagramas hombre-máquina para la fabricación de las diferentes piezas del sistema de impacto IK.

Realizar mediciones del tiempo de fabricación de las piezas mediante un procedimiento experimental de error e incertidumbre redondeando estos valores para tener tres decimales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, D. M. (2014). *Design for Manufacturability: How to Use Concurrent Engineering to Rapidly Develop Low-Cost, High-Quality Products for Lean Production*.
- Appleton, E. (2008). Product Design for Manufacture and Assembly. In *Assembly Automation* (Vol. 28, Issue 3). <https://doi.org/10.1108/aa.2008.03328cae.001>
- Ardila-Marín, J. G., Hincapié-Zuluaga, D. A., & Sierra-del-Río, J. A. (2016). Independencia De Malla En Tubos Torsionados Para Intercambio De Calor: Caso De Estudio. *Revista de La Facultad de Ciencias*, 5(1), 124–140. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v5n1.54231>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*.
- Carrillo, D., & Naula, M. (2010). “Distribución De Planta En La Empresa Proalim En Base Al Estudio De Métodos Y Tiempos De Trabajo.” 217. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/963/1/85T00170.pdf>
- Chagoyén, C., Monteiro, L., Moya, J., Machado, Á., & Campos, Y. (2016). DESIGN OF IMPACT TEST MACHINE TYPE CHARPY OF 50 J. *ITEGAM- Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM-JETIA)*, 2(8). <https://doi.org/10.5935/2447-0228.20160046>
- Collazo, J. C., Correa, L., García, C., & Reyes, A. (2016). Aplicación de tornillo de potencia rosca ACME en mesa cartesiana 2D. *SOMIM*, 96–105.
- Díaz, A. (2000). *MÉTODOS DE MALLADO Y ALGORITMOS ADAPTATIVOS EN DOS Y TRES DIMENSIONES PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ELECTROMAGNÉTICOS CERRADOS MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS*.
- Díaz, F., Castillo, D. E. L., Izcalli, C., & México, E. D. O. D. E. (2018). *MÉTODO DEL*

ELEMENTO FINITO Y AutoFEM. 44.

Franceschini, F. (2001). *Advanced Quality Function Deployment*.

Fuentelsaz Gallego, C. (2012). Cálculo del Tamaño de muestra. *Matronas Profesión*, 5(18), 5–13. <http://www.federacion-matronas.org/wp-content/uploads/2018/01/vol5n18pag5-13.pdf>

Gastelo, H., & Modesto, P. (2017). “MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD MEDIANTE EL USO EFICIENTE DE LA MANO DE OBRA DIRECTA EN EL PROCESO DE INYECCIÓN PLÁSTICOS EN CIPLAST PERÚ S.A.C.” In *Universidad Privada del Norte*. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/27098>

Guanoluisa, H., & Sánchez, H. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA FRESADORA CNC DE 3 GRADOS DE LIBERTAD CON UN VOLUMEN DE TRABAJO ÚTIL DE 500 X 500 X 100 mm PARA TALLAR MADERA EN ALTO Y BAJO RELIEVE*. Escuela Politécnica Nacional.

Guascal, E., & Quispe, P. (2019). *DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MALLADO ESTRUCTURADO OPTIMIZADO PARA UNA TURBINA TIPO FRANCIS CON VALIDACIÓN EXPERIMENTAL*. 157.

Haug, E. (1993). Concurrent Engineering: Tools and Technologies for Mechanical System Design. In *Concurrent Engineering: Tools and Technologies for Mechanical System Design*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-78119-3>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación. In *הנוטע עלון* (Vol. 66).

IEC. (1997). *International Standard IEC 60068-2-75*.

Jaramillo, H., & Ruiz, A. (2003). ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LA PRUEBA DE IMPACTO TIPO CHARPY MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS. *ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LA PRUEBA DE IMPACTO TIPO CHARPY MEDIANTE*

ELEMENTOS FINITOS, 1(21), 89–94. <https://doi.org/10.22517/23447214.7501>

Jensen, C. H., Short, D. R., & Helsel, J. D. (2012). *Dibujo y diseño en ingeniería*. xvii, 840 páginas. <http://www.ebooks7-24.com/?il=289>

Mejía, N., & Pumisacho, Lady. (2008). *INGENIERÍA CONCURRENTE APLICADA A ROBUSTECER LA MÁQUINA DE FATIGA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA*.

Mitchell, G., Hill, S., & Lockhart, N. (2006). *Dibujo y comunicación gráfica*.

Mott, R. (2009). *Resistencia de Materiales*.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de Maquinas* (Pearson Educación (ed.); 4 ed). Prentice Hall Mexico.

Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*.

ANEXOS