



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN IMPACTADOR PARA
REALIZAR ENSAYOS DE IMPACTO EN BARRERAS DE
SEGURIDAD ADAPTABLE AL PÉNDULO DE IMPACTO DEL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN “GDP” DE LA FACULTAD DE
MECÁNICA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

DIEGO FRANKLIN BETUN MAYANZA

RUBEN OSWALDO PAGUAY PAGUAY

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN IMPACTADOR PARA
REALIZAR ENSAYOS DE IMPACTO EN BARRERAS DE
SEGURIDAD ADAPTABLE AL PÉNDULO DE IMPACTO DEL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN “GDP” DE LA FACULTAD DE
MECÁNICA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: DIEGO FRANKLIN BETUN MAYANZA

RUBEN OSWALDO PAGUAY PAGUAY

DIRECTOR: Ing. SANTIAGO ALEJANDRO LOPÉZ ORTIZ

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Diego Franklin Betún Mayanza; & Rubén Oswaldo Paguay Paguay**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Diego Franklin Betún Mayanza y Rubén Oswaldo Paguay Paguay, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de julio del 2023



Diego Franklin Betún Mayanza
060516290-8



Rubén Oswaldo Paguay Paguay
060456880-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN IMPACTADOR PARA REALIZAR ENSAYOS DE IMPACTO EN BARRERAS DE SEGURIDAD ADAPTABLE AL PÉNDULO DE IMPACTO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN “GDP” DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**, realizado por los señores: **BETUN MAYANZA DIEGO FRANKLIN Y RUBEN OSWALDO PAGUAY PAGUAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros de Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-07-11
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-07-11
Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-07-11

DEDICATORIA

El presente proyecto se la dedico a la memoria de mi madre Petrona Mayanza Guamán, quien con su gran amor incondicional me animo a seguir en la vida estudiantil y cumplir con esta meta, a mi papa José Betún junto con mis hermanos Inés, Ángel, y Vinicio Betún, quienes con todo su cariño me apoyaron incondicionalmente a lo largo de mi carrera, a toda mi familia por sus consejo y oraciones hicieron de mí una mejor persona y me inspiraron a seguir adelante en cada peldaño de mi vida. Finalmente dedico a todos mis amigos por apoyar y extender sus manos incondicionalmente en momentos difíciles, mil gracias siempre los llevo en mi corazón.

Diego

El siguiente trabajo le dedicado a mi padre quien dolorosamente ya no se encuentra en este mundo pero fue el pilar muy importante de mi vida, ya que sin su sacrificio y apoyo incondicional no hubiera logrado a cumplir mi meta, a mi mama Rosa Paguay, quien con todo su amor me apoyo a lo largo de mi carrera y salir adelante, a mis hermanas Mary, Silvia que son una inspiración para seguir adelante sin desmayar y a mi hija que es mi motor para seguir adelante a mi esposa Norma por brindarme todo su amor, y estar a mi lado en el transcurso de mi vida.

De la misma manera a mi familia y a mis amigos, quienes me apoyaron a seguir adelante.

Rubén

AGRADECIMIENTO

Expreso un agradecimiento profundo a Dios, quien con su infinita bondad siempre me bendijo, a la vez toda mi familia por estar siempre presentes.

También agradezco a todas las autoridades y el personal quienes conforman la escuela de Ingeniería Mecánica, por confiar en mí y abrir sus puertas para realizar el presente proyecto, dentro de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Finalmente, expreso un gran y sincero agradecimiento al Ing. Santiago López y Ing. Isaías Caicedo por la principal colaboración durante todo el proyecto. Quienes, con los conocimientos, enseñanzas y permitieron culminar el presente proyecto, a mi compañero Rubén Paguay, por su amistad, paciencia al momento de desarrollar este trabajo.

Diego

En primer lugar, agradezco a dios por permitir llevar a cumplir mis sueños y en segundo a mis padres por su infinito amor, porque gracias a todo su sacrificio y cariño he logrado culminar mi estudio y lograr a cumplir un papel muy importante en mi vida.

Además, Agradezco a la escuela de ingeniería de mecánica por permitir formarme y ser un profesional, y agradecer al Ing. Santiago López director del trabajo de Titulación y al Ing. Isaías Caicedo miembro del tribunal por brindar su guía y conocimiento, a mi compañero Diego Betún, por su amistad, paciencia al momento de desarrollar este trabajo.

Rubén

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Alcance.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Bases teóricas.....	5
2.1.1. <i>Diseño en la ingeniería mecánica</i>	5
2.1.2. <i>Consideraciones para el diseño</i>	5
2.2. Ensayos de impacto.....	5
2.2.1. <i>Aspectos importantes del impactador</i>	6
2.3. Péndulo de impacto.....	7
2.4. Fundamentos físicos.....	8
2.4.1. <i>Ley de la conservación de la energía</i>	8
2.5. Análisis del movimiento de un péndulo simple.....	9
2.5.1. <i>Variables importantes del ensayo de impacto</i>	10
2.6. Impactador.....	11
2.6.1. <i>Tipos de impactador</i>	11
2.7. Energía de impacto.....	14

2.8.	Vehículo para el diseño del impactador	14
2.9.	Barandas de seguridad	15
2.9.1.	<i>Barandas de seguridad en carreteras</i>	15
2.9.2.	<i>Componentes de las barreras de seguridad</i>	16
2.9.3.	<i>Tipos de barandas de seguridad</i>	17
2.9.4.	<i>Propiedades mecánicas de las barreras de seguridad</i>	18
2.9.5.	<i>Normativa para las barandas de seguridad</i>	19
2.10.	Diseño de juntas empernadas	20
2.11.	Resistencia del perno	20
2.12.	Juntas soldadas	22
2.13.	Aceros para la construcción	22
2.13.1.	<i>Planchas ASTM A-36</i>	22
2.13.2.	<i>Planchas Anti abrasivas</i>	23
2.13.3.	<i>Planchas AISI 1045</i>	24
2.14.	Ensayos de dureza	25
2.14.1.	<i>Dureza Brinell</i>	25
2.15.	Método de corte	26
2.15.1.	<i>Oxicorte</i>	26
2.15.2.	<i>Corte por plasma</i>	27
2.15.3.	<i>Corte con láser</i>	27
2.16.	Proceso de mecanizado	28
2.16.1.	<i>Clasificación de los procesos de mecanizado</i>	28
2.17.	Sistema elevación por Electroimán	30
2.18.	Normativa de referencia	31

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	33
3.1.	Metodología VDI 2221	33
3.1.1.	<i>Lista de exigencia</i>	34
3.1.2.	<i>Determinación de la estructura de funciones</i>	36
3.1.3.	<i>Conceptos de solución</i>	37
3.1.4.	<i>Planteamiento de soluciones</i>	39
3.1.5.	<i>Evaluación de la solución optima</i>	41
3.1.6.	<i>Diseño a detalle de la solución óptima</i>	43
3.2.	Desarrollo de diseño mecánico del impactador	44
3.2.1.	<i>Dimensionamiento de la cara impactador</i>	44

3.2.2.	<i>Diseño de la cara del impactador</i>	45
3.2.3.	<i>Diseño del martillo</i>	47
3.2.4.	<i>Cálculo de centro de gravedad del impactador</i>	49
3.2.5.	<i>Diseño de brazo del impactador</i>	51
3.2.6.	<i>Cálculo de la masa total del péndulo</i>	52
3.2.7.	<i>Cálculo de centro de gravedad del péndulo</i>	52
3.2.8.	<i>Cálculo de la velocidad de caída del péndulo</i>	53
3.2.9.	<i>Cálculo de la altura de elevación del péndulo</i>	55
3.2.10.	<i>Cálculo de ángulo de elevación del péndulo</i>	56
3.2.11.	<i>Cálculo de la energía cinética</i>	56
3.2.12.	<i>Análisis de los brazos del péndulo</i>	57
3.2.13.	<i>Cálculo de fuerza de impacto</i>	59
3.2.14.	<i>Análisis estático del brazo de sujeción del impactador</i>	61
3.2.15.	<i>Selección de pernos de sujeción</i>	63
3.2.16.	<i>Diseño de la baranda de seguridad para el ensayo</i>	66
3.3.	Selección de materiales para la construcción del impactador	68
3.3.1.	<i>Ensayo de Dureza Brinell del material</i>	69
3.3.2.	<i>Resultados de ensayo de dureza Brinell</i>	70
3.4.	Planificación para la construcción del impactador	72
3.5.	Construcción y montaje del impactador	74
3.5.1.	<i>Construcción de la cara del impactador</i>	75
3.5.2.	<i>Construcción de la masa del péndulo</i>	79
3.5.3.	<i>Construcción de los brazos de acople</i>	81
3.5.4.	<i>Construcción del separador</i>	81
3.6.	Ensamble del impactador	82
3.7.	Montaje del impactador en el péndulo	83
3.8.	Instalación de las probetas	84
3.8.1.	<i>Numero de probetas para Ensayo de Impacto</i>	85

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
4.1.	Prueba experimental	87
4.2.	Resultados de la Energía Cinética obtenida a 27° de inclinación	88
4.2.1.	<i>Variación Energía Cinética de cada ensayo</i>	91
4.2.2.	<i>Análisis de datos</i>	94
4.3.	Comparación de resultados Experimental y Teórico	94

4.3.1.	<i>Resultados mediante la distribución T- Student</i>	95
4.4.	Análisis de costos	97
4.4.1.	<i>Costos directos</i>	97
4.4.2.	<i>Costos indirectos</i>	99
4.5.	Costos totales	100

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
5.1.	Conclusiones	101
5.2.	Recomendaciones	102

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Variables para los ensayos de impacto.....	10
Tabla 2-2:	Propiedades mecánicas de barandales, terminales y separadores.....	18
Tabla 2-3:	Propiedades químicas del acero ASTM -36.....	22
Tabla 2-4:	Propiedades mecánicas del acero ASTM -36.....	23
Tabla 2-5:	Composición química del acero Anti abrasiva.....	23
Tabla 2-6:	Propiedades mecánicas del acero Anti abrasiva.....	23
Tabla 2-7:	Propiedades químicas del acero AISI 1045.....	24
Tabla 2-8:	Propiedades mecánicas del acero AISI 1045.....	24
Tabla 2-9:	Rango de Dureza Brinell	25
Tabla 2-10:	Codificación de baranda de seguridad según el tipo de vehículo.....	31
Tabla 3-1:	Lista de exigencia.....	35
Tabla 3-2:	Matriz Morfológica	38
Tabla 3-3:	Criterio técnico.....	42
Tabla 3-4:	Criterio económico.....	42
Tabla 3-5:	Propiedades físicas de la cara del impactador mediante programa SOLIDWORKS.....	46
Tabla 3-6:	Propiedades físicas del martillo mediante programa SOLIDWORKS.....	49
Tabla 3-7:	Cálculo de áreas de cada elemento del impactador.....	50
Tabla 3-8:	Propiedades físicas del impactador mediante programa SOLIDWORKS	51
Tabla 3-9:	Masa total del equipo	52
Tabla 3-10:	Procedimiento para realizar el Ensayo de Dureza Brinell.....	69
Tabla 3-11:	Ensayo de Dureza Brinell, probeta 1	71
Tabla 3-12:	Ensayo de Dureza Brinell, probeta 2.....	71
Tabla 3-13:	Ensayo de Dureza Brinell, probeta 3.....	72
Tabla 3-14:	Resultados del Dureza Brinell.....	72
Tabla 3-15:	Cronograma de actividades	72
Tabla 3-16:	Maquinas empleadas en la construcción	74
Tabla 3-17:	Herramientas empleadas en la construcción.....	74
Tabla 3-18:	Elementos para la construcción.....	75
Tabla 3-19:	Materiales utilizados en las probetas de ensayo	75
Tabla 3-20:	Procedimiento para el ensamble.....	83
Tabla 3-21:	Procedimiento para la instalación de la baranda de seguridad	85
Tabla 3-22:	Variables para el cálculo del tamaño de la muestra.....	86
Tabla 4-1:	Variables requeridas para el ensayo de impacto.....	87

Tabla 4-2:	Datos experimentales por el software LabVIEW de la probeta 1	89
Tabla 4-3:	Datos experimentales por el software LabVIEW de la probeta 2	90
Tabla 4-4:	Datos experimentales por el software LabVIEW de la probeta 3	91
Tabla 4-5:	Comparación de datos obtenidos de la Energía Cinética	94
Tabla 4-6:	Costos de materiales.....	97
Tabla 4-7:	Costos de equipos y herramientas	98
Tabla 4-8:	Mano de Obra.....	99
Tabla 4-9:	Costo de transporte.....	99
Tabla 4-10:	Costos directos	99
Tabla 4-11:	Costos indirectos	100
Tabla 4-12:	Costo total	100

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Configuración general del péndulo.	6
Ilustración 2-2:	Diagrama del péndulo de pruebas.	7
Ilustración 2-3:	Análisis de la trayectoria del péndulo.	9
Ilustración 2-4:	Impactador triangular según normativa ECE R-29	12
Ilustración 2-5:	Impactador triangular	12
Ilustración 2-6:	Masa del impactador triangular.....	13
Ilustración 2-7:	Prueba de coche a escala real.	14
Ilustración 2-8:	Vehículo utilizado para el diseño del impactador	14
Ilustración 2-9:	Barreras de Seguridad	15
Ilustración 2-10:	Pruebas de impacto a escala real.....	16
Ilustración 2-11:	Componentes de una barrera de seguridad.....	16
Ilustración 2-12:	Elementos que conforman la barrera de seguridad	17
Ilustración 2-13:	Dimensiones de la baranda de seguridad	18
Ilustración 2-14:	Curva tensión-deformación de las barandas y postes.....	18
Ilustración 2-15:	Baranda de seguridad según su configuración	19
Ilustración 2-16:	Dimensiones del barandal	19
Ilustración 2-17:	Junta sometida a carga por cizalla.....	21
Ilustración 2-18:	Planchas de acero ASTM A36	23
Ilustración 2-19:	Plancha de acero Anti abrasiva	24
Ilustración 2-20:	a) Equipo para ensayos de Dureza Brinell, b) Esquema del indentador.	26
Ilustración 2-21:	Corte por combustión	27
Ilustración 2-22:	Corte por Plasma.....	27
Ilustración 2-23:	Corte por Laser.....	28
Ilustración 2-24:	Proceso de mecanizado mediante fresa	29
Ilustración 2-25:	Corte mediante taladrado	29
Ilustración 2-26:	Mandrinadora para de mecaniza.....	30
Ilustración 2-27:	Electroimán	31
Ilustración 2-28:	Energía Cinética según Norma EN 1317	32
Ilustración 3-1:	Metodología de diseño según la norma VDI 2221	33
Ilustración 3-2:	Secuencia de pasos a seguir para el diseño	34
Ilustración 3-3:	Función principal del impactador.....	36
Ilustración 3-4:	Impactador relleno con arena	39
Ilustración 3-5:	Impactador de concreto	40
Ilustración 3-6:	Impactador homogéneo de acero.....	41

Ilustración 3-7:	Diagrama técnico y económico	43
Ilustración 3-8:	Diseño final del impactador	44
Ilustración 3-1:	Altura de la cara del impactador	45
Ilustración 3-10:	Radio de curvatura de la cara del impactador	45
Ilustración 3-11:	Diseño de la cara del impactador.	46
Ilustración 3-12:	Diseño del martillo	47
Ilustración 3-13:	Dimensiones para el cálculo de centro de masa del impactador	49
Ilustración 3-14:	Diseño de brazo de acople.....	52
Ilustración 3-15:	Análisis de la velocidad de un ensayo real.....	53
Ilustración 3-16:	Velocidad en los ejes X, Y	53
Ilustración 3-17:	Vehículo de prueba e impactador.....	54
Ilustración 3-18:	Configuración del péndulo.....	55
Ilustración 3-19:	Diseño de los brazos del péndulo.....	57
Ilustración 3-20:	Deformación del Perfil IPE 160.....	57
Ilustración 3-21:	Análisis del Perfil IPE 160 mediante el software SAP 2000.....	58
Ilustración 3-22:	Simulación mediante SAP 2000.....	58
Ilustración 3-23:	Análisis estático con Von Mises.	61
Ilustración 3-24:	Análisis de desplazamiento del brazo	62
Ilustración 3-25:	Desplazamiento unitario de los brazos.....	62
Ilustración 3-26:	Análisis del factor de seguridad	63
Ilustración 3-27:	Dimensiones de la placa para el soporte.	66
Ilustración 3-28:	Dimensiones del poste de sujeción.....	67
Ilustración 3-29:	Dimensiones y configuración de la baranda metálica.	67
Ilustración 3-30:	Diseño de la Baranda de Seguridad.....	68
Ilustración 3-31:	Dimensiones e instalación de una baranda de seguridad.....	68
Ilustración 3-32:	Diagrama de Gantt de las actividades a realizar.....	73
Ilustración 3-33:	Dimensiones de la cara del Impactador.....	75
Ilustración 3-34:	Simulación del corte de la cara impactador.....	76
Ilustración 3-35:	Corte del impactador	76
Ilustración 3-36:	Corte final del impactador.....	76
Ilustración 3-37:	Desbaste de las imperfecciones.....	77
Ilustración 3-38:	a) Planchas colocadas con la ayuda de la escuadra.....	77
Ilustración 3-39:	Reloj comparador.	78
Ilustración 3-40:	Figuras tipo impactador soldadas en su arista.	78
Ilustración 3-41:	Ensamble final de la cara de impactador.....	79
Ilustración 3-42:	Dimensiones del cubo, a) Cara frontal y b) Cara lateral.....	79
Ilustración 3-43:	Mecanizado de las aristas de la pared del cubo.....	80

Ilustración 3-44:	Perforación del cubo.....	80
Ilustración 3-45:	Ensamble del cubo.	80
Ilustración 3-46:	Dimensiones del brazo del impactador.	81
Ilustración 3-47:	Perforación de brazo del impactador.....	81
Ilustración 3-48:	Dimensiones de separador.....	82
Ilustración 3-49:	Separador del brazo del péndulo.	82
Ilustración 3-50:	Montaje del impactador.....	84
Ilustración 3-51:	Impactador para ensayos	84
Ilustración 4-1:	Ensayo de impacto en vacío	88
Ilustración 4-2: a)	Variación de la Energía Cinética 6.085 KJ liberado desde una posición de 27° 92	
Ilustración 4-3:	a) Variación de la Energía Cinética 6.012 KJ liberado desde una posición de 27°	92
Ilustración 4-4:	Variaciones de la energía cinética antes del impacto.	93
Ilustración 4-5:	Probeta ensayada.....	93
Ilustración 4-6:	Variaciones de la Energía Cinética antes del impacto.....	94
Ilustración 4-7:	Variaciones de la Energía Cinética	95
Ilustración 4-8:	Distribución T Student	97

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** NORMA UNE - EN 1327-2010
- ANEXO B:** NORMA NTE INEN 2473:2013 (PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVIAS)
- ANEXO C:** TABLA DE ESPECIFICACIONES SAE Y ASTM PARA PERNOS DE ACERO
- ANEXO D:** ESPECIFICACIONES DE PERFILES DE ACERO A36 UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN (DIPAC)
- ANEXO E:** ESPECIFICACIONES DE ACERO A36 UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN (DIPAC)
- ANEXO F:** CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DE LAS PLANCHAS DE ACERO A36
- ANEXO G:** NORMA ASTM E 10 PARA ENSAYO DE DUREZA BRINELL
- ANEXO H:** EVIDENCIAS DE INSTALACIÓN
- ANEXO I:** EVIDENCIAS DE LA INSTALACIÓN DE LA PROBETA
- ANEXO J:** EVIDENCIAS DEL ENSAYO

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar e implementar un impactador siguiendo las recomendaciones de las normas NCHRP 656 y UNE EN 1317-2010, con el fin de realizar ensayos de impacto en barreras de seguridad. Utilizando la metodología por lo que se llevó a cabo la recopilación de información de diversas investigaciones, referencias bibliográficas, sitios web y especialmente, se utilizó como referencia la norma NCHRP 656. El dimensionamiento y diseño del impactador se llevó a cabo con las medidas de un automóvil Chevrolet SPART GT obteniendo la masa de 1300 kg, similar a la masa de un vehículo de prueba, además se aplicó la metodología VDI 2221 para el desarrollo del impactador, ya que este método se enfoca en la selección de la mejor alternativa viable. Todos los componentes mecánicos fueron diseñados y calculados teóricamente, complementados con modelación en el software SOLIDWORKS. La ejecución de la construcción de impactador se llevó a cabo mediante una planificación y aplicando los procesos de mecanizado y posterior su montaje en el péndulo. Se realizaron ensayos de impacto en las barandas de seguridad para evaluar su comportamiento. Obteniendo como resultado un error promedio de 1.115%, el cual se encuentra dentro de los límites aceptables. Para validar estos resultados, se aplicó la prueba T-Student para corroborar la ausencia de diferencias significativas. La implementación del equipo resultante ha demostrado su validez por el bajo margen de error presente en los resultados. Concluyendo que se pudo realizar ensayos de impacto contra las barandas de seguridad con el fin de evaluar el funcionamiento del impactador. Recomendando establecer colaboraciones con instituciones dedicadas a la instalación de barreras de seguridad en las carreteras nacionales, con el propósito de mejorar la seguridad vial en nuestro país.

Palabras claves <ENSAYO DE IMPACTO>, <BARRERAS DE SEGURIDAD>, <PÉNDULO DE IMPACTO>, <METODOLOGÍA VDI 2221>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>. <SEGURIDAD VIAL>.

1688-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The primary objective of this work was to design and implement an impactor by the recommendations outlined in NCHRP 656 and UNE EN 1317-2010 standards. The purpose of this impactor was to conduct impact tests on safety barriers. Our methodology involved collecting information from various research sources, references, and websites and referencing the NCHRP 656 standard. The sizing and design of the impactor were executed using the dimensions of a Chevrolet SPART GT automobile, with a mass of 1300 kg, which closely resembles that of a test vehicle. Furthermore, we applied the VDI 2221 methodology to develop the impactor, as this method focuses on selecting the most viable alternative. All mechanical components were theoretically designed and calculated, complemented by modeling in the SOLIDWORKS software. The construction of the impactor was meticulously carried out, involving planning and the application of machining processes, culminating in its assembly on the pendulum. Impact tests were conducted on safety barriers to evaluate their performance, yielding an average error of 1.115%, which falls within acceptable limits. To validate these results, a T-Student test was applied to confirm the absence of significant differences. The implementation of the resultant equipment has demonstrated its validity due to the low margin of error present in the results. In conclusion, impact tests against safety barriers were successfully conducted to assess the functionality of the impactor. It is recommended to establish collaborations with institutions dedicated to installing safety barriers on national roads to enhance road safety in our country.

Keywords: <IMPACT TEST>, <SAFETY BARRIERS>, <IMPACT PENDULUM>, <SAFETY RAILINGS>, <BARRIERS>, <IMPACT>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

Realizar ensayos de impacto en barreras de seguridad es una prueba importante que se lleva a cabo en estos elementos estructurales antes de considerar su instalación en carreteras. Estas pruebas tienen como objetivo demostrar la resistencia de las barreras de seguridad frente a impactos de vehículos, garantizando que, en caso de pérdida de control en la vía, no sufran daños significativos al salirse de la carretera o impactar con objetos peligrosos. A través de estos ensayos, se analiza el comportamiento de las barreras y se evalúa su desempeño.

En países desarrollados como Estados Unidos y Europa, se realizan pruebas de impacto a escala real, lo que implica adquirir un vehículo para la prueba e instalar las barreras de seguridad en un campo de laboratorio. Durante estos ensayos se aplican diferentes criterios como variar la velocidad del vehículo, su masa, el ángulo de impacto y otros parámetros relevantes. Estas pruebas se basan en las normas americanas y europeas para validar los resultados obtenidos.

Aunque la prueba de impacto a escala completa es el método tradicional para evaluar el rendimiento de las barreras de seguridad, también es costosa, ya que implica la adquisición de un vehículo y la instalación de una barrera completa. Por lo tanto, en el proyecto NCHRP 656 de Estados Unidos, los investigadores utilizaron un péndulo con un impactador de masa similar a la de una camioneta Chevrolet 1500 para realizar ensayos similares a escala real.

Con el objetivo de llevar a cabo investigaciones en la ciudad de Riobamba, específicamente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el grupo de investigación GDP de la Facultad de Mecánica decidió implementar un impactador en el péndulo exclusivamente para realizar ensayos de impacto en barreras de seguridad. Una vez construido este impactador, el grupo de investigación podrá iniciar las investigaciones y realizar ensayos en estos elementos estructurales presentes en las carreteras, obteniendo resultados relacionados con las propiedades mecánicas, la resistencia a impactos y el comportamiento de los componentes que conforman la barrera de seguridad, entre otros.

El impactador debe ser resistente, por lo tanto, se utilizan materiales con buenas propiedades mecánicas para soportar los impactos. El diseño y la construcción del impactador serán en base a las dimensiones de un automóvil, con masa de 1300 kg. El impactador de preferencia será de forma triangular redondeada.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La seguridad vial ha venido convirtiendo en una precaución cada vez mayor a nivel mundial, ya que uno de cada tres personas mueren o resultan heridas en las carreteras, en accidentes de vehículos producido por salida de vía, para evitarlo es importante contar con las barreras de seguridad ya que estas devuelven al vehículo a la vía y brindan la protección a los conductores y pasajero, pero existe un problema de que algunos de ellos no cumplen con su función debido a la mala instalación de estas estructuras, entonces antes de su implementación es importantes realizar pruebas de impactos para poder evaluar el comportamiento de estas barreras.

Estudios realizados en Europa han demostrado que las barreras de seguridad pueden reducir un 90% el riesgo de muerte producido por este tipo de accidentes de vehículos. Sin embargo para reducir estos riesgos tiene la tarea de realizar pruebas de impacto a estos sistemas de seguridad, pero a escala real, este método presentaba varias limitaciones y desafíos ya que requerían una inversión considerable para adquirir y mantener nuevos vehículos de prueba además los costos se dispararon con la reparación y remplazo de los mismos después de cada ensayo, además se necesitaban instalaciones a escala real de las barreras de seguridad para realizar las pruebas, generaban más gastos.

Con el avance tecnológico y la investigación de seguridad vial han venido desarrollando nuevas tecnologías que puedan llevar con estos ensayos en menor tiempo y menos gasto, uno de ellos es el péndulo de impacto, el cual Estados Unidos por la junta de investigación de transporte se logran realizar un informe NCHRP 656 (NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM) construyendo su primer péndulo de impacto con un impactador de masa 2000 Kg igual a la masa del vehículo, permitiendo simular el impacto de un vehículo contra las barreras de seguridad en diferente escenario. Además, se realizaron simulaciones mediante elementos finitos para analizar el comportamiento de las barreras y los daños causados por un impacto y con ello poder cumplir los ensayos de impacto a escala real realizadas por norma española UNE-EN 1317 (Douglas-J, 2010).

Sin embargo en nuestro país a un no se ha logrado realizar investigaciones de ensayos de impacto contra las barandas de seguridad y mucho menos se han desarrollado un equipo adecuado para llevar a cabo estas pruebas esta situación se debe a la falta de laboratorios y a la insuficiencia de

recursos. Si bien solo contamos con la norma NTE INEN 2473-2013, lo único establece los requerimientos técnicos como, configuración, dimensiones, propiedades mecánicas y materiales de una baranda de seguridad, por lo que existe una carencia significativa de estudio (NTE-INEN-2473, 2013).

1.2. Planteamiento del problema

El Grupo de Investigación “GDP” de la Facultad de Mecánica se enfrenta a un gran desafío debido a la falta de un equipo adecuado en el laboratorio para llevar a cabo ensayos de impacto a gran escala en barreras de seguridad utilizando un péndulo. Para afrontar esta situación, se ha planteado la necesidad de implementar un impactador específico para esta aplicación en el péndulo que se encuentra en el Laboratorio de Fundición. Aunque el laboratorio ya cuenta con un impactador que es apto para ensayos de impacto en carrocerías, es necesario diseñar y construir un impactador para este tipo de ensayos, que permita analizar el comportamiento que se presenta al impactarse un automóvil contra las barreras de seguridad. La implementación de este equipo será un gran avance para la institución y contribuirá significativamente al avance de la investigación en ingeniería de seguridad vial en el país.

1.3. Justificación

La justificación de este proyecto radica en el hecho de que en Ecuador hay un bajo nivel de desarrollo en términos de nuevos equipos e investigaciones que puedan evaluar los ensayos de impacto en barreras de seguridad. Esta falta de recursos y conocimientos especializados limita la capacidad del país para garantizar la efectividad de las barreras de seguridad utilizadas en carreteras y vías. Por lo tanto, la finalidad de esta investigación es abordar esta carencia y contribuir al avance en este campo específico. Mediante el diseño y la construcción de un impactador, se busca establecer un método confiable y preciso para evaluar el comportamiento y el rendimiento de las barreras de seguridad en situaciones de impacto realistas.

La implementación de este equipo será un gran avance para la institución y contribuirá significativamente el avance de la investigación contribuyendo así a mejorar la seguridad y proteger la integridad de los usuarios en carreteras.

1.4. Alcance

El alcance de este proyecto es implementar un impactador en el péndulo que permita realizar ensayos de impacto en barreras de seguridad vial. El propósito es analizar los daños presentes en

estas estructuras y evaluar su resistencia, y el comportamiento mecánico. Para lograr esto, se llevará a cabo el diseño y construcción de un impactador con una masa de 1300 kg, similar a la de un automóvil. Para validar su funcionamiento, se realizarán pruebas de impacto contra las barandas de seguridad y finalmente poder comparar con el valor norma española UNE-EN 1317-2010, que es de 6.2 KJ.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un impactador siguiendo las recomendaciones de las normas NCHRP 656 y UNE EN 1317-2010, con el fin de realizar ensayos de impacto en barreras de seguridad.

1.5.2. Objetivos específicos

- Diseñar el impactador siguiendo la recomendación de la norma NCHRP 656 para que cumpla con los requerimientos de una prueba de impacto en barreras de seguridad.
- Realizar pruebas de dureza en todas las planchas mediante la técnica de dureza Brinell con el fin de verificar la homogeneidad del material.
- Construir el impactador con una masa de 1300 kg y verificar su funcionamiento mediante pruebas de impacto contra las barreras de seguridad.
- Validar el funcionamiento del impactador, asegurándose de que cumpla con la energía cinética requerida de 6.2 KJ según la norma UNE EN 1317-2010.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo se basa en la recopilación de información necesaria para comprender su diseño y funcionamiento del impactador. Esto incluye la revisión de los ensayos realizados con el equipo y la normativa aplicable, en este caso la norma UNE EN 1317-2010, que establece los requisitos para la evaluación de las barreras de seguridad presentes en las vías mediante ensayos de impacto. Es importante tener en cuenta las especificaciones y alcance de esta normativa para garantizar que los ensayos realizados con el impactador cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos.

2.1. Bases teóricas

2.1.1. *Diseño en la ingeniería mecánica*

El diseño de elementos y sistemas de naturaleza mecánica, como piezas, mecanismos, máquinas, dispositivos e instrumentos diversos, se realiza con la ayuda del diseño mecánico. La mayoría de las veces, este tipo de diseño utiliza las ciencias exactas, la ingeniería de materiales y las ciencias afines a la ingeniería (SHIGLEY, 2008).

2.1.2. *Consideraciones para el diseño*

En el diseño de máquinas es fundamental realizar un adecuado dimensionamiento de los componentes. Para ello, se identifica en primer lugar la pieza o elemento crítico para el equipo y se consideran factores que pueden influir en su desempeño. En un inicio, algunos de estos factores pueden no ser prioritarios. De esta manera, para lograr un diseño eficiente es importante tener en cuenta aspectos como la funcionalidad, el costo, la resistencia, la confiabilidad, el peso y la forma (SHIGLEY, 2008).

2.2. Ensayos de impacto

La prueba de impacto se realiza utilizando una probeta estándar y un péndulo que se deja caer desde una altura específica. Los parámetros de la prueba varían según las normas y requisitos de los ensayos. El resultado se mide en unidades de Joules o libra-pie (Buenaño, 2012).

En el ensayo de impacto, se busca que toda la energía del golpe se transmita a la probeta, pero en la práctica siempre existen pérdidas por fricción, deformación en los apoyos, masa y vibraciones del péndulo. Por ello, es difícil obtener una medida exacta de la energía disipada por la probeta. Además, los resultados del ensayo dependen de la forma de la probeta y requieren una mayor atención según la norma correspondiente para obtener resultados concordantes. Por lo tanto, no se recomienda comparar directamente los resultados de diferentes ensayos de impacto, ya que intervienen muchas variables como la posición, la masa del impactador y la geometría de la probeta (Rubio & Yuquilema, 2012).

Según (Garrido M., 2019) afirma que el ensayo se realiza dejando caer una masa (m) desde una altura (hoy) sobre una probeta determinada, la cual se flexiona en el centro de los dos apoyos debido al impacto.

2.2.1. Aspectos importantes del impactador

El impacto de una colisión depende tanto de la masa de las partes que reciben el golpe como de la energía y masa del objeto que colisiona contra ellas. En la Ilustración 1-2 indica los puntos en general para el dimensionamiento del impactador. (Viracocha & Lasluisa, 2014)

Los elementos que requieren ser estandarizados son:

- a) La cara del impactador
- b) Apoyos para las probetas
- c) La probeta
- d) La masa del péndulo
- e) La velocidad

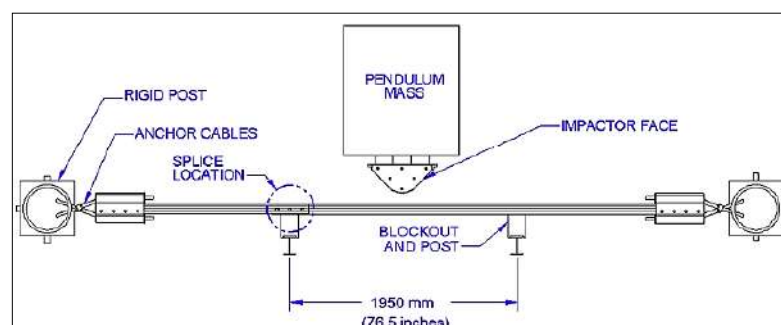


Ilustración 2-1: Configuración general del péndulo.

Fuente: (NCHRP-656, 2010)

Los principales elementos de una máquina de impacto pendular para pruebas son los siguientes:

- Una masa móvil con la energía suficiente para provocar la deformación deseada en la muestra a ensayar.
- Los soportes, en este caso los postes utilizados para colocar la muestra y recibir el impacto.
- Un software que pueda medir la energía de la masa antes y después de que la muestra se deforme o se fracture.

Para lograr una medición precisa de la energía de impacto, se deben considerar varios factores en la construcción del impactador. En primer lugar, la energía cinética del péndulo depende de su masa y la altura de la caída libre en relación con su centro de masa. El péndulo debe colgar de forma vertical para evitar desviaciones laterales y el eje que lo sostiene debe tener la menor fricción posible. Además, la estructura del péndulo debe ser lo suficientemente rígida para evitar vibraciones que puedan afectar los resultados. Los apoyos también deben ser resistentes para evitar pérdidas de energía por deformaciones o vibraciones excesivas. Es importante que el impactador esté alineado verticalmente y que la línea de acción de la fuerza entre la probeta y el péndulo pase por el centro del impactador en el momento del impacto (Viracocha & Lasluisa, 2014).

2.3. Péndulo de impacto

Un péndulo de impacto está compuesto por piezas que desempeñan distintas funciones y deben cumplir ciertos requisitos establecidos por la norma ECE R29, con características específicas para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina y validar los ensayos a ser realizados. El péndulo debe ser montado sobre una superficie de concreto de un espesor determinado o en una base que sea 40 veces la masa del péndulo, con una nivelación adecuada (Arias & Nakata, 2016).

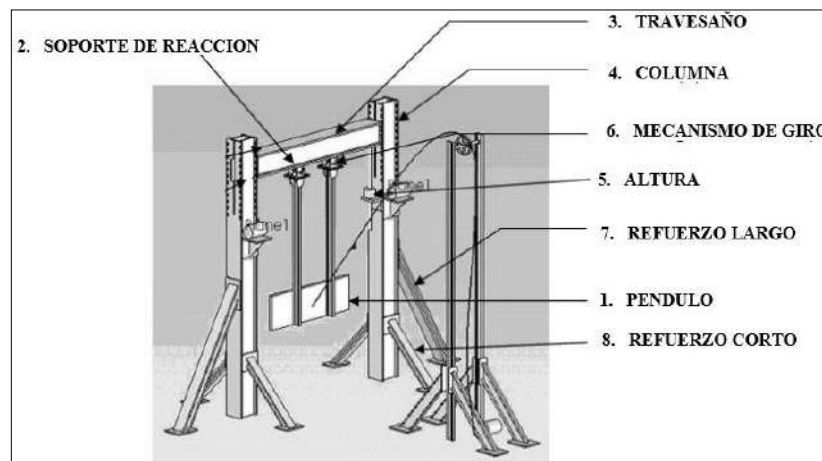


Ilustración 2-2: Diagrama del péndulo de pruebas.

Fuente: (Sharad, Tambusar, & Patil, 2017)

2.4. Fundamentos físicos

2.4.1. Ley de la conservación de la energía

Para plantear las fórmulas se lleva a cabo la ley de conservación de energía ya que puede decir hay una transformación de energía potencial en energía cinética y viceversa, sabiendo que la cantidad total de energía en el sistema nunca cambia (Viracocha & Lasluisa, 2014)

Dicho criterio se puede representar en la siguiente ecuación:

$$E_{K1} + E_{P1} = E_{K2} + E_{P2} \quad (2.1)$$

Donde:

E_{K1}, E_{K2} : Energía cinética [J]

E_{P1}, E_{P2} : Energía Potencial [J]

2.4.1.1. Energía Cinética

La energía cinética de una masa es aquella energía que genera debido a su movimiento, se define como el trabajo realizado por un cuerpo de una masa específica desde su reposo hasta el impacto (Viracocha & Lasluisa, 2014).

Su ecuación se representa de la siguiente:

$$E_k = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (2.2)$$

2.4.1.2. Energía Potencial

La energía potencial se produce debido a su movimiento al perder o ganar su altura, en relación de la configuración que tenga en un sistema de cuerpos que ejercen fuerzas entre sí (Viracocha & Lasluisa, 2014).

Se representa con la siguiente ecuación:

$$E_p = m * g * H \quad (2.3)$$

2.5. Análisis del movimiento de un péndulo simple

Según (Brusil & Cifuentes, 2017) afirma que el movimiento de un péndulo consiste en la suspensión de una masa desde un punto (O) mediante un hilo de longitud (L) que se considera inextensible, y cuya masa se considera despreciable en comparación con el resto del sistema.

El principio de conservación de energía establece que, en un péndulo, la energía total se mantiene constante. En la posición inicial θ , el péndulo tiene exclusivamente energía potencial. A medida que se mueve y alcanza el punto B, esta energía potencial se transforma en energía cinética, tal como se ilustra en la Ilustración 3-2 (Brusil & Cifuentes, 2017).

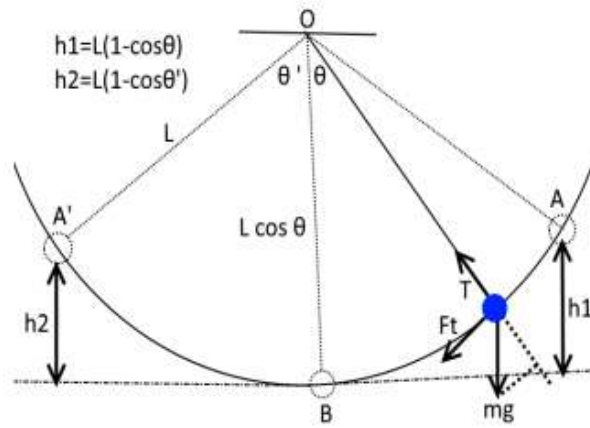


Ilustración 2-3: Análisis de la trayectoria del péndulo.

Fuente: (Brusil & Cifuentes, 2017)

Entonces, se puede utilizar las ecuaciones 2 y 3, conforme a la ley de conservación de la energía:

$$E_{k2} = E_{p1}$$

$$\frac{1}{2}m(v_2)^2 = mgh_1 \quad (2.4)$$

Despejando la ecuación (2.4) se obtiene la velocidad.

$$v_2 = \sqrt{2gh_1} \quad (2.5)$$

Con el análisis del péndulo simple indicado en la ilustración 3-2. Se obtiene la ecuación de la altura inicial del péndulo:

$$h_1 = L(1 - \cos \theta) \quad (2.6)$$

h_1 : Distancia medida verticalmente del suelo a la posición inicial (Cg)

θ : Ángulo de la posición inicial

L: distancia medido centro de gravedad del impactador al centro del eje de giro

Bajo el mismo criterio se calcula h_2 , pero siempre cuando la probeta llegue a fracturarse en el punto B.

$$h_2 = L(1 - \cos \theta) \quad (2.7)$$

Pero como no existe una fractura en la probeta impide el paso del impactador hacia el otro lado, por lo tanto:

$$h_2 = 0$$

Al sustituir las ecuaciones previas, se obtiene una nueva expresión que describe la energía de impacto. Esta medida de energía refleja el trabajo realizado para deformar o fracturar una probeta bajo el impacto del martillo. Durante este proceso, la probeta absorberá energía hasta alcanzar su punto de cedencia, momento en el cual experimentará una deformación plástica. Si la probeta continúa recibiendo energía, eventualmente se fracturará. Los materiales más rígidos exhibirán una mayor resistencia al impacto, mientras que los más frágiles tendrán una menor resistencia (Isaac Mugenyi, 2019).

$$E_p = m * L * h_1 \quad (2.8)$$

Donde:

m: masa del impactador

L: distancia al centro de gravedad (CG).

h1: altura inicial

2.5.1. Variables importantes del ensayo de impacto

Se ha determinado mediante varias investigaciones que los resultados obtenidos en los ensayos de impacto difieren al realizar cambios en ciertas variables. A continuación, en la tabla 1-2, se detallan los parámetros y su influencia en el ensayo de impacto:

Tabla 2-1: Variables para los ensayos de impacto

Variable	Descripción
Energía que genera el péndulo	La máxima energía generada por el péndulo limita el tipo de materiales con los que se pueden realizar las pruebas.
Masa del impactador	La masa del impactador debe representar la mayor parte del peso total del péndulo. Para determinar la velocidad que alcanza la masa antes de impactar la probeta, se debe considerar la altura del péndulo.
Velocidad de impacto	La velocidad final del impacto de un objeto se ve influida por el ángulo con que se inició el movimiento. En general, se puede afirmar que a medida que se incrementa el ángulo inicial, la velocidad final también aumenta.
Ángulo de elevación del péndulo	Para que el ensayo se considere valido, las probetas deben tener las dimensiones estandarizadas por la norma.
Dimensiones de las probetas	

Fuente: (Brusil & Cifuentes, 2017)

2.6. Impactador

El diseño de la máquina de impacto se realiza considerando varios factores clave, como la rigidez, ya que es responsable de impactar la probeta y es un elemento primordial que se complementa con el péndulo. Además, se dimensiona bajo la norma NCHRP 656 para cumplir con los estándares adecuados. Asimismo, se asegura que el diseño de la máquina tenga la capacidad de resistir la deformación por impacto, garantizando así su durabilidad y fiabilidad (Viracocha & Lasluisa, 2014).

El impactador es un componente importante del péndulo de impacto, ya que está en contacto directo con la probeta durante los ensayos. Se debe construir con un material de mayor dureza y tenacidad que los materiales a impactar, y su masa debe estar concentrada en su centro de gravedad (CG), el cual debe estar alineado con el CG del péndulo. Esto es necesario para evitar errores durante el ensayo y garantizar que se cumplan las condiciones exigidas por la normativa (Viracocha & Lasluisa, 2014).

2.6.1. Tipos de impactador

2.6.1.1. Impactador rectangular

Actualmente, el grupo de investigación GDP de la Facultad de Mecánica cuenta con un impactador de este tipo instalado en su péndulo. Dicho impactador se destina al estudio de la seguridad en las cabinas de autobuses frente a impactos frontales, con el objetivo de mejorar su rendimiento y hacer que sean más resistentes a los impactos.

El estudio de impacto surge como respuesta a la preocupación por la seguridad de los ocupantes de autobuses en casos de choques frontales. Para abordar esta problemática, se estableció la norma ECE R-29 de seguridad para impacto frontal de camiones, que busca garantizar la protección del conductor y copiloto. La ilustración 4-2 ilustra este proceso de estudio de impacto.

Para realizar los ensayos necesarios, el impactador debe generar la energía suficiente, y para ello se ha diseñado una estructura rectangular rígida con un peso de 1500 Kg, una anchura de 2500 mm y una altura de 800 mm. La ubicación del centro de gravedad de la superficie rectangular está a 50 mm por debajo de los asientos del conductor. Es importante destacar que después del impacto del péndulo, la cabina no debe separarse del vehículo y se debe garantizar un espacio suficiente para la supervivencia de los ocupantes y evitar riesgos de lesiones (Edem, Burak, Mehmet, & Murat, 2020).

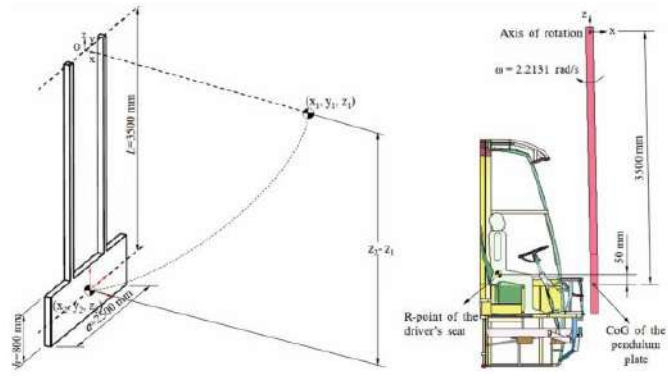


Ilustración 2-4: Impactador triangular según normativa ECE R-29

Fuente: (Edem, Burak, Mehmet, & Murat, 2020)

2.6.1.2. Impactador triangular

La Ilustración 5-2 muestra un tipo de impactador diseñado y construido específicamente para el estudio de las barandas de seguridad en caso de un choque o daño causado por vehículos en las vías.

El Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras (NCHRP) y la Norma EN 1317-2010 iniciaron en EE. UU el estudio de impacto sustituyendo la masa de un vehículo por un impactador, para evaluar el comportamiento de una barrera de seguridad ante una colisión. Las pruebas reales involucran impactos con ángulos oblicuos y alta velocidad con un vehículo, por lo que los ensayos a escala real evalúan la adecuación estructural de estas barreras para proteger a los ocupantes ante la salida de la carretera. De esta manera, se logra determinar la capacidad de las barreras de seguridad para soportar impactos y prevenir posibles daños (NCHRP-656, 2010).

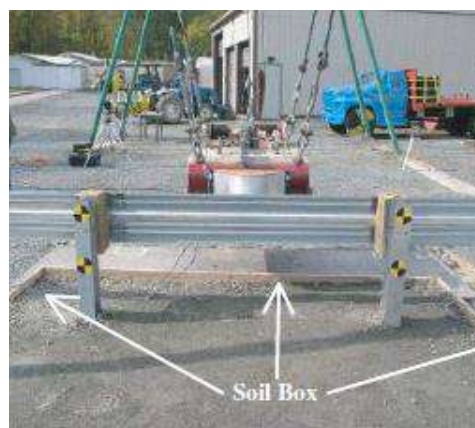


Ilustración 2-5: Impactador triangular

Fuente: (NCHRP-656, 2010)

El impactador mostrado en la ilustración anterior fue construido siguiendo la norma NCHRP 656 y se basó en las dimensiones de una camioneta Chevrolet 1500 del año 2006. La cara del impactador tiene un radio de 152 mm y una altura de 420 mm, y el péndulo junto con el impactador tienen una masa de 2061,5 Kg, que representa la masa del vehículo de prueba de la camioneta pickup de 2000 kg según el informe NCHRP 350 (2000P). El diseño del impactador se realizó con el objetivo de generar una energía de 32 KJ durante el impacto (NCHRP-656, 2010).

En la Ilustración 6-2 se puede apreciar el reemplazo del vehículo de prueba por un impactador triangular, el cual fue integrado en el péndulo con una masa equivalente a la del vehículo. Esto permite realizar pruebas de impacto de barreras de seguridad de forma más precisa, ya que se elimina la variabilidad que se produce al usar vehículos de prueba. Además, el diseño triangular del impactador permite una distribución uniforme de la carga durante el impacto, lo que permite evaluar de manera más efectiva la capacidad de la barrera para proteger a los ocupantes del vehículo.

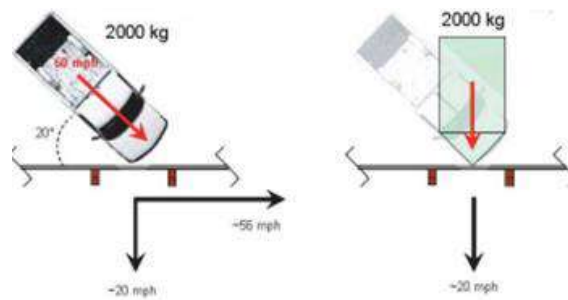


Ilustración 2-6: Masa del impactador triangular

Fuente: (NCHRP-656, 2010)

La gráfica muestra la configuración de una prueba de choque utilizada para evaluar el comportamiento de una barrera de seguridad. Al estudiar esta gráfica, se puede analizar el choque en una sección específica de la baranda. La norma NCHRP 350 establece parámetros como una velocidad de impacto de 100 km/h y un ángulo de 25°. Al evaluar la deflexión después del impacto, se determina el desempeño óptimo de una barrera de seguridad (NCHRP-656, 2010).

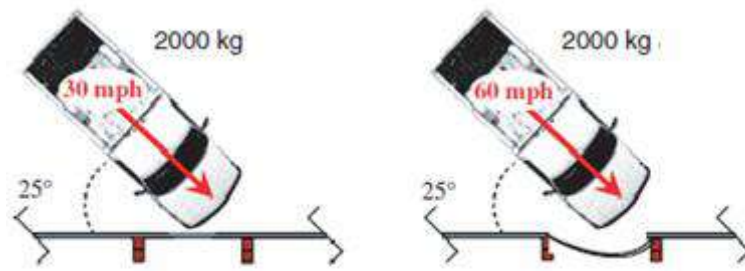


Ilustración 2-7: Prueba de coche a escala real.

Fuente: (NCHRP-656, 2010)

2.7. Energía de impacto

Por lo general, las pruebas de impacto se realizan utilizando péndulos o martillos pendulares que permiten el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa determinada que cae desde una altura predefinida. Dependiendo de si la muestra se rompe o se deforma durante la prueba, se pueden medir dos tipos de energía: la energía potencial y la energía cinética. En consecuencia, este tipo de experimentos proporciona información valiosa sobre el comportamiento de los materiales ante situaciones de impacto o choque (Buenaño, 2012).

2.8. Vehículo para el diseño del impactador

El vehículo que se utilizará para el diseño del impactador será el modelo Chevrolet SPAR 2020, como se muestra en la Ilustración 8-2. Este modelo ya ha sido estudiado mediante elementos finitos para las pruebas de impacto en barandas de seguridad y se ha seleccionado debido a su capacidad de peso vehicular de 1336 Kg, tal como lo indica la norma. Por lo tanto, se espera que este modelo pueda ofrecer niveles de protección elevados, ya que es uno de los más vendidos.



Ilustración 2-8: Vehículo utilizado para el diseño del impactador

Fuente: (AUTO COLOMBIA, 2015)

2.9. Barandas de seguridad

La baranda es un elemento importante en la infraestructura vial, ya que su objetivo principal es garantizar la seguridad de los conductores en caso de accidentes o pérdida de control. Dependiendo de las necesidades específicas, las barreras pueden fabricarse con diferentes materiales, como madera, metal o hormigón. Por otra parte, su instalación y desinstalación son procesos simples, y su mantenimiento resulta muy económico. En definitiva, las barreras constituyen un componente esencial para garantizar la seguridad vial en las carreteras (Ventimilla & Bravo, 2015).

Para la fabricación de las barandas de seguridad, es importante seguir reglas y normas estandarizadas. En Ecuador, se cuenta con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2473:2013, la cual establece los requisitos necesarios para la fabricación de las barandas de seguridad en carreteras. Esta norma asegura que las barreras de seguridad cumplen con los estándares de calidad y seguridad necesarios para proteger a los usuarios de las carreteras.



Ilustración 2-9: Barreras de Seguridad

Fuente: (Ventimilla & Bravo, 2015)

2.9.1. *Barandas de seguridad en carreteras*

Las barreras de seguridad tienen una amplia variedad de usos en diferentes entornos, como en los accesos a puentes, curvas peligrosas, zonas montañosas y áreas con elevada velocidad, así como en sitios donde el riesgo de accidentes es alto. También pueden utilizarse para separar carriles en carreteras y en los bordes de los puentes. La ubicación óptima de estas barreras se determina mediante un análisis detallado de accidentes. Es importante destacar que las barreras de seguridad se pueden clasificar en tres tipos: flexibles, semirrígidas y rígidas (Gonzalez, 2015).

Estos componentes tienen una importancia en la prevención de accidentes en las carreteras. Las barreras de seguridad se construyen con materiales metálicos que pueden soportar los daños causados por impactos y absorber la energía cinética de los vehículos, reduciendo su velocidad y protegiendo a los ocupantes. La fabricación de estas barreras incluye el uso de acero galvanizado, lo que les proporciona una gran resistencia, seguridad y durabilidad. Además, se instalan postes y terminales a lo largo de la carretera para complementar su eficacia (CORPIA, 2020).



Ilustración 2-10: Pruebas de impacto a escala real

Fuente: (Amengual, 2019)

2.9.2. Componentes de las barreras de seguridad

En la actualidad, hay una variedad de sistemas de barreras de seguridad metálicas que están compuestos por diferentes elementos, cada uno con propiedades únicas según el fabricante. Sin embargo, existen algunos elementos en común entre ellos, los cuales se describen a continuación y pueden visualizarse en la Ilustración 11-2 (Valverde, 2012).

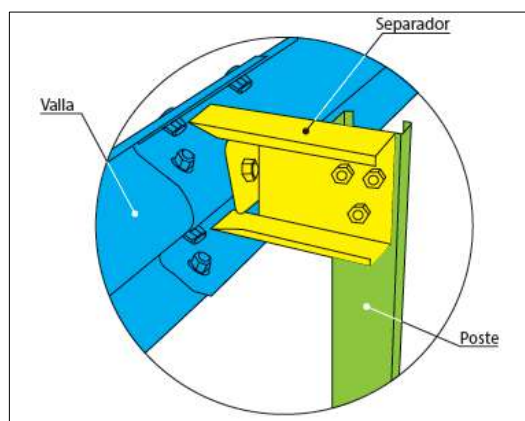


Ilustración 2-11: Componentes de una barrera de seguridad

Fuente: (Valverde, 2012)

En la Ilustración 12-2 se observa los elementos que conforman la baranda de seguridad y la función que desempeña cada uno de ellos.

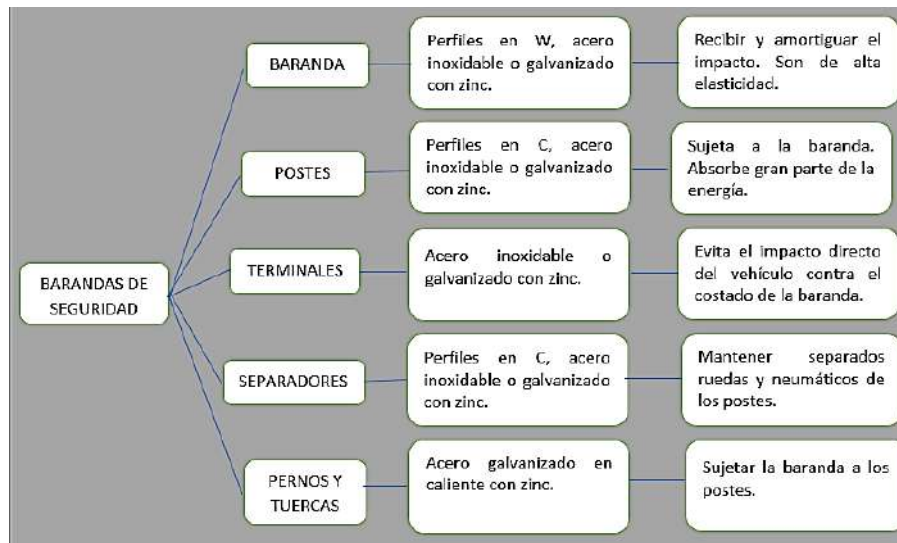


Ilustración 2-12: Elementos que conforman la barrera de seguridad

Fuente: (Ventimilla & Bravo, 2015)

2.9.3. Tipos de barandas de seguridad

2.9.3.1. Barandas de seguridad de acero galvanizado

La baranda de configuración W es ampliamente utilizada en carreteras debido a que está fabricada con acero galvanizado por inmersión en caliente de zinc y cumple con los requisitos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2473:2013. Para su montaje, se deben utilizar postes de perfil C galvanizado, los cuales absorben una gran cantidad de energía durante el impacto. Todo este conjunto está sujeto con pernos, cuyas dimensiones se muestran en la Ilustración 13-2. Es importante destacar que las barandas de seguridad siempre trabajan a tracción y durante un impacto se puede observar que los esfuerzos entre los postes se transmiten al punto de impacto y a los extremos, donde cada perfil W trabaja a tracción (Ventimilla & Bravo, 2015).

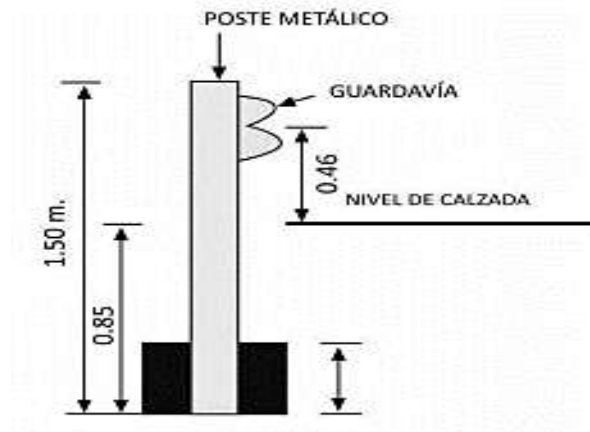


Ilustración 2-13: Dimensiones de la baranda de seguridad

Fuente: (Disprovincial, 2015)

2.9.4. Propiedades mecánicas de las barreras de seguridad

Según (Ventimilla & Bravo, 2015) todos los elementos que conforman la barrera de seguridad deben cumplir con los siguientes requisitos como se muestra en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Propiedades mecánicas de barandales, terminales y separadores.

ELEMENTO	LIMITE DE FLUENCIA MÍNIMA (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN MÍNIMA (MPa)	ELONGACIÓN MÍNIMA (%)
Barandales	345	483	12
Transiciones	345	483	12
Postes	250	400	-
Separadores	250	483	-
Terminales	227	310	-

Fuente: (NTE INEN 2473, 2013)

La curva que define el comportamiento plástico del material para las barandas que se muestra en el siguiente gráfico 1-2.

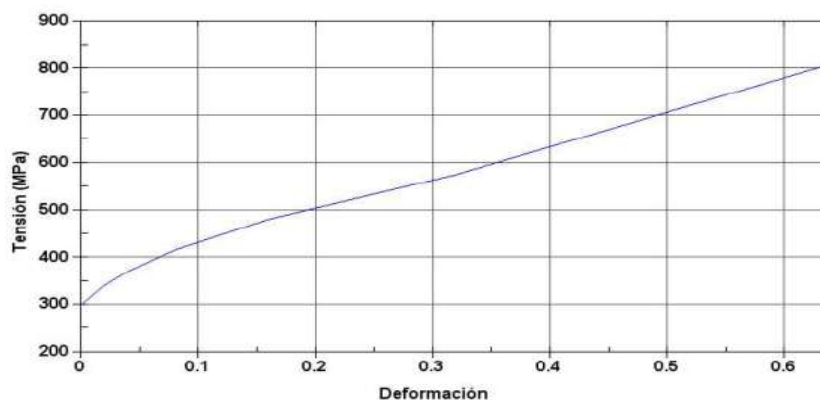


Ilustración 2-14: Curva tensión-deformación de las barandas y postes

Fuente: (Illescas, 2009)

2.9.5. Normativa para las barandas de seguridad

La norma INEN 2473:2013 establece cinco tipos de ensamble o configuración para el montaje de las barreras de seguridad, los cuales se muestran claramente en la Ilustración 14-2.

ESQUEMA	CONFIGURACIÓN
1. BARANDAL SIMPLE SIN SEPARADOR	
2. BARANDAL SIMPLE CON SEPARADOR	
3. BARANDAL DOBLE SIN SEPARADOR	
4. BARANDAL DOBLE CON SEPARADOR	
5. BARANDAL TRIPLE CON SEPARADOR	

Ilustración 2-15: Baranda de seguridad según su configuración

Fuente: (NTE INEN 2473., 2013)

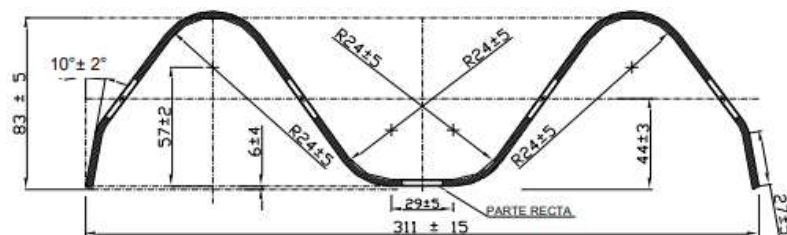


Ilustración 2-16: Dimensiones del barandal

Fuente: (NTE-INEN-2473, 2013)

2.10. Diseño de juntas empernadas

Para satisfacer los requerimientos de un equipo, es importante considerar su facilidad de ensamble y desmontaje de sus partes, lo que puede lograrse mediante diversas formas de conexión, tales como soldaduras, juntas empernadas o juntas por remaches. Durante el diseño, se tiene la ventaja de elegir la forma de conexión más adecuada de acuerdo con las necesidades del cliente (Guadalupe & Montero, 2013).

Para la unión de elementos del impactador en este proyecto, se ha determinado que la mejor alternativa es utilizar pernos. Estos elementos están compuestos por una cabeza en uno de sus extremos y un vástago roscado en el otro extremo, lo que permite colocar una tuerca para su fijación. Los pernos pueden ser clasificados en base a diferentes características como el tipo de vástago, el material y resistencia, la forma de la cabeza y tuerca (cuadrada o hexagonal), y el paso y tipo de rosca estándar, fina o gruesa (Guadalupe & Montero, 2013).

Para que los pernos puedan soportar las cargas en las juntas, es esencial diseñarlos teniendo en cuenta los diferentes tipos de esfuerzos a los que estarán sometidos.

2.11. Resistencia del perno

Se utiliza una conexión con pernos para prevenir la destrucción de un elemento y garantizar su resistencia ante cargas externas de tensión, momentos y cortante. Es esencial realizar un cálculo preciso de la carga máxima que cada perno puede soportar sin provocar deformaciones excesivas, y para ello se emplean las especificaciones SAE para seleccionar pernos adecuados que permitan un ensamble y desensamble seguro y fácil. Debido a que los pernos están sujetos a diferentes tipos de cargas que pueden causar la falla de la conexión, es importante considerar estos factores durante el diseño de la conexión (SHIGLEY, 2008).

Las cargas que están sometidas nuestro impactador son las cargas cortantes ya que pueden presentar una falla por corte puro, como se aprecia en la Ilustración 16-2.

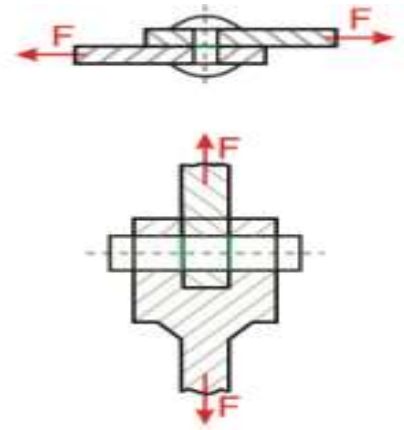


Ilustración 2-17: Junta sometida a carga por cizalla.

Fuente: (Guadalupe & Montero, 2013)

Para analizar el diseño mediante cizalla o corte utilizaremos las siguientes ecuaciones:

- **Diseño a cizalla primaria:** producto de una fuerza que produce el corte.

$$V_1' = \frac{P}{\# \text{ pernos}} \quad (2.9)$$

$$V_1' = V_2' = V_3' = V_4' \quad (2.10)$$

Donde:

P: Carga [N]

V_1' : Fuerza de corte [N]

- **Diseño a cizalla secundaria:** producto por momento torsos.

$$T = \sum r * V \quad (2.11)$$

$$V_1'' = \frac{T * r_i}{\sum r_i^2} \quad (2.12)$$

Donde:

T: Momento torsos (N.mm)

r: Distancia del centroide al perno (mm)

2.12. Juntas soldadas

La soldadura es un proceso de fabricación utilizado para unir dos materiales, fundiéndolos y agregando un material de relleno para crear una unión sólida. Durante el proceso, se produce un baño de material fundido que, al enfriarse, se convierte en una unión permanente entre los materiales (McCORMAC, 2011).

2.13. Aceros para la construcción

A continuación, se detalla los principales aceros existentes con sus propiedades mecánicas, para luego poder seleccionar la más adecuada, para la construcción del impactador.

2.13.1. Planchas ASTM A-36

El acero A36 es una aleación que contiene un 0.29% de carbono y pequeñas cantidades de minerales como manganeso y silicio, diseñada para mejorar su resistencia a la tracción y su capacidad de fluir. Es producido de acuerdo con la especificación ASTM A36 y ofrece una serie de ventajas en términos de resistencia a la tracción y compresión, además de ser económico. Debido a su facilidad para ser soldado, es el material más utilizado en la construcción de estructuras, como puentes y edificios (Aceros Especiales, 2020).

Además, se tiene otras ventajas como:

- Ductilidad y homogeneidad
- Soldabilidad
- Relación resistencia /precio
- Apto para ser cortado por llamas, sin endurecimiento

A continuación, en la tabla 3-2 se tiene el porcentaje de la composición química del acero ASTM A36, y en la tabla 4-2 se tiene las propiedades mecánicas de este acero.

Tabla 2-3: Propiedades químicas del acero ASTM -36

Composición Química					
%C	%M	%Si	% P	%S	%Cu
0.25-0.29	0.80-1.2	0.4	0.4	0.05	0.20

Fuente: (Dipac , 2021)

Tabla 2-4: Propiedades mecánicas del acero ASTM -36

Propiedades Mecánicas						
Esfuerzo de Fluencia		Esfuerzo de tracción		Elongación	Dureza	
Kg/mm^2	MPa	Kg/mm^2	MPa	%	HB	HRC
25.5	250	4.8	400	200	178	67-83

Fuente: (Dipac , 2021)

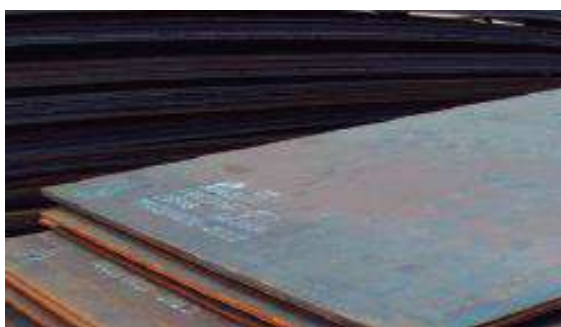


Ilustración 2-18: Planchas de acero ASTM A36

Fuente: (Aceros Especiales, 2020)

2.13.2. Planchas Anti abrasivas

Las planchas anti abrasivas tienen una alta resistencia al desgaste, también son tenaces y resistentes a la corrosión que la mayoría de los aceros al carbono y su dureza esta entre 400 HB y 500 HB. Estos aceros son utilizados para la fabricación de tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, etc. En la siguiente tabla se detalla sus propiedades químicas (Dipac , 2021).

A continuación, en la tabla 5-2 se tiene el porcentaje de la composición química del acero Anti abrasiva, y en la tabla 6-2 se tiene las propiedades mecánicas de este acero.

Tabla 2-5: Composición química del acero Anti abrasiva

Composición química						
Dureza	C	Si	Mn	Cr	Ti	B
400 HB	0.26	0.55	1.6	0.4	0.02	0.004
500 HB	0.36	0.36	1.6	0.4	0.02	0.004

Fuente: (Dipac , 2021)

Tabla 2-6: Propiedades mecánicas del acero Anti abrasiva

Dureza	Resistencia Mecánica	Punto de Fluencia
400 HB	1316	1163
500HB	1449	1449

Fuente: (Dipac , 2021)

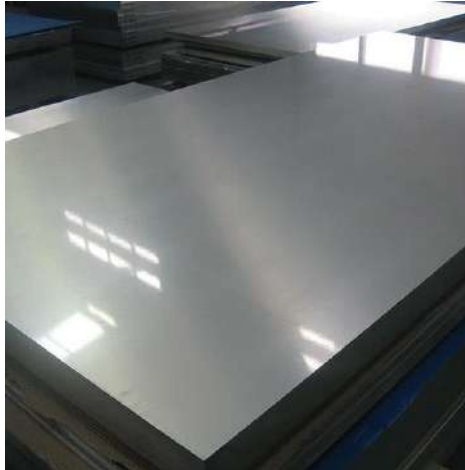


Ilustración 2-19: Plancha de acero Anti abrasiva

Fuente: (Dipac , 2021)

2.13.3. Planchas AISI 1045

Este tipo de acero es altamente apreciado en la ingeniería debido a su excelente calidad. Se somete a tratamientos térmicos para endurecer la superficie, lo que le confiere una alta resistencia. Además, posee una templabilidad y soldabilidad destacadas, lo que lo convierte en un material sumamente versátil en la fabricación de piezas que requieren una baja resistencia mecánica. Estas piezas incluyen manivelas, pernos, engranajes, ejes, árboles, piezas estampadas, chavetas y componentes sometidos a desgaste por fricción. Asimismo, encuentra aplicaciones en maquinaria en general y otros usos industriales (BÖHLER, 2023).

A continuación, en la tabla 7-2 se tiene el porcentaje de la composición química del acero AISI 1045, y en la tabla 8-2 se tiene las propiedades mecánicas de este acero.

Tabla 2-7: Propiedades químicas del acero AISI 1045

Composición Química					
%C	%Mn	%Si	% P	%S	%Cu
0.43-0.45	0.60 – 0.90	0.10 -0.20	0.04	0.05	-

Fuente: (BÖHLER, 2023)

Tabla 2-8: Propiedades mecánicas del acero AISI 1045

Propiedades Mecánicas						
Esfuerzo de Fluencia		Esfuerzo de tracción		Elongación	Dureza	
Kg/mm^2	MPa	Kg/mm^2	MPa	%	HB	HRC
37	250	63- 78	400	17	197-229	58

Fuente: (BÖHLER, 2023)

2.14. Ensayos de dureza

La dureza es una propiedad que se refiere a la resistencia que presenta un material en su superficie ante la penetración o el rayado, y está relacionada con sus propiedades elásticas y plásticas. Es un término que nos da una idea de solidez o firmeza de un material, y existen diferentes definiciones y métodos para medirla en función de la aplicación específica que se requiera (DAVIS, 2010).

Los ensayos de dureza se realizan en aceros, el cual permite determinar la dureza que presenta el material, en estos ensayos también se puede interpretar como la medición de la capacidad que tiene un material para oponerse a la penetración en la superficie. Para la penetración del material se requiere una gran fuerza. Luego de un ciclo de trabajo un material no presenta la misma dureza que en su inicio y se explica el por qué, de la dificultad de realizar este tipo de medición de dureza, existen varios tipos de ensayos de dureza los mismos presentan mediciones distintas (Egüez & Cano, 2011).

2.14.1. Dureza Brinell

Existen varios métodos para medir la dureza que presenta un material, se pueden realizar con una deformación local, con la ayuda de un indentador. El indentador se presiona en la superficie del material a ensayar, con una fuerza de manera lenta. La medida de la dureza en este ensayo se puede decir que es el cociente de la carga aplicada y el área que deja el indentador en la superficie al momento de ensayar, para realizar el ensayo de dureza Brinell se sigue la norma ASTM E 10-78 (DAVIS, 2010).

Tabla 2-9: Rango de Dureza Brinell

Diámetro de la bola (mm)	Carga (Kg)	Rango Recomendado de dureza Brinell
10	3000	96 - 600
10	1500	48 - 300
10	500	16 - 100

Fuente: (Egüez & Cano, 2011)

La Ilustración 19-2 nos indica el equipo utilizado para realizar el ensayo Brinell y de manera esquemática el indentador.

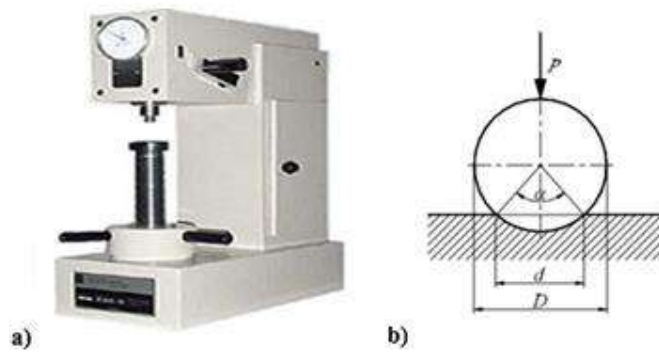


Ilustración 2-20: a) Equipo para ensayos de Dureza Brinell, b) Esquema del indentador.

Fuente: (Hermenegildo, 2018)

Para calcular la dureza Brinell reemplazamos los valores obtenidos en la siguiente ecuación:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.13)$$

Donde:

HB: Dureza Brinell [HB]

P: Carga Aplicada [Kg]

D, d: Diámetro del indentador [mm]

2.15. Método de corte

Existen varias formas de realizar un corte a una plancha de acero, estos cortes pueden ser automáticos o manuales. El corte automático es muy bueno en planchas gruesas, su velocidad puede ser rápida o lenta, esto puede presentar un alto costo. Mientras que el corte manual es aplicado en planchas de menor espesor y puede presentar un costo bajo (ESAB, 2021).

2.15.1. Oxicorte

El corte por combustión se lleva a cabo mediante la reacción química que ocurre al quemar los gases (propano, hidrógeno, acetileno, entre otros) junto con el oxígeno. Durante el proceso, el propio material se quema y se corta a medida que el soplete avanza. Aunque es adecuado para el corte de chapas de acero al carbono de baja aleación, no se puede utilizar en materiales que no reaccionan con el oxígeno, como cobre, latón, aluminio o acero inoxidable. Es importante tener en cuenta que, debido a que el material se quema durante el proceso, puede haber una distorsión térmica en la zona de corte (ALSIMET, 2017).

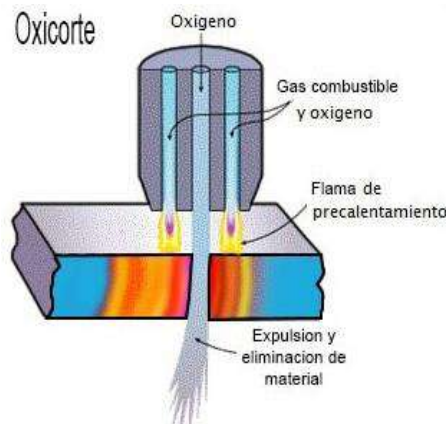


Ilustración 2-21: Corte por combustión

Fuente: (Tecnologías en soldadura , 2019)

2.15.2. Corte por plasma

El corte por plasma se lleva a cabo mediante un chorro de gas que es calentado por un arco eléctrico de corriente continua. Este chorro de gas-plasma interactúa con el metal y funde la zona de corte. Es un proceso muy utilizado en aceros estructurales, inoxidable y otros metales no ferrosos. Sin embargo, no es recomendable para elementos de menor tamaño debido a que pueden presentar deformaciones excesivas (ALSIMET, 2017).

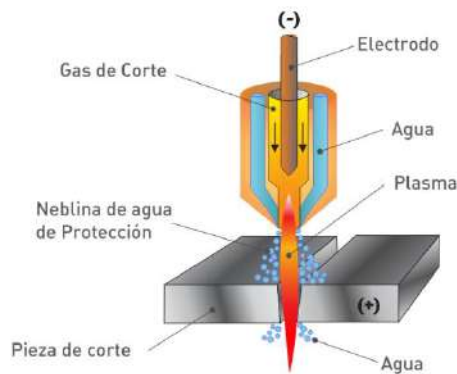


Ilustración 2-22: Corte por Plasma

Fuente: (TECNOLOGIA INDUSTRIAL 1° BACH , 2019)

2.15.3. Corte con láser

El corte con láser es apropiado en aceros dulces con un espesor máximo de 1,25 pulgadas (31.8 mm), presenta ajustes exactos el cual brinda confiabilidad en el trabajo. Este proceso de corte mediante láser es un proceso lento. Porque se necesita de calor extremo para poder quemar un acero dulce, pero antes de este proceso se debe realizar un precalentamiento a la zona de corte. Por lo que la velocidad se limita a la reacción química del hierro y el oxígeno. Este proceso es

exacto por lo que crea un ancho pequeño en la zona de corte y también se puede hacer orificios muy precisos. La calidad de corte es muy buena, ya que no produce mucha escoria (ESAB, 2021).

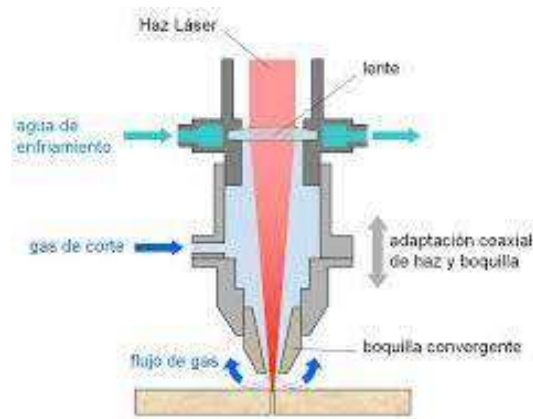


Ilustración 2-23: Corte por Láser

Fuente: (Bresciani, Cocquio, & Ricci, 2010)

2.16. Proceso de mecanizado

El mecanizado es un proceso que se lleva a cabo con la ayuda de máquinas y herramientas, para dar forma a las piezas de trabajo. Este proceso implica varias pasadas de operaciones con diferentes herramientas. A lo largo del proceso de mecanizado se pueden distinguir dos fases: desbaste y acabado. El desbaste se realiza para eliminar una cantidad de material del elemento a mecanizar, sin la necesidad de precisión en el corte. Por otro lado, el acabado se realiza en la última pasada con la herramienta, para obtener una pieza de alta calidad en dimensiones, tolerancias y acabado superficial (Ingemecánica, 2016).

2.16.1. Clasificación de los procesos de mecanizado

A continuación, se describen los principales procesos de mecanizados por arranque de material que son usados comúnmente.

2.16.1.1. Fresado

Este proceso de mecanizado es el más común y se realiza por arranque de viruta, utilizando una máquina herramienta llamada fresadora. Para este caso se utiliza una herramienta rotativa llamada fresa. Además, el arranque del material se produce por la combinación de movimientos como el circular y desplazamiento (Ingemecánica, 2016).



Ilustración 2-24: Proceso de mecanizado mediante fresa

Fuente: (Ingemecánica, 2016)

2.16.1.2. Taladrado

Este proceso de mecanizado se la realiza con una herramienta llamada taladro, esta herramienta se utiliza para realizar perforaciones en piezas, tanto pasantes como ciegos. Para llevar a cabo este trabajo, la pieza debe permanecer fija, mientras que la herramienta de corte (broca) debe girar y desplazarse longitudinalmente haciendo agujeros en la pieza. Al taladrar metales se produce siempre un calor excesivo, debido a la fricción que existe entre la pieza y la broca, por lo que se recomienda que el operador siempre mantenga refrigerado la herramienta durante todo el proceso (Ingemecánica, 2016).

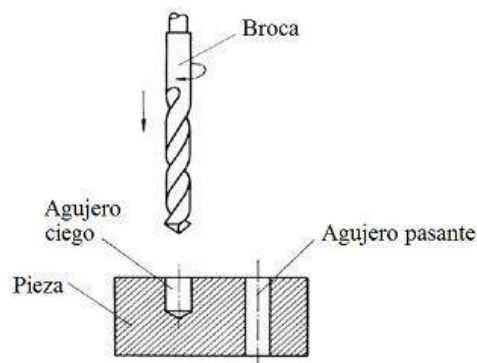


Ilustración 2-25: Corte mediante taladrado

Fuente: (Ingemecánica, 2016)

La máquina mandrinadora es una herramienta versátil que se puede utilizar para diversas tareas, como taladrar agujeros, desbastar y obtener un acabado superficial de alta calidad. Es especialmente útil para reducir la rugosidad en la superficie de las piezas terminadas, particularmente en agujeros de forma cilíndrica o cónica. Además, esta máquina es adecuada para la creación de roscas de alta precisión en el interior de las piezas (Ingemecánica, 2016).



Ilustración 2-26: Mandrinadora para de mecaniza

Fuente: (Ingemecánica, 2016)

2.16.1.3. *Desbaste*

Es el proceso que permite eliminar una cantidad considerable de material de una pieza sin dar mucha importancia a su calidad superficial y su tolerancia. Por lo general, es un proceso inicial de limpieza, para lo cual se utilizan herramientas robustas (Alpha Pernía, 2018).

2.16.1.4. *Acabado*

Es el proceso de precisión que permite tener un buen acabado superficial y tolerancias exigidas por el cliente. En el acabado, el desprendimiento del material es menor que en el desbaste, por lo general se puede decir que es el último paso que se realiza en una pieza, con el cual se obtiene un buen acabado superficial y acatar a las dimensiones detalladas en un plano (Alpha Pernía, 2018).

2.17. Sistema elevación por Electroimán

Los elevadores magnéticos son dispositivos empleados en el levantamiento y manipulación de planchas de acero, bloques y piezas mecánicas. Estos dispositivos destacan por su rendimiento óptimo a pesar de su tamaño compacto, ya que son ligeros y poseen una gran fuerza de sujeción, permitiendo elevar cargas de hasta 2000 kg. Para desactivarlos, cuentan con un interruptor manual que facilita la liberación de la carga. Estos elevadores son altamente convenientes y seguros en su utilización (MAGNET, 2023).



Ilustración 2-27: Electroimán

Fuente: (MAGNET, 2023)

2.18. Normativa de referencia

Las normas internacionales NCHRP 350 y 656 son utilizadas para la construcción del impactador para el péndulo, ya que están diseñadas para evaluar el desempeño de seguridad de dispositivos viales, como barandas de puentes, transiciones y terminales. Estas normas establecen condiciones específicas, como la masa, velocidad, ángulo de aproximación del vehículo y punto de impacto, para evaluar el daño ocurrido en las barandas durante los ensayos de impacto (NCHRP-656, 2010).

Además, aseguran la calidad en la construcción del impactador y en los ensayos de impacto en las barandas, mientras que la Norma Ecuatoriana INEN 2473 se utiliza para la instalación de las barandas, estableciendo las propiedades mecánicas y dimensiones que deben cumplir. Por su parte, la norma de la Unión Europea EN 1317 certifica la calidad y seguridad de los sistemas de contención de vehículos mediante ensayos que simulan accidentes a escala real (METALESA, 2020).

Este tipo de pruebas se realizan para evaluar la resistencia estructural de la baranda ante un impacto, también conocer la reacción de vehículo y los daños que pueden sufrir los usuarios después del impacto.

Tabla 2-10: Codificación de baranda de seguridad según el tipo de vehículo

T1	T3	N1	N2	H1	H2	H3	H4a	H4b
1.300 kg 80 km/h Angulo 8°	10.000 kg 70 km/h Angulo 8°	1.500 kg 80 km/h Angulo 20°	1.500 kg 110 km/h Angulo 20°	10.000 kg 70 km/h Angulo 15°	13.000 kg 70 km/h Angulo 20°	16.000 kg 80 km/h Angulo 20°	30.000 kg 65 km/h Angulo 20°	38.000 kg 65 km/h Angulo 20°
TB 21	TB 41 + TB 21	TB 31	TB 32 + TB 11	TB 42 + TB 11	TB 51 + TB 11	TB 61 + TB 11	TB 71 + TB 11	TB 81 + TB 11

TB 11: 900 kg - 100 km/h - Angulo 20°

Fuente: (UNE-EN-1317, 2010).

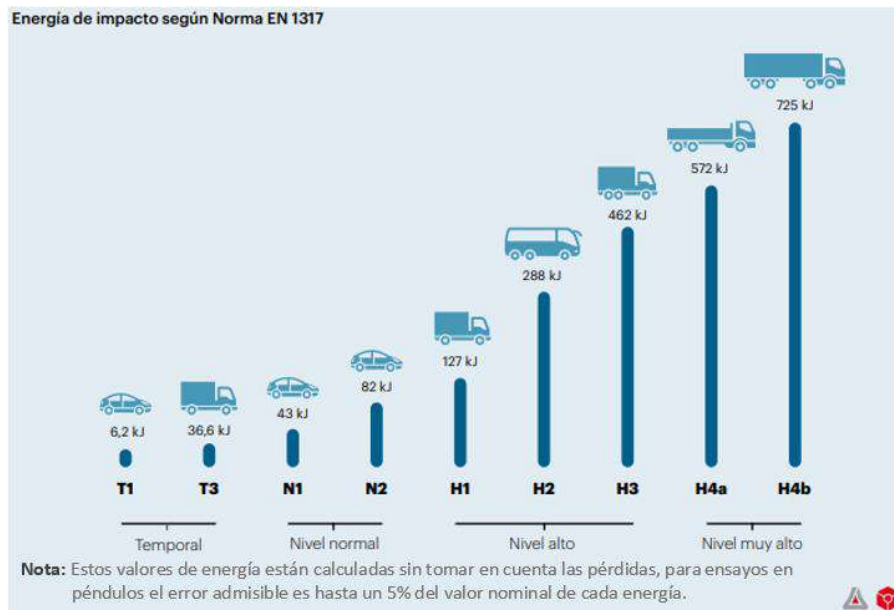


Ilustración 2-28: Energía Cinética según Norma EN 1317

Fuente: (UNE-EN-1317, 2010)

Este capítulo explica los conceptos de seguridad vial, sistemas de contención y dispositivos de protección. Se mencionan las normas internacionales como NCHRP 350 y 656, así como la norma de la Unión Europea EN 1317, que establecen los requisitos para la construcción de sistemas de contención y dispositivos de protección. Se describe el uso de tecnología de imanes en elevadores magnéticos para la manipulación de carga en trabajos pesados. También se menciona la norma ecuatoriana INEN 2473, que establecen los requisitos para la construcción de dispositivos de impacto y barandas. Se explica la importancia de los ensayos de impacto para evaluar el desempeño de los dispositivos de protección.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo es muy importante ya que describe explícitamente el procedimiento del desarrollo de la investigación, en la cual se menciona la selección, dimensionamiento y diseño del equipo que conforma el impactador (cara del impactador, masa del péndulo y sistema de acople). Para esto se ha propuesto conveniente usar la metodología realizada por la Asociación Alemana de Ingeniería basada en la norma VDI 2221, para establecer la mejor solución idónea es imprescindible plantear los problemas que se deben solucionar, esto se consigue mediante la identificación de la lista exigencias y requerimientos necesarios que la solución debe cumplir. Se plantean varias alternativas y se comparan mediante criterios para elegir la mejor solución disponible para el diseño del impactador. El objetivo es asegurar que el equipo cumpla con todas las necesidades del usuario.

3.1. Metodología VDI 2221

La metodología VDI es ampliamente empleada por los ingenieros de diseño de maquinaria debido a que se considera la más importante y precisa en comparación con otras metodologías disponibles.

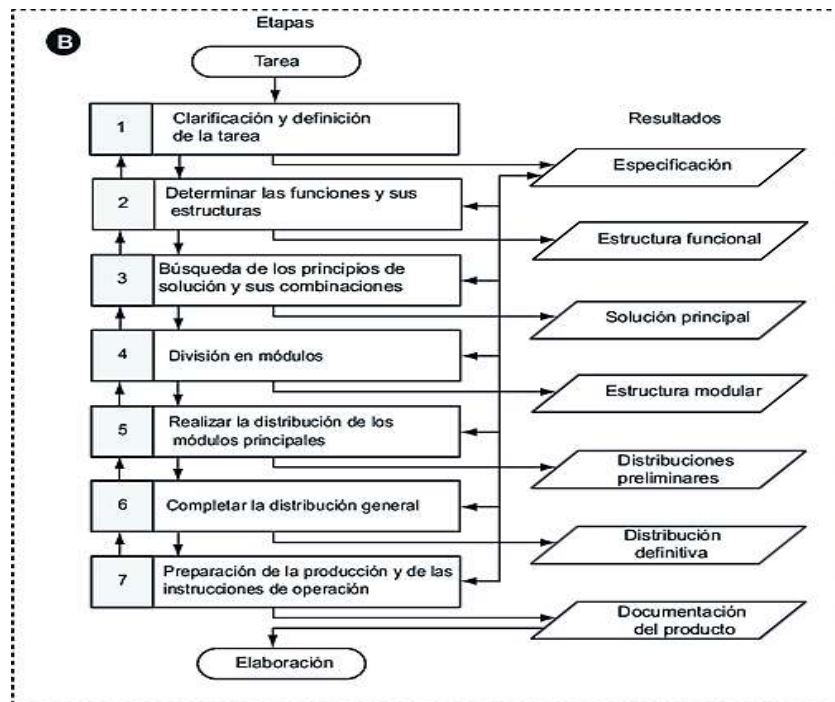


Ilustración 3-1: Metodología de diseño según la norma VDI 2221

Fuente: (Riba, 2002)

Esta metodología resulta particularmente beneficiosa para el rediseño o mejora de productos, ya que aborda en detalle el problema en cuestión y ofrece un enfoque de diseño centrado en los requisitos, modelos conceptuales y una fase de implementación para la fabricación.

Este método considera cuatro fases de diseño, que son las siguientes:

- Compresión de la solicitud
- Concepción de la solución
- Elaboración del proyecto
- Elaboración de detalles

El proceso de diseño es importante seguir el esquema 25-3, la cual establece una subdivisión en cuatro fases y siete etapas. Cada una de estas fases y etapas presenta una serie de pasos que deben seguirse cuidadosamente para lograr el desarrollo del diseño de manera efectiva. En este sentido, se plantean varios procesos y estrategias para definir los requerimientos necesarios y, a partir de ellos, elegir la mejor solución posible. Es fundamental tener en cuenta cada uno de estos procesos para lograr un diseño de calidad y asegurar el éxito del equipo en su funcionamiento.

Para garantizar un buen diseño y construcción del equipo, se ha establecido un esquema de secuencia de pasos que debe seguirse a continuación se muestra en la figura 2-3.

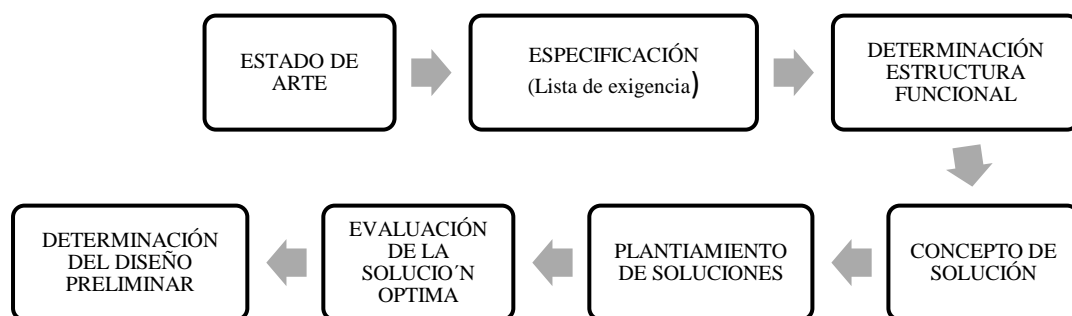


Ilustración 3-2: Secuencia de pasos a seguir para el diseño

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.1.1. Lista de exigencia

Es importante llevar a cabo una investigación completa de todos los equipos disponibles en el mercado que puedan resultar relevantes para el diseño. Para ello, es necesario recopilar toda la información técnica disponible, incluyendo normativas, catálogos de productos, artículos científicos y tesis relacionadas con el tema

La lista de exigencias es un documento fundamental en el proceso de diseño ya que establece los requerimientos necesarios y los objetivos a alcanzar para la creación del equipo. Este documento constituye el punto de partida y especifica las características principales que el diseño debe

cumplir hasta la obtención del producto final. La lista de exigencias se enfoca en cuatro conceptos fundamentales, los cuales se describen a continuación:

- Fecha de modificación
- Deseo o exigencias
- Descripción
- Responsable

En la siguiente tabla 1-3 se describe la lista de exigencia que cuantifica posibles requerimientos para lograr un buen diseño del equipo.

Tabla 3-1: Lista de exigencia

LISTA DE EXIGENCIAS		Edición:
PROYECTO	“Diseño e Implementación de un Impactador para realizar ensayos de impacto en barreras de seguridad adaptable al péndulo de impacto del grupo de investigación “GDP” de la Facultad de Mecánica”	Fecha:28-04-2023
		Revisado: S. López
Cliente	Grupo de investigación “GDP” de la Facultad de Mecánica”	Elaborado:
Deseo o exigencia	Descripción	Responsable
E	FUNCIÓN PRINCIPAL: - Generar energía de impacto de 6.2 KJ y ver su funcionalidad ante los ensayos realizados en las barandas de seguridad	Paguay, R & Betún D.
E	GEOMETRÍA: - El equipo debe diseñarse de una manera tal que cumpla con las dimensiones establecidas por la NCHRP. - Ancho de 90 cm, largo 65cm - Altura 40cm - Masa de 1300 Kg - Cara de impactador: redondo de radio de 152mm - Conexión simple	Paguay, R & Betún D.
E	CINEMÁTICA: - El péndulo debe tener un movimiento rotativo - Su velocidad debe ser máx. 3.09 m/s	Paguay, R & Betún D.
E	ENERGÍA: - Para levantar el péndulo cargado una masa de 1300kg el accionamiento debe ser mediante un electroimán alimentado por la energía eléctrica.	Paguay, R & Betún D.
E	MATERIAL: - Los materiales para la construcción del impactador deberán utilizar existentes en el mercado.	Paguay, R & Betún D.

	- Los materiales para utilizar deberán tener buenas propiedades mecánicas que puedan resistir impactos.	
E	MANTENIMIENTO: - El equipo debe disponer de un programa de verificación de elementos conocido como Check List. - Los elementos del impactador serán de fácil mantenimiento	Paguay, R & Betún D.
E	SEGURIDAD: - El equipo debe garantizar la seguridad del usuario durante su operación, para evitar cualquier tipo de accidente o riesgo potencial. - El sonido del péndulo no pueda exceder los estándares permisibles en la NTP. - Es fundamental asegurar que el equipo cumpla con las normativas y estándares de seguridad correspondientes para garantizar la integridad física del usuario y prevenir posibles incidentes.	Paguay, R & Betún D.
E	COSTO: - El costo del equipo debe ser competitivo y ajustado a un presupuesto razonable - Se buscará optimizar los costos de producción y materiales, sin afectar la eficacia y durabilidad del equipo.	Paguay, R & Betún D.
E	ENSAMBLAJE: - Los elementos del impactador deben ser fáciles de montar y desmontar para facilitar su uso.	Paguay, R & Betún D.

Realizado por: Paguay, R & Betún D.2023

3.1.2. Determinación de la estructura de funciones

La principal función que tiene el impactador es golpear a una baranda de seguridad, pero para que lleve a cabo esta operación es necesario realizar varios pasos intermedios para conseguir el resultado esperado. Para ello, se utiliza la metodología de caja negra, la cual nos permite identificar y clarificar las diferentes etapas que se deben seguir para transformar una condición de entrada en una condición de salida.

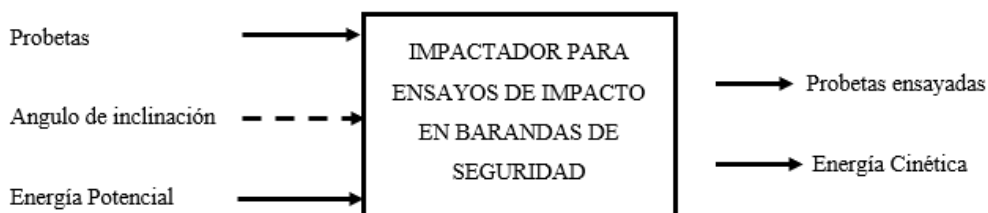


Ilustración 3-3: Función principal del impactador

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Para el funcionamiento del equipo los factores importantes que se considera para las condiciones son:

Condición de entrada:

- Probetas de material acero galvanizado
- Una fuente de alimentación
- Una señal puesta en marcha para la adquisición de datos

Condición de salida:

- Probetas ensayadas
- Energía cinética
- Resultados de los ensayos realizados

3.1.3. Conceptos de solución

Para encontrar un concepto de soluciones hay muchos caminos, unas tradiciones y los otros con nuevas tecnologías, para llegar a las soluciones se recurre a la matriz morfológica, de esta manera se pretende construir un sistema de soluciones completo para el diseño del impactador.

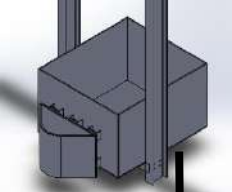

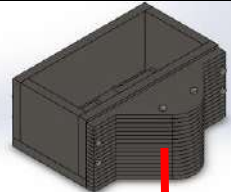









Para lograr este proceso, se ha realizado una matriz morfológica. Esta matriz se divide en funciones parciales con el fin de identificar los elementos que cumplan con estas funciones. De esta manera, el diseñador tendrá varias opciones para llegar a la mejor solución. Estas opciones se mencionan a continuación:

1. Material de compensación
2. Sistema de elevación
3. Medición del ángulo
4. Sistema de liberación
5. Recolección de datos

3.1.3.1. Matriz morfológica

La matriz morfológica se elabora con el fin de encontrar una alternativa de solución concreta y eficiente que satisfaga dicha función.

Tabla 3-2: Matriz Morfológica

MATRIZ MORFOLÓGICA DE DISEÑO DEL IMPACTADOR PARA ENSAYOS DE IMPACTO EN BARRERAS DE SEGURIDAD			
FUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Tipo de material	 Arena	 Concreto	 Acero
Elevación del impactador	 Manual	 Teclé	 Puente grúa
Medición del ángulo	 Inclinómetro	 Sensor de ángulo	
Liberación del impactador	 Manual	 Mecanismo	 Electroimán
Recolección de datos		 Adquisición de datos	

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Leyenda de soluciones

-  S1 (Solución 1)
-  S2 (Solución 2)
-  S3 (solución 3)

3.1.4. Planteamiento de soluciones

Se propone elegir la mejor alternativa de solución para el diseño del impactador y para su posterior ensayo de impacto, mediante la combinación realizada anteriormente. A continuación, se detallan cada una de ellas, teniendo en cuenta tanto sus ventajas como desventajas ya estas soluciones son

3.1.4.1. Concepto de solución 1

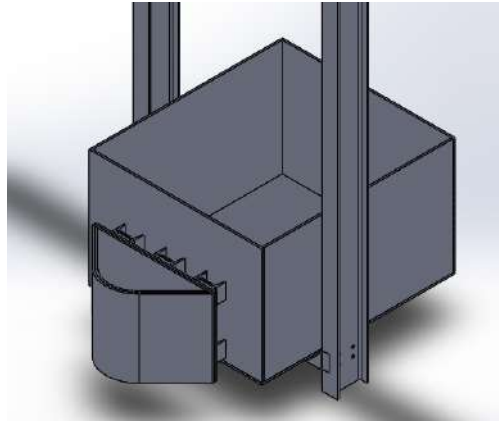


Ilustración 3-4: Impactador relleno con arena

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Para esta solución 1 se consideró: utilizar planchas de acero de 3 mm para el exterior y para llegar alcanzar la masa deseada rellanar la arena fina en su interior, además para poder elevar el péndulo, se puede realizar manualmente mediante un cabo mientras, el ángulo se medirá a través de un inclinómetro magnético. Para liberar el péndulo desde una altura inicial, se utiliza manualmente cortante el cabo y con ello libere el péndulo hasta obtener la energía requerida. Finalmente, se recopila los datos a través de un software instalado en el péndulo. La ventaja de esta solución radica en el considerable ahorro económico y de tiempo que supone.

Desventajas:

- Al utilizar la arena las dimensiones del impactador se ven afectados, ya que los brazos del péndulo es imposible modificar.
- La arena no es un material homogéneo por lo cual al momento de impactarse su centro de gravedad se verá afectado.
- Al momento del impacto las planchas podrían deformar
- Para levantar un péndulo de 1300 Kg con la fuerza humana será muy difícil ya que se necesita por lo menos 20 personas para poder elevar
- El inclinómetro debe ser reiniciado antes de colocar

- Para liberar el péndulo manualmente como en cortar el cabo es un riesgo para el operario por puede ocasionar algún accidente.
- El software debe estar calibrado para una buena recolección de datos.

3.1.4.2. Concepto de solución 2

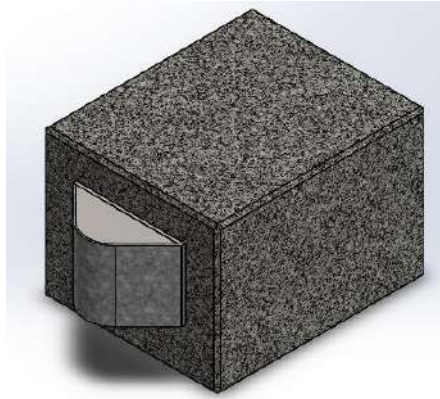


Ilustración 3-5: Impactador de concreto

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Para esta solución 2 se consideró: utilizar el concreto para el cubo, mientras para la cara del impactador plancha de acero de 10 mm con un radio de curvatura. Para elevar el péndulo, se emplea un teclé que permita su elevación a medida que la cadena se desplace siga elevando el impactador mientras para medir el ángulo se requiere utilizar un inclinómetro magnético. Para liberar el péndulo desde una altura inicial, se requiere un mecanismo tipo gancho. Por último, los datos se recopilarán a través de un software instalado en el péndulo. La principal ventaja de esta solución radica en la reducción considerable del costo de construcción.

Desventajas;

- Para una masa considerable sus dimensiones se ven afectadas.
- Construir la masa de concreto y la cara del impactador de acero al momento del impacto. Se degrada o presenta fisuras, por ende, se verá afectada su centro de gravedad.
- Para realizar el radio de curvatura del impactador a una plancha de acero de 10mm de espesor es muy complejo.
- Para levantar un péndulo de 1300 Kg mediante el teclé se requiere un esfuerzo mayor al operario y a veces la cadena se puede atorar.
- Cómo es un sistema de masa variable para cada ensayo de utilizará el cubo de concreto.
- El inclinómetro debe ser reiniciado antes de colocar.
- El pasador presenta riesgo en atoramiento al liberar el péndulo.

3.1.4.3. Concepto de solución 3

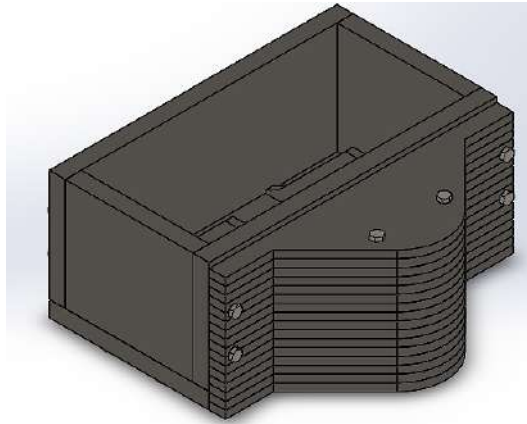


Ilustración 3-6: Impactador homogéneo de acero

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Para esta solución 3 se consideró: utilizar planchas de acero para todo el impactador por ende se mejora sus dimensiones en comparación a las soluciones anteriores y ganar su peso requerida ya que al construir con un solo tipo de material todo el impactador será homogénea, luego para elevar el péndulo, se empleará un puente grúa mientras el ángulo será medido ángulo mediante un encoder o sensor para ángulos. Para liberar el péndulo desde una altura inicial, se utilizará un electroimán que puede ser desenergizado mediante una señal de pulsos. Por último, los datos se recopilarán a través de un software instalado en el péndulo.

Desventajas;

- El puente grúa debe estar funcionando en condiciones óptimas.
- La desventaja es el costo de construcción.
- El encoder debe ser calibrado antes de su utilizar ya que es un sensor muy sensible.

3.1.5. Evaluación de la solución óptima

Después de analizar detalladamente las opciones de solución, es importante evaluarlas en función de criterios técnicos y económicos para elegir el diseño más apropiado. La evaluación total es difícil ya que no necesariamente se puede satisfacer toda la lista de exigencias por ello se usan los dos criterios ya mencionados en este contexto, se muestran las evaluaciones técnicas y económicas correspondientes en las tablas 3-3 y 4-3, respectivamente.

Tabla 3-3: Criterio técnico

CRITERIOS TÉCNICOS				
Ponderaciones.				
Puntaje de 0 a 4 (escalas de valores según la norma VDI 2221)				
0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien(ideal)				
Criterio de evaluación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución ideal
Montaje	1	1	2	4
Resistencia	1	1	3	4
Maniobrabilidad	2	1	2	4
Durabilidad	1	1	3	4
Seguridad	2	2	2	4
Tiempo de construcción	1	1	2	4
TOTAL	8	7	14	24
Valor técnico Xi	0.33	0.29	0.58	1

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Tabla 3-4: Criterio económico

CRITERIOS ECONÓMICOS				
Ponderaciones.				
Puntaje de 0 a 4 (escalas de valores según la norma VDI 2221)				
0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien(ideal)				
Criterio de evaluación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución ideal
Costo de materiales	2	2	3	4
Costo de equipos y herramientas	1	1	2	4
Costo de mano de obra	1	1	2	4
Costo de transporte	1	2	3	4
Costos imprevistos	1	1	2	4
Costo de fabricación	1	2	3	4
TOTAL	7	9	15	24
Valor técnico Xi	00.29	037	0.63	1

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Luego de realizar la evaluación técnica y económica de cada una de las alternativas, se representa en un diagrama de dispersión, en donde al comparar con la alternativa ideal, representando con una línea recta de 45°, se podrá elegir la alternativa de solución más cerca a la ideal.

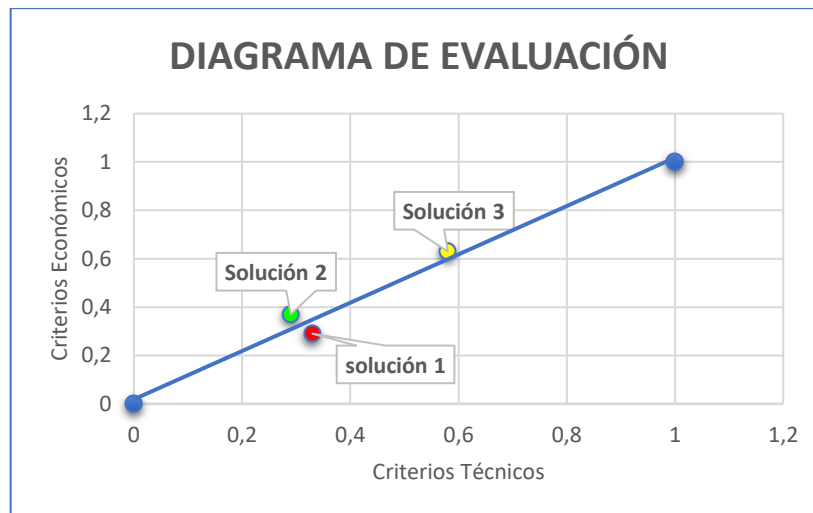


Ilustración 3-7: Diagrama técnico y económico

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

En la Ilustración 7-3 se puede apreciar que la opción de diseño más adecuada es la alternativa 3, ya que es la que se acerca más a la alternativa ideal, por lo tanto, será la más efectiva. Para su construcción, se utilizarán planchas de acero. Para elevar el péndulo se empleará un puente grúa y para medir el ángulo se utilizará un sensor. Para liberar el péndulo desde su altura inicial, se utilizará un electroimán. Por último, los datos se recopilarán mediante un software instalado en el péndulo y con el cual podrá generar una energía cinética de 6.2 KJ.

3.1.6. *Diseño a detalle de la solución óptima*

El impactador está compuesto por varias piezas que se ensamblan para formar el equipo. En la Ilustración 8-3 se muestra un detalle del diseño en CAD SolidWorks. Este equipo es utilizado para colisionar las barreras de seguridad en las pruebas y consta de dos elementos principales: el impactador y el martillo (o cubo), que concentra la masa del péndulo y representa el peso del vehículo de prueba según la norma NCHRP 350. Además, tiene dos brazos para acoplar al péndulo y se ha seleccionado como el diseño final.

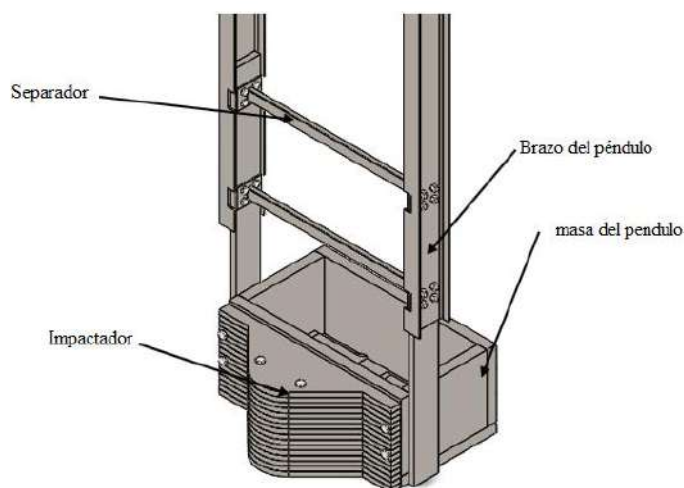


Ilustración 3-8: Diseño final del impactador

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

El péndulo está compuesto por las siguientes partes:

- Cara del impactador
- Martillo o masa del péndulo
- Separadores
- Acople al brazo del péndulo

3.2. Desarrollo de diseño mecánico del impactador

En este apartado se realiza el diseño mecánico de los elementos que conforman el impactador, posterior a esto se selecciona la mejor opción para el material a utilizar, para realizar este diseño se hace uso de software SOLIDWORKS 2018.

3.2.1. Dimensionamiento de la cara impactador

Según la norma NCHRP 656 establece que las medidas del impactador se tomara como referencia un automóvil que tenga la masa 1300 Kg, entonces siguiendo esta normativa se optó por elegir un vehículo de marca Chevrolet SPAR GT ya que esta tiene una masa bruta de 1368 Kg y es considerado la mejor opción para cumplir con la norma UNE EN 1317-2010 para realizar los ensayos de impacto. Con base a las medidas de este automóvil, se procede al dimensionamiento del impactador.

El dato inicial que se tiene es el ancho del impactador, que es de 900 mm. La separación entre brazos del péndulo construido no se puede modificar y también es de 900 mm.

✓ Altura de la cara del impactador

Para encontrar la altura de la cara del impactador, se utilizó el software AutoCAD, con el cual se pudo calcular la distancia desde la parte inferior del parachoques hasta el capó del vehículo, lo cual resultó tener 400 mm. Esto se puede visualizar en la Ilustración 9-3.

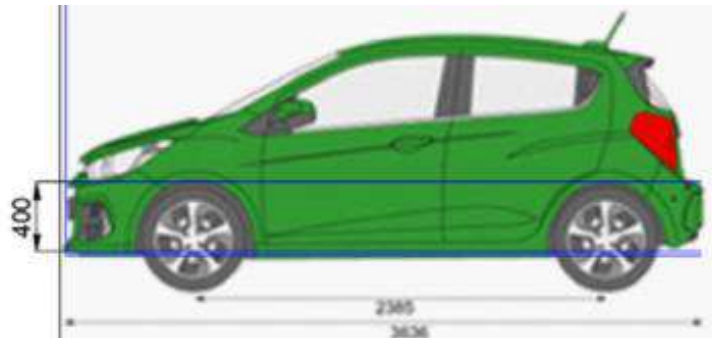


Ilustración 3-9: Altura de la cara del impactador

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

✓ Radio de curvatura de la cara del impactador

En cuanto al radio de curvatura de la cara del impactador, se ha considerado la esquina frontal del vehículo, la cual mide 152 mm de radio. La Ilustración 34-3 muestra la representación gráfica de esta medida.



Ilustración 3-10: Radio de curvatura de la cara del impactador

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.2.2. *Diseño de la cara del impactador*

Es importante que la cara del impactador esté ubicada en el centro del punto de impacto con la probeta para evitar fallas durante el impacto.

Se utilizó como referencia las medidas del automóvil Chevrolet SPAR GT para diseñar la cara del impactador. Esta se conformó en una forma triangular con un radio de curvatura de 152 mm y una altura de 400 mm, coincidiendo con la esquina frontal del vehículo. Para su sujeción a la cara frontal del cubo, se utilizaron 4 pernos M19, quedando, así como el diseño final. Esta información se detalla en la ilustración 11-3.

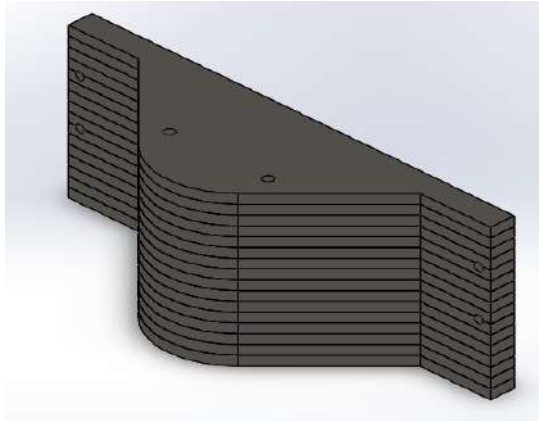


Ilustración 3-11: Diseño de la cara del impactador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.2.2.1. Cálculo de masa y volumen de la cara del impactador

La cara del impactador es una pieza crítica del impactador, ya que es el elemento que impacta directamente la probeta de ensayo. Por lo tanto, debe estar construida de un material con buenas propiedades mecánicas que pueda resistir cargas al impacto y cumplir con los requisitos del usuario. Para la creación de la geometría de la cara del impactador, se utilizó el programa SOLIDWORKS 2018, utilizando los datos encontrados anteriormente y posterior se calcula los valores de masa y volumen, de cada una de ellas asignando el material del acero A36 y su densidad.

Tabla 3-5: Propiedades físicas de la cara del impactador mediante programa SOLIDWORKS

Propiedades de masa de Plancha 2in impactador Configuración: Default Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Densidad = 7850.00 kilogramos por metro cúbico Masa = 24,55 kilogramos Volumen = 0.00 metros cúbicos Área de superficie = 0.31 metros cuadrados Centro de masa: (metros) X = 0.00 Y = 0.01 Z = -0.16	
--	--

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Después el software nos proporcionó la masa de la geometría de una de ellas con un valor de 24.54 kg, como se indica en la tabla anterior. Para obtener la masa total del impactador, fue necesario multiplicar la masa calculada por 16 de ellas así poder alcanzar la altura deseada de la cara del impactador. Esto se logró mediante la siguiente ecuación:

$$m_T = m * 16$$

$$m_T = 16 * 24.55 \text{ kg}$$

$$m_T = 392.8 \text{ kg}$$

Para calcular el volumen total del impactador, se multiplica el volumen de una de las piezas por 16, ya que es necesaria para alcanzar la altura requerida de la cara del impactador.

$$V_T = V_1 * 16$$

$$V_T = 16 * 0.0313 \text{ m}^3$$

$$V_T = 0.5 \text{ m}^3$$

Luego de realizar el diseño de la cara de impactador de una de ellas se procede a ensamblar la geometría quedando tipo sándwich y empernado con perno de $\frac{3}{4}$ x50 in.

3.2.3. *Diseño del martillo*

El martillo es un componente clave del equipo, ya que contiene la mayor parte de la masa y debe ser dimensionado de acuerdo con los requisitos necesarios. Para alcanzar la energía necesaria, el martillo debe tener el 75% del peso total, mientras que el resto del peso es complementado por la cara del impactador. Para la creación de la geometría del martillo, se utilizó el programa SOLIDWORKS 2018 y posterior se calcula el valor de la masa y volumen total, asignando el material del acero A36 y su densidad.

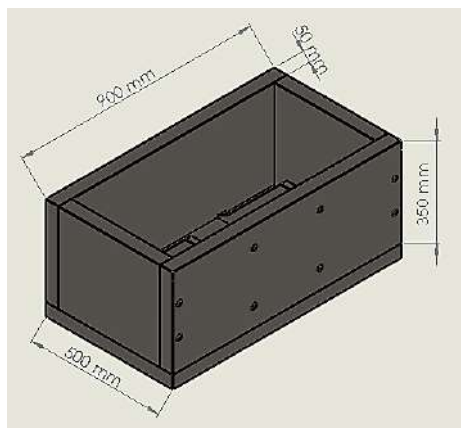


Ilustración 3-12: Diseño del martillo

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.2.3.1. Cálculo de masa y volumen de la masa del péndulo.

A continuación, se procede a realizar el cálculo del volumen del martillo, con el objetivo de hallar su masa total y la masa de cada una de sus partes. Posteriormente, se suman estas masas para obtener el valor total del martillo. Luego, se compara el resultado teórico con los datos proporcionados por el programa SolidWorks.

Se decidió utilizar acero A36 debido a su costo, y su densidad, que es de 730 Kg/m³. El volumen del martillo se divide en cinco partes.

Con la siguiente ecuación podemos calcular el volumen de todas las paredes del cubo.

$$V = A * e \quad (3.14)$$

$$V_1 = 0.5 * 0.9 * 0.05 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 0.0225 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0.35 * 0.9 * 0.05 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0.35 * 0.9 * 0.05 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0.01575 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 0.35 * 0.4 * 0.05 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 0.007 \text{ m}^3$$

Calculamos el volumen total con la siguiente expresión:

$$V_T = V_1 + 2V_2 + 2V_3$$

$$V_T = 0.07 \text{ m}^3$$

Para hallar la masa total de martillo se utiliza la ecuación de la densidad:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.15)$$

Donde:

m: Masa en (kg).

ρ : Densidad del material (kg/m³)

V: Volumen de elemento geométrico en (m³)

$$m_m = \rho_{acero} * V_m$$

$$m_m = 7850 \text{ Kg /m}^3 * 0.07 \text{ m}^3$$

$$m_m = 549.5 \text{ Kg}$$

Se verifica los valores de masa y volumen del martillo utilizando el programa SolidWorks y se observa que los resultados son muy similares a los cálculos previamente realizados.

Tabla 3-6: Propiedades físicas del martillo mediante programa SOLIDWORKS

Propiedades de masa de masa cubo Configuración: Default Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Masa = 555.74 kilogramos Masa de soldadura total = 0.00 kilogramos Volumen = 0.07 metros cúbicos Área de superficie = 3.88 metros cuadrados Centro de masa: (metros) X = 0.32 Y = 0.56 Z = 0.73 Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * Medido desde el centro de masa. Ix = (0.00, 0.00, 1.00) Px = 26.34 Iy = (1.00, 0.00, 0.00) Py = 57.33 Iz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 66.73	
---	--

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.2.4. Cálculo de centro de gravedad del impactador

Es importante que el centro de gravedad tanto del martillo como del impactador estén alineados para evitar que se presente un ángulo entre los brazos del péndulo y la vertical, lo cual podría afectar los resultados. Por esta razón, se lleva a cabo el cálculo del centro de gravedad del equipo para asegurarse de que esté ubicado en una posición óptima.

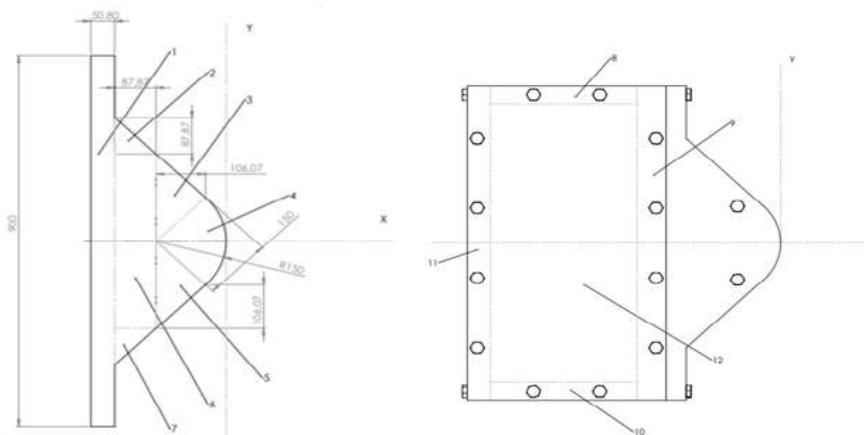


Ilustración 3-13: Dimensiones para el cálculo de centro de masa del impactador

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

El cálculo del centro de gravedad del impactador se realizó mediante la descomposición en áreas conocidas, y luego se utiliza el programa Excel para poder calcular aplicando las ecuaciones de áreas como se muestra en la tabla 7-3. De esta forma, se obtuvieron los valores del centro de gravedad del impactador. El objetivo de este cálculo es asegurar que el centro de gravedad del impactador esté colineal con el centro de gravedad de la masa, para evitar cualquier ángulo entre los brazos del péndulo y la vertical.

Tabla 3-7: Cálculo de áreas de cada elemento del impactador.

ELEMENTO	b(mm)	a(mm)	A(mm ²)	l(mm)	V(mm ³)	x bar	y bar	z bar	xbar * V	ybar * V	zbar * V	
1	50,8	900	45720	384	17556480	-263,27	0	192	-4622094490	0	3370844160	
2	87,87	87,87	386,056,845	384	1482458,28	-208,58	106,07	192	-309211149	157236938	284631991	
3	212,13	106,07	1,125,031,455	384	4320120,79	-114,643,333	106,07	192	-495273047	458235212	829463191	
4	4	150	1,767,145,868	384	6685840,13	-863,381,716	0	192	-577243213	0	1283681305	
5	212,13	106,07	1,125,031,455	384	4320120,79	-114,643,333	-106,07	192	-495273047	-458235212	829463191	
6	87,87	424,26	186,398,631	384	7157707,43	-193,935	0	192	-1388129991	0	1374279827	
7	87,87	87,87	386,056,845	384	1482458,28	-208,58	-106,07	192	-309211149	-157236938	284631991	
8	398,4	50,8	20238,72	349,2	6067361,02	-538,67	874,6	174,6	-3268305363	5306513952	1059361235	
9	50,8	900	45720	349,2	14965424	-339,47	0	174,6	-5080312485	0	2612963030	
10	398,4	50,8	20238,72	349,2	6067361,02	-538,67	-874,6	174,6	-3268305363	-5306513952	1059361235	
11	50,8	900	45720	349,2	5965424	-763,27	0	174,6	-4553229176	0	1041563030	
12	500	900	450000	50,8	12860000	-538,67	0	25,4	-6927296200	0	326644000	
					SUMA	88930755,8				-3.13E+14	0	1.44E+14

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Una vez que se ha calculado el volumen de cada elemento, se procede a utilizar la siguiente ecuación para calcular el centro de masa en las tres direcciones.

Plano XY

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x} * V}{\sum V}$$

$$\bar{x} = \frac{3.13 * 10^{10}}{88930755.8} = -351.89mm$$

$$\bar{y} = \frac{\sum \bar{y} * V}{\sum V}$$

$$\bar{y} = \frac{0}{88930755.8} = 0$$

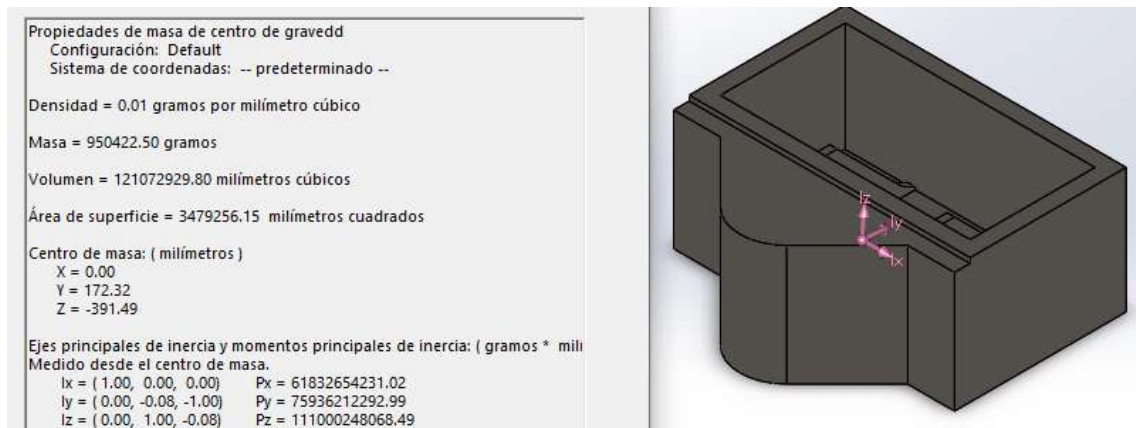
Plano YZ

$$\bar{z} = \frac{\sum \bar{z} * V}{\sum V}$$

$$\bar{z} = \frac{1.43 * 10^{10}}{88930755.8} = -161.43mm$$

Con la ayuda del programa SOLIDWORK 2018 se procede a calcular los valores de masa, volumen y centro de gravedad del impactador y luego se compara los resultados obtenidos mediante ecuaciones. Sin embargo, se observa que los valores son similares a cálculo teórico.

Tabla 3-8: Propiedades físicas del impactador mediante programa SOLIDWORKS



Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Con los cálculos realizados del centro de gravedad del impactador, podemos determinar las coordenadas para ubicar la posición exacta de anclaje del equipo en el péndulo.

3.2.5. *Diseño de brazo del impactador*

El diseño de los brazos se llevó a cabo utilizando el programa SOLIDWORKS 2018, teniendo en cuenta las dimensiones requeridas. Estos brazos son responsables de soportar el 90% de la masa del impactador, por lo tanto, deben construirse con un material resistente que pueda soportar deformaciones durante los ensayos de impacto en las barandas de seguridad.

Para cumplir con estos requisitos, se optó por utilizar planchas de acero A36 con un espesor de 25 mm. Este material ofrece la resistencia necesaria y garantiza la durabilidad y seguridad del sistema durante las pruebas de impacto. Además, se pudo obtener la masa total de este elemento que es de 91.84 Kg.

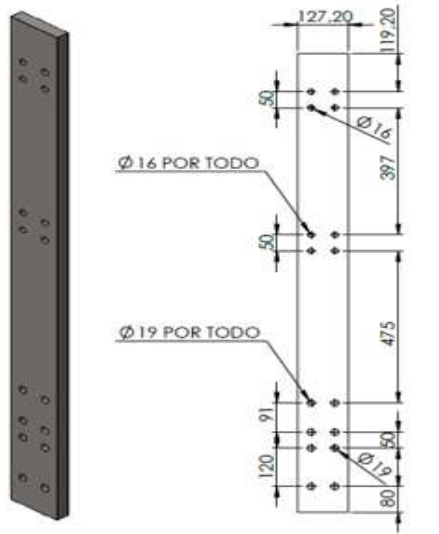


Ilustración 3-14: Diseño de brazo de acople.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.2.6. Cálculo de la masa total del péndulo

Una vez obtenida la masa de cada una de las partes que constituyen el impactador, se realiza la suma de todas aquellas para poder calcular la masa total del péndulo. Esta información se presenta en la tabla 9-3.

Tabla 3-9: Masa total del equipo

PARTES	MASA
Brazo del péndulo (Perfil IPE 160)	126 kg
Cara del impactador	392.8 Kg
Separador	130 kg
Brazo del Impactador	91.84 Kg
Pernos	8 kg
Martillo	555.74 Kg
TOTAL	1304.38 Kg

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.2.7. Cálculo de centro de gravedad del péndulo

Para calcular la posición del centro de masa del péndulo, utilizaremos la ecuación que involucra la distancia de ubicación del centro de gravedad. Esto nos permitirá obtener la posición del péndulo y la altura inicial de elevación.

$$G = \frac{H}{1 - \cos \theta} \quad (3.16)$$

$$G = \frac{0.487}{1 - \cos 27^\circ}$$

$$G = 4.47 \text{ m}$$

La distancia del centro de masa del péndulo con respecto al eje de giro es de 4.47 m.

3.2.8. Cálculo de la velocidad de caída del péndulo

Para calcular la velocidad de impacto, se lleva a cabo un análisis basado en la Ilustración 15-3. En dicha ilustración se representa un automóvil a escala real que se va a impactar contra la baranda según la norma EN UNE 1317. Los parámetros utilizados son una velocidad de 80 km/h y un ángulo de impacto de 8°. Para este estudio, nos basamos en la norma NCHRP 656, que indica la necesidad de descomponer esta velocidad en dos direcciones, "X" e "Y".

Por lo tanto, la velocidad del péndulo de impacto es la velocidad perpendicular a la baranda de seguridad. Esta velocidad nos permite simular el choque lateral del vehículo contra la baranda de seguridad. A continuación, se procede a realizar los cálculos utilizando funciones trigonométricas con el fin de obtener el valor real del péndulo.

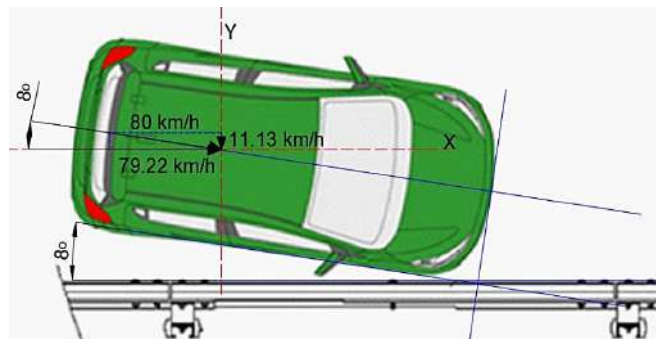


Ilustración 3-15: Análisis de la velocidad de un ensayo real

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Para calcular las velocidades en "x" e "y" aplicaremos las funciones trigonométricas.

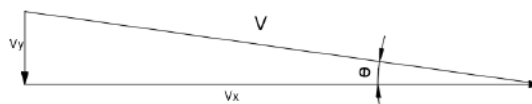


Ilustración 3-16: Velocidad en los ejes X, Y.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

$$V_x = V * \cos \theta^\circ$$

$$V_y = V * \sin \theta^\circ$$

$$V_x = 80 \frac{km}{h} * \cos 8^\circ$$

$$V_y = 80 \frac{km}{h} * \sin 8^\circ$$

$$V_x = 22 \frac{m}{s}$$

$$V_y = 3.09 \frac{m}{s}$$

$$V_x = 79.22 \frac{km}{h}$$

$$V_y = 11.13 \frac{km}{h}$$

La velocidad que el péndulo adquiere antes de impactar contra la probeta es de 3.09 m/s o 11.13 km/h.

A continuación, en la Ilustración 17-3 muestra cómo reemplazar un automóvil de prueba. Es importante mencionar que, a diferencia del péndulo, que solo puede generar fuerzas laterales y realizar impactos perpendiculares a la baranda, esta solución se acerca más a las condiciones de las pruebas a escala real.

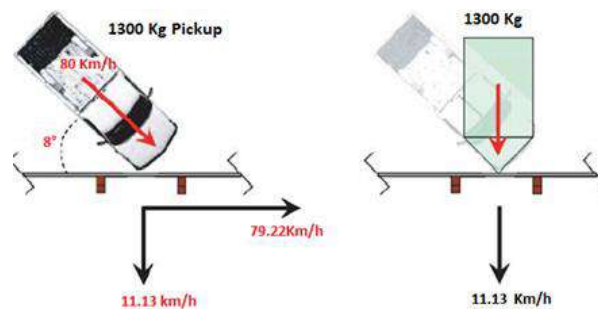


Ilustración 3-17: Vehículo de prueba e impactador

Fuente: (NCHRP-656, 2010)

Es importante destacar que la velocidad obtenida corresponde al punto más bajo del péndulo, es decir, al punto de equilibrio justo antes de impactar contra la probeta.

3.2.9. Cálculo de la altura de elevación del péndulo

Para determinar la altura de elevación adecuada del péndulo, se lleva a cabo un balance energético cuando el péndulo este en lo más alto y cuando se encuentra en el punto más bajo mediante la Ilustración 18-3.

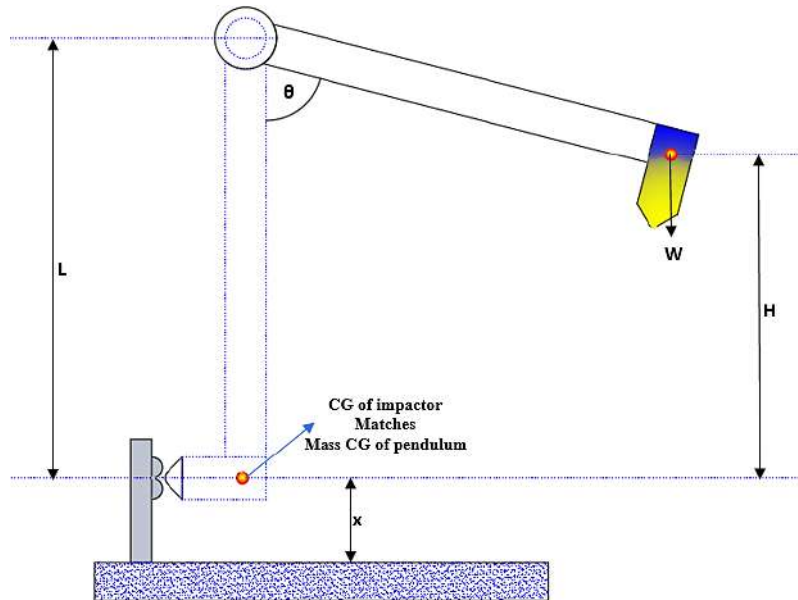


Ilustración 3-18: Configuración del péndulo

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Aplicando el principio de conservación de energía, podemos mencionar que la energía potencial se transforma en energía cinética a medida que el péndulo caiga hasta el momento del impacto. Entonces para calcular la altura de elevación del péndulo se utilizará la ecuación (2.5) y resolver para el variable h Entonces mediante esta ecuación se calcula la altura necesaria que se debe elevar el péndulo.

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad (3.17)$$

Al reemplazar la velocidad en la ecuación anterior, se obtiene el valor del péndulo de impacto.

$$h = \frac{3.09^2}{2 * 9.81}$$

$$h = 0.487 \text{ m}$$

3.2.10. Cálculo de ángulo de elevación del péndulo

Para calcular el ángulo de elevación, se utiliza la ecuación (2.6), la cual está relacionada con la altura a la que se libera el péndulo, así como el ángulo (θ) y la distancia desde el eje de rotación hasta el punto de impacto. En este caso, consideramos que el brazo tiene una longitud de $L = 4.47$ m desde el eje de rotación hasta el cg del impactador.

$$\frac{h}{L} = 1 - \cos \theta$$

$$\cos \theta = 1 - \frac{h}{L}$$

Despejando se obtiene la siguiente expresión:

$$\theta = \cos^{-1}\left(1 - \frac{h}{L}\right)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(1 - \frac{0.487}{4.47}\right)$$

$$\theta = \cos^{-1} 0.891$$

$$\theta = 27^\circ$$

Basándonos en los cálculos realizados, se determina que el ángulo óptimo para llevar a cabo los ensayos es de 27° .

3.2.11. Cálculo de la energía cinética

Para calcular la energía cinética, se realiza un balance energético o mediante las ecuaciones del principio de conservación de la energía en este nos da a continuación la siguiente ecuación.

$$E_c = E_p = m * g * h$$

Al remplazar los resultados de:

- Masa del péndulo, 1300 Kg
- Altura de caída del péndulo, 0.487 m

Obtenemos

$$E_c = (1300 \text{ Kg}) * (9.8 \text{ m/s}^2) * (0.487 \text{ m})$$

$$E_a = 6.2 \text{ KJ}$$

3.2.12. Análisis de los brazos del péndulo

Antes de implementar el impactador en el péndulo, se llevó a cabo un análisis de simulación con el software SAP2000 con el fin de evaluar el comportamiento de los brazos del péndulo y la estructura del péndulo agregando una masa de 1300 Kg. Los brazos presentan deformación al momento del impacto con la probeta, ya que están sujetos a esfuerzos de tracción debido a la masa y la velocidad del péndulo. Además, se generan vibraciones y esfuerzos torsionales debido al impacto, por lo que se requiere una estructura lo suficientemente rígida para resistir las cargas estáticas y dinámicas del impacto.



Ilustración 3-19: Diseño de los brazos del péndulo.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

En la Ilustración 19-3 se puede ver el diseño de los brazos del péndulo con perfiles I, y con la masa del impactador, lo que permitió analizar su comportamiento durante el impacto.

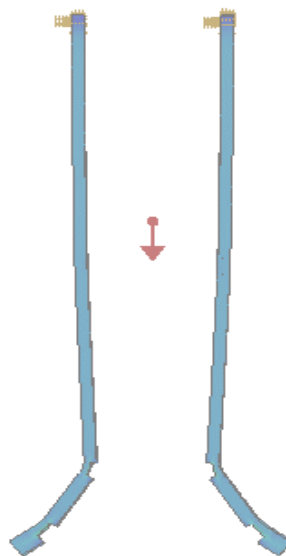


Ilustración 3-20: Deformación del Perfil IPE 160

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Después de realizar la simulación, se observa que el perfil utilizado en las vigas I presenta dificultades durante el impacto, ya que se generan esfuerzos torsionales y deformación en las mismas, como se aprecia en la Ilustración 20-3.

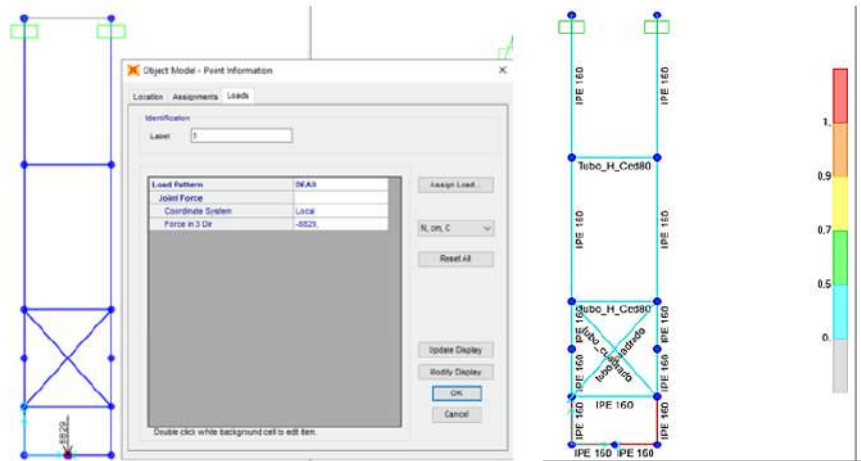


Ilustración 3-21: Análisis del Perfil IPE 160 mediante el software SAP 2000.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Para solucionar el problema de estabilidad en los brazos, se ha decidido implementar perfiles adicionales que actúen como refuerzos y brinden mayor rigidez entre ambos brazos. Estos perfiles también actuarán como templadores, lo que permitirá eliminar la deformación presente en los brazos. Tras asignar estos nuevos perfiles, se ha realizado un nuevo análisis de la estructura, y los resultados se pueden apreciar en la Ilustración 21-3.

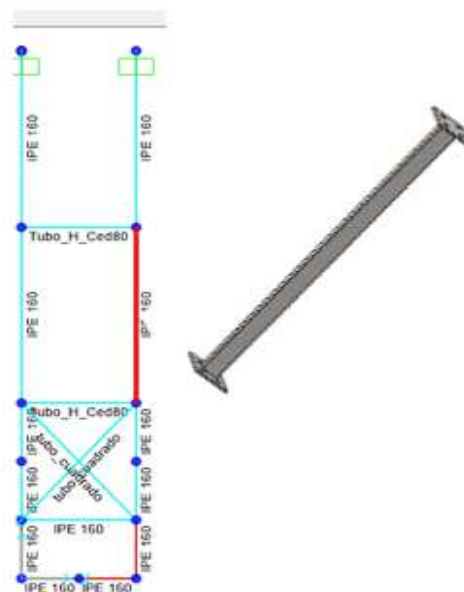


Ilustración 3-22: Simulación mediante SAP 2000.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Al instalar templadores, se logra aumentar la rigidez del brazo del péndulo, lo que a su vez reduce su deformación. Esto significa que la estructura tiene la capacidad suficiente para soportar la masa de 1300 Kg sin presentar deformación durante el impacto.

3.2.13. Cálculo de fuerza de impacto

Para calcular la fuerza de impacto, se consideró la masa del impactador de 1300 Kg que cae desde una altura determinada con una velocidad de 3.09 m/s y choca con la baranda de seguridad. La distancia que penetra el impactador en la zona de deformación de la baranda de seguridad también influye en la fuerza. En este caso, la fuerza es un componente del trabajo, por lo que se igualó la energía cinética al trabajo para obtenerla.

Realizando el análisis del péndulo cuando se encuentra en el punto más bajo, aplicamos la siguiente ecuación de energía:

$$F_{imp} = m * a_t \quad (3.18)$$

Donde:

a_t : aceleración tangencial

Para calcular la velocidad angular de los brazos del péndulo utilizamos las fórmulas del movimiento circular uniforme, ya que se desplazan en una trayectoria circular. Con esta información, podemos obtener la aceleración angular y reemplazarla en la ecuación de la fuerza para calcularla.

La velocidad angular calculamos con la siguiente ecuación.

$$v = r * \omega \quad (3.19)$$

Donde:

r: distancia medido centro de gravedad del impactador al centro del eje de giro

ω : velocidad angular final

Despejando obtenemos la siguiente expresión:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{3.09 \text{ m/s}}{4.47 \text{ m}}$$

$$\omega = \frac{3.09 \text{ m/s}}{4.47 \text{ m}}$$

$$\omega = 0.69 \text{ rad/s (antes del impacto)}$$

Una vez que hemos obtenido la velocidad angular, podemos calcular la aceleración angular utilizando la ecuación del movimiento circular uniforme.

$$\begin{aligned}\omega^2 &= \omega_o^2 + 2\alpha\theta \\ \alpha &= \frac{\omega^2}{2\theta}\end{aligned}\tag{3.20}$$

El ángulo de 27° debe ser medido en radianes y se toma cuando el péndulo se encuentra en su posición inicial antes de ser liberado, con la vertical como referencia. Es importante recordar que el ángulo debe ser expresado en unidades de radianes.

$$\begin{aligned}\theta^\circ * \frac{\pi \text{ rad}}{180^\circ} &= \theta \text{ rad} \\ 27^\circ * \frac{\pi \text{ rad}}{180^\circ} &= 0.47 \text{ rad}\end{aligned}$$

Y a continuación reemplazamos en la ecuación (2.20).

$$\alpha = \frac{(0.69 \text{ rad/s})^2}{2 * 0.47 \text{ rad}}$$

$$\alpha = 0.51 \text{ rad/s}^2$$

Una vez calculada la aceleración angular, luego procedemos a reemplazar en la siguiente ecuación y así hallar la aceleración tangencial.

$$a_t = \alpha * r$$

$$a_t = 0.51 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} * 4.47 \text{ m}$$

$$a_t = 2.28 \text{ m/s}^2$$

Adicionalmente, podemos determinar el tiempo que tarda el péndulo en caer desde su posición inicial hasta impactar con la probeta utilizando la siguiente ecuación.

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

$$t = \frac{0.69 \text{ rad/s}}{0.51 \text{ rad/s}^2}$$

$$t = 1.35 \text{ s (hasta la probeta)}$$

Por último, utilizando los valores previamente obtenidos, sustituimos en la ecuación (2.18) para calcular la fuerza de impacto.

$$F_{imp} = 1300 \text{ Kg} * 2.28 \text{ m/s}^2$$

$$F_{imp} = 20,95 \text{ KN}$$

3.2.14. Análisis estático del brazo de sujeción del impactador

Con la ayuda del software SOLIDWORKS 2018, se llevó a cabo un análisis estático de los brazos de acople para verificar si el diseño es capaz de soportar la carga de 1300 Kg. con ello poder evaluar la deformación en el acople durante el impacto, utilizando el valor de la fuerza de impacto y comprobando si los pernos soportan la carga por corte o cizalla. Para realizar este análisis, se empleó un mallado fino que permitió detectar los esfuerzos máximos y mínimos, así como las deflexiones que se producen durante el impacto.

En la Ilustración 23-3, se puede observar el resultado del análisis estático del sistema de acople durante un impacto. Para este análisis se utilizó la teoría de Von Mises, que es un criterio de falla utilizado para evaluar el límite elástico de materiales.

A continuación, podemos observar que el resultado obtenido en la simulación es de 80.68 MPa, mientras que el límite elástico del acero es de 250 MPa. Dado que el resultado está por debajo del límite elástico del material, podemos concluir que el elemento de acople es capaz de soportar las cargas presentes durante el impacto.

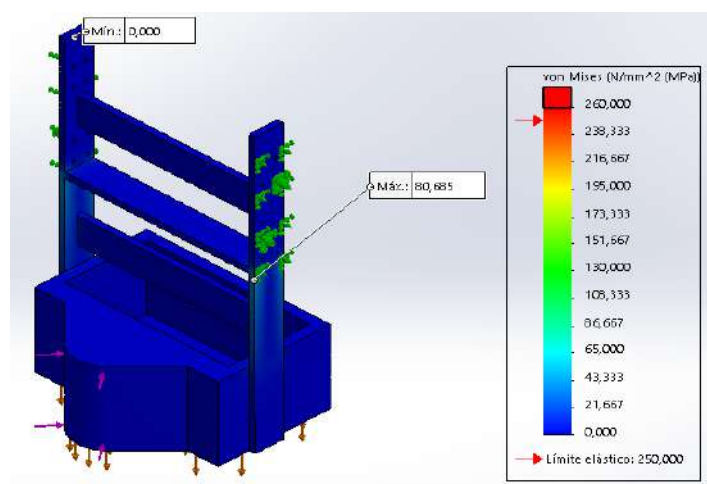


Ilustración 3-23: Análisis estático con Von Mises.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

En la Ilustración 24-3, se puede apreciar los desplazamientos de los componentes del impactador durante el impacto, los cuales son visualizados a través de los colores generados por el software en la simulación. Estos colores permiten identificar la deformación y la rigidez del impactador. El resultado obtenido muestra una deformación máxima de 1.2 mm en la cara del impactador, mientras que en el acople apenas se observa deformación. Estos valores son muy bajos, lo que indica que toda la estructura es altamente rígida.

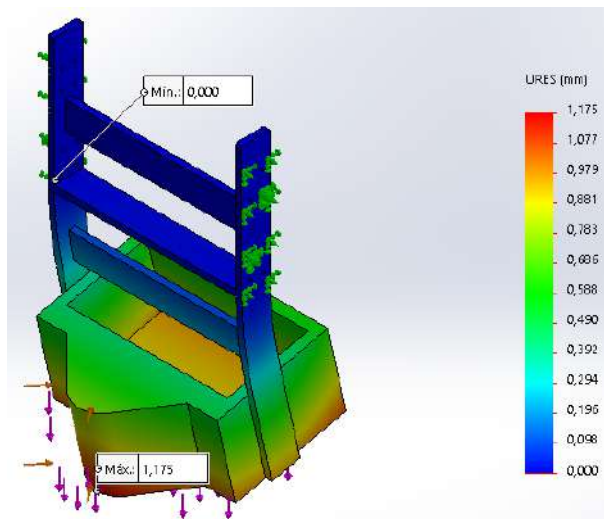


Ilustración 3-24: Análisis de desplazamiento del brazo

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

En la Ilustración 25-3 se lleva a cabo una simulación con el objetivo de verificar la deformación unitaria, lo cual nos permite determinar si los elementos del impactador pueden recuperar su estado inicial. A través de este análisis, podemos observar que el brazo de anclaje no presenta una deformación significativa.

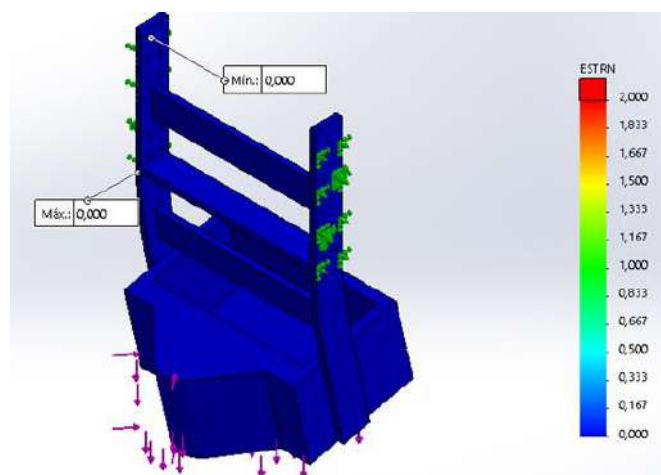


Ilustración 3-25: Desplazamiento unitario de los brazos

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Es de vital importancia calcular el factor de seguridad en cualquier diseño para evaluar la capacidad de resistencia del equipo ante un impacto. En la ilustración 26-3, se muestra que el factor de seguridad es de 2.84. Este valor nos permite concluir que el equipo es capaz de soportar todas las cargas generadas durante el impacto, garantizando su integridad y funcionamiento adecuado.

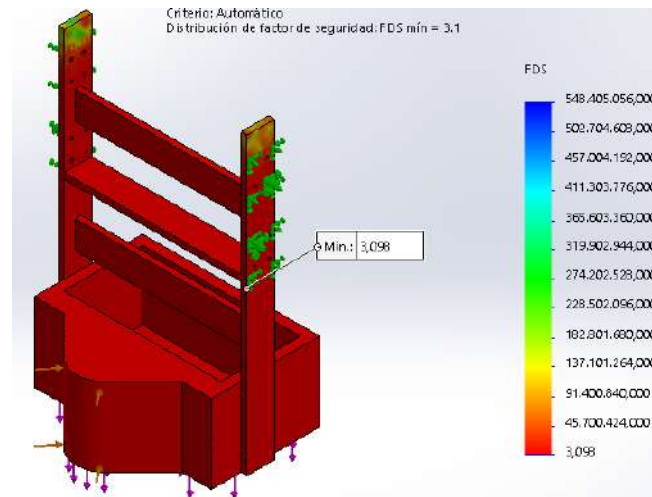


Ilustración 3-26: Análisis del factor de seguridad

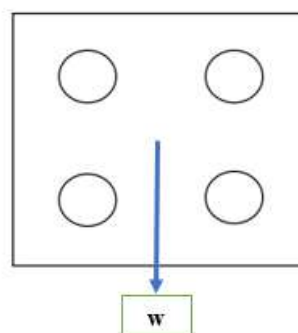
Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.2.15. Selección de pernos de sujeción

La sección de pernos es importante para nuestro diseño de impactador se llevó a cabo teniendo en cuenta los requisitos de resistencia y seguridad de acuerdo con las cargas y fuerzas que actúan sobre el perno.

3.2.15.1. Selección de pernos de sujeción entre brazos del péndulo y el brazo del impactador

- Diseño a corte:



Datos:

Perno: Grado 8

Numero de pernos: 4 pernos

$$S_y = 130ksi$$

$$S_{sy} = 0.5 * S_y$$

$$S_{sy} = 0.5 * (130) = 65ksi$$

$$m = 1500 kg$$

$$W = m * g$$

$$W = 1500kg * 9.81 m/s^2$$

$$W = 14715 N$$

$$P = 3.3081 Kip$$

En primer lugar, se calcula el corte primario con la ayuda de la ecuación (2.9), con el cual se procede a hallar el área Gross, reemplazamos el corte primario con un factor de seguridad de 2.

$$V' = \frac{P}{\#p}$$

$$V' = \frac{3.3081 Kip}{8} = 0.4135 Kip$$

$$\frac{V'}{A_r} = \frac{S_{sy}}{2}$$

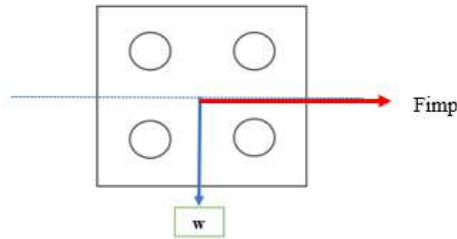
$$\frac{0.4135}{A_r} = \frac{65}{2}$$

$$A_r = 0.013 in^2 \rightarrow \text{perno } 1/4 in$$

Con el área Gross, se realizó la selección del perno utilizando las tablas del **ANEXO C**. Según los cálculos, se determinó que el perno adecuado para la aplicación es un perno **UNC de tamaño 1/4 * 1 1/2 in.**

3.2.15.2. Selección de Pernos entre la masa y los brazos del impactador

- Diseño a corte t tracción



Datos:

Perno: Grado 8

Numero de pernos: 4 pernos

Con la ayuda de la ecuación anterior se procede a calcular S_{sy} .

$$S_y = 130ksi$$

$$S_{sy} = 0.5 * (130) = 65 Ksi$$

$$m = 1500 kg$$

$$W = 1500kg * 9.81 m/s^2$$

$$W = 14715 N$$

$$P = 3.3081Kip$$

$$F = 245624.57 N = 55.22Kip$$

$$P = \sqrt{3.3081^2 + 55.22^2} = 55.32Kip$$

En primer lugar, se calcula el corte primario con la ayuda de la ecuación (2.10), con el cual se procede a hallar el área Gross, reemplazamos el corte primario con un factor de seguridad de 2.

$$V' = \frac{P}{\#p}$$

$$V' = \frac{55.32}{8} = 6.915Kip$$

$$\frac{V'}{A_r} = \frac{S_{sy}}{2}$$

$$\frac{6.915}{A_r} = \frac{65}{2}$$

$$A_r = 0.213 in^2 \rightarrow \text{perno } 3/4 in$$

Con el área Gross, se realizó la selección del perno utilizando las tablas del ANEXO C. Según los cálculos, se determinó que el perno adecuado para la aplicación es un perno **UNC 3/4 * 4 in**.

3.2.16. Diseño de la baranda de seguridad para el ensayo

El diseño de las barandas de seguridad se llevó a cabo siguiendo las especificaciones establecidas en la norma NTE INEN 2473-2013. Esta norma proporciona información detallada sobre la configuración de las barandas de seguridad, incluyendo las dimensiones del barandal W, los postes, las terminales, el tipo de pernos para la baranda y los materiales utilizados. (ANEXO B) El tipo de baranda de seguridad que se seleccionó es de configuración simple y sin separador la altura del poste de sujeción es de 500mm medido desde la calzada.

3.2.16.1. Placa Base

Según norma NTE INEN 2473-2013 estas estas placas se utilizan para hincar, deben ser soldadas al poste en su extremo inferior y cumplir con las dimensiones que se muestra en la Ilustración 27-3. al poste placa de acero soldada al poste, la cual se puede acoplar a otra placa empotrada en el piso mediante pernos de sujeción. Además, se presentan las dimensiones del orificio para los pernos que van conectados con pernos de grado 8.8 con un diámetro de M16x50mm.

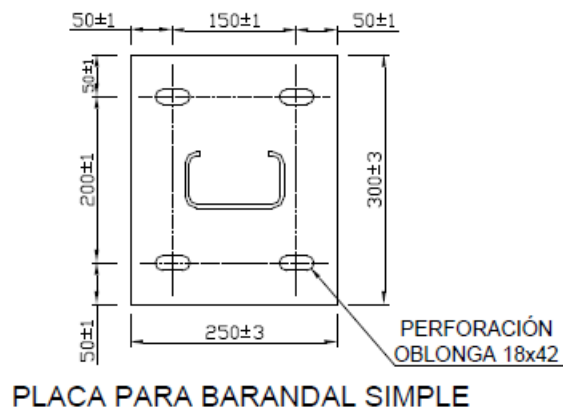


Ilustración 3-27: Dimensiones de la placa para el soporte.

Fuente: (NTE INEN 2473, 2013)

3.2.16.2. Poste

Los postes tienen la configuración del perfil C según norma NTE INEN 2473-2013, con una longitud de 650 mm y las dimensiones son de 150x75x5 mm c. Estos perfiles están hechos de acero galvanizado y se hincan a la placa base mediante soldadura.

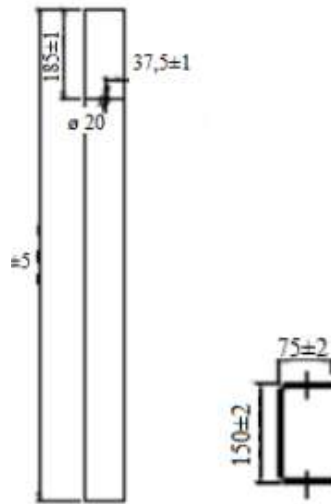


Ilustración 3-28: Dimensiones del poste de sujeción

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.2.16.3. Barandal

El barandal tiene la configuración de perfil W con un espesor de 2.67 mm y de ancho 311 mm según la norma NTE INEN 2473-2013, Además tiene una la longitud de 1950 mm.

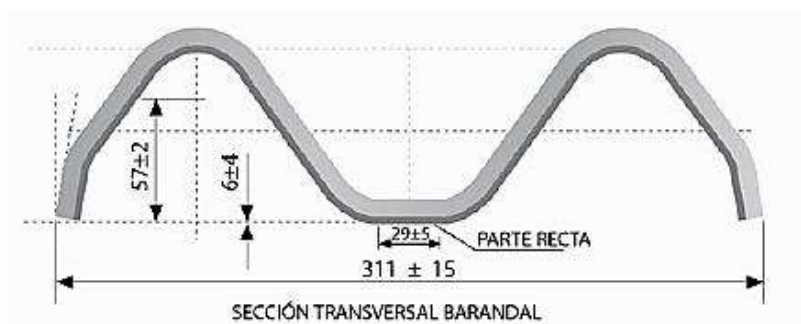


Ilustración 3-29: Dimensiones y configuración de la baranda metálica.

Fuente: (NTE INEN 2473, 2013)

3.2.16.4. Ensamble de la baranda de seguridad

En la Ilustración 30-3 se muestra el diseño de la baranda de seguridad, el cual ha sido creado en el programa SOLIDWORKS 2018, de acuerdo con las especificaciones de la norma mencionada anteriormente.

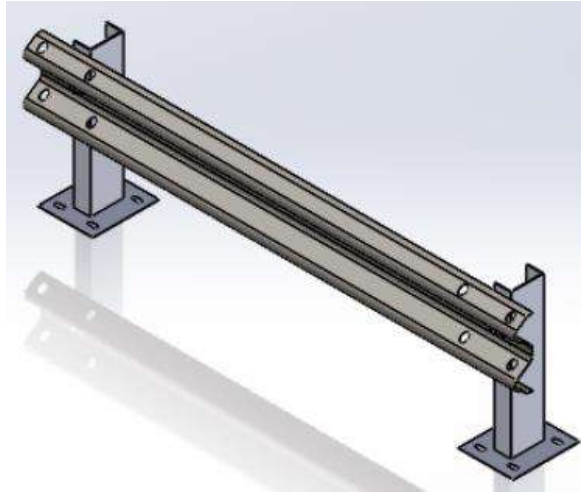


Ilustración 3-30: Diseño de la Baranda de Seguridad

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.2.16.5. *Instalación de la probeta según NTE INEN 2473-2013*

En la Ilustración 31-3 se detalla sus dimensiones para la instalación de la baranda de seguridad y posterior poder realizar el ensayo de impacto adecuado, asegurándose de que el centro de gravedad del péndulo esté a la misma altura que el centro de gravedad del impactador.

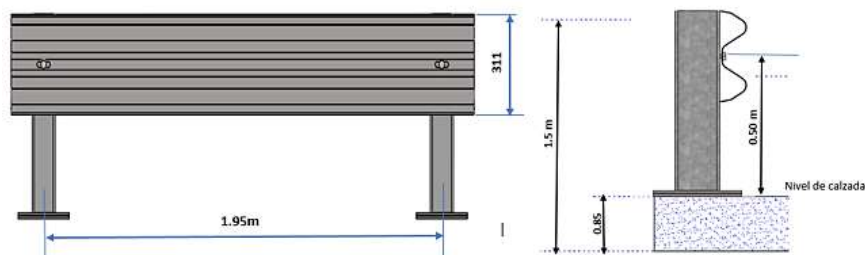


Ilustración 3-31: Dimensiones e instalación de una baranda de seguridad

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.3. Selección de materiales para la construcción del impactador

La selección de los materiales se llevó a cabo bajo tres criterios.

A continuación, se describen algunos de los criterios comunes utilizados para seleccionar el material.

- Propiedades Mecánicas
- Disponibilidad del material en el mercado nacional
- Costo

Mediante la aplicación de estos criterios de selección, se ha decidido utilizar el Acero A36. Sin embargo, para garantizar que las propiedades mecánicas, como la dureza, sean iguales es

importante realizar el ensayo de dureza Brinell en el material. Se deben extraer muestras de las planchas con diferente espesor para llevar a cabo este ensayo. Esto nos permitirá evaluar la dureza del acero y asegurarnos de la homogeneidad del material

3.3.1. *Ensayo de Dureza Brinell del material*

A todas las planchas de acero A36 adquiridas en el mercado, se pudo realizar el ensayo de dureza tomando una parte de las muestras luego el resultado poder comparar con cada una de ellas, adicional especificar mediante el **Certificado de Calidad**, del fabricante (ANEXO F).

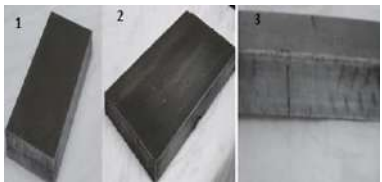
Además, al realizar el ensayo de dureza Brinell nos permite garantizar la homogeneidad del material con el cual evitar cualquier desequilibrio en el centro de masa del impactador. Si las planchas de acero presentan propiedades diferentes, esto podría afectar directamente el centro de masa del impactador.




Para realizar el ensayo de dureza Brinell se llevó a cabo el procedimiento establecido en la norma **ASTM E10 “Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials”**

3.3.1.1. *Procedimiento para el Ensayo de Dureza Brinell*

Para realizar el ensayo de dureza Brinell se llevó a cabo el procedimiento establecido en la norma **ASTM E10 “Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials”** (ANEXO G).

Tabla 3-10: Procedimiento para realizar el Ensayo de Dureza Brinell

Ensayo de dureza Brinell según norma ASTM E10		
PASOS	DETALLE	DESCRIPCIÓN GRAFICA
1	El primer del procedimiento es realizar el corte de la muestra siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E3, la cual establece que la probeta no debe exceder a una pulgada de tamaño. Además, nos menciona que el corte se debe realizar con cuidado para evitar cualquier cambio en la microestructura de la muestra.	

	<p>Luego, se procede a la etapa de desbaste y pulido, en la cual se eliminan las imperfecciones de la superficie mediante un proceso de lijado.</p>	
2	<p>Para lograr una superficie de acabado tipo espejo en las muestras, se utilizó una pulidora de disco con la adición de óxido de alúmina. El proceso consiste en verter el óxido de alúmina sobre el disco y realizar el pulido hasta conseguir una superficie completamente lisa.</p>	
3	<p>Luego utilizando el durómetro HBRV-187.5 Se procede a colocar un indentador de bola de acero con un diámetro de 2.5 mm, siguiendo las directrices establecidas en la norma ASTM E10, para llevar a cabo el ensayo de dureza Brinell. A continuación, se fija una carga de 1,839 N en el durómetro. Luego, se coloca la muestra preparada de acuerdo con la norma ASTM E3 en el equipo y se aplica la carga sobre la muestra. Finalmente, se retira la carga que se había aplicado previamente a la probeta.</p>	
4	<p>A continuación, como La dureza Brinell no se determina directamente, por lo tanto, es necesario medir el diámetro de la huella de indentación utilizando un microscopio con un micrómetro para obtener dicha medida.</p>	

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.3.2. Resultados de ensayo de dureza Brinell

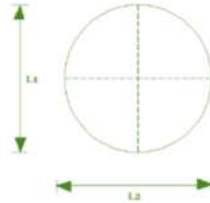
A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados en cada muestra con diferente espesor. En la tabla 21-3, se especifican los datos relevantes para calcular el diámetro de la huella de la indentación.

- Datos por considerar para determinar la Dureza Brinell

CARGA (P) = 1839 [N]

DIAMETRO DE INDENTADOR (D) = 2.5 [mm]

Para determinar la Dureza Brinell de acuerdo con la norma ASTM E10, sustituimos los valores obtenidos en el microscopio en la ecuación (2.21), con el fin de calcular el diámetro de la huella, luego se reemplaza en la ecuación (2.13).

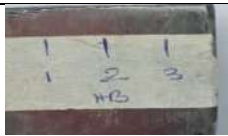


$$d = \frac{L1+L2}{2} \quad (3.21)$$

- **Resultado de la dureza obtenida de la probeta 1.**

Probeta de acero A36 de 24 mm.

Tabla 3-11: Ensayo de Dureza Brinell, probeta 1


No INDENTACIÓN	DIAMETRO DE HUELLA (mm)	DUREZA DRINELL (HB)	MUESTRA
1	1,05	183	
2	1,03	181	
3	0,97	184	

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

- **Resultado de la dureza obtenida de la probeta 2.**

Probeta de acero A36 de 50 mm:

Tabla 3-12: Ensayo de Dureza Brinell, probeta 2

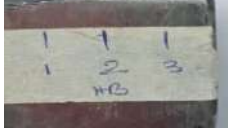
No INDENTACIÓN	DIAMETRO DE HUELLA (mm)	DUREZA DRINELL (HB)	MUESTRA
1	1,06	182	
2	1,03	180	
3	1,01	183	

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

- **Resultado de la dureza obtenida de la probeta 3.**

Probeta de acero A36 de 30 mm:

Tabla 3-13: Ensayo de Dureza Brinell, probeta 3

No INDENTACIÓN	DIÁMETRO DE HUELLA (mm)	DUREZA DRINELL (HB)	MUESTRA
1	1,02	184	
2	1,05	181	
3	1,07	183	

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Tabla 3-14: Resultados del Dureza Brinell

No INDENTACIÓN	ASTM 36 (50mm)	ASTM 36 (30mm)	ASTM 36 (24mm)
1	182	184	183
2	180	181	181
3	184	183	184
Promedio	182	182.66	182.66

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

En la tabla 14-3 se detalla los resultados del ensayo de dureza de cada muestra con diferentes espesores, además calculando el promedio de cada uno de ellos se obtiene un valor similar para cada uno, con el cual se puede afirmar que el material es homogéneo en toda la plancha.

3.4. Planificación para la construcción del impactador

A continuación, se detalla un cronograma actividades en donde se detallan los tiempos destinados para la ejecución de cada una de las operaciones a realizar durante la construcción del impactador

Tabla 3-15: Cronograma de actividades

Código	Operación	Tiempo(días)
M1	Adquisición de materiales	10
M2	Corte de los elementos del impactador	15
M3	Desbaste de los materiales en exceso	10
M4	Mecanizado de la cara del impactador	20
M5	Perforación de la cara del impactador	5
M6	Ensamble de la superficie de impacto	2
M7	Ajuste de pernos	1
M8	Mecanizado del martillo	20
M9	Perforación de los elementos del martillo	3

M10	Ensamble del martillo	10
M11	Control del martillo	2
M12	Ajuste de pernos	2
M13	Montaje entre la masa y el brazo del impactador	7
M14	Mecanizado del brazo del impactador	6
M15	Perforación del brazo del impactador	3
M14	Ensamble entre el impactador y el brazo	5
M15	Instalación de los templadores	6
M16	Ajuste de pernos	2
M17	Pintado del equipo	2
M18	Instalación del impactador en el péndulo	5
	TOTAL	136

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Después de encontrar los tiempos para la ejecución de las actividades es necesaria representar en un diagrama de Gantt en donde se representen cada una de las actividades con sus respectivos tiempos de una manera ordenada en la siguiente ilustración se detalla.

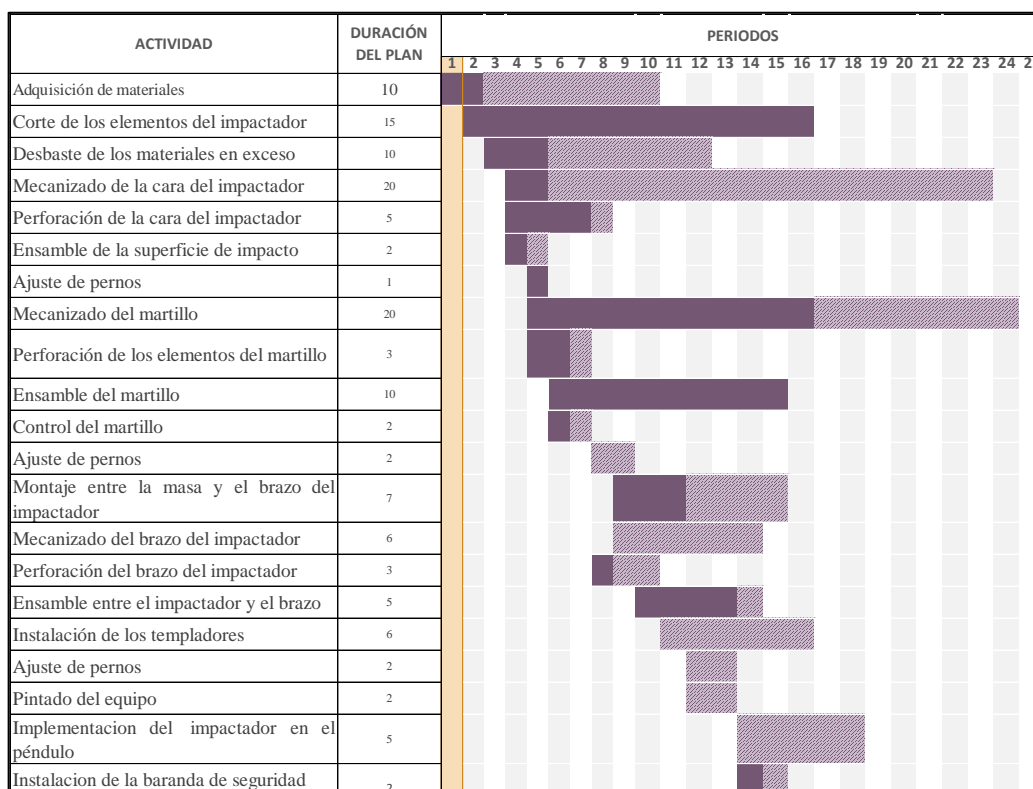


Ilustración 3-32: Diagrama de Gantt de las actividades a realizar

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.5. Construcción y montaje del impactador

Una vez culminado con el diseño del impactador y haber seleccionado el material mediante los criterios y las pruebas de dureza se lleva a cabo la construcción de cada uno de los componentes que conforman nuestro del equipo y posterior el montaje en el péndulo construido, el cual se encuentra ubicado en el Laboratorio de Fundición de Mecánica (ESPOCH).

Para la construcción del impactador, se utilizaron diversas máquinas, equipos y herramientas. A continuación, se proporciona un desglose detallado de cada uno de ellos en la tabla 16-3.

Tabla 3-16: Maquinas empleadas en la construcción

Designación	Máquinas y Equipos
M1	Soldadora de arco eléctrico
M2	Cortadora plasma
M3	Compresor
M4	Mandrinadora
M5	Taladro Manual
M6	Taladro de Banco
M7	Amoladora
M8	Esmeril

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Además, se utiliza ciertas herramientas durante el proceso. Estas herramientas se describen detalladamente en la tabla 17-3 a continuación.

Tabla 3-17: Herramientas empleadas en la construcción

Designación	Herramientas
L1	Flexómetro
L2	Escuadras
L3	Martillo
L4	Discos Flap
L5	Discos de desbaste
L6	Discos de corte
L7	Insertos para fresas
L8	Juego de Llaves
L9	Brocas
L10	Remarcador
L11	Otros

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

La siguiente tabla 18-3, muestra todos los elementos que componen el impactador para su implementación en el péndulo, así como los materiales que se utiliza para su construcción.

Tabla 3-18: Elementos para la construcción

Sistema	Elemento	Material
Impactador	Cara del impactador	Planchas PL A36 900x240x24 mm
	Masa del péndulo	- Planchas PL A36 350x400x50 mm - Planchas PL A36 900x350x50 mm - Plancha PL A36 900x500x50 mm
	Brazos	Plancha PL A36 1500x140x30 mm
	Separador	Perfil 10x20x3 mm

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Tabla 3-19: Materiales utilizados en las probetas de ensayo

Ítems	Descripción
1	Baranda metálicas de sección W
2	Poste galvanizado Tipo C.
3	Pernos M16
4	Planchas PL 350x350x5mm

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.5.1. Construcción de la cara del impactador

Para la construcción de la impactador, se llevó a cabo el diseño de la geometría con las dimensiones necesarias mediante el software AutoCAD.

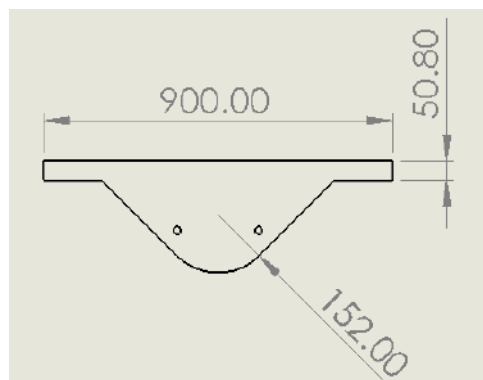


Ilustración 3-33: Dimensiones de la cara del Impactador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Después de diseñar la geometría, se procede a cargar el archivo en la máquina de oxicorte automática, como se muestra en la Ilustración 34-3. Previamente, se realiza la simulación de la máquina utilizando la geometría del diseño, lo cual permite optimizar el tiempo de trabajo y logra cortes casi precisos.



Ilustración 3-34: Simulación del corte de la cara impactador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

A continuación, se procede a realizar el corte de cada una de la placa de 24 mm de espesor para la parte frontal, como se muestra en la Ilustración 35-3.



Ilustración 3-35: Corte del impactador

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Finalmente, se obtiene todas las piezas cortadas listas para su posterior mecanizado.



Ilustración 3-36: Corte final del impactador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Una vez completado el corte, el siguiente paso consiste en eliminar el material sobrante de cada una de las piezas mediante el proceso de desbaste utilizando una amoladora. Esto se realiza con el fin de facilitar su posterior colocación en la bancada de la máquina de mandrinado, donde se llevará a cabo el mecanizado correspondiente.



Ilustración 3-37: Desbaste de las imperfecciones.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Después de realizar el desbaste de todas las piezas, se procede a apilar las planchas cortadas una encima de la otra en la mandrinadora, asegurándonos de su alineación utilizando una escuadra, como se muestra en la figura (a). Luego mecanizar la cara posterior del impactador para eliminar cualquier imperfección que pudiera haber surgido durante el corte inicial. Para lograr esto, se utilizó una herramienta de fresado en un proceso de mecanizado por arranque de viruta. Como resultado, obtuvimos una superficie de acabado tipo espejo, como se puede observar en la figura (b).

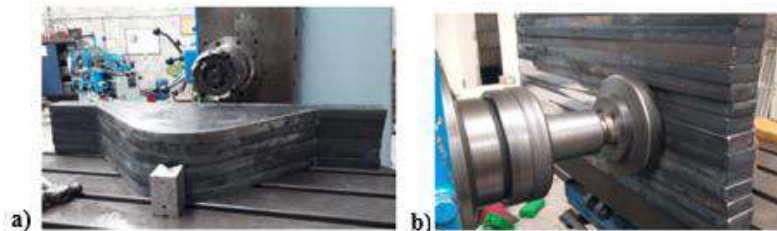


Ilustración 3-38: a) Planchas colocadas con la ayuda de la escuadra.

b) Desbaste de la cara posterior del impactador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Después de haber realizado el mecanizado de la cara posterior del impactador, el siguiente paso consiste en perforar los agujeros correspondientes. Para ello, procedemos a alinear con precisión

la mesa de la mandrinadora utilizando un reloj comparador, de modo que la perforación se realice de manera precisa y que no presente dificultad al momento de ensamblar.



Ilustración 3-39: Reloj comparador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Después de ajustar y calibrar la mesa de la mandrinadora, se procede a unir las tres piezas cortadas mediante puntos de soldadura en cada esquina. Es importante que estas soldaduras estén alineadas con las aristas para evitar problemas futuros al momento de perforar. El resultado final se puede apreciar en la Ilustración 40-3.



Ilustración 3-40: Figuras tipo impactador soldadas en su arista.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Después de soldar las piezas cortadas tipo impactador, se procede a realizar los agujeros utilizando una broca de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Una vez completada esta etapa, se realiza el ensamble de las 16 piezas cortadas de acero A36 de 24 mm de espesor, apilándolas una sobre otra según la configuración mostrada en la Ilustración 41-3. Luego, se fija las piezas utilizando un perno de $\frac{3}{4}$ de pulgada.



Ilustración 3-41: Ensamble final de la cara de impactador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.5.2. Construcción de la masa del péndulo

Para la construcción del cubo, se sigue un proceso similar al anterior, pero con la diferencia de que las dimensiones de las partes que componen la caja son diferentes. En la Ilustración 42-3 se muestra cada una de las partes con sus respectivas medidas detalladas.

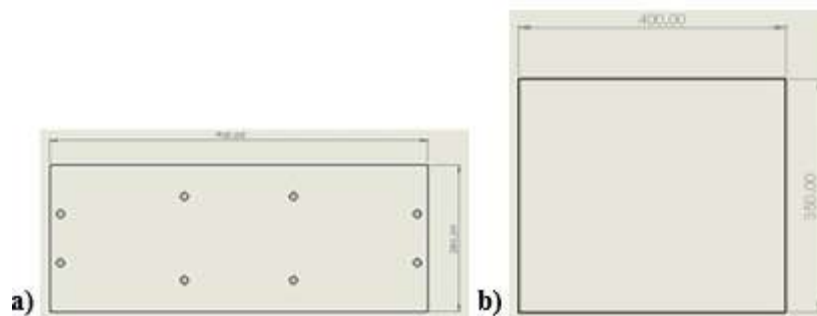


Ilustración 3-42: Dimensiones del cubo, a) Cara frontal y b) Cara lateral.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Después de haber elaborado los planos de las piezas que forman el cubo, se procede a realizar los cortes correspondientes en una plancha 50 mm de espesor. Luego, se retira el exceso de material mediante el proceso de desbaste.

A continuación, se lleva a cabo el mecanizado de todas las aristas de las partes del cubo, con el objetivo de lograr un ensamblaje sin dificultades. En la Ilustración 43-3 se puede observar el proceso de mecanizado utilizando una fresa.



Ilustración 3-43: Mecanizado de las aristas de la pared del cubo.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Una vez completado el mecanizado de todas las aristas, se procede a realizar las perforaciones necesarias para el ensamblaje utilizando pernos de acero de UNC de 3/4x4 in.



Ilustración 3-44: Perforación del cubo.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Una vez realizada la perforación, se procede a volver a ensamblar todas las partes y ajustarlas utilizando pernos. Esta característica facilita el desmontaje del equipo debido a su peso.

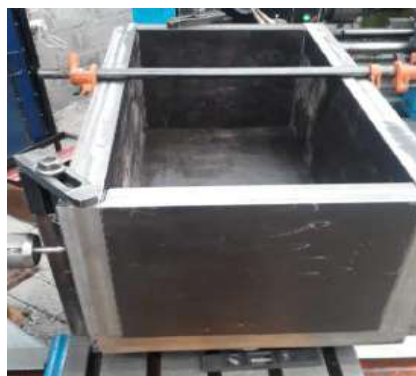


Ilustración 3-45: Ensamble del cubo.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.5.3. Construcción de los brazos de acople

Para la construcción de los brazos de acople entre el impactador y los brazos de péndulo, primero se realizan planos mediante el software AutoCAD, con sus dimensiones respectivas y luego se realiza el corte del acero a un espesor de 30 mm, finalmente se llevó a cabo el proceso de mecanizado para eliminar las rebabas.

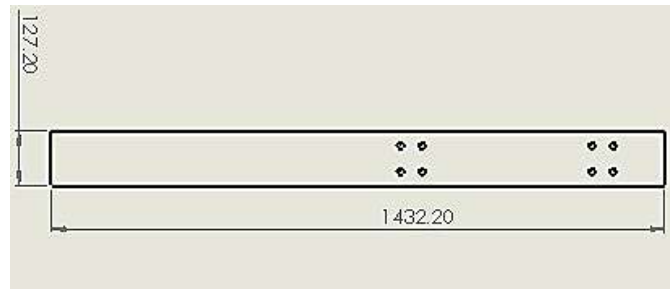


Ilustración 3-46: Dimensiones del brazo del impactador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

A continuación, se realiza la perforación de los agujeros utilizando una broca de 19 mm para el acople con el impactador y una broca de 12 mm para el acople con los brazos del péndulo.



Ilustración 3-47: Perforación de brazo del impactador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.5.4. Construcción del separador

El objetivo de la construcción de los separadores es proporcionar rigidez a los brazos del péndulo y prevenir la torsión durante los ensayos, asegurando que los resultados no se vean afectados.

Para lograr esto, se utilizaron tres separadores fabricados con planchas de acero de 3 mm de espesor. Las dimensiones y características de los separadores se detallan en la Ilustración 48-3.

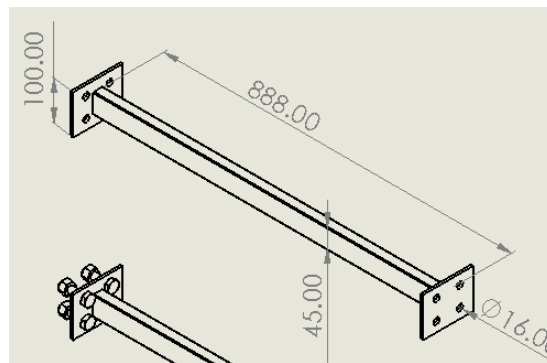


Ilustración 3-48: Dimensiones de separador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Finalmente, su construcción se puede observar en la Ilustración 49-3.



Ilustración 3-49: Separador del brazo del péndulo.


Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Una vez finalizada la etapa de la construcción de cada una de las partes diseñadas, se procede al ensamble y montaje del equipo en el péndulo.

3.6. Ensamble del impactador

Después de haber construido todos los elementos del impactador se procede a la etapa del ensamble. En la tabla 20-3, muestra el procedimiento del ensamble del impactador.

Tabla 3-20: Procedimiento para el ensamble

No	Descripción de la actividad	Herramientas y Materiales	
1	Colocar las placas de acero una sobre otro tipo sándwich y unir la mediante pernos	Pernos $\frac{3}{4}$ x 20 plg, tuercas, arandelas planas y presión, llaves de corona	
2	Unir las placas de acero que conforma la caja y empernar.	Pernos $\frac{3}{4}$ x 5 plg, tuercas, arandelas planas y presión, llaves de corona	
3	Unir los brazos del impactador con la caja y sujetar mediante pernos	Pernos $\frac{3}{4}$ x 5 plg, tuercas, arandelas planas y presión, llaves de corona	
4	Unir la caja de acero con la cara del impactador ya antes ensamblada y sujetar mediante pernos	Pernos $\frac{3}{4}$ x 4 plg, tuercas, arandelas planas y presión, llaves de corona y pico de loro.	

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.7. Montaje del impactador en el péndulo

El montaje del equipo en el péndulo de impacto se debe llevar a cabo con precaución antes de su instalación comprobar que todos los elementos estén correctamente ensamblados para posterior no tenga ningún fallo.

Para el montaje se hace el uso de dos plumas hidráulicas para poder elevarlo hasta su posición de instalación, asegurando la debida seguridad durante el proceso. Debido al peso del equipo, que es de 1300 Kg (1.3 toneladas), una vez llegado a la posición de instalación de proceder la sujeción con los pernos seleccionados dando un aprete máximo y finalmente se coloca los separadores en cada una de sus posiciones. Cabe recalcar tener cuidado al realizar los agujeros de acople, se asegura cumplir con las tolerancias necesarias para evitar posibles fallas durante la instalación del equipo. En la Ilustración 50-3 muestra la instalación del impactador en el péndulo.



Ilustración 3-50: Montaje del impactador.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Tras finalizar la construcción del impactador y completar el montaje del equipo en el péndulo, se concluye en su totalidad el presente trabajo como se muestra en la Ilustración 51-3.



Ilustración 3-51: Impactador para ensayos





Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.8. Instalación de las probetas

Para la instalación de la baranda de seguridad se hace el uso de la norma INEN 2473-2013, la cual brinda toda la información para la colocación de cada uno de ellos con su respectivo procedimiento.

A continuación, en la siguiente tabla 21-3, se indica los pasos a seguir.

Tabla 3-21: Procedimiento para la instalación de la baranda de seguridad

Ítems	Descripción de las actividades	
1	Para instalar los soportes del impacto tipo zapatas se llevó a cabo la perforación en el suelo con una profundidad de 65cm como nos indica en la norma anterior y luego de cada perforación se incrusta 4 varillas roscadas para cada lado.	
2	Luego para poder fijar estas varillas se procede a fijar la una placa en la calzada con las dimensiones según la norma INEN 2473-2013.	
3	A continuación, se procede a soldar la placa con el poste y posterior poder fijar en las cuatro varillas.	
4	Finalmente se coloca el barandal tipo w para su respectivo ensayo.	

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

3.8.1. Numero de probetas para Ensayo de Impacto

Para determinar la cantidad de probetas necesarias para llevar a cabo el ensayo, utilizamos un enfoque probabilístico que nos permite obtener características representativas de una población infinita mediante el estudio de una muestra con precisión. En este caso, aplicaremos la ecuación (40) para calcular el número adecuado de probetas. (Carrión & Olmedo, 2020)

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * P_0 * q_0}{e^2} \quad (3.22)$$

$$q_0 = 1 - P_0 \quad (3.23)$$

Donde:

n : Tamaño de muestra

Z_α : Intervalo de confianza y está en función del nivel de confianza.

P_0 : Proporción verdadera

e : Margen de error de nuestro aceptable

Se utilizó un coeficiente de confianza del 95% para determinar el número de probetas necesarias, calculando el valor de confianza y Z_α para una población infinita mediante la tabla del ANEXO K. El valor de Z_α correspondiente fue de 1.96, con un margen de error del 18% y una variabilidad de la población del 97.5%. Los valores de las variables para el coeficiente de confianza del 95% se muestran en la siguiente tabla 32-3.

Tabla 3-22: Variables para el cálculo del tamaño de la muestra

Nivel de confianza	95%
Z_α	1.96
P_0	0.975
q_0	0.025
$P_0 * q_0$	0.0243
ERROR	0.18

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Fuente: (Carrión & Olmedo, 2020)

$$n = \frac{1.96^2 * 0.975 * (1 - 0.975)}{0.18^2} = 2.89$$

Como resultado, al utilizar el coeficiente de confianza del 95% y los valores obtenidos en la tabla, se determinó utilizar tres probetas para el ensayo de impacto.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se busca demostrar el correcto funcionamiento del impactador después de su instalación en el péndulo de impacto, además se puede detectar cualquier posible fallo inesperado antes de realizar los ensayos de impacto en las barandas de seguridad. Con este propósito es necesario realizar una prueba de impacto contra las barandas de seguridad, y con ello podemos simular el impacto de un vehículo de prueba contra estos elementos de estructura, con el cual nuestro péndulo sea validado mediante la norma UNE-EN 1317-2010.

4.1. Prueba experimental

Toda máquina o equipo recién construido se requiere una serie de pruebas para comprobar su correcto funcionamiento, por lo tanto, es necesario realizar pruebas experimentales para ello se llevó a cabo utilizar el péndulo de impacto y con el cual realizar pruebas de impacto contra las barreras de seguridad con el objetivo de evaluar el comportamiento y el rendimiento de los componentes del impactador durante el ensayo, además se requiere la medir la Energía Cinética generada durante el ensayo. Para esto utilizamos el software LabVIEW instalado en el péndulo de impacto, el cual nos permite adquirir los datos, y poder validar el impactador comparando con los valores de la energía cinética obtenidos con el valor teórico establecido por la norma UNE-EN 1317-2011, que en este caso es de 6.2 KJ.

Con base a estos análisis, podemos concluir que el impactador construido es válido para llevar a cabo pruebas y simular el impacto de un vehículo contra las barandas de seguridad a escala real. A continuación, se presenta una tabla con variable importantes que se utilizaran durante la prueba de impacto contra las barandas de seguridad.

Tabla 4-1: Variables requeridas para el ensayo de impacto

Variables del péndulo	Valor
Velocidad lateral del vehículo	3.09 m/s
Angulo de elevación del péndulo	27°
Altura de elevación del péndulo	0.48 m
Masa del impactador	1300 kg

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Para elevar el impactador a la posición de trabajo, se utilizó un tecele de 2 toneladas sujeto en la parte posterior del cubo mediante un electroimán. La posición se verificó utilizando una inclinómetra digital colocado en los brazos del péndulo.

Para liberar el péndulo, se utilizó un sistema conectado al electroimán. Al pulsar un botón, se desenergiza el electroimán, permitiendo que el péndulo se liberara. A continuación, se procede la recolección de datos utilizando el software LabVIEW.



Ilustración 4-1: Ensayo de impacto en vacío

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

4.2. Resultados de la Energía Cinética obtenida a 27° de inclinación

A continuación, se muestran las tablas generadas de manera automática mediante el software LabVIEW que se encuentra implementado en el péndulo del grupo de investigación GDP. Este sistema de medición de la posición en función de la energía cinética es sencillo y se basa en un encoder que registra las señales físicas y las envía a un módulo de almacenamiento. Posteriormente, estas señales se transmiten a una tarjeta Raspberry, cuya función es recibir y enviar los datos a través del software de control LabVIEW en la PC. (Allauca & Gualli, 2021)

Los datos obtenidos reflejan la transformación de la energía potencial a energía cinética con una velocidad determinada durante el movimiento del péndulo. Mediante estos datos, se puede analizar la posición del péndulo desde el instante en que se libera hasta que alcanza la posición cero, donde la energía cinética alcanza su máximo justo antes del impacto.

Ensayo de la probeta 1

Tabla 4-2: Datos experimentales por el software LabVIEW de la probeta 1

Dato	Tiempo (s)	Posición angular (°)	Energía Cinética (J)	Energía Potencial (J)	velocidad real m/s	velocidad ideal m/s
1	0	27,04	0	6210,0733	0	0,627482
2	0	26,468	72,9306812	5362,48089	0	0,627482
3	0,134902	25,064	545,57604	4807,62499	0	1,151934
4	0,189872	23,712	1093,30576	4480,58574	0	1,476678
5	0,240844	22,88	1498,22834	4480,58574	6,928684	1,638205
6	0,260827	22,88	1639,95124	3785,29863	6,153473	1,638205
7	0,31382	21,008	1899,10474	3423,50274	4,851157	1,937366
8	0,359783	19,968	2112,55602	3079,34124	6,495253	2,076053
9	0,411763	18,928	2115,9261	2705,50292	6,329205	2,199881
10	0,432729	17,732	2347,47503	2325,96821	6,33249	2,326932
11	0,48672	16,432	2584,69128	1988,06627	6,348867	2,449186
12	0,523677	15,184	2889,44439	1651,43459	6,885019	2,553108
13	0,571672	13,832	3090,66536	1334,44514	6,841421	2,652594
14	0,592637	12,428	3619,69195	1050,84799	7,083708	2,742979
15	0,648606	11,024	3845,40868	792,199449	7,178772	2,821389
16	0,690588	9,568	4048,67245	366,068677	7,590196	2,891047
17	0,745549	6,5	4227,1267	366,068677	7,565701	3,002289
18	0,767559	6,5	4620,83316	99,062467	8,353506	3,002289
19	0,833522	3,38	4702,66972	27,110139	7,737698	3,069938
20	0,878474	1,768	4907,65194	0,211082	8,657457	3,087914
21	0,928447	0,54	5082,27303	17,096774	8,515492	3,094608
22	0,077977	0,154	5459,40766	181,527681	8,595126	3,090408
23	0	0,0554	6012,53477	326,255075	8,604405	3,049205

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Ensayo de la probeta 2

Tabla 4-3: Datos experimentales por el software LabVIEW de la probeta 2

Dato	Tiempo (s)	Posición angular (°)	Energía Cinética (J)	Energía Potencial (J)	Velocidad Real (m/s)	Velocidad Ideal (m/s)
1	0	27	78,57522	-0,0742	0	0,61461
2	0,1005	26,593	399,22222	5442,73502	0	0,61461
3	0,235402	25,189	803,86922	4980,08802	0	1,139062
4	0,290372	23,837	1208,516	4773,44102	0	1,463806
5	0,341344	23,005	1413,1632	4566,79402	6,970964	1,625333
6	0,361327	23,005	1617,8102	4360,14702	6,195753	1,625333
7	0,41432	21,133	1788,4572	4153,50002	4,893437	1,924494
8	0,460283	20,093	1959,1042	3946,85302	6,537533	2,063181
9	0,512263	19,053	2129,7512	3740,20602	6,371485	2,187009
10	0,533229	17,857	2300,3982	3533,55902	6,37477	2,31406
11	0,58722	16,557	2457,0452	3226,91202	6,391147	2,436314
12	0,624177	15,309	2613,6922	2920,26502	6,927299	2,540236
13	0,672172	13,957	2920,3392	2613,61802	6,883701	2,639722
14	0,693137	12,553	3226,9862	2456,97102	7,125988	2,730107
15	0,749106	11,149	3533,6332	2300,32402	7,221052	2,808517
16	0,791088	9,693	3740,2802	2129,67702	7,632476	2,878175
17	0,846049	6,625	3946,9272	1959,03002	7,607981	2,989417
18	0,868059	6,625	4153,5742	1788,38302	8,395786	2,989417
19	0,934022	3,505	4360,2212	1617,73602	7,779978	3,057066
20	0,978974	1,893	4566,8682	1413,08902	8,699737	3,075042
21	0,988945	0,665	4773,5152	1208,44202	8,557772	3,081736
22	0,994956	0,279	4980,1622	803,79502	8,637406	3,077536
23	1,006364	0,1804	5442,8092	399,14802	8,646685	3,036333
24	1,028947	0	6085,4562	78,50102	8,703685	3,049205

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Ensayo de la probeta 3

Tabla 4-4: Datos experimentales por el software LabVIEW de la probeta 3

Dato	Tiempo (s)	Posición angular (°)	Energía Cinética (J)	Energía Potencial (J)	Velocidad Real (m/s)	Velocidad Ideal (m/s)
1	0	27,175	185,86635	6012,7473	0	0,51461
2	0,1225	26,643	506,51335	5550,0261	0	0,522982
3	0,257402	25,239	911,16035	5087,3791	0	1,047434
4	0,312372	23,887	1315,8073	4880,7321	0	1,372178
5	0,363344	23,055	1520,4543	4674,0851	7,062684	1,533705
6	0,383327	23,055	1725,1013	4467,4381	6,287473	1,533705
7	0,43632	21,183	1895,7483	4260,7911	4,985157	1,832866
8	0,482283	20,143	2066,3953	4054,1441	6,629253	1,971553
9	0,534263	19,103	2237,0423	3847,4971	6,463205	2,095381
10	0,555229	17,907	2407,6893	3640,8501	6,46649	2,222432
11	0,60922	16,607	2564,3363	3334,2031	6,482867	2,344686
12	0,646177	15,359	2720,9833	3027,5561	7,019019	2,448608
13	0,694172	14,007	3027,6303	2720,9091	6,975421	2,548094
14	0,715137	12,603	3334,2773	2564,2621	7,217708	2,638479
15	0,771106	11,199	3640,9243	2407,6151	7,312772	2,716889
16	0,813088	9,743	3847,5713	2236,9681	7,724196	2,786547
17	0,868049	6,675	4054,2183	2066,3211	7,699701	2,897789
18	0,890059	6,675	4260,8653	1895,6741	8,487506	2,897789
19	0,956022	3,555	4467,5123	1725,0271	7,871698	2,965438
20	1,000974	1,943	4674,1593	1520,3801	8,791457	2,983414
21	1,010945	0,715	4880,8063	1315,7331	8,649492	2,990108
22	1,016956	0,329	5087,4533	911,08615	8,729126	2,985908
23	1,028364	0,2304	5550,1003	506,43915	8,738405	2,944705
24	1,050947	0	6112,7473	185,79215	8,838405	2,944705

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

4.2.1. Variación Energía Cinética de cada ensayo

Una vez completados los ensayos, se procede a representar gráficamente la relación entre la posición y la energía cinética, ya que esto nos permite visualizar el comportamiento del péndulo

y cómo su energía potencial se transforma en energía cinética a medida que se desplaza hacia el punto más bajo, que corresponde al 0 ° o al estado de equilibrio.

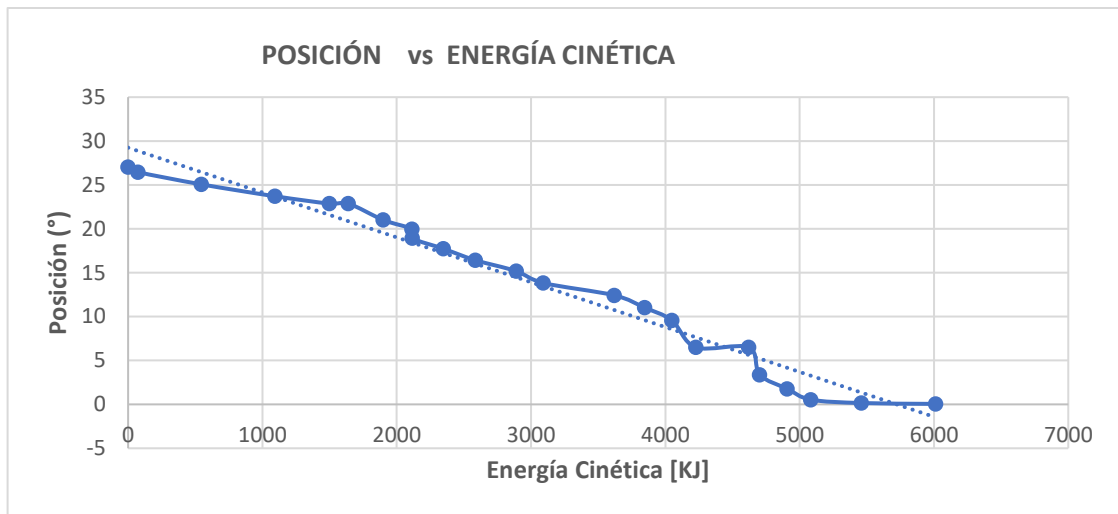


Ilustración 4-2: a) Variación de la Energía Cinética 6.085 KJ liberado desde una posición de 27°

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

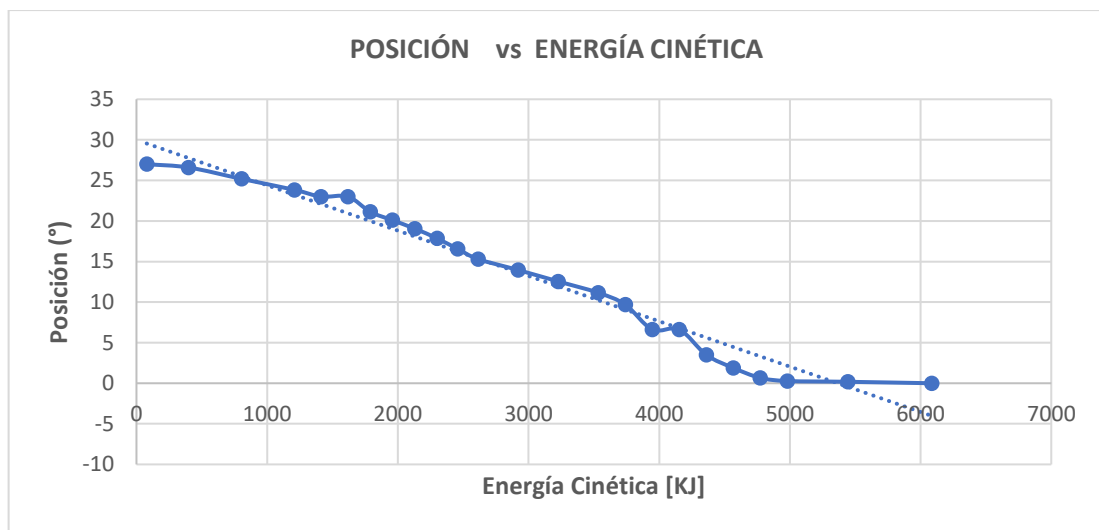
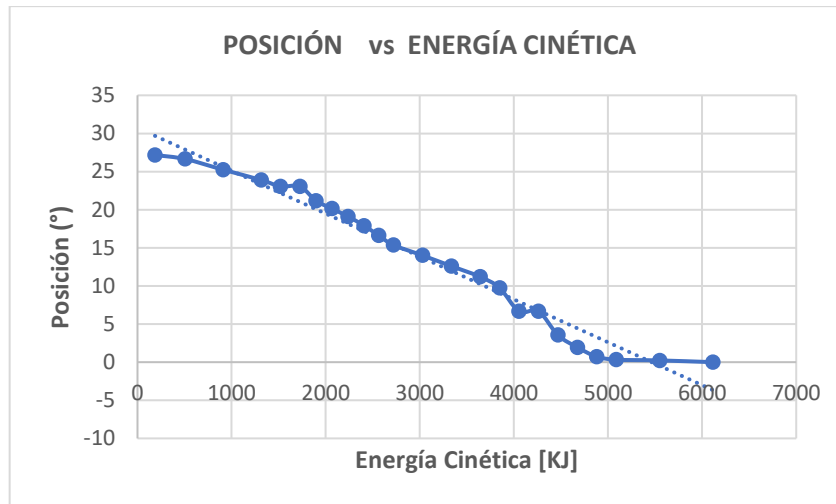


Ilustración 4-3: a) Variación de la Energía Cinética 6.012 KJ liberado desde una posición de 27°

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023



a) Variación de la Energía Cinética 6.11 KJ liberado desde una posición de 27°

Ilustración 4-4: Variaciones de la energía cinética antes del impacto.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Finalmente, en la Ilustración 2-4 se puede observar el resultado del ensayo de impacto en las barandas de seguridad, donde se observa que se deforman sin llegar a fracturarse el elemento estructural y por ende se comprueba su correcto funcionamiento del equipo durante el ensayo.



Ilustración 4-5: Probeta ensayada

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

4.2.2. Análisis de datos

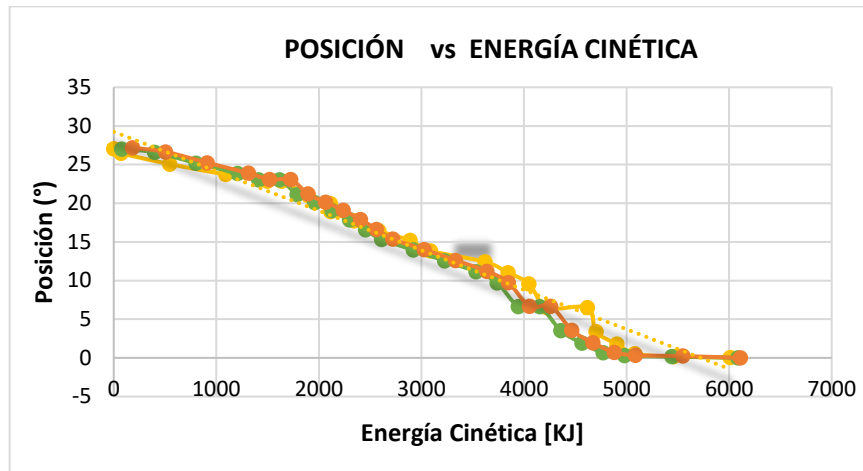


Ilustración 4-6: Variaciones de la Energía Cinética antes del impacto.

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Analizando en gráfico 3-4 se concluye que hay una variación mínima de energía cinética de cada ensayo. Esto nos indica que los valores obtenidos se acercan al valor teórico establecido por la norma UNE 1317-2010, que es de 6.2 [KJ]. Los resultados obtenidos validan la utilización del impactador para realizar los ensayos de impacto, además se ha comprobado que su funcionamiento es adecuado.

Es importante destacar que la variación en la energía cinética obtenida mediante el software LabVIEW puede estar influenciada por diferentes factores, como la precisión de los sensores, el rozamiento entre el eje y el bocín del acople en el péndulo, así como la resistencia del aire. Sin embargo, esta variación no es significativa en gran medida.

4.3. Comparación de resultados Experimental y Teórico

Una vez obtenido los valores de la energía cinética mediante prueba experimentales, es fundamental realizar una comparación con el objetivo de concluir todos los valores se encuentran dentro de un margen de error permitido.

Tabla 4-5: Comparación de datos obtenidos de la Energía Cinética

Ensayo	Angulo de inclinación (grados)	Energía Cinética Experimental (KJ)	Energía Cinética Según UNE-EN 1317 (KJ)	Error Absoluto	Error Relativo (%)
Ensayo #1	27	6.012		0.012	0.193%

Ensayo #2	27	6.085	6.2	0.115	1.854%
Ensayo #3	27	6.112		0.088	1.42%

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

En la tabla anterior se puede observar que, al realizar la comparación entre ambos valores, se obtiene un error mínimo, con un promedio de 1.15%. Esto indica que la diferencia entre el valor teórico y experimentales es pequeña y demuestra una buena precisión en las mediciones realizadas por lo tanto los valores son confiables.

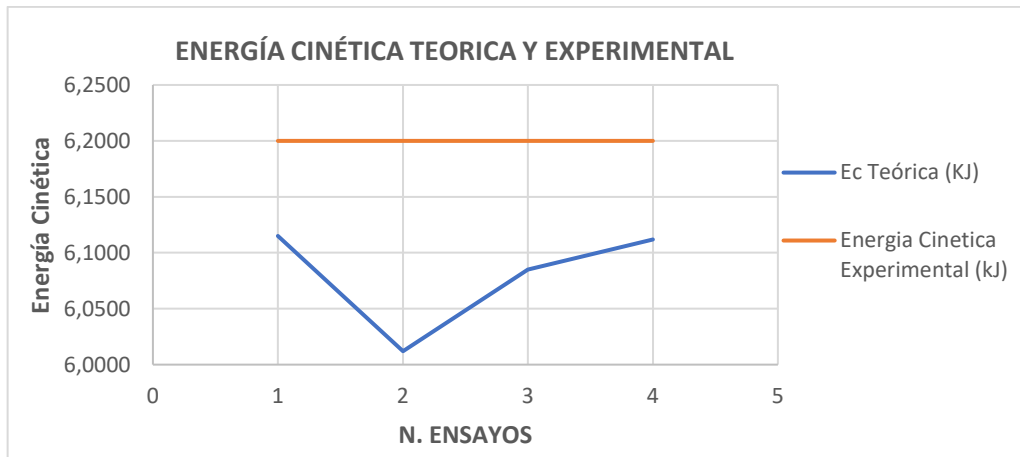


Ilustración 4-7: Variaciones de la Energía Cinética

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

De acuerdo con la norma UNE-EN1317-2010, se considera aceptable que la energía cinética en los ensayos experimentales esté por debajo del 5% de valor nominal.

4.3.1. Resultados mediante la distribución T- Student

Para poder validar los datos obtenidos de los ensayos realizados a un mismo ángulo, se procede a realizar una prueba estadística para determinar si existe una diferencia significativa entre el valor experimental obtenido y el valor teórico establecido por la norma UNE 1317-2010. Para ello, se calcula el error estándar de estimación mediante el uso de la distribución t-Student, aplicando las ecuaciones correspondientes.

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / N \quad (2.24)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Donde:

x : Media de la muestra.

u : Variable a estudiar.

s : Desviación estándar de la muestra.

N : Numero de ensayos.

Posterior determinamos la media muestral remplazando en la ecuación (2.25):

$$\bar{x} = \frac{(6.012 + 6.085 + 6.112)}{3}$$

$$\bar{x} = 6.069$$

Luego determinamos la desviación estándar con la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{(6.012 - 6.069)^2 + (6.085 - 6.069)^2 + (6.112 - 6.069)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 0.052$$

Tomando el valor a estudiar se calcula el valor calculado t aplicando la fórmula de T- Student.

$$t = \frac{(\bar{x} - u)}{\frac{s}{\sqrt{N}}}$$

$$t = \frac{(6.069 - 6.2)}{\frac{0.052}{\sqrt{3}}}$$

$$t = 4.2634$$

Finalmente, para determinar la significancia estadística comparamos el t calculado con el t critico obtenido mediante tablas de distribución T-Student con un nivel de confianza de 95%.

A continuación, se calcula el grado de libertad:

$$gL = n - 1$$

$$gL = 3 - 1$$

$$gL = 2$$

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025$$

Aplicamos la tabla y evaluamos el valor de T crítico como se muestra a continuación:

							$\alpha/2$
	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078
2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886
3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638
4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533
5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476
6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440
7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415

Ilustración 4-8: Distribución T Student

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

Como se observa en la ilustración anterior el valor crítico t (dos colas) es de 4.303 encontrado mediante la tabla T-Student, por lo tanto, podemos concluir que el valor t calculado es menor al valor crítico t por consecuencia no se rechaza la hipótesis nula y se afirma que no hay una diferencia significativa entre el valor teórico establecido por la norma UNE 1317-2010 y el valor experimental. Este resultado obtenido mediante los ensayos respalda la confiabilidad y validez de los resultados, confirmando la capacidad funcional del impactador para llevar a cabo ensayos de impacto de manera efectiva.

4.4. Análisis de costos

El análisis de costo es un proceso que nos ayuda a identificar y estimar el costo de los recursos necesarios para poder llevar a cabo, la construcción del impactador para el péndulo.

4.4.1. Costos directos

Los costos directos representan gastos durante todo el proyecto como la compra de materia prima, la mano de obra y utilización de equipos industriales. En la siguiente tabla 6-4, se detalla todos los materiales que se utilizó para la construcción del impactador.

4.4.1.1. Costo de materiales para la construcción

Tabla 4-6: Costos de materiales

Ítems	Materiales	Cantidad	Peso (kg)	Costo (\$/kg)	Valor unitario	Valor total + IVA
1	Planchas PL A36 900x240x24 mm	16	50.16	1.45	72.73	1163.71
2	Planchas PL A36 350x400x50 mm	2	54.95	1.45	79.68	159.36
3	Planchas PL A36 900x350x50 mm	2	123.64	1.45	179.28	358.56

4	Plancha PL A36 900x500x50 mm	1	176.63	1.45	256.11	256.11
5	Plancha PL A36 1500x140x30 mm	2	50.05	1.45	72.57	145.15
6	Tubo estructural rectangular A36 50x25x2 mm	3	32.5	1.45	47.13	141.37
7	Tubo redondo- Ced. 80. 2"x 2mm de espesor	1	32.5	1.45	47.13	47.13
8	Perno UNC 5/8"+tuerca	24	-	-	2.35	56.4
9	Perno UNC 3/4"+tuerca	40	-	-	3.25	130
10	Eje roscado de 3/4"+ tuerca	2	-	-	2.5	5
11	Pintura	2	-	-	8	16
12	Placas de Acero A36 140x100x3 mm	6	0.42	1.45	0.61	3.65
SUBTOTAL 1						2482.43

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

4.4.1.2. Costo de herramientas para la construcción y mano de obra

Como costos directos también se incluye todos gatos debido al proceso de mecanizado, debido a la construcción y la mano de obra.

La tabla 7-4, representa el costo invertido en uso de equipos dentro del taller por cada hora de trabajo.

Tabla 4-7: Costos de equipos y herramientas

Ítems	Descripción	horas	\$/hora	Valor total
1	Mandrinadora	60	11.00	660.00
2	Fresa	10	15.00	150.00
3	Soldadora	16	2.50	40.00
4	Taladro	16	1.50	24.00
5	Amoladora	7	2.00	14.00
6	Compresor	8	1	8.00
7	Herramientas menores	60	1	60.00
SUBTOTAL 2				956.00

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

La tabla 8-4, representa el costo invertido en asesoría y capacitación durante la construcción.

Tabla 4-8: Mano de Obra

Ítems	Descripción	días	\$/día	Valor total
1	Maestro mecánico	10	15.00	150.00
SUBTOTAL 3				150.00

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

4.4.1.3. Costo de Transporte

Este costo representa todos los gastos que conllevan el trasladar equipos, herramientas y materiales de un lugar a otro, desde la etapa de adquisición de materiales, hasta el montaje del equipo en el laboratorio.

Tabla 4-9: Costo de transporte

Ítems	Descripción	\$/viaje	valor total
1	Transporte de materiales	35	70.00
2	Transporte del personal	5	50
SUBTOTAL 4			120.00

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

4.4.1.4. Costo total directo

Para obtener el valor total de los costos directos se realiza la suma de todos los subtotales encontradas anteriormente en la siguiente tabla se muestra.

Tabla 4-10: Costos directos

Descripción	USD
Subtotal 1	2482.43
Subtotal 2	956
Subtotal 3	150
Subtotal 4	120
TOTAL, COSTO DIRECTOS	3708.43

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

4.4.2. Costos indirectos

Estos costos son costos que no afecta en la construcción de nuestro equipo más bien son costos de imprevistos que puede aparecer al momento inesperado. Ver en la siguiente tabla 11-4.

Tabla 4-11: Costos indirectos

Ítems	Descripción	valor unitario	Valor total
1	Ingenieriles	0.00	0.00
2	imprevistos	150.00	150.00
3	Otros	100.00	100.00
TOTAL			250.00

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

4.5. Costos totales

Después de a ver obtenido los valores de costos directos e indirectos, se procede a sumar para determinar el valor total equipo.

Tabla 4-12: Costo total

Costos	USD
Directos	3708.43
Indirectos	250.00
TOTAL, USD	3958.43

Realizado por: Paguay, R & Betún D. 2023

El costo total del impactador para realizar ensayos de impacto en barandas de seguridad tiene un costo total de **3948.43** de dólares americanos.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se logró diseñar, construcción el impactador y posterior su implementación sin modificar el péndulo de impacto siguiendo las recomendaciones de la norma internacional NCHRP 656 y con el cual poder realizar ensayos e impacto en barandas de seguridad simulando el impacto de un vehículo.

Se logró seleccionar un material adecuado que sea resistente a los impactos y por ende se llevó a cabo realizar pruebas de dureza Brinell obteniendo un valor de 182 HB según las recomendaciones.

Se pudo identificar la deformación en los brazos del péndulo al implementar la masa de 1300kg el cual se logró corregir esta deformación implementado los tensores para poder rigidizar el brazo del péndulo con el cual al momento de realizar ensayos de impacto predecir fallas inesperadas.

Se pudo realizar ensayos de impacto contra las barandas de seguridad con el fin de evaluar el funcionamiento del impactador.

Se logró obtener los valores de energía cinética en la posición 0° en cada ensayo y posterior realizar la comparación de los resultados obtenidos mediante el péndulo con el valor teórico de la norma UNE-EN 1317-2010, obteniendo un error promedio de 1.15%.

Mediante la prueba T-Student se pudo comparar los resultados obtenidos mediante la prueba experimental con respecto al valor teórico de 6,2 KJ establecida por norma UNE 1317, el resultado de la comparación concluye que el valor t calculado es menor al valor critico t por consecuencia acepta la hipótesis nula y se afirma que no hay una diferencia significativa por aquello se ajusta dentro de los límites esperados a la prueba teórica.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar una inspección visual completa del equipo, incluyendo el impactador, después de cada tres ensayos, siguiendo las pautas recomendadas por la norma del péndulo. Además, se recomienda llevar a cabo un mantenimiento preventivo, como lubricar el eje del péndulo y verificar los pernos de anclaje del impactador, ya que estos están expuestos a fuerzas de cizallamiento.

Se recomienda tener cuidado al momento de montar y desmontar el impactador para evitar accidentes al usuario por la masa que lleva este equipo, ya que el péndulo es utilizado para múltiples aplicaciones con diferentes impactadores.

Se recomienda continuar con el presente trabajo para iniciar nuevas investigaciones, aprovechando las ventajas del sistema, ya que se pueden realizar ensayos de impacto en otros tipos de sistema de seguridad presentes en las vías, por su capacidad de la masa y su facilidad de desmontaje ya que el péndulo puede resistir hasta la capacidad de hasta 2000 kg.

Se recomienda al grupo de investigación GDP de la Facultad de Mecánica que, con el equipo construido, buscar convenios con instituciones encargadas de la instalación de barandas de seguridad. El objetivo es mejorar estos elementos estructurales que se encuentran presentes en las vías, con el fin de reducir el índice de accidentes causados por salidas de la vía.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACEROS ESPECIALES.** Acero Grado Estructural. Obtenido de <https://www.cga.com.co/producto/lamina-a36/>
2. **ALLAUCA, P., & GUALLI, R.** *Diseño e implementación de un sistema de medición de posición del péndulo del grupo de investigación GDP de la Facultad de Mecánica.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15148>
3. **ALPHA PERNÍA, B. J.** Practicas de mecanizado en torno y fresadora. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/708694.pdf>
4. **ALSIMET.** *Alsimet.* Obtenido de <http://alsimet.es/es/noticias/corte-de-metal-tipologia>
5. **AMENGUAL, A.** Sistemas de contencion Vehicular: Barandas de Proteccion. *III Congreso INTER-CISEV*, (pág. 73). Buenos Aires. Recuperado el 23 de 11 de 2020, de <https://pdf4pro.com/cdn/las-barandas-en-los-puentes-carreteros-estatica-y-544cef.pdf>
6. **ARIAS, D., & NAKATA, K.** *Diseño de un pendulo de impacto tipo CHARPY para el laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.* PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI, Santiago de Cali. Obtenido de http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/7694/Diseno_pendolo_impacto_tipo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
7. **ARIAS, D., & NAKATA, K.** *Diseño de un pendulo de impacto tipo charpy para el laboratorio de materiales de la Pontificia Univesidad Javeriana Cali.* Pontificia Universidad Javeriana Cali, Santiago de Cali. Obtenido de <https://docplayer.es/208485757-Diseno-de-un-pendolo-de-impacto-tipo-charpy-para-el-laboratorio-de-materiales-de-la-pontificia-universidad-javeriana-cali.html>
8. **ASHBY, M. F.** *Materiales para Ingeniería 1.* Barcelona- España: Reverté, S. A. Obtenido de https://www.academia.edu/7611268/MATERIALES_PARA_INGENIER% C3% 8DA_1_Introducci% C3% B3n_a_las_propiedades_las_aplicaciones_y_el_dise% C3% B1o?auto=download

9. AUTO COLOMBIA. (10 de Junio de 2015). Chevrolet spark GT - Conduccion y Seguridad. *auto-colombia*, 7. Obtenido de <https://andrespradagarcia.blogspot.com/2015/06/2015-chevrolet-spark-gt-conduccion-y.html>
10. BÖHLER. (s.f.). FERRUM ACEROS LTDA. 48. Santiago, Chile. Obtenido de <https://www.ferrumaceros.cl/aceros-al-carbono/>
11. BRESCIANI, A., COCQUIO, A., & RICCI, C. Innovacion de corte a Laser. *Qualicer~10*, 14. Obtenido de <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/2010159.pdf>
12. BRUSIL, M. J., & CIFUENTES, A. *Diseño, construcción e implementación de un péndulo Charpy para analizar la resistencia al impacto en polímeros de acuerdo a la norma ASTM D6110 – 02 [Tesis - Carrera de Ingeniería Mecatrónica]*. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, SANGOLQUÍ. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13358>
13. BUENAÑO, J. *Estudio del Ensayo de impacto y su incidencia en el comportamiento mecánico del acero AISI 8620 mediante la norma ASTM E23*. Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3704/1/Tesis%20I.%20M.%20156%20-%20Buena%20C3%B1o%20Barreno%20Jackson%20Wilfrido.pdf>
14. BUILDTECH. Steel safety on roadways. *MARCEGAGLIA*, 1-20. Obtenido de https://www.espanol.marcegagliabuildtech.com/wp-content/uploads/2016/07/Marcegaglia_Buildtech_barriere_stradali_guardrail_technical-data2016_IT-EN-DE-FR-ES.pdf
15. CANDO, D., & GARCIA, N. *Diseño y Construcción de un Péndulo para realizar ensayos de impacto en componentes y materiales de aplicación automotrices*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador . Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/15102/1/15T00760.pdf>
16. CARRIÓN, N., & OLMEDO, V. *Caracterización y Analisis de los mecanismos de falla en el acero de las turbinas hidraulicas* . Espoch, Riobamba, Chimborazo , Ecuador . Recuperado el 08 de 03 de 2022
17. CIDAUT. *fundacion cidaut*. Obtenido de <https://www.cidaut.es/es/seguridad-en-infraestructura-vial-ensayos>

18. **CORPIA.** *Corporacion Industrial Andina S.A.* Obtenido de <https://corpia.com.ec/guardavias.html>
19. **DAVIS, W.** Ensayos de dureza. *Edd*, 1-30. Obtenido de <http://190.105.160.51/~material/materiales/presentaciones/ApunteDureza.pdf>
20. **DIPAC .** *Planchas Antiabrasivas.* Obtenido de <https://www.dipacmanta.com/plancha-antiabrasiva>
21. **DISPROVIAL.** Recuperado el viernes de 01 de 2021, de <http://www.disprovia.com/guardavias.html>
22. **DOUGLAS-J, K.-D.** Pendulum testing as a means of assessing the crash performance of longitudinal barrier with minor damage. *ScienceDirect*, 1121-1137. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734743X10000448>
23. **EDEM, A., BURAK, Y., MEHMET, G., & MURAT, A.** Multi-fidelity crashworthiness optimization of a bus bumper system under frontal impact. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 18. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/343988863_Multi-fidelity_crashworthiness_optimization_of_a_bus_bumper_system_under_frontal_impact
24. **EGÜEZ, G., & CANO, M.** Implementación y control técnico científico de un EQUIPO DE Comprobación de laboratorio para durezas superficiales. *tesis de grado para la obtencion del titulo de ingeniero en mecanica automotriz.* Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/753>
25. **ESAB.** *ESAB.* Obtenido de https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/cuale_es_la_mejor_manera_de_cortar_placa_de_acero.cfm
26. **GARRIDO M.** *Escuela Superior Politecnica de Linares.* Obtenido de www.tauja.ujaen.es
27. **GONZALEZ, G. V.** *Informe sobre la situacion de a seguridad vial.* Mexico. Obtenido de <http://conapra.salud.gob.mx/Interior/Documentos/Informe2015.pdf>

- 28. GUADALUPE, T., & MONTERO, R.** *Diseño de la Estructura Metalica de un taller automotriz Desmontable para la placa de Mantenimiento del Bloque 15 para Petroamazonas.* Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5804>
- 29. HERMENEGILDO, R.** *Ingemecanica.* Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn218.html>
- 30. HORVANTH.** *Engineering Design.* En Horvanth, *Engineering Design* (págs. 15-48). Carolina del Sur: Technology. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6837/05Jcb05de16.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- 31. ILLESCAS, D. P.** *Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera.* Universidad carlos iii de Madrid Escuela Politecnica Superior, Madrid. Obtenido de <http://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/modelos-fisicos-matematicos/SIMULACION-DE-CHOQUE-FRONTAL.pdf>
- 32. INDURA.** *Manualas de sistema y materiales de soldadura.* Buenos aires- argentina. Recuperado el 01 de 11 de 2020, de <http://www.indura.cl/Descargar/Manual%20de%20Soldadura%20INDURA?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F00da6ac5e6754e428ecd94f1c78711cb.pdf>
- 33. INGEMECÁNICA.** *Ingemecánica.* Recuperado el 2021 de marzo de 31, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn38.html>
- 34. ISAAC MUGENYI.** *Impact strength testing device.* Obtenido de <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/166304/Izod%20impact%20strength%20test%20device.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- 35. M. RODRIGUEZ, 2. (s.f.).** *TYP SA.* Obtenido de Ingenieros Consultores y arquitectos: http://politicaterritorial.gva.es/documents/20088661/73479749/P3-MarcNormatiuSPM-RosaMaRodriguezMoya_2.pdf/c37f99a0-8e31-4eab-929a-65074cae40b6
- 36. MAGNET, G.** *Imanes para transporte.* Recuperado el 15 de 11 de 2021, de <https://gtek magnet.com/es/industrias/transporte/>

- 37. McCORMAC, J. C.** *Diseño de estructuras de acero* (Quinta edición ed., Vol. Quinta Edición). Mexico: Pearson Education, Inc. U.
- 38. MENDOZA, W. (s.f.).** *Instrucciones paso a paso para el proceso de soldadura y corte por oxiacetileno O.A.W –O.A.C.* Recuperado el 05 de 11 de 2020, de https://www.academia.edu/33850339/INSTRUCCIONES_PASO_A_PASO_PARA_EL_PROCESO_DE_SOLDADURA_Y_CORTE_POR_OXIACETILENO_O_A_W
- 39. METALESA.** *Que es la norma UNE EN 1317.* Obtenido de <https://metalesa.com/que-es-la-norma-une-en-1317/>
- 40. NCHRP-656.** *report 656.* WASHINGTON, D.C.: Library of Congress Control Number 2010926946. Obtenido de https://www.sbes.vt.edu/gabler/publications/Reports/nchrp_rpt_656.pdf
- 41. NTE INEN 2473.** Perfiles corrugados y postes de acero para. *Instituto Ecuatoriano de normalización, PRIMERA EDICION*, 5. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2473-1.pdf>
- 42. NTE INEN 2473:** *Perfiles corrugados y postes de acero para guardavías. Requisitos.* INEN. Quito-Ecuador: primera edicion . Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2473-1.pdf>
- 43. NTE-INEN-2473.** Perfiles Corrugados y Postes de acero para guardavias. *INEN*, 1-19. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2473-1.pdf>
- 44. PATRICIO, R. R.** Diseño, construcción e implementación de un sistema de elevación y frenado del péndulo charpy. *Tesis de grado.* Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Chimborazo, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2339/1/15T00506.pdf>
- 45. RIBA .** Estructura de diseño según la norma Alemana VDI 2221.
- 46. RIVERA, P. F.** *Analisis de baranda de seguridad en carreteras de la Provincia De Azuay.* Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8915/1/UPS-CT005153.pdf>

- 47. RUBIO, I., & YUQUILEMA, B.** *"Diseño, Construcción e Implementación de un sistema de elevación y frenado de Pendulo Charpy"*. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado el 2021, de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2339/1/15T00506.pdf>
- 48. SAENZ, P. M.** *Acabado Superficial*. Obtenido de file:///C:/Users/RUBEN%20OSWALDO/Downloads/Acabado_superficial.pdf
- 49. SHARAD, S., TAMBUSAR, & PATIL, S.** Stability analysis of pendulum Test Rig as per ECE R29 Using Modal Analysis. *IJSART*, 448-457, doi: IJSARTV3I1017633. Obtenido de <http://ijsart.com/Content/PDFDocuments/IJSARTV3I1017633.pdf>
- 50. SHIGLEY.** *Diseño en ingeniería mecánica de shigley* (Octava ed.). México, D. F.: McGraw-Hill.
- 51. TECNOLOGIA INDUSTRIAL 1° BACH.** *Tecnología Industrial 1° BACH*. Obtenido de <http://tecnoindulzoe.blogspot.com/2019/04/procedimientos-de-fabricacion-aqui.html>
- 52. TECNOLOGÍAS EN SOLDADURA.** *Tecnologías en soldadura*. Obtenido de <https://tecnologiasensoldadura.com.mx/cuales-son-las-diferencias-entre-el-corte-por-plasma-y-el-oxicorte/>
- 53. TENA, O. L.** *Estudio de los procesos de soldadura GTAW y SMAW en la industria naval: Análisis casos prácticos*. Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Recuperado el 05 de 11 de 2020, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/172338/145681_TFG%20OSCAR%20LORENZO%2009.10.19.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 54. UNE-EN-1317.** Marcado ce de los sistemas. *Norma 131- 2*, 12-16. Obtenido de [http://www.glsprefabricados.com/upload/users/admin/File/norma\(1\).pdf](http://www.glsprefabricados.com/upload/users/admin/File/norma(1).pdf)
- 55. UNE-EN-1317-1.** Marcado ce de los sistemas. *Norma 1317*, 12-16. Obtenido de [http://www.glsprefabricados.com/upload/users/admin/File/norma\(1\).pdf](http://www.glsprefabricados.com/upload/users/admin/File/norma(1).pdf)
- 56. UNICOOS.** *Blog de Unicoos*. Obtenido de <https://www.unicoos.com/blog/como-calcular-la-fuerza-de-impacto/>

- 57. VALVERDE, G.** *Guía técnica para el diseño, aplicación y uso de sistemas de contención vehicular.* Bogota.
- 58. VENTIMILLA, J., & BRAVO, P.** Analisis de barandas de seguridad en carreteras de la provincia de azuay. " *Tesis de Grado* ". Universidad Politécnica de Salesiana, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8915>
- 59. VIRACOCCHA, C., & LASLUISA, E.** *Diseno y construccion de una maquina de ensayo de impacto charpy, para el laboratorio de electromecánica de la universidad técnica de cotopaxi en el periodo 2014.* Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1867>

ANEXOS

ANEXO A: NORMA UNE - EN 1327-2010

EXTRACTO DE LA NORMATIVA UNE-EN 1317

MARCADO CE DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN

El mercado CE de los productos que son objeto la norma UNE-EN-1317-5 es obligatorio a partir del 1 de enero de 2011.

EXTRACTO DE LA NORMA UNE-EN 1317

Este extracto resume los principales puntos de la norma UNE-EN 1317 necesarios para la aplicación de los sistemas de seguridad en carreteras.

UNE-EN 1317-1: 2010

Introducción:

Con el fin de mantener y mejorar la seguridad en las carreteras, el diseño de las mismas requiere la instalación, en algunos tramos y en localizaciones particulares, de sistemas destinados a contener a vehículos o proteger a peatones que de otra manera podrían acceder a zonas peligrosas. Los sistemas de contención que se recogen en esta norma están diseñados para ofrecer unos niveles de contención específicos, para reconducir a vehículos incontrolados, y para servir de guía a peatones y otros usuarios de las carreteras.

Para poder comparar los resultados con todos los productos ensayados, la UNE-EN 1317-1 indica las especificaciones, procedimientos de cálculo y condiciones en que se deben llevar a cabo los ensayos.

Además de otros términos, la norma especifica principalmente:

- Masa y dimensiones de los vehículos de ensayo.
- Localización y anclaje de los instrumentos de medida.
- Método de cálculo de los efectos que sufren los ocupantes de vehículos colisionados.
- Información que debe contener el informe de ensayo.

UNE-EN 1317-2: 2010

La segunda parte de la Norma UNE-EN 1317 contiene las clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de choque y métodos de ensayo para barreras de seguridad. Esencialmente, los tres criterios de los sistemas de seguridad son:

- Nivel de contención: (T3, H2, H4b...).
- Severidad del impacto (niveles A, B ó C).
- Deformación del sistema
 - Anchura de trabajo normalizada W_m
 - Deflexión dinámica normalizada D_m
 - Intrusión del vehículo V_{Im} .

Las definiciones de los índices que intervienen en el sistema se clasifican en:

ASI - Índice de severidad del impacto.

El índice ASI pretende medir la intensidad del impacto y está considerado el índice más importante del impacto con relación a los ocupantes.








THIV - Velocidad teórica de choque de la cabeza.

El THIV describe la velocidad teórica de la cabeza del ocupante durante el impacto cuando el vehículo colisiona con un obstáculo. La velocidad de la cabeza tiene que ser inferior a 33 km/h.

El nivel de severidad del impacto está compuesto por dos valores: ASI y THIV.

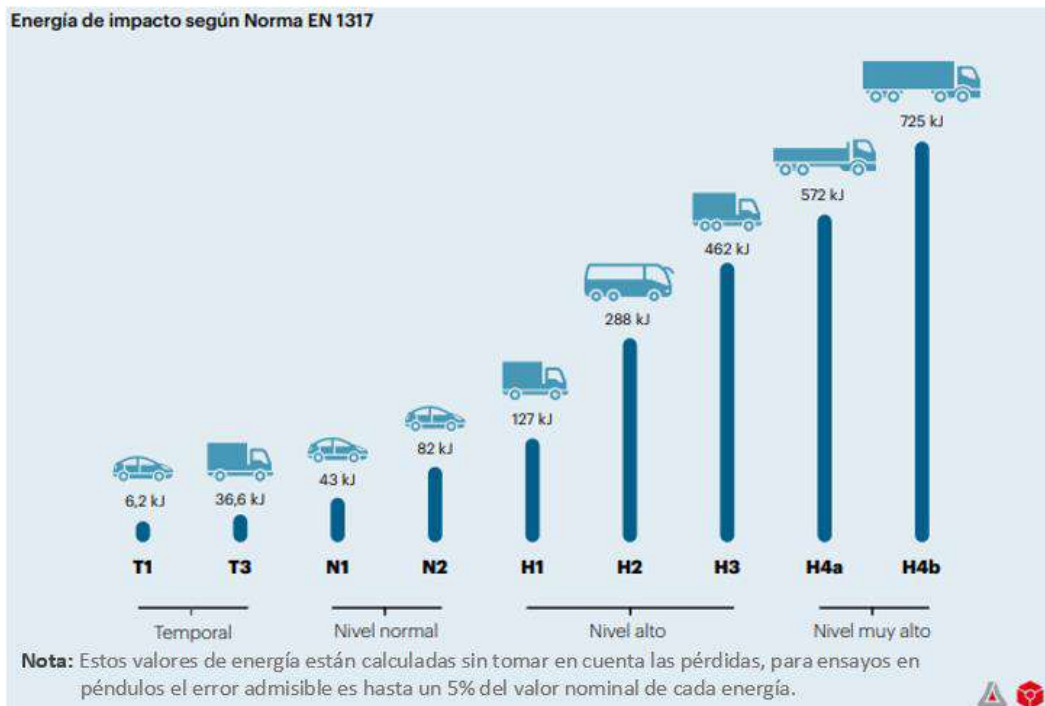
Nivel de severidad del impacto		THIV
A	$ASI \leq 1$	≤ 33 km/h
B	$1,0 < ASI \leq 1,4$	
C	$1,4 < ASI \leq 1,9$	

Niveles de contención según Norma EN 1317

T1	T3	N1	N2	H1	H2	H3	H4a	H4b
								
1.300 kg 80 km/h Angulo 8°	10.000 kg 70 km/h Angulo 8°	1.500 kg 80 km/h Angulo 20°	1.500 kg 110 km/h Angulo 20°	10.000 kg 70 km/h Angulo 15°	13.000 kg 70 km/h Angulo 20°	16.000 kg 80 km/h Angulo 20°	30.000 kg 65 km/h Angulo 20°	38.000 kg 65 km/h Angulo 20°
TB 21	TB 41 + TB 21	TB 31	TB 32 + TB 11	TB 42 + TB 11	TB 51 + TB 11	TB 61 + TB 11	TB 71 + TB 11	TB 81 + TB 11

TB 11: 900 kg - 100 km/h - Angulo 20°

Energía de impacto según Norma EN 1317



EXTRACTO DE LA NORMATIVA UNE-EN 1317



Los niveles de contención están compuestos de uno, dos y tres ensayos, indicados según los criterios anteriores.

Niveles de contención	Ensayos de aceptación			
Baja contención	T1	•	•	TB 21
	T2	•	•	TB 22
	T3		•	TB 41 y TB 21
Contención normal	N1	•	•	TB 31
	N2	•	•	TB 32 y TB 11
Alta contención	H1			TB 42 y TB 11
			L1	TB 42 y TB 32 y TB 11
	H2			TB 51 y TB 11
			L2	TB 51 y TB 32 y TB 11
	H3			TB 61 y TB 11
			L3	TB 61 y TB 32 y TB 11
Muy alta contención	H4a H4b		•	TB 71 y TB 11 TB 81 y TB 11
			L4a L4b	TB 71 y TB 32 y TB 11 TB 81 y TB 32 y TB 11

Nota 1: los niveles de baja contención se usan únicamente en caso de barreras de seguridad temporales. Estas barreras se pueden ensayar también para niveles de contención superiores.

Nota 2: se debería considerar que una barrera ensayada con éxito para un nivel de contención determinado cumple los requisitos de cualquier nivel inferior, **excepto que N1 y N2 no incluyen al T3**, los niveles H no incluyen L, y los niveles H1... H4b no incluyen al N2.

Nota 3: los ensayos TB 71 y TB 81 se incluyen en la norma debido a que en distintos países se han empleado vehículos pesados significativamente distintos para los ensayos y el desarrollo de barreras de seguridad de muy alta contención. Los niveles de contención H4a y H4b no deberían considerarse como equivalentes, no existiendo ninguna jerarquía entre ellos. Lo mismo ocurre con los niveles L4a y L4b.

Nota 4: el comportamiento de las clases de contención L mejora con respecto a las correspondientes clases H mediante la adición del ensayo TB 32.

ANEXO B: NORMA NTE INEN 2473:2013 (PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVIAS)



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2473:2013
Primera revisión

PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS. REQUISITOS

Primera edición

CORRUGATED PROFILES AND STEEL POSTS FOR GUARDRAILS. REQUIREMENTS

First edition

DESCRIPTORES: Productos de hierro y acero, guardavías, perfiles, requisitos.

MC 06.04-426

CDU: 672

CIIU: 3710

ICS: 77.140.70

4. CLASIFICACIÓN

4.1 Por su recubrimiento se definen tres tipos:

4.1.1 *Tipo I*: Recubrimiento de zinc; 550 g/m² como mínimo.

4.1.2 *Tipo II*: Recubrimiento de zinc; 1 100 g/m² como mínimo.

4.1.3 *Tipo III*: Barandales de acero resistente a la corrosión.

4.2 Por el espesor del acero base se definen dos clases:

4.2.1 *Clase A*: Espesor nominal del metal base 2,67 mm.

4.2.2 *Clase B*: Espesor nominal del metal base 3,43 mm.

4.3 Por su configuración de montaje se definen cinco opciones (ver figura 1):

4.3.1 *Configuración 1: Barandal simple sin separador.*

4.3.2 *Configuración 2: Barandal simple con separador.*

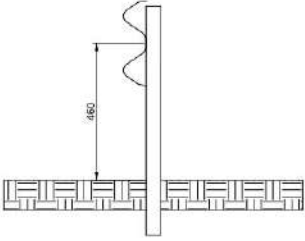
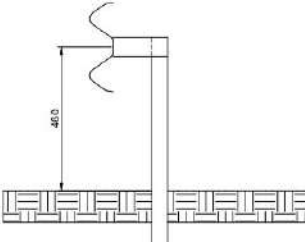
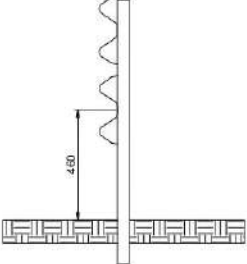
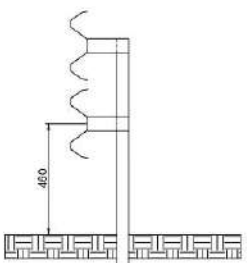
4.3.3 *Configuración 3: Barandal doble sin separador.*

4.3.4 *Configuración 4: Barandal doble con separador.*

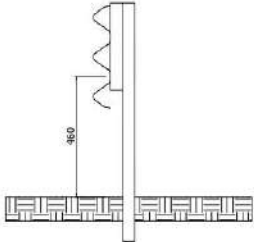
4.3.5 *Configuración 5: Barandal triple con separador.*

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS REQUISITOS	NTE INEN 2473:2013 Primera revisión 2013-05
<p>1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos mecánicos, de recubrimiento y dimensionales, que deben cumplir los perfiles corrugados, separadores, terminales, transiciones, elementos de fijación y postes de acero para el uso como protección lateral en las vías terrestres.</p> <p>2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma aplica a los perfiles corrugados, separadores, terminales, transiciones y postes de acero, fabricados mediante procesos de conformación en frío y sus elementos de fijación.</p> <p>2.2 Esta norma no es aplicable por sí sola para diseñar e instalar un sistema vial de contención.</p> <p>3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las siguientes definiciones:</p> <p>3.1.1 <i>Barandal</i>. Perfil o conjunto de perfiles de doble o triple onda corrugados de acero.</p> <p>3.1.2 <i>Dureza Brinell</i>. Medición de la dureza de un material mediante el método de indentación en la escala Brinell.</p> <p>3.1.3 <i>Elementos de fijación</i>. Elementos tales como pernos, arandelas y tuercas que tienen el propósito de fijar los componentes del guardavía.</p> <p>3.1.4 <i>Elemento retrorreflectivo</i>. Elemento que tiene el propósito de mejorar la visibilidad del guardavía.</p> <p>3.1.5 <i>Espesor BMT (Base Metal Thickness)</i>. Espesor del metal base sin incluir el recubrimiento.</p> <p>3.1.6 <i>Espesor TCT (Total Coated Thickness)</i>. Espesor total de la lámina incluido el recubrimiento.</p> <p>3.1.7 <i>Poste</i>. Elemento vertical fijado al piso que sostiene el o los barandales.</p> <p>3.1.8 <i>Separador</i>. Elemento intermedio entre el barandal y el poste que absorbe energía por deformación y mantiene separado las ruedas y neumáticos del vehículo de los postes durante un impacto.</p> <p>3.1.9 <i>Terminal</i>. Elemento extremo del barandal.</p> <p>3.1.10 <i>Terminal amortiguador</i>. Elemento especial ubicado en los extremos convergentes de los barandales que absorbe energía por deformación.</p> <p>3.1.11 <i>Transición</i>. Barandal que sirve para conectar un guardavía de triple onda a uno de doble onda y viceversa.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Productos de hierro y acero, guardavías, perfiles, requisitos.</p>		

FIGURA 1. Configuraciones de montaje

CONFIGURACIÓN	ESQUEMA
<p>1. BARANDAL SIMPLE SIN SEPARADOR</p>	
<p>2. BARANDAL SIMPLE CON SEPARADOR</p>	
<p>3. BARANDAL DOBLE SIN SEPARADOR</p>	
<p>4. BARANDAL DOBLE CON SEPARADOR</p>	

(Continuación tabla 1)

CONFIGURACIÓN	ESQUEMA
5. BARANDAL TRIPLE CON SEPARADOR	
Nota. Las dimensiones están expresadas en milímetros	

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos específicos

5.1.1 Mecánicos

5.1.1.1 Los barandales y transiciones deben cumplir con los requisitos mecánicos establecidos en la tabla 1.

TABLA 1. Propiedades mecánicas de los barandales

Límite mínimo de fluencia (MPa)	Resistencia mínima a la tracción (MPa)	Elongación mínima ^{a)} (%)
345	483	12
^{a)} La elongación está en función de una probeta de 50 mm de longitud calibrada.		

5.1.1.2 Los postes y separadores deben cumplir con los requisitos mecánicos establecidos en la tabla 2.

TABLA 2. Requisitos mecánicos de postes y separadores

Límite de fluencia mín. (MPa)	Resistencia a la tracción mín. (MPa)
250	400

5.1.1.3 Los terminales deben cumplir con los requisitos mecánicos establecidos en la tabla 3.

TABLA 3. Requisitos mecánicos de terminales

Límite de fluencia mín. (MPa)	Resistencia a la tracción mín. (MPa)
227	310

ANEXO C: TABLA DE ESPECIFICACIONES SAE Y ASTM PARA PERNOS DE ACERO

Tabla 8-1








Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino*

Diámetro nominal d_f mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p_f mm	Área de esfuerzo de tensión A_f , mm ²	Área del diámetro menor A_m , mm ²	Paso p_f mm	Área de esfuerzo de tensión A_f , mm ²	Área del diámetro menor A_m , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

*Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_m = d - 1.226869p$, y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649519p$. La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

Tabla 8-11

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima,† MPa	Resistencia mínima a la tensión,† MPa	Resistencia mínima a la fluencia,† MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M1.6-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

ANEXO D: ESPECIFICACIONES DE PERFILES DE ACERO A36 UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN (DIPAC)



DIPAC[®]
PRODUCTOS DE ACERO

RECTANGULAR

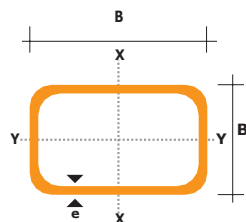
**TUBO ESTRUCTURAL
RECTANGULAR**

Especificaciones Generales

- Norma** ASTM A-500
- Recubrimiento** Negro o galvanizado
- Largo normal** 6 mts.
- Otros largos** Previa Consulta
- Dimensiones** Desde 12mm x 25mm a 40mm x 80mm
- Espesor** Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES				AREA	EJES X-X			EJES Y-Y		
A mm	B mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm2	I cm4	W cm3	i cm	I cm4	W cm3	i cm
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,88	0,88	0,83
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15



ANEXO E: ESPECIFICACIONES DE ACERO A36 UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN (DIPAC)

PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 115
Espesores:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Espesores:	2mm a 12mm
Rollos:	Ancho 1000, 1220, 1500mm
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Acabado:	Acero Negro



Calidad Comercial

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

Calidad Estructural

Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas					Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alarga- miento %	Doblado 180°		
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min			
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015	
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36	
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min			
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e		

ANEXO F: CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DE LAS PLANCHAS DE ACERO A36



五矿营口中板有限责任公司
Minerals Yingkou Medium Plate Co., Ltd.

产品质量证明书 INSPECTION CERTIFICATE

辽宁省营口市老边区冶金街/115005
Yejin street, Laobian district, Yingkou,
Liaoning, P. R. China/115005
TEL: 0417-3256081 FAX: 0417-3256057
NO.: DT2101501/A



3023-A (4/1605)

订货单位 (PURCHASER)	STEELFORCE FAR EAST LTD	产品名称 (PRODUCT)	热轧合金钢板 Prime newly produced Hot rolled alloy Steel Plates	证书编号 (CERTIFICATE NO.)	0070015082019090313
收货单位 (CONSIGNEE)	STEELFORCE FAR EAST LTD	交货状态 (DELIVERY CONDITION)	热轧 (CR)	签发日期 (DATE OF ISSUE)	2019-08-23
合同编号 (CONTRACT NO.)	YGKRB3590009211-0-01	技术标准 (SPECIFICATION)	ASTM A36/A36M	牌号 (GRADE)	ASTM A36
车号 (TRAIN NO.)	L2HC3039; L2HC3995; L2H3734; L2H31953; L2HC2703; L2HC1916; L2H22388; L2H1103; L2HC1787; L2HA5573; L2HL6522; L2H3738; L2HC1915;				

炉号 HEAT NO.	批号 BATCH NO.	规格尺寸 (mm) DIMENSION			件数 PIECES	重量 (ton) WEIGHT	拉伸试验 TENSILE TEST					弯曲试验 BEND TEST	冲击功 (J) IMPACT ENERGY			报告检测 TEST			
		T	W	L			屈服ReL (N/mm2)	抗拉Rm (N/mm2)	屈服Rp (N/mm2)	断后伸长率 A5 (mm)	断后伸长率 A (mm)		尺寸 SIZE (mm)	温度 TEMP (°C)	纵向longitudinal	等级 LEVEL	结果 RESULT	标准STANDARD	
19408466C	1975704	24	2438	6100	3	8.408			300	455		26							
19207979D	1975235	30	2438	6100	4	14.008			280	440		24							
19108231A	1976170	38	2438	6100	10	44.300			305	460		24.5							
19108231A	1976170	38	2438	6100	2	8.872			290	450		25							
合计 (TOTAL)						19	75.646												

批号 BATCH NO.	化学成分 CHEMICAL COMPOSITION (%)																	
	C	Si	Mn	P	S	Als	Al	Cr	Ni	Cu	N	Mo	V	Ti	Nb	eq	CEV	
1975704	0.18	0.19	0.86	0.023	0.022	0.002	0.002	0.300	0.051	0.006	0.0054	0.002	0.003	0.002	0.005		0.38	
1975235	0.18	0.18	0.83	0.024	0.019	0.002	0.003	0.302	0.034	0.010	0.0049	0.003	0.004	0.002	0.006		0.38	
1976170	0.17	0.17	0.81	0.018	0.019	0.001	0.003	0.302	0.026	0.010	0.0047	0.001	0.003	0.001	0.005		0.37	
1976170	0.17	0.17	0.81	0.018	0.019	0.001	0.003	0.302	0.026	0.010	0.0047	0.001	0.003	0.001	0.005		0.37	

备注 NOTE:	ACCORDING TO EN10204 3.1: A1-A14			
	本产品已按照标准要求制造和检验，其结果符合要求。特此证明。 WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL DESCRIBED WAS MANUFACTURED AND TESTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE ABOVE MATERIAL SPECIFICATION.	操作员 OPERATOR	刘朝霞 Liu Xiaoxia	冶金技术部部长 DIRECTOR OF METALLURGICAL DEPARTMENT

ANEXO G: NORMA ASTM E 10 PARA ENSAYO DE DUREZA BRINELL



Designation: E10 – 15

American Association State Highway
and Transportation Officials' Standard
AASHTO No.: T70–86

Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E10; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials by the Brinell indentation hardness principle. This standard provides the requirements for a Brinell testing machine and the procedures for performing Brinell hardness tests.

1.2 This standard includes additional requirements in four annexes:

Verification of Brinell Hardness Testing Machines	Annex A1
Brinell Hardness Standardizing Machines	Annex A2
Standardization of Brinell Hardness Indenters	Annex A3
Standardization of Brinell Hardness Test Blocks	Annex A4

1.3 This standard includes nonmandatory information in an appendix which relates to the Brinell hardness test:

Table of Brinell Hardness Numbers	Appendix X1
Examples of Procedures for Determining Brinell Hardness Uncertainty	Appendix X2

1.4 At the time the Brinell hardness test was developed, the force levels were specified in units of kilograms-force (kgf). Although this standard specifies the unit of force in the International System of Units (SI) as the Newton (N), because of the historical precedent and continued common usage of kgf units, force values in kgf units are provided for information and much of the discussion in this standard refers to forces in kgf units.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved May 1, 2015. Published June 2015. Originally approved in 1924. Last previous edition approved in 2014 as E10–14. DOI: 10.1520/E0010-15.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications

E74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines

E140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness

E384 Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials

2.2 *American Bearings Manufacturer Association Standard*:

ABMA 10-1989 Metal Balls³

2.3 *ISO Standards*:

ISO/IEC 17011 Conformity Assessment—General Requirements for Accreditation Bodies Accrediting Conformity Assessment Bodies⁴

ISO/IEC 17025 General Requirements for the Competence of Calibration and Testing⁴

3. Terminology and Equations

3.1 *Definitions*:

3.1.1 *calibration*—determination of the values of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.1.2 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American Bearing Manufacturers Association (ABMA), 2025 M Street, NW, Suite 800, Washington, DC 20036, <http://www.americanbearings.org>.

⁴ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

3.1.3 *standardization*—to bring in conformance with a known standard through verification or calibration.

3.1.4 *Brinell hardness test*—an indentation hardness test using a verified machine to force an indenter (tungsten carbide ball with diameter D), under specified conditions, into the surface of the material under test. The diameter of the resulting indentation d is measured after removal of the force.

3.1.5 *Brinell hardness number*—a number, which is proportional to the quotient obtained by dividing the test force by the curved surface area of the indentation which is assumed to be spherical and of the diameter of the ball.

3.1.6 *Brinell hardness scale*—a designation that identifies the specific combination of ball diameter and applied force used to perform the Brinell hardness test.

3.1.7 *Brinell hardness testing machine*—a Brinell hardness machine used for general testing purposes.

3.1.8 *Brinell hardness standardizing machine*—a Brinell hardness machine used for the standardization of Brinell hardness test blocks. The standardizing machine differs from a regular Brinell hardness testing machine by having tighter tolerances on certain parameters.

3.1.9 *force-diameter ratio*—a number calculated as the ratio of the test force in kgf to the square of the indenter ball diameter in mm (see Table 1).

TABLE 1 Symbols and Designations

Symbol	Designation
D	Diameter of the ball, mm
F	Test force, N
F_{kgf}	Test force, kgf
	$F_{\text{kgf}} = \frac{1}{g_n} \times F$
	where g_n is the acceleration due to gravity, $g_n = 9.80665 \text{ kgf/N}$
d	Mean diameter of the indentation, mm
	$d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$
	where $d_1 + d_2 + \dots + d_n$ are the measured indentation diameters in mm, and n is the number of diameter measurements.
h	Depth of the indentation, mm
	$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$
Force-Diameter ratio	$= \frac{F_{\text{kgf}}}{D^2}$
HBW	Brinell hardness
	$= \frac{\text{Test Force}}{\text{Surface area of indentation}}$
	$= \frac{2F_{\text{kgf}}}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

3.2 *Equations:*

3.2.1 The *Brinell hardness number* is calculated as:

$$HBW = \frac{2F_{\text{kgf}}}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

where:

- F_{kgf} = test force in kgf,
- D = diameter of the indenter ball in mm, and
- d = measured mean diameter of the indentation in mm (see Table 1).

3.2.2 The *repeatability* R in the performance of a Brinell hardness machine at each hardness level, under the particular verification conditions, is estimated by the range of diameter measurements of n indentations made on a standardized test block as part of a performance verification, defined as:

$$R = d_{\text{max}} - d_{\text{min}} \quad (2)$$

where:

- d_{max} = mean diameter of the largest measured indentation, and
- d_{min} = mean diameter of the smallest measured indentation.

3.2.3 The *average* \bar{H} of a set of n Brinell hardness measurement values H_1, H_2, \dots, H_n is calculated as:

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (3)$$

3.2.4 The *error* E in the performance of a Brinell hardness machine at each hardness level is determined as:

$$E = \bar{H} - H_{STD} \quad (4)$$

where:

- \bar{H} (Eq 3) = average of n hardness tests H_1, H_2, \dots, H_n made on a standardized test block as part of a performance verification, and
- H_{STD} = certified average hardness value of the standardized test block.

3.2.5 The *mean diameter of an indentation* d is calculated as:

$$d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} \quad (5)$$

Where:

- d_1, d_2, \dots, d_n = measured indentation diameters in mm, and
- n = the number of diameter measurements.

3.2.6 The *average mean diameter* \bar{d} of a set of indentations is calculated as:

$$\bar{d} = \frac{d1 + d2 + \dots + dN}{N} \quad (6)$$

where:

- $d1, d2, \dots, dN$ = mean indentation diameters in mm, and
- N = number of indentations (see Annex A4).

4. Significance and Use

4.1 The Brinell hardness test is an indentation hardness test that can provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear

resistance, ductility, or other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials.

4.2 Brinell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and have been used extensively in industry for this purpose.

4.3 Brinell hardness testing at a specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product.

5. Principles of Test and Apparatus

5.1 *Brinell Hardness Test Principle*—The general principle of the Brinell indentation hardness test consists of two steps (see Fig. 1).

5.1.1 *Step 1*—The indenter is brought into contact with the test specimen in a direction perpendicular to the surface, and the test force *F* is applied. The test force is held for a specified dwell time and then removed.

5.1.2 *Step 2*—The diameter of the indentation is measured in at least two directions perpendicular to each other. The Brinell hardness value is derived from the mean of the diameter measurements.

5.2 *Brinell Testing Machine*—Equipment for Brinell hardness testing usually consists of a testing machine, which supports the test specimen and applies an indenting force to a ball in contact with the specimen, and a system for measuring the mean diameter of the indentation in accordance with the Brinell hardness test principle. The design of the testing machine shall be such that no rocking or lateral movement of the indenter or specimen occurs while the force is being applied. The design of the testing machine shall ensure that the force to the indenter is applied smoothly and without impact forces. Precautions shall be taken to prevent a momentary high test force caused by the inertia of the system, hydraulic system overshoot, etc.

5.2.1 See the Equipment Manufacturer’s Instruction Manual for a description of the machine’s characteristics, limitations, and respective operating procedures.

5.2.2 *Anvils*—An anvil, or specimen support, should be used that is suitable for the specimen to be tested. The seating and supporting surfaces of all anvils should be clean and free of foreign material. Typically, anvils need only be replaced if they fail to support the test surface perpendicular to the indenter, or they are deemed unsafe.

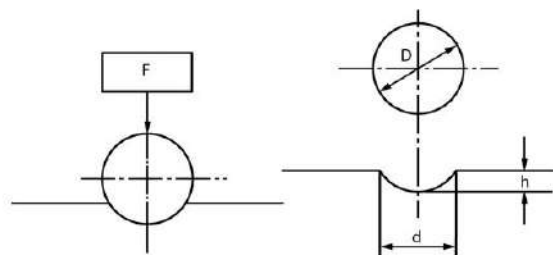


FIG. 1 Principle of Test

5.2.3 *Indenters*—Indenters for the Brinell hardness test shall be tungsten carbide balls of four allowed diameters (1, 2.5, 5 and 10 mm). Indenters shall meet the requirements defined in Annex A3.

5.2.4 Oil, dirt, or other foreign materials shall not be allowed to accumulate on the indenter, as this will affect the test results.

5.2.5 *Measurement Device*—The measurement device used for the measurement of the diameter of Brinell indentations may be an integral part of the hardness machine or a separate stand-alone instrument. The allowable measurement devices are classified into two types. The Type A device includes microscopes having movable measuring lines with some type of indicator or computerized measuring system, or an image analysis system. The Type B device is a hand-held microscope (usually 20× or 40×) with fixed measuring lines.

5.2.5.1 *Type A Device*—The acceptable minimum resolution for a Type A device shall be as given in Table 2.

5.2.5.2 *Type B Device*—The acceptable maximum spacing between the graduated lines of Type B devices shall be as given in Table 2. Type B devices shall not be used for measuring indentations made with 2.5 mm and 1 mm ball indenters.

5.3 *Verification*—Brinell testing machines and indentation measurement devices shall be verified periodically in accordance with Annex A1.

5.4 *Test Blocks*—Test blocks meeting the requirements of Annex A4 shall be used to verify the testing machine in accordance with Annex A1.

5.5 *Brinell Hardness Scales*—The combinations of indenters and test forces define the Brinell hardness scales. The standard Brinell hardness scales and test forces are given in Table 3, corresponding to force-diameter ratios (see Table 1) of 1, 1.25, 2.5, 5, 10 and 30. Brinell hardness values should be determined and reported in accordance with one of these standard scales. Other scales using non-standard test forces may be used by special agreement. Examples of other scales and the corresponding force-diameter ratio (in parentheses) are HBW 10/750 (7.5), HBW 10/2000 (20), HBW 10/2500 (25), HBW 5/187.5 (7.5), and HBW 5/500 (20).

5.6 *Calculation of the Brinell Hardness Number*—The Brinell hardness number shall be calculated from the mean diameter *d* of the indentation using Eq 1 or from the values given in Appendix X1.

5.6.1 Brinell hardness values shall not be designated by a number alone because it is necessary to indicate which indenter and which force has been employed in making the test (see

TABLE 2 Resolution and Graduation Spacing of Indentation Measuring Devices

Ball Diameter mm	Type A	Type B
	Minimum Indicator Resolution mm	Maximum Graduation Spacing mm
10	0.0100	0.100
5	0.0050	0.050
2.5	0.0025	—
1	0.0010	—

TABLE 3 Test Conditions and Recommended Hardness Range

Brinell Hardness Scale	Ball Diameter <i>D</i> , mm	Force-Diameter Ratio ^a	Nominal Value of Test Force, F		Recommended Hardness Range HBW
			N	kgf	
HBW 10/3000	10	30	29420	3000	95.5 to 650
HBW 10/1500	10	15	14710	1500	47.7 to 327
HBW 10/1000	10	10	9807	1000	31.8 to 218
HBW 10/500	10	5	4903	500	15.9 to 109
HBW 10/250	10	2.5	2452	250	7.96 to 54.5
HBW 10/125	10	1.25	1226	125	3.98 to 27.2
HBW 10/100	10	1	980.7	100	3.18 to 21.8
HBW 5/750	5	30	7355	750	95.5 to 650
HBW 5/250	5	10	2452	250	31.8 to 218
HBW 5/125	5	5	1226	125	15.9 to 109
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9	62.5	7.96 to 54.5
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5	31.25	3.98 to 27.2
HBW 5/25	5	1	245.2	25	3.18 to 21.8
HBW 2.5/187.5	2.5	30	1839	187.5	95.5 to 650
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9	62.5	31.8 to 218
HBW 2.5/31.25	2.5	5	306.5	31.25	15.9 to 109
HBW 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2	15.625	7.96 to 54.5
HBW 2.5/7.8125	2.5	1.25	76.61	7.8125	3.98 to 27.2
HBW 2.5/6.25	2.5	1	61.29	6.25	3.18 to 21.8
HBW 1/30	1	30	294.2	30	95.5 to 650
HBW 1/10	1	10	98.07	10	31.8 to 218
HBW 1/5	1	5	49.03	5	15.9 to 109
HBW 1/2.5	1	2.5	24.52	2.5	7.96 to 54.5
HBW 1/1.25	1	1.25	12.26	1.25	3.98 to 27.2
HBW 1/1	1	1	9.807	1	3.18 to 21.8

^a See Table 1.

Table 3). Brinell hardness numbers shall be followed by the symbol HBW, and be supplemented by an index indicating the test conditions in the following order:

5.6.1.1 Diameter of the ball, mm.

5.6.1.2 A value representing the test force, kgf, (see Table 3) and,

5.6.1.3 The applied force dwell time, s, if other than 10 s to 15 s.

5.6.2 The only exception to the above requirement is for the HBW 10/3000 scale when a 10 s to 15 s dwell time is used. Only in the case of this one Brinell hardness scale may the designation be reported simply as HBW.

5.6.3 Examples:

220 HBW = Brinell hardness of 220 determined with a ball of 10 mm diameter and with a test force of 29.42 kN (3000 kgf) applied for 10 s to 15 s

350 HBW 5/750 = Brinell hardness of 350 determined with a ball of 5 mm diameter and with a test force of 7.355 kN (750 kgf) applied for 10 s to 15 s

600 HBW 1/30/20 = Brinell hardness of 600 determined with a ball of 1 mm diameter and with a test force of 294.2 N (30 kgf) applied for 20 s

6. Test Piece

6.1 There is no standard shape or size for a Brinell test specimen. The test piece on which the indentation is made should conform to the following:

6.1.1 *Thickness*—The thickness of the specimen tested shall be such that no bulge or other marking showing the effect of the test force appears on the side of the piece opposite the

indentation. The thickness of the material under test should be at least ten times the depth of the indentation *h* (see Table 4). Table 4 can also be used as a guideline for the minimum depth of a layer of a material, such as a coating.

Note 1—Brinell hardness testing can use high test forces. Under certain conditions of testing a relatively thin material or coating on a material with high hardness, there is a potential for the test material to break or shatter under load resulting in serious personal injury or damage to equipment. Users are strongly cautioned to exercise extreme care when testing a material that could potentially fail under load. If there is a concern or doubt, do not test the material.

6.1.2 *Width*—The minimum width shall conform to the requirements for indentation spacing.

6.1.3 *Finish*—When necessary, the surface on which the indentation is to be made should be filed, ground, machined or polished flat with abrasive material so that the edge of the indentation can be clearly defined to permit the measurement of the diameter to the specified accuracy. Preparation shall be carried out in such a way that any alteration of the surface

TABLE 4 Minimum Specimen Thickness Based on Ten-Times the Indentation Depth

Diameter of Indentation, <i>d</i>	Minimum Specimen Thickness							
	10 mm Ball		5 mm Ball		2.5 mm Ball		1 mm Ball	
mm	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.
0.2							0.1	0.004
0.3							0.2	0.009
0.4							0.4	0.016
0.5							0.7	0.026
0.6						0.4	0.014	
0.7						0.5	0.020	
0.8						0.7	0.026	
0.9						0.8	0.033	
1.0						1.0	0.041	
1.1						1.3	0.050	
1.2			0.7	0.029	1.5	0.060		
1.3			0.9	0.034	1.8	0.072		
1.4			1.0	0.039	2.1	0.084		
1.5			1.2	0.045	2.5	0.098		
1.6			1.3	0.052				
1.7			1.5	0.059				
1.8			1.7	0.066				
1.9			1.9	0.074				
2.0			2.1	0.082				
2.2			2.6	0.100				
2.4	1.5	0.058	3.1	0.121				
2.6	1.7	0.068	3.6	0.144				
2.8	2.0	0.079	4.3	0.169				
3.0	2.3	0.091	5.0	0.197				
3.2	2.6	0.104						
3.4	3.0	0.117						
3.6	3.4	0.132						
3.8	3.8	0.148						
4.0	4.2	0.164						
4.2	4.6	0.182						
4.4	5.1	0.201						
4.6	5.6	0.221						
4.8	6.1	0.242						
5.0	6.7	0.264						
5.2	7.3	0.287						
5.4	7.9	0.312						
5.6	8.6	0.338						
5.8	9.3	0.365						

ANEXO H: EVIDENCIAS DE INSTALACIÓN



ANEXO I: EVIDENCIAS DE LA INSTALACIÓN DE LA PROBETA



ANEXO J: EVIDENCIAS DEL ENSAYO

