



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“ANÁLISIS NUMÉRICO/EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO A FLEXIÓN DE LAS BALLESTAS RECUPERADAS EN FRÍO
EMPLEADAS EN VEHÍCULOS PESADOS HINO GD”

AUTOR: Christian Ramiro Silva Buenaño

TUTOR: Ing. Mg. María Belén Paredes

**Ambato –Ecuador
2018**

APROBACIÓN POR EL TUTOR

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ANÁLISIS NUMÉRICO/EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A FLEXIÓN DE LAS BALLESTAS RECUPERADAS EN FRÍO EMPLEADAS EN VEHICULOS PESADOS HINO GD”, elaborado por el Sr. Christian Ramiro Silva Buenaño, con cédula de ciudadanía: 1804359741, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus componentes.
- Está concluido en su totalidad.

.....
Ing. María Belén Paredes

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Christian Ramiro Silva Buenaño, portador de la C.I. 1804359741, declaro que el presente trabajo experimental bajo el tema: “ANÁLISIS NUMÉRICO/EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A FLEXIÓN DE LAS BALLESTAS RECUPERADAS EN FRÍO EMPLEADAS EN VEHICULOS PESADOS HINO GD”, es de absoluta autoría mía, tanto las ideas, criterios emitidos en el estudio, como también los contenidos, análisis y conclusiones.

.....
Christian Ramiro Silva Buenaño

C. I.: 1804359741

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigaciones según las normas de la institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos del autor.

.....
Christian Ramiro Silva Buenaño

C. I.: 1804359741

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Christian Ramiro Silva Buenaño de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema “(ANÁLISIS NUMÉRICO/EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A FLEXIÓN DE LAS BALLESTAS RECUPERADAS EN FRÍO EMPLEADAS EN VEHICULOS PESADOS HINO GD)”

Ambato, Abril del 2018

Para constancia firman:

Ing. Mg. César Arroba

Ing. Mg. Cristian Pérez

DEDICATORIA

La Biblia dice en Proverbios 22:6

“Instruye al niño en su camino, Y aun cuando fuere viejo no se apartará de él”.

Esta tesis está dedicada a:

A Dios que hasta el día de hoy no ha dejado de ser mi guía, fortaleza y su fidelidad incomparable siempre me acompañara.

A mis padres Ramiro y Elena quienes con su humildad, esfuerzo y paciencia me han instruido por el camino correcto con su ejemplo de superación e infinito amor.

A mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de ánimo siempre me alentaron a ser mejor cada día, a mis hermanos gracias por compartir alegrías y tristezas por estar conmigo en todo momento.

A mi amada novia Clara, que durante todo este proceso asido un pilar fundamental, que ha estado en los momentos difíciles de mi vida así como también compartiendo mis sueños y metas.

Finalmente a todos mis amigos quienes compartieron sus conocimientos y por la amistad brindada incondicionalmente.

AGRADECIMIENTO

Primero al Señor mi Dios, A mis padres por creer en mí y por su infinito amor. A mi madre Elena Buenaño por sus valores y fe maravillosa que tiene en nuestro creador Dios. A mi padre Ramiro quien con sus consejos y experiencia me supo guiar en todo momento.

A las autoridades y profesores de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, al Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas, por infundir sus conocimientos guiando este estudio de principio a fin y por ser una persona con ideales de superación siendo un ejemplo claro a seguir. Que Dios los bendiga.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|------|
| APROBACIÓN POR EL TUTOR..... | II |
| AUTORÍA DEL TRABAJO | III |
| DERECHOS DE AUTOR..... | IV |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO | V |
| DEDICATORIA | VI |
| AGRADECIMIENTO..... | VII |
| TABLA DE CONTENIDOS..... | VIII |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | XII |
| ÍNDICE DE TABLAS | XIII |
| RESUMEN EJECUTIVO | XIV |
| EXECUTIVE SUMMARY | XV |
| CAPÍTULO I..... | 16 |
| ANTECEDENTES..... | 16 |
| 1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL..... | 16 |
| 1.2. ANTECEDENTES..... | 16 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN | 17 |
| 1.4. OBJETIVOS | 18 |
| 1.4.1. OBJETIVO GENERAL..... | 18 |
| 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 18 |
| CAPÍTULO II | 19 |
| FUNDAMENTACIÓN..... | 19 |
| 2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 19 |
| 2.1.1 DEFINICIÓN DE SUSPENSIÓN | 19 |
| 2.1.2 SISTEMAS DE SUSPENSIÓN..... | 19 |
| 2.1.1. Tipos de suspensiones..... | 20 |

| | |
|--|----|
| 2.1.4.1 Suspensión de Eje Sólido | 21 |
| 2.1.4.1 Suspensión Independiente..... | 21 |
| 2.1.4.1 Otros componentes de suspensión. | 22 |
| 2.1.3.1 Características generales de los Resortes de Ballestas | 24 |
| 2.1.3.2 Materiales para Resortes de Ballesta..... | 26 |
| 2.1.3 RESISTENCIA DE MATERIALES..... | 27 |
| 2.1.4 ENSAYO DE MATERIALES | 27 |
| 2.1.4.1 Ensayo de Flexión | 28 |
| a. Deflexión en sistema de paquetes por ballestas | 29 |
| b. Tensión real de trabajo | 30 |
| c. Flexibilidad..... | 30 |
| d. Constante de Rigidez..... | 31 |
| e. Flecha Residual | 31 |
| 2.1.5 Análisis por Elementos Finitos | 33 |
| 2.2. HIPÓTESIS..... | 33 |
| 2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS..... | 33 |
| 2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE | 33 |
| 2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE | 34 |
| 2.3.3. TÉRMINO DE RELACIÓN | 34 |
| CAPÍTULO III..... | 35 |
| METODOLOGÍA | 35 |
| 3.1 Nivel o tipo de investigación..... | 35 |
| 3.2 Población y muestra | 35 |
| 3.2.1 Población..... | 35 |
| 3.2.2 Muestra..... | 36 |
| 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 36 |

| | |
|--|----|
| 3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE | 37 |
| 3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE | 38 |
| 3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | 38 |
| 3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS..... | 39 |
| 3.5.1 PLAN DE PROCEDIMIENTO | 39 |
| CAPÍTULO IV | 40 |
| ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 40 |
| 4.1 Determinación del proceso de recuperación de las hojas de resorte que forman parte del paquete de la suspensión posterior del automotor Hino GD..... | 40 |
| 4.1.1 Adquisición de las hojas cedidas o sin curva | 41 |
| 4.1.2 Desmolde y limpieza de las hojas que conforman el paquete.. | 42 |
| 4.1.3 Varolado o curvado a medida de la hoja principal nueva o flecha a la que se desea varolar con medida específica. | 42 |
| 4.1.4 Control de la altura de flecha requerida | 43 |
| 4.1.5 Ensayo a flexión..... | 44 |
| 4.1.6. RECOLECCIÓN DE DATOS. | 48 |
| 4.1.6.1 Tabulación de datos de las probetas a ensayo de flexión..... | 49 |
| 4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS..... | 55 |
| 4.2.1 Simulación del paquete por elementos finitos | 57 |
| 4.2.1.1 Procedimiento de la simulación ensayo a flexión del paquete recuperado | 58 |
| 4.2.1.2 Resultados obtenidos de la simulación | 61 |
| 4.2.1.3 Comparación de los resultados obtenidos del ensayo real y simulado | 61 |
| 4.2.2 Interpretación de datos | 62 |
| 4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... | 63 |

| | |
|--|----|
| 4.3.1 Ho (Hipótesis Nula) | 64 |
| 4.3.3 Regla de decisión | 65 |
| 4.4.4 Verificación de la hipótesis con respecto a las medidas de la tabla 19..... | 65 |
| CAPÍTULO V | 67 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 67 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 67 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 68 |
| Bibliografía | 69 |
| ANEXOS..... | 72 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Fig. 1. Sistema de Suspensión por ballestas..... | 20 |
| Fig. 2. Eje sólido con suspensión de ballesta. | 21 |
| Fig. 3. Suspensión delantera McPherson | 22 |
| Fig. 4. Esquema de la suspensión hidroneumática de doble cámara. | 23 |
| Fig. 5. Suspensión electromagnética..... | 24 |
| Fig. 6 Paquete de hojas de resorte en configuración invertida que simula la suspensión del vehículo..... | 28 |
| Fig. 7. Especificaciones del automotor Hino GD. | 32 |
| Fig. 8. Esquema Hoja principal..... | 32 |
| Fig. 9. Diferenciación de flechas..... | 32 |
| Fig. 10. Diagrama de determinación del proceso de recuperación de Ballestas. . | 41 |
| Fig. 11. Ballestas sin recuperar o rectas..... | 42 |
| Fig. 12. Paquete desmontado y libre de residuos. | 42 |
| Fig. 13. Máquina varoladora de ballestas..... | 43 |
| Fig. 14. Diferenciación de una de las hojas sin recuperar vs recuperada..... | 43 |
| Fig. 15. Paquete Recuperado..... | 43 |
| Fig. 16. Control de la altura de flecha requerida..... | 44 |
| Fig. 17. Paquetes para el ensayo de flexión con códigos. | 45 |
| Fig. 18. Maquina ensayo flexión de paquetes diferentes condiciones de trabajo. 45 | |
| Fig. 19. Vista lateral Automotor Hino GD..... | 46 |
| Fig. 20. Vista posterior Hino GD. | 46 |
| Fig. 21. Modelo CAD del paquete de ballestas..... | 58 |
| Fig. 22. Modelo en programa FEA. | 58 |
| Fig. 23. Asignación del material. | 59 |
| Fig. 24. Selección del punto en el modelo. | 59 |
| Fig. 25. Determinación de contactos..... | 60 |
| Fig. 26. Calidad de malla. | 60 |
| Fig. 27. Parámetros para interpretación de resultados. | 63 |
| Fig. 28. Campana de distribución. | 66 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Composición química promedio del acero 5160 H..... | 26 |
| Tabla 2. Propiedades Mecánicas Acero SAE 5160H..... | 27 |
| Tabla 3. Constante K (Factor de cálculo)..... | 29 |
| Tabla 4. Muestra para cada tipo de ensayo. | 36 |
| Tabla 5. Variable Independiente | 37 |
| Tabla 6. Variable Dependiente..... | 38 |
| Tabla 7. Control de medidas de flecha antes de realizar el ensayo a flexión..... | 44 |
| Tabla 8. Datos para cálculo analítico. | 47 |
| Tabla 9. Ficha Técnica del ensayo de flexión del Paquete de Hojas Recuperadas código OE-2017-269-01..... | 49 |
| Tabla 10. Ficha Técnica del ensayo de flexión del paquete de hojas Recuperadas código OE-2017-270-01..... | 50 |
| Tabla 11. Ficha Técnica del ensayo de flexión del paquete de hojas Recuperadas código OE-2017-271-01..... | 52 |
| Tabla 12. Ficha Técnica del ensayo de flexión del paquete de hojas Recuperadas código OE-2017-272-01..... | 53 |
| Tabla 13. Evaluación del comportamiento mecánico a flexión de los paquetes en diferentes condiciones de trabajo. | 55 |
| Tabla 14. Evaluación de medidas de flecha antes y después del ensayo a flexión | 56 |
| Tabla 15. Condiciones de borde..... | 59 |
| Tabla 16. Resultados FEA..... | 61 |
| Tabla 17. Comparación de resultados | 61 |
| Tabla 18. Interpretación de resultados de las propiedades mecánicas a flexión... | 62 |
| Tabla 19. Verificación de la hipótesis de paquetes ensayo a flexión..... | 65 |

RESUMEN EJECUTIVO

ANÁLISIS NUMÉRICO/EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A FLEXIÓN DE LAS BALLESTAS RECUPERADAS EN FRÍO EMPLEADAS EN VEHÍCULOS PESADOS HINO GD.

Autor: Christian Silva

Tutor: Ing. Mg. María Belén Paredes

El trabajo experimental fue basado en el análisis numérico/experimental a flexión de las ballestas recuperadas en frío, el estudio surgió pensando en las suspensiones de los vehículos pesados que son ampliamente utilizados por su funcionalidad ya que soportan grandes cargas, tienen un bajo costo de manufactura y mantenimiento. La pérdida de flecha del paquete se da al trabajo continuo y cuando se excede la carga a la que normalmente están expuestos ocasionando pérdida de las propiedades mecánicas del acero con el que están fabricados. En “Talleres Silva” se conoce de un procedimiento que no ha sido comprobado técnicamente, el mismo consiste en desmontar el paquete del chasis y diferencial para posteriormente desalojar las láminas una a una, la primera hoja es la que se debe adaptar a la curva ideal o a la que se desea curvar, el resto de láminas se curva ligeramente a un poco más a la de la primera hoja con la finalidad de que quede un pequeño espacio intermedio, el último paso es fijar el perno central para luego montar al vehículo.

Se realizaron ensayos de flexión en diferentes condiciones de trabajo, los datos que se obtuvieron se simularon por medio de un FEA realizándose comparaciones del ensayo a flexión y se determinó si la recuperación de ballestas es factible.

El ensayo a flexión junto con la simulación por elementos finitos nos permitió tener con más exactitud los esfuerzos ya que el coeficiente de rigidez depende de la deflexión y en este caso se mantiene un error por debajo del 10 %, excepto la del paquete nuevo Vanderbilt esto se debe a que tenía un flecha mayor al de los otros tres paquetes antes de realizar el ensayo y su deflexión se vio afectada proporcionalmente con la de su altura de flecha inicial.

EXECUTIVE SUMMARY

NUMERICAL / EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE MECHANICAL BEHAVIOR TO FLEXION OF THE CROSS-BOWS RECOVERED IN COLD USED IN HEAVY VEHICLES HINO GD.

Author: Christian Silva

Tutor: Ing. Mg. María Belén Paredes

The experimental work was based on the numerical / experimental analysis to flexion of the leaflets recovered in cold, the study arose thinking about the suspensions of the heavy vehicles that are widely used for their functionality since they support large loads, It has a low cost of manufacturing And maintenance. The arrow loss of the package is given to continuous work and when the load to which they are normally exposed is exceeded, causing loss of the mechanical properties of the steel with which they are manufactured. In “Talleres Silva” is known a procedure that has not been technically proven, It consists of disassembling the package of the chassis and differential to later dislodge the sheets one by one, the first sheet is the one that must be adapted to the ideal curve or to the to be curved, the rest of the sheets are slightly curved a little more than the first sheet with the purpose of leaving a small intermediate space, the last step is to fix the central bolt and then mount the vehicle.

Bending tests were carried out in different working conditions, the data that was obtained were simulated through an FEA, making comparisons of the test to bending and it was determined if the recovery of leaf springs is feasible.

In the flexion test together with the simulation by finite elements it allowed us to have more accurate efforts since the coefficient of rigidity depends on the deflection and in In this case, an error of less than 10% is maintained, except for the one of the new Vanderbilt package, this is because it had an arrow greater than the other three packages before carrying out the test and its deflection it has been affected proportionally with that of your initial arrow height.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“ANÁLISIS NUMÉRICO/EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A FLEXIÓN DE LAS BALLESTAS RECUPERADAS EN FRÍO EMPLEADAS EN VEHICULOS PESADOS HINO GD”

1.2. ANTECEDENTES

En un estudio del diseño óptimo de resortes tipo ballesta para la suspensión de un vehículo comercial señala que los resortes tipo ballesta son tradicionales y ampliamente utilizados en vehículos terrestres, estos deben su vigencia a la capacidad de carga, bajos costos de manufactura y mantenimiento. Para dar un valor agregado a este tipo de suspensión en la tesis en que se señala se simula su comportamiento estático y dinámico, así como el de otros componentes relacionados con el fin de observar los efectos de la precarga no-lineal, las grandes deflexiones, materiales compuestos y el torque de sujeción. El comportamiento dinámico del vehículo en estudio es simulado mediante el método MBS+FEM en un entorno transitorio no-lineal implícito a través del solver APDL. [1]

Un resorte de Ballesta puede ser considerado como una viga de resistencia constante compuesta de hojas de igual espesor donde la dirección de laminación es la misma en toda la longitud de la viga. Esta aproximación se justifica para la mayoría de resortes con la precisión necesaria del entorno de trabajo y con ciertos factores de corrección para estimar la longitud necesaria, espesor y ancho. [1]

Actualmente las ballestas son utilizadas en vehículos diseñados para transportar carga pesada. Debido a su forma, las ballestas pueden deflectarse hacia arriba o hacia abajo según lo requiera la situación en la que se encuentre el vehículo. Las cargas y las fuerzas soportadas por las ballestas generan un par que produce una flexión en cada hoja. Debido a que es un acero con aleaciones de silicio y manganeso, es un elemento dúctil que puede absorber fuerzas muy grandes en intervalos de tiempo muy cortos deformándose y absorbiendo dicha energía. [2] De aquí puede nacer una interrogante si es posible o no la recuperación de ballestas en frío de un vehículo pesado.

El diseño de un resorte es un proceso iterativo donde se pueden encontrar diferentes soluciones y en el cual es necesario determinar valores mediante un criterio justificado. La sociedad de ingenieros automotrices (SAE) desarrollo un algoritmo para el diseño de resorte de ballestas, este algoritmo es una guía y por lo tanto no implica que sea la única forma de diseñar un resorte. [3]

1.3. JUSTIFICACIÓN

El trabajo experimental es factible ya que se cuenta con el material de estudio y los recursos con los que se realizarán las pruebas en los paquetes de ballestas de los vehículos pesados con este análisis se podrá determinar si se logra recuperar la altura de la flecha de las ballestas, consiguiendo así que las oscilaciones causadas por las imperfecciones de las carreteras sean amortiguados y disipados por las ballestas, con el correcto comportamiento de la suspensión dependen la seguridad y confort, tanto de las personas como también para lo que se transporta en el país se desconoce de este tipo de corrección en suspensión por ballestas. [4]

La importancia de conservar o mantener las dimensiones de las ballestas conlleva a señalar la misión de una buena suspensión que es la de absorber las reacciones producidas en las ruedas o por las desigualdades del terreno, asegurando así la vida del conductor. [4]

El análisis de la influencia que tiene la carga sobre las ballestas es indispensable ya que si las cargas fueran constantes resultaría fácil adaptar una suspensión ideal, pero como esto no se da en ningún caso, al ser la carga variable, especialmente en vehículos de transporte, los elementos elásticos deben calcularse para que aguanten el peso máximo sin pérdida de elasticidad. [4]

Según Cuesta Gabriel señala en el “Manual de Camiones y Vehículos Pesados Reparación y Mantenimiento” [4] que las ballestas por su trabajo continuo pierden tensión con el tiempo y entonces no cumplen con su función cuando se les aplica la carga máxima. Una ballesta ineficaz es susceptible de recuperación desmontándola y dándole de nuevo el curvado que le corresponde. Para ello se desmontan todas las hojas por medio de dispositivos especiales y es la hoja maestra la primera que se adapta a la curvatura ideal, que debe estar en función de la cuerda y su altura. El resto de las hojas se curva ligeramente un poco más, de forma que todas las hojas distendidas y superpuestas deben dejar entre sí, en su parte central, un pequeño espacio intermedio. [4]

El curvado se realiza en frío por medio de una máquina especial de curvar y después se las da un nuevo temple. Las hojas de ballesta desgastadas deben ser sustituidas por otras nuevas de las mismas características. [4]

Si se conoce que en los vehículos que usan la suspensión por ballestas que son láminas de aceros resistentes y elásticos pierden sus características de flexibilidad y dimensiones primitivas debido al peso propio del vehículo y por estar sometidos a cargas fluctuantes, mediante el análisis numérico/experimental del comportamiento mecánico de las ballestas recuperadas en frío se podrá determinar si el proceso de curvar ballestas en la empresa “Talleres Silva” de la ciudad de Ambato empresa dedicada al mantenimiento de vehículos livianos y pesados es realizado para la satisfacción del cliente.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar numéricamente/experimentalmente el comportamiento mecánico a flexión de las ballestas recuperadas en frío empleadas en vehículos pesados Hino GD.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las variables que se encuentran inmersas dentro del análisis del comportamiento mecánico a flexión de las ballestas recuperadas en frío.
- Determinar las propiedades mecánicas de las ballestas nuevas y recuperadas para ver su comportamiento mecánico y poder hacer comparaciones entre ellas.
- Simular numéricamente el comportamiento a flexión y constante de rigidez de las ballestas recuperadas.
- Analizar las propiedades mecánicas que nos ayuden a determinar si es posible la recuperación en frío de las ballestas utilizadas en los vehículos pesados.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 DEFINICIÓN DE SUSPENSIÓN

Cuando un vehículo se desplaza sobre una superficie de una carretera irregular, las fuerzas de impacto se transmiten a las ruedas. Estas fuerzas pasan a la carrocería a través del sistema de suspensión y la suspensión de la rueda. El propósito de la suspensión del vehículo es absorber y reducir estas fuerzas. En la suspensión del vehículo, básicamente se distingue el sistema de suspensión y el sistema de amortiguación de vibraciones. Por medio de la interacción de los dos sistemas, se consigue las siguientes ventajas:

- Seguridad durante la conducción: Contacto de la rueda con la superficie de la carretera, que es esencial para que el frenado y la dirección, se mantengan.
- Confort de conducción: Tensiones desagradables para los pasajeros del vehículo se reducen al mínimo y el daño a cargas frágiles se evita.
- Seguridad de funcionamiento: Los componentes del vehículo están protegidos contra tensiones excesivas. [5]

Durante la operación de conducción, la carrocería del vehículo está sujeta no sólo a las fuerzas que causan el movimiento hacia arriba y hacia abajo del vehículo, sino también los movimientos y vibraciones en la dirección de los tres ejes espaciales. Junto con la cinemática del eje, la suspensión del vehículo tiene una influencia significativa en estos movimientos y vibraciones. [5]

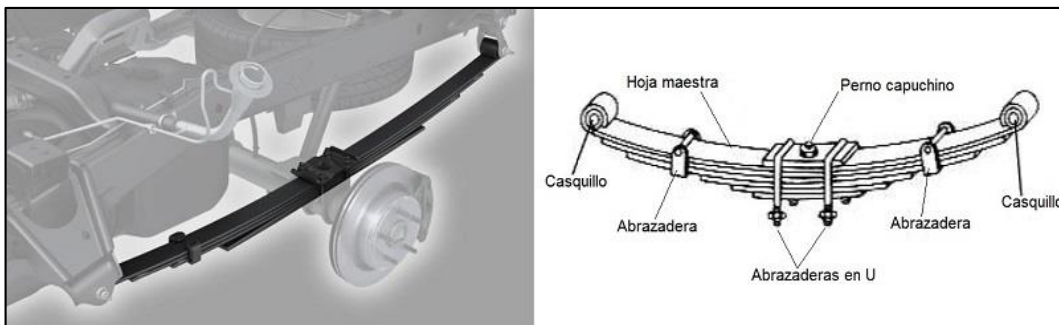
2.1.2 SISTEMAS DE SUSPENSIÓN

La función principal de los sistemas de suspensión en un vehículo, es absorber las reacciones producidas en las ruedas al pasar sobre las irregularidades del terreno evitando que se transmitan a la carrocería, asegurando de esta forma, la comodidad del conductor y de los pasajeros del vehículo, y al mismo tiempo asegurar el contacto de las ruedas con el suelo para obtener una estabilidad y direccionalidad, asegurando así un alto grado de seguridad en los desplazamientos realizados. [6]

El sistema de suspensión está compuesto por una serie de elementos elásticos que se interponen entre la masa suspendida y la masa no-suspendida, su principal diferencia es:

- **Masa Suspendida:** Se compone de los mecanismos soportados por el chasis o bastidor del vehículo, tren motriz, carrocería, elementos auxiliares y pasajeros
- **Masa no Suspendida:** Consta de los componentes de la suspensión como: frenos, llantas, resortes, amortiguadores, barras estabilizadoras, ejes, barras de control y de torsión.

En la figura 1 se puede observar una suspensión por ballestas y sus partes:



*Fig. 1. Sistema de Suspensión por ballestas.
(Fuente: [7])*

Las condiciones climáticas y la variedad de caminos que deben atravesar los vehículos pesados para transportar las grandes cantidades de carga, hacen de este un tipo de vehículo que pone a prueba todo el poder de su suspensión. Por tal razón es de vital importancia hacer revisiones periódicas para tener un buen funcionamiento de la suspensión tanto delantera como posterior. [6]

2.1.1. Tipos de suspensiones

El objetivo principal de cualquier sistema de suspensión es aislar el cuerpo del vehículo de la vibración inducida por la irregularidad de la carretera. Existen muchos tipos de suspensiones; teniendo en cuenta que una suspensión muy rígida y una gran amortiguación son adecuadas para una mejor maniobrabilidad y estabilidad del vehículo, mientras que una suspensión muy suave y una amortiguación baja son más apropiadas para la comodidad de la conducción. [8] Estas características de las suspensiones hacen que su correcto mantenimiento brinde seguridad y confort al usuario del automotor; a continuación se definirán brevemente algunos tipos de suspensión hasta llegar al tipo de

suspensión por ballestas que es donde nos centraremos en el análisis del trabajo experimental.

2.1.4.1 Suspensión de Eje Sólido

Este sistema es usado regularmente por automóviles de tracción delantera, en donde el eje trasero no tiene que girar para cambiar la dirección, debido a esto se le llama “eje de viga muerta” en la figura 2 se puede observar una barra de arrastre integrada conocida como (barra Panhard) su objetivo es prever problemas de manejo con movimientos “lado a lado” del eje. [9]

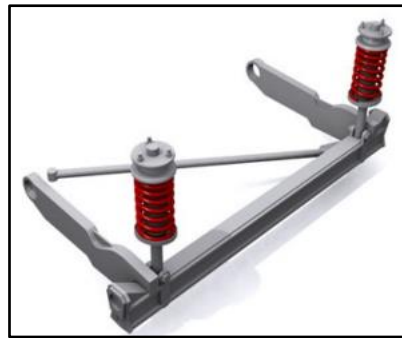


Fig. 2. Eje sólido con suspensión de ballesta.

(Fuente: [9])

2.1.4.1 Suspensión Independiente

Las suspensiones independientes en las ruedas traseras están destinadas a vehículos de carácter deportivo, con tracción simple o doble. Los principales beneficios están directamente relacionados con la mejora en las condiciones de estabilidad, manejabilidad y en el caso de vehículos con ruedas traseras motrices la tracción.

Además esta suspensión permite un incremento notable en el espacio útil sin que la parte posterior del chasis se interfiera con el conjunto de la suspensión.

Dentro de las suspensiones independientes podemos encontrar de varios tipos: suspensión de brazos tirados o arrastrados, paralelogramo deformable y MacPherson esta última se la puede observar en la figura 3 y es una de la suspensión Independiente usada en ruedas delanteras. [10]

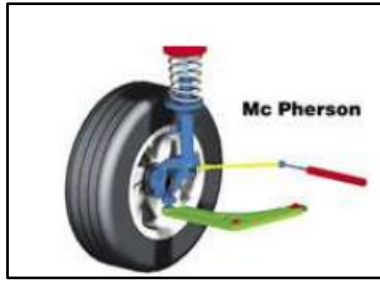


Fig. 3. Suspensión delantera McPherson
(Fuente: [10])

2.1.4.1 Otros componentes de suspensión.

Dentro de los tipos de suspensión identificados anteriormente, aparecen componentes que ayudan a mejorar el rendimiento del vehículo como lo es la suspensión neumática, la suspensión hidroneumática y la electromagnética.

- **Suspensión Neumática:** Con el rápido desarrollo de la tecnología de control, la amplia aplicación del sistema de control del vehículo, se promueve la suspensión de aire controlada electrónicamente con un excelente rendimiento en vehículos avanzados y las tecnologías en campos relacionados también pueden convertirse en el foco de la investigación de ingeniería en vehículos. El poder regular y controlar activamente la altura de la carrocería del vehículo de acuerdo con las condiciones reales de conducción y los requisitos de operación tiene una importancia significativa para mejorar el rendimiento, comodidad de marcha, calidad de paso, control de estabilidad y ahorro de combustible del vehículo. [11]

La funcionabilidad del sistema de suspensión de aire de control electrónico que usa la ECU para manipular datos es: la bolsa de gas logra cargar y descargar a través del control de la válvula electromagnética para lograr el propósito del ajuste de la suspensión neumática. En el proceso de trabajo, la bolsa de gas se ve afectada por la carga, el área de altura, fuerza de la bolsa de gas, el volumen y la presión del resorte neumático cambian con el tiempo. Sin considerar la operación de carga y descarga de la bolsa de gas, la masa gaseosa en la bolsa de gas se mantiene constante. [11]

- **Suspensión Hidroneumática:** El funcionamiento de una suspensión hidroneumática se ilustra en la figura 4; donde muestra el flujo de aceite en un

cilindro, el cambio geométrico de volumen de la cámara de rebote debido al pistón en movimiento se equilibra mediante el flujo de aceite a través de la válvula del pistón y la compresión o expansión del aceite en esta cámara.

La fuerza de amortiguación se calcula típicamente utilizando la teoría de la mecánica de fluidos asumiendo que el aceite usado es incompresible se considera la compresibilidad del aceite en un modelo matemático para el amortiguador.

La compresibilidad del aceite es una de las principales causas del comportamiento dinámico no lineal del amortiguador, como los ciclos de histéresis que se producen a frecuencias de excitación más altas. [12]

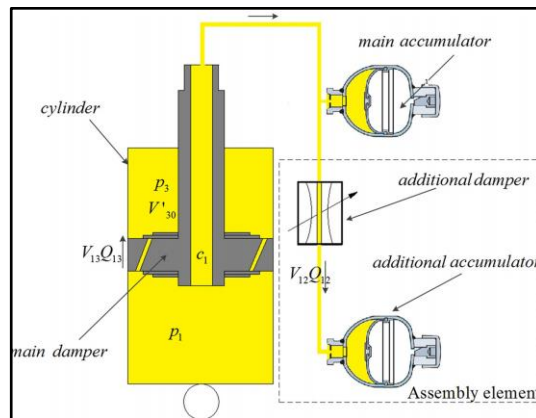


Fig. 4. Esquema de la suspensión hidroneumática de doble cámara.

(Fuente: [12])

- **Suspensión Electromagnética:** es un nuevo tipo de suspensión vehicular que reemplaza el conjunto resorte amortiguador utilizado en los vehículos de la actualidad. Este sistema de suspensión de reacción es el más rápido del planeta. Este innovador sistema utiliza una Unidad de Control Electrónico (ECU) y múltiples sensores para leer el estado de la carretera hasta 1,000 veces en solo un segundo. Esto significa que puede leer cada bache, grieta y giro en una carretera en particular; para luego ajustar automáticamente los amortiguadores para mejorar la calidad de conducción, reducir las vibraciones y mejorar las capacidades de giro del vehículo. [13]

En la figura 5 se puede observar un tipo de suspensión electromagnética:



*Fig. 5. Suspensión electromagnética.
(Fuente: [13])*

RESORTES DE BALLESTA

Los resortes de ballesta han sido ampliamente utilizados en vehículos, desde el carro tirado por caballos con resortes de hoja fija en las cuatro esquinas, hasta la moderna suspensión de un automóvil con algoritmos de control complejos.

Desde el punto de vista del diseño del sistema, hay dos categorías principales de perturbaciones en un vehículo; a saber, perturbaciones de la carretera y de la carga.

La carretera tiene perturbaciones con características de magnitud en baja frecuencia como colinas y pequeñas magnitudes en alta frecuencia como la rugosidad del camino. Las perturbaciones de carga incluyen la variación de cargas inducida por la aceleración, el frenado y las curvas.

Por lo tanto, un buen diseño de la suspensión se refiere con el rechazo de perturbaciones de estos disturbios a las salidas. En líneas generales, un convencional la suspensión debe ser "blanda" para aislar contra la carretera las perturbaciones y "duro" para aislar contra la carga. [14]

2.1.3.1 Características generales de los Resortes de Ballestas

El resorte de ballesta, como los demás tipos de resortes, sirve para absorber y almacenar la energía y luego regresarla. Durante este ciclo los esfuerzos en el resorte no exceden cierto máximo con el fin de evitar ruptura o fallas prematuras. Este límite se considera como la cantidad de energía que puede almacenar cualquier resorte.

- Resortes de Ballesta para Vehículos:

Los resortes de ballesta son los más frecuentemente utilizados. Las características de la suspensión están influidas principalmente por la constante y la deflexión estática. La constante del resorte está dada por: la carga por unidad de deflexión (N/mm). Este valor no es igual en las diferentes posiciones del resorte, y también cambia para el resorte una vez está instalado. La deflexión estática de un resorte es igual a la carga estática dividida por la constante a carga estática; esto determina la rigidez de la suspensión y la frecuencia sobre el vehículo. En la mayoría de casos la deflexión en banco difiere de la deflexión en el montaje, debido a la influencia en la curvatura del resorte y el efecto del balancín. [15]

-Ventajas y Desventajas de las hojas de resorte.

A continuación, se exponen algunas ventajas y desventajas desde el punto de vista de diseño, manufactura y funcional.

- Ventajas:

a. Menor masa no suspendida es decir; la rueda puedes responder mas rápido a una velocidad determinada.

b. Centro de gravedad de la suspensión más bajo esto debido a que los muelles helicoidales y los montajes del chasis asociado hacen difícil elevar el centro de masa del coche.

c. Las ballestas duran más que los muelles helicoidales, aunque en los coches ligeros éste no es un problema significativo.

d. La altura se puede ajustar cambiando la longitud de los enlaces de conexión final de la hoja a los brazos de suspensión. Esto permite pequeños cambios en la altura con efectos mínimos sobre el índice de rigidez. a los soportes del resorte auxiliar, ayudando a dosificar las cargas en el chasis.

e. Simplicidad, los resortes de ballesta conectan directamente el eje al chasis sin necesidad de brazos de control adicionales y puntos de sujeción adicionales

f. Bajo costo, los resortes de ballesta son más económicos que una solución neumática, hidroneumática o electromagnética.

g. Alta durabilidad.

- Desventajas:

a. La hoja debe abarcar desde un lado del coche al otro. Esto puede limitar las aplicaciones donde la transmisión, u otras funciones, se cruzan con ellas.

b. Las ballestas tienen un coste, al menos, dos veces mayor que los muelles helicoidales.

c. En su mayoría son utilizados en ejes rígidos, esto hace que se transfieran movimientos de irregularidades de una rueda a la otra disminuyendo la sensación de control del vehículo.

d. En aplicaciones de rendimiento; son más caras de diseñar ya que las ballestas compuestas permiten una considerable variedad en la forma, espesor y materiales. [16]

2.1.3.2 Materiales para Resortes de Ballesta

El requerimiento básico de un resorte de ballesta es el grado del acero, este debe tener suficiente templabilidad para que el tamaño del grano del material asegure una estructura completamente martensítica en toda la sección. La no transformación en martensita produce una deficiencia en las propiedades de resistencia a la fatiga.

Los resortes de ballesta han sido fabricados con varios aceros de aleación alto grado tales como: SAE9260, SAE4068, SAE4161, SAE6150, SAE8660, SAE5160, SAE51B60, SAE5160H, SAE 50B60.

En la actualidad casi todos los resortes están fabricados en aceros al cromo tales como el SAE 5160H. [15]

La composición química promedio de este acero se puede detallar en la tabla 1. Los espesores en este material pueden ir desde 6 mm a 45 mm y en ancho desde 44 a 127 mm con tamaño de grano ASTM 8. [17]

Tabla 1. Composición química promedio del acero 5160 H.

| Composición promedio | | | | | |
|----------------------|------|------|------|----------|---------|
| % C | % Mn | % Si | % Cr | % S máx. | %P máx. |
| 0.60 | 0.75 | 0.20 | 0.75 | 0.040 | 0.035 |

(Fuente: [17])

- Propiedades Mecánicas.

Los aceros de la misma dureza en la condición de martensita revenida tienen aproximadamente la misma fluencia y resistencia a la tensión. La ductilidad, se mide como por elongación y reducción de área, esta es inversamente proporcional a la dureza. Basado en la experiencia, las propiedades mecánicas óptimas para las aplicaciones de resortes de ballesta se obtienen en el rango de 388 a 461 Brinell. Una aplicación para resorte de ballesta usualmente consiste en un rango cubierto por cuatro marcas de indentación, ej.: 415-461 HB. Las medidas promedio del acero para resortes de ballesta están dadas según la tabla 2:

Tabla 2. Propiedades Mecánicas Acero SAE 5160H

| Propiedades Mecánicas Generales | |
|--|--------------------------|
| Dureza | 388 - 461 HB (42-49 HRC) |
| Resistencia a la Tensión | 1300 -1700 MPa |
| Resistencia a la Fluencia | 1170-1550 MPa |
| Reducción de Área | 25% Min |
| Elongación | 7% Min |
| Módulo Elástico | 185 GPa |
| Coefficiente de Poisson | 0.3 |
| Densidad | 7740 kg/m ³ |

2.1.3 RESISTENCIA DE MATERIALES

La resistencia de materiales es la disciplina que se encarga del estudio de cuerpos elásticos deformables con análisis particulares y simplificados según las condiciones de trabajo y la geometría que presente es decir estudia las propiedades internas y las deformaciones ocasionadas que se produce al ser aplicadas cargas externas lo que puede causar falla del material [18]

2.1.4 ENSAYO DE MATERIALES

El ensayo de materiales del análisis en estudio tiene como un objetivo recabar información acerca de materiales conocidos que por estar sometidos a excesivas cargas de trabajo pierden tensión y propiedades propias del material, es por eso que en el ensayo de materiales tomamos paquetes de ballestas en diferentes condiciones y un número determinado de muestras del material a ensayar para posteriormente realizar una cierta

cantidad de pruebas para caracterizar el comportamiento mecánico del material utilizado en el análisis.

2.1.4.1 Ensayo de Flexión

Los paquetes que comprendían de seis o siete hojas de resorte en los primeros vehículos tendían a fallar debido al desgaste entre aquellas, cuando se diseñaron paquetes de hojas mejorados con hasta 13 hojas para vehículos más grandes y se fabricaron hojas hechas a la medida; parecía lógico comprobar su rendimiento mediante pruebas en resortes completos como se puede observar en la Figura 6. [19]

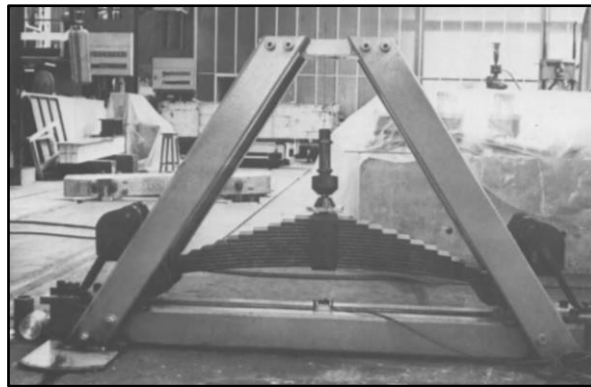


Fig. 6 Paquete de hojas de resorte en configuración invertida que simula la suspensión del vehículo.

(Fuente: [19])

Solo después de una experiencia considerable en el servicio, se observó que en el camino la suspensión operan en un entorno controlado por deflexión en lugar de controlado por carga, ya que están limitados entre la inercia de un vehículo cargado arriba y las irregularidades de la vía inferior. Las tasas de deflexión son muy altas y existe la tendencia de que las hojas de en medio del paquete de resortes permanezcan bloqueadas por fricción, toda la deflexión es tomada por los extremos de las hojas superiores, que pueden fallar en el servicio en vidas bastante cortas. [19]

La flexión es un esfuerzo compuesto o combinado, de tracción y compresión. Si las fuerzas actúan sobre una pieza de material de tal manera tiendan a inducir esfuerzos compresivos sobre una parte de una sección transversal de la probeta y los esfuerzos tensivos sobre la parte restante, se dice que la probeta está en flexión. El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo una fuerza perpendicular a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos. Sin embargo y por comodidad para realizar

el ensayo de los distintos materiales bajo la acción de este esfuerzo se emplea generalmente a las mismas comportándose como vigas simplemente apoyadas, con la carga concentrada en un punto medio. [20]

a. Deflexión en sistema de paquetes por ballestas

Se llama deflexión, al desplazamiento de un elemento elástico, bajo la acción de un peso y se calcula con la ecuación 2.1:

$$\phi = \frac{P L^3 K}{4 E n a e^3} \quad \text{Ec. [2.1]}$$

Donde:

ϕ = deflexión del sistema [mm]; P= Carga aplicada [Kg]; L=Distancia entre apoyos de la ballesta; K= factor de cálculo (ver tabla 3); E=módulo de elasticidad; n= número de hojas; a= ancho de la hoja; e= espesor de la hoja. [21]

- Factor K.- Este valor depende del número total de hojas y de aquellas cuya longitud es igual a L (maestra más las de refuerzo), esto para las ballestas más usuales y se muestran en la tabla 3:

Tabla 3. Constante K (Factor de cálculo).

| Nº Total de hojas | Hojas de refuerzo | K | K´ |
|-------------------|-------------------|------|------|
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 2 | 0 | 1,12 | 1,12 |
| 2 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 0 | 1,2 | 1,2 |
| 3 | 1 | 1,06 | 1,15 |
| 4 | 0 | 1,25 | 1,26 |
| 4 | 1 | 1,12 | 1,22 |
| 5 | 0 | 1,29 | 1,29 |
| 5 | 1 | 1,17 | 1,27 |
| 6 | 0 | 1,31 | 1,32 |
| 6 | 1 | 1,2 | 1,3 |
| 7 | 0 | 1,34 | 1,34 |
| 7 | 1 | 1,24 | 1,33 |
| 8 | 0 | 1,35 | 1,36 |
| 8 | 1 | 1,26 | 1,35 |
| 8 | 2 | 1,19 | 1,33 |
| 9 | 0 | 1,37 | 1,37 |
| 9 | 1 | 1,28 | 1,36 |

| | | | |
|----|---|------|------|
| 9 | 2 | 1,21 | 1,35 |
| 10 | 0 | 1,38 | 1,38 |
| 10 | 1 | 1,3 | 1,37 |
| 10 | 2 | 1,23 | 1,36 |
| 11 | 1 | 1,31 | 1,38 |
| 11 | 2 | 1,25 | 1,37 |
| 12 | 1 | 1,32 | 1,39 |
| 12 | 2 | 1,27 | 1,38 |
| 13 | 1 | 1,33 | 1,4 |
| 13 | 2 | 1,28 | 1,39 |
| 14 | 1 | 1,34 | 1,41 |
| 14 | 2 | 1,29 | 1,4 |
| 15 | 1 | 1,35 | 1,41 |
| 15 | 2 | 1,3 | 1,41 |
| 16 | 1 | 1,36 | 1,42 |
| 16 | 2 | 1,31 | 1,41 |
| 17 | 1 | 1,37 | 1,42 |
| 17 | 2 | 1,32 | 1,42 |
| 18 | 1 | 1,37 | 1,43 |
| 18 | 2 | 1,33 | 1,42 |
| 19 | 1 | 1,38 | 1,43 |
| 19 | 2 | 1,33 | 1,43 |
| 20 | 1 | 1,38 | 1,43 |
| 20 | 2 | 1,34 | 1,43 |

(Fuente: [21])

A medida que se eleva el número total de hojas, K aumenta, disminuyendo, para cualquier ballesta, cuando se aumenta las de refuerzos. Con este criterio se puede estimar un valor de K que no aparezca en la tabla 3. Se toma un valor de K' cuando los escalonamientos entre las hojas no son iguales, pero si las fatigas en las secciones críticas 1, 2,3...n.

b. Tensión real de trabajo

Para el cálculo de la Tensión real de trabajo para una carga estática P se utiliza la ecuación 2.2:

$$\sigma = \frac{6E\phi e}{L^2K} \quad \text{Ec. [2.2]}$$

c. Flexibilidad

La flexibilidad suele darse en % y se calcula a partir de la ecuación 2.3:

$$f = \frac{\phi}{P} \quad \text{Ec. [2.3]}$$

Donde:

f= flexibilidad. [21]

d. Constante de Rigidez

Para determinar la constante de rigidez del sistema de hojas de resorte, se define como la ecuación 2.4:

$$k = \frac{1}{f} \quad \text{Ec. [2.4]}$$

Dónde:

k= constante de rigidez del resorte en [N/mm]. [21]

e. Flecha Residual

La suspensión de muelle de lámina no pierde tensión y se vuelve menos elástica, pero se oxida y se vuelve menos resistente al soportar una gran cantidad de peso durante un largo período de tiempo. [22] Cuando se excede la capacidad de carga del automotor también se va a ver afectada la suspensión por ballestas ya que necesitaran un mayor esfuerzo para llevar a cabo su función de amortiguamiento y por ende van a perder flecha o altura dando paso a la flecha residual.

Efectos negativos como los que señalan en el párrafo anterior junto con otros que no son tema de estudio como: concentraciones de tensiones en esquinas agudas, compleja geometría del orificio, descarburación del acero durante el proceso de fabricación, las muescas causadas por rosca del perno, etc.; son efectos negativos que dan paso a la fatiga mecánica causada por una combinación de deficiencias de diseño, metalúrgicas y de fabricación. [23]

Para este tipo de análisis se medirá la flecha residual de los paquetes en diferentes condiciones; esta altura de flecha residual nos dará un dato certero de si la recuperación de ballestas es factible y confiable seguirlo haciendo.

- ✓ Análisis de carga para ensayo a flexión:

Normalmente el automotor Hino GD tiene una capacidad de carga de 8.080 Kg como se puede observar en la Figura 7, determinando una carga de 40 kN que es un aproximado a la mitad de la carga que puede soportar cada lado de la suspensión del automotor.

✓ Determinación de carga del Automotor Hino GD para ensayo a flexión.

| FC9JJSJSA - 1018 / GD8JLSA - 1226 | | SERIE 500 | | HINO | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--|--|
| MODELO | FC9JJSJSA - 1018 | GD8JLSA - 1226 | EMBRAGUE | | |
| Configuración | 4K2 | | Monodisco seco | | |
| CAPACIDADES | | | TRANSMISIÓN | | |
| Capacidad carga eje delantero | 3.600 Kg. | 4.500 Kg. | Transmisión / Tipo | Manual (HINO LX06/LJ06) | |
| Capacidad carga eje posterior | 7.000 Kg. | 8.500 Kg. | Número de velocidades | 6 velocidades + 1 reversa | |
| Peso bruto | 10.600 Kg. (*10.400 Kg.) | 13.000 Kg. (*11.900 Kg.) | EJES | | |
| Peso vacío | 2.960 Kg. | 3.820 Kg. | Delantero | Tipo Viga Elliot "I" Inversa reforzada | |
| Capacidad de carga | 7.640 Kg. (*7.440 Kg.) | 9.180 Kg. (*8.080 Kg.) | Trasero | Enteramente flotante reforzado | |
| Neumáticos | 235/75 R17.5 | 255/70 R22.5 | SUSPENSIÓN | | |
| MOTOR | | | Delantera | Ballestas semielípticas con amortiguadores | |
| Tipo | Diesel Turbo Intercooler | | Trasera | Ballestas semielípticas | |
| Sistema de inyección | Inyección electrónica en riel común | | Dirección | Hidráulica (Bolas recirculantes) | |
| Norma de control de emisiones | Euro 3 | | FRENOS | | |
| Potencia máxima | 180 HP @ 2.500 RPM | 260 HP @ 2.500 RPM | De servicio | Mixto (Aire sobre Hidráulico) | |
| Torque máximo | 52 KgM @ 1.500 RPM | 76 KgM @ 1.500 RPM | Sistema de control | Sistema ABS (Control Electrónico) | |
| Cilindraje | 5.123 cm ³ | 7.684 cm ³ | De estacionamiento | Mecánico | |
| | | | De motor | Electroneumático de restricción al escape | |
| | | | | (*) Homologación en Ecuador | |

Fig. 7. Especificaciones del automotor Hino GD.

(Fuente: [26])

$$\text{Capacidad de carga (N)} = W \text{ (Kg)} * g \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \quad (2.5)$$

✓ Determinación de flecha residual:

En la figura 8 y 9 se señala la identificación de una ballesta (hoja maestra o principal), para entendimiento de conceptos que se trataran posteriormente:

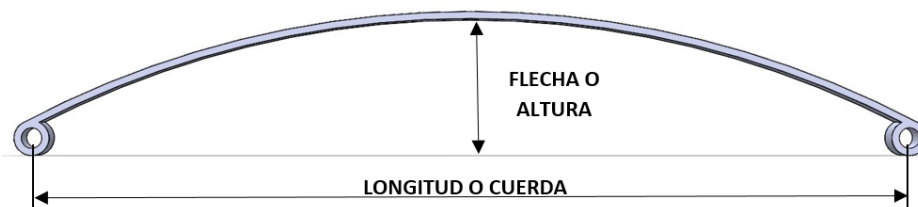


Fig. 8. Esquema Hoja principal.

(Fuente: Autor)

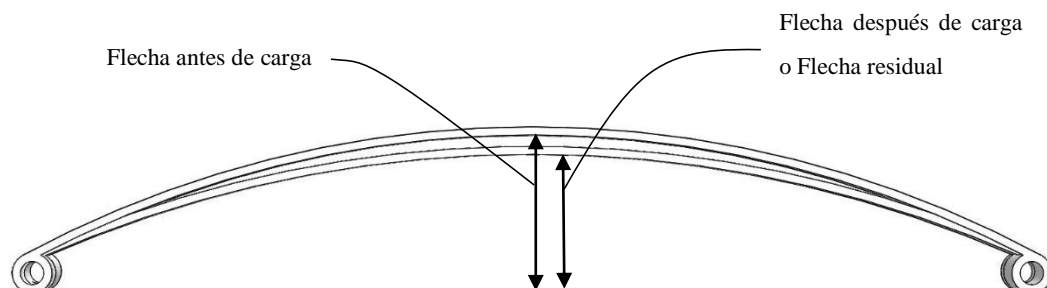


Fig. 9. Diferenciación de flechas.

(Fuente: Autor)

$$Flecha\ residual = Flecha\ antes\ de\ carga - Flecha\ despues\ de\ carga \quad (2.5)$$

2.1.5 Análisis por Elementos Finitos

El análisis de los elementos finitos es un método de aproximación de problemas continuos, de tal forma que:

- El continuo se divide en un número finito de partes, “elementos, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros asociados a ciertos puntos característicos denominados “nodos”. Estos nodos son los puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes.
- La solución del sistema completo sigue las reglas de los problemas discretos. El sistema completo se forma por ensamblaje de los elementos.
- Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y pasa a ser el valor de estas funciones en los nodos.
- El comportamiento en el interior de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos mediante las adecuadas funciones de interpolación o funciones de forma.

El MEF, por tanto, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos. [24]

2.2. HIPÓTESIS

Con el análisis numérico/experimental del comportamiento mecánico a flexión se determina la recuperación de ballestas en frío empleadas en vehículos pesados Hino GD.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Análisis numérico/experimental

2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Comportamiento mecánico a flexión de las ballestas recuperadas en frío

2.3.3. TÉRMINO DE RELACIÓN

Determina

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Nivel o tipo de investigación

3.1.1 Exploratorio

Este tipo de análisis es exploratorio por la determinación de las propiedades mecánicas en diferentes condiciones de trabajo del material de ballesta.

El objetivo de este análisis es brindar un aporte en nuestro medio que sugiera seguir esta práctica de recuperación y así ayudar en el desarrollo de otras investigaciones más profundas en el tema.

3.1.2 Experimental

Por lo que se manipulará las distintas variables independientes para observar cuales son los efectos que sufren con respecto a las variables dependientes (pruebas experimentales) y poder comparar con los resultados obtenidos mediante análisis por elementos finitos.

3.1.3 Descriptiva

Se determinó esta investigación para describir y establecer las propiedades mecánicas y parámetros que presentaron las diferentes probetas ensayadas utilizando fichas técnicas.

3.1.4 Correlacional

El tipo de investigación correlacional se adoptó para validar el modelo de elementos finitos con el ensayo de flexión donde se compararon las similitudes de deflexión a una carga determinada, esta validación se determinó con el porcentaje de error.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Como población para este análisis se tiene todos los paquetes nuevos de las marcas Vanderbilt e Imal, usados y recuperados para el tipo de ensayo realizado que se expone

en la muestra, para el ensayo de flexión no se tiene una norma específica ya que la finalidad de este será medir la flecha residual de los paquetes en diferentes condiciones de trabajo.

3.2.2 Muestra

Para el trabajo experimental se consideró como muestra 4 paquetes para hacer mediciones en estos, este dato nos ayudará a determinar si es factible seguir realizando la recuperación de ballestas. La tabla 4 muestra el tipo de ensayo a realizarse y las condiciones de estos.

Tabla 4. Muestra para cada tipo de ensayo.

| Tipo de ensayo Tipo de condición | FLEXIÓN |
|---|----------------|
| NUEVO | 2 |
| RECUPERADO | 2 |

(Fuente: Autor)

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Análisis numérico/experimental

Tabla 5. Variable Independiente

| CONCEPTO | CATEGORIA | INDICADOR | ITEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|--|-----------------|---------------------------|--------------|------------------------------------|
| El análisis numérico se realiza utilizando un programa de aplicación del Método de Elementos Finitos y luego se comparan los resultados obtenidos experimentalmente con los del modelado numérico evaluándose el trabajo en estudio. | Simulación | Deflexión (\emptyset) | 20- 200 (mm) | Software |
| | | Malla | Tetraédrico | |
| | Experimentación | Carga | 0 – 40 (kN) | Máquina de flexión |
| | | Deflexión (\emptyset) | 20- 200 (mm) | Cuaderno de apuntes Computador. |

(Fuente: Autor)

3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Comportamiento mecánico a flexión de las ballestas recuperadas en frío.

Tabla 6. Variable Dependiente

| CONCEPTO | CATEGORIA | INDICADOR | ÍNDICE | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|-----------|---|------------------|--|
| El comportamiento mecánico a flexión de este material son aquellas propiedades que se manifiestan cuando aplicamos una fuerza externa y son evaluadas mediante ensayos específicos. | Flexión | Deflexión en sistema de paquetes (\emptyset) | 20 - 200 (mm) | Observación Directa. Máquina de flexión |
| | | Tensión real de trabajo (σ) | 50 - 100 (MPa) | Formatos o fichas para toma de datos del ensayo. |
| | | Constante de Rigidez (k) | 250 – 350 (N/mm) | |
| | | Flecha Residual | 0 – 50 (mm) | Investigación Bibliográfica. Cuaderno de apuntes. |

(Fuente: Autor)

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La adquisición de datos de la flecha residual, y propiedades mecánicas para observar el comportamiento mecánico se tomarán del ensayo a flexión de cuatro paquetes en diferentes condiciones dicho ensayo se realizará en los laboratorios del INEN, se realizará en diciembre del 2017 el método será interno y se aplicara una determinada carga varias veces en un solo paquete con la finalidad de verificar la recuperación de paquetes de ballestas mediante la medida de la flecha residual, todos los datos que se logre recolectar se utilizará fichas de toma de datos.

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 PLAN DE PROCEDIMIENTO

La información que se obtienen del ensayo se revisó y analizó de la siguiente forma:

Evaluar críticamente toda la información que se pudo adquirir del ensayo realizado.

Comparar los resultados de deflexión con el ensayo realizado experimentalmente con el simulado.

Se procederá a examinar e interpretar los resultados que se obtuvieron en el ensayo en relación a la hipótesis para así poder verificarla o rechazarla.

La información será representada en tablas y porcentajes de error que se tuvieron entre diferentes tipos de análisis.

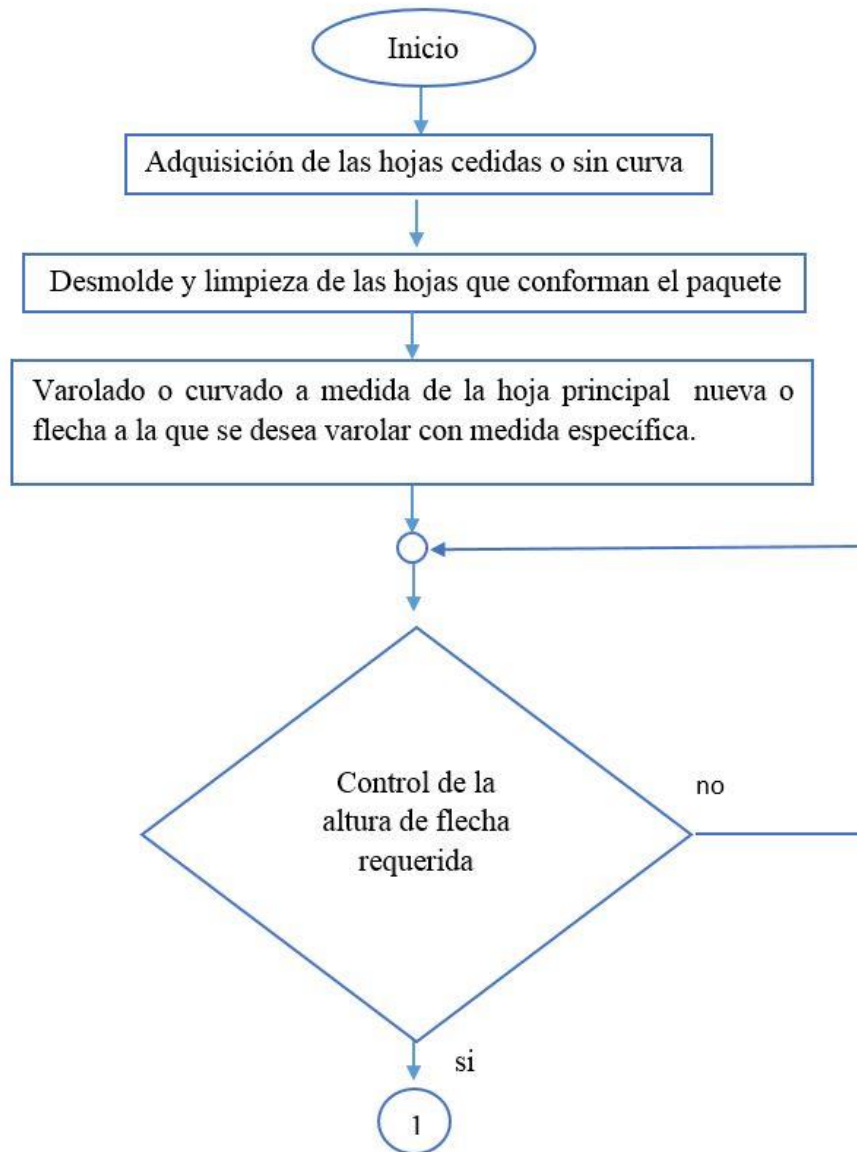
3.5.2 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con los ensayos a flexión realizados en los paquetes de hojas recuperadas, los datos adquiridos se toman para realizar el análisis numérico y poder comparar con el dato obtenido experimentalmente e interpretar los resultados de los paquetes de hojas en análisis con el fin de determinar el comportamiento mecánico a flexión y comprobar la hipótesis para finalmente desarrollar las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Determinación del proceso de recuperación de las hojas de resorte que forman parte del paquete de la suspensión posterior del automotor Hino GD.



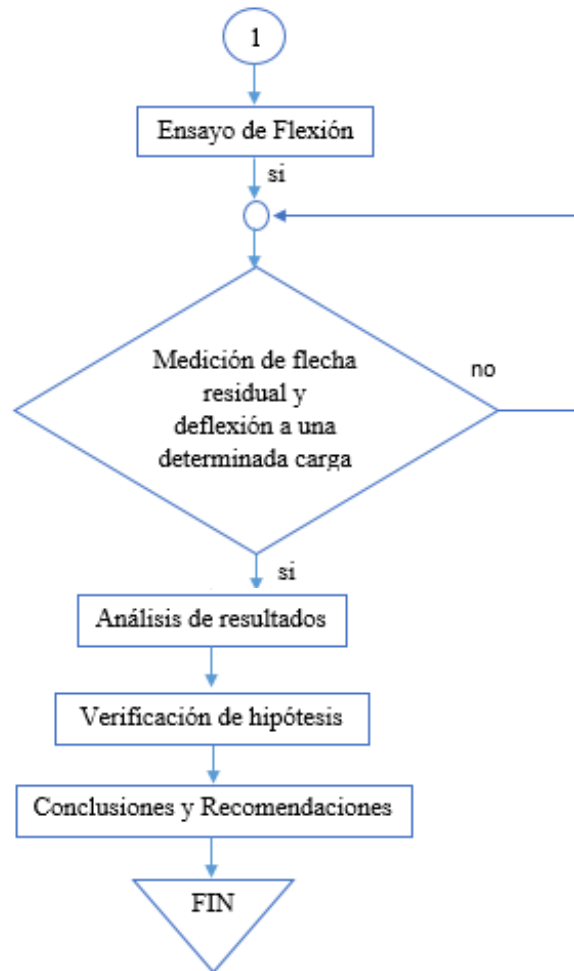


Fig. 10. Diagrama de determinación del proceso de recuperación de Ballestas.

(Fuente: Autor)

4.1.1 Adquisición de las hojas cedidas o sin curva

Las hojas cedidas o sin curva se las adquirieron de un camión Hino GD que se encontraba con problemas en la suspensión posterior y se procedió a retirar los dos paquetes, en la figura 1 se puede observar un paquete de ballestas sin recuperar:



Fig. 11. Ballestas sin recuperar o rectas.

(Fuente: Autor)

4.1.2 Desmolde y limpieza de las hojas que conforman el paquete.

Se puede ver en la figura 12 un paquete desmontado donde se procedió a limpiar los residuos como grasa, lodo, etc., con la finalidad de mantener a los rodillos de la maquina varoladora en buen estado y se pueda conseguir un varolado óptimo.



Fig. 12. Paquete desmontado y libre de residuos.

(Fuente: Autor)

4.1.3 Varolado o curvado a medida de la hoja principal nueva o flecha a la que se desea varolar con medida específica.

El varolado consistió en hacer pasadas mediante rodillos en una maquina hidráulica-mecánica (ver figura 13), construida artesanalmente en la empresa Talleres Silva; donde se realizaron todas los procedimientos para obtener el paquete con la nueva dimensión de flecha. En la figura 14 se puede apreciar una hoja de resorte antes y después de haber realizado la varolación.



Fig. 13. Máquina varoladora de ballestas.

(Fuente: Autor)



Fig. 14. Diferenciación de una de las hojas sin recuperar vs recuperada.

(Fuente: Autor)



Fig. 15. Paquete Recuperado.

(Fuente: Autor)

En la figura 15 se tiene un paquete totalmente recuperado y ensamblado con su perno central o guía.

4.1.4 Control de la altura de flecha requerida

Con la ayuda de un flexómetro se verifico que los paquetes tengan la altura de un paquete nuevo para poder hacer las comparaciones luego de haber realizado el ensayo a flexión como se indica en la figura 16:



Fig. 16. Control de la altura de flecha requerida.
(Fuente: Autor)

En la Tabla 7. Se puede observar el control de las medidas de flecha antes de realizar el ensayo.

Tabla 7. Control de medidas de flecha antes de realizar el ensayo a flexión.

| Condiciones de trabajo de los paquetes con sus respectivos códigos | Medidas de flecha (mm) | |
|--|--------------------------|----------------------------|
| | Antes de su recuperación | Después de su recuperación |
| Paquete recuperado 1 OE-2017-269-01 | 100 | 202 |
| Paquete recuperado 2 OE-2017-270-01 | 100 | 200 |
| Paquete marca Vanderbilt nuevo OE-2017-271-01 | 210 | 210 |
| Paquete marca Imal nuevo OE-2017-272-01 | 199 | 199 |

(Fuente: Autor)

4.1.5 Ensayo a flexión

Este ensayo de flexión se realizó en paquetes de suspensión del automotor Hino GD que transporta vegetales a diferentes provincias del Ecuador, se consideró este automotor debido a la variedad y tiempo de exposición que tiene que soportar la suspensión debido a sus recorridos; es decir en condiciones más críticas para los paquetes de ballestas.

Este ensayo determinará el comportamiento de los paquetes de ballestas en diferentes condiciones de trabajo, el parámetro de flecha residual nos dará un dato certero de la recuperación de ballestas. En la figura 17 tenemos los cuatro paquetes con su diferenciación, en los cuales se realizaron los ensayos a flexión; el mismo consistió en aplicar 4 veces una carga máxima a cada uno de los paquetes de resortes como se observa en la figura 18; para finalmente verificar la flecha residual del paquete luego de haber realizado dicho ensayo.



Fig. 17. Paquetes para el ensayo de flexión con códigos.
(Fuente: Autor)



Fig. 18. Maquina ensayo flexión de paquetes diferentes condiciones de trabajo.
(Fuente: Autor)

A continuación se muestra la determinación de carga a la cual se va a realizar el ensayo:

En la figura 19 se puede observar las consideraciones de capacidades del automotor Hino GD:

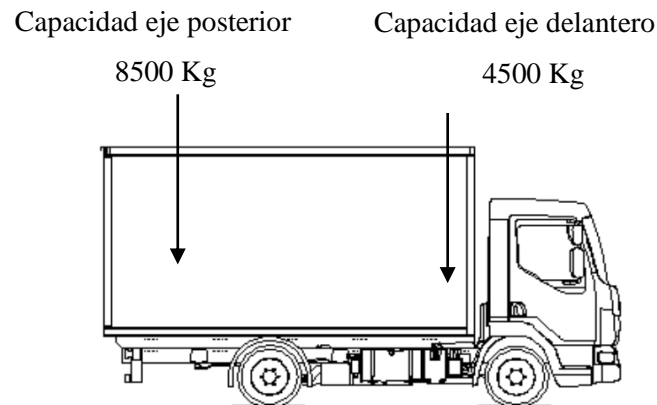


Fig. 19. Vista lateral Automotor Hino GD.

(Fuente: Autor)

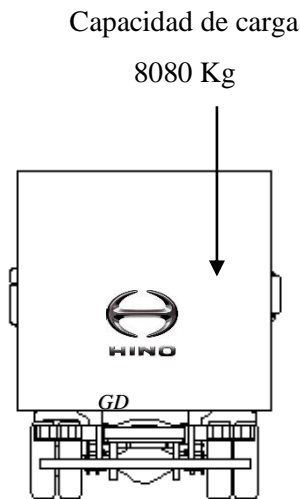


Fig. 20. Vista posterior Hino GD.

(Fuente: Autor)

Como la recuperación de ballestas se suele realizar en los cuatro paquetes de la suspensión del vehículo se consideró trabajar bajo la condición de la fig. 20 “Capacidad de carga” del automotor.

La ecuación 4.1 nos ayudará a determinar la capacidad de carga en kN con la que se realizará el ensayo en mención:

$$\text{Capacidad de carga (N)} = W \text{ (Kg)} * g \left(\frac{m}{s^2} \right) \quad [4.1]$$

$$\text{Capacidad de carga (N)} = 8080 \text{ Kg} * 9.80665 \frac{m}{s^2}$$

$$\text{Capacidad de carga (N)} = 79237.732 \text{ N}$$

$$\text{Carga para ensayo a flexión en cada paquete de ballesta} = \frac{\text{Capacidad de carga}}{2}$$

$$\text{Carga para ensayo a flexión en cada paquete de ballesta} = 39.62 \text{ kN} \approx \mathbf{40 \text{ kN}}$$

Como medio de verificación del ensayo experimental se realizaron cálculos analíticos los cuales se realizan a continuación:

a) Deflexión en sistema de paquetes por ballestas

Los datos que se observan en la tabla 8 son utilizados de la especificación del vehículo, medidas de hojas de resorte (Anexo A) y recomendaciones de cálculo en [21]:

Tabla 8. Datos para cálculo analítico.

| Especificación del vehículo | Medidas de Anexo A | Recomendaciones de cálculo |
|-----------------------------|--------------------|---|
| P= 4040 Kg | L= 1280 mm | K= 1.38 |
| | n= 10 | E=22500 $\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$ |
| | a= 70 mm | |
| | e= 11 mm | |

(Fuente: Autor)

Se realiza un cálculo mediante la ecuación 2.1:

$$\emptyset = \frac{P L^3 K}{4 E n a e^3}$$

$$\emptyset = \frac{(4040 \text{ Kg}) (1280 \text{ mm})^3 (1.38)}{4 \left(22500 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}\right) (10) (70 \text{ mm}) (11 \text{ mm})^3}$$

$$\emptyset = \mathbf{139.435 \text{ mm}}$$

b) Tensión real de trabajo

La tensión de trabajo real de los paquetes del ensayo a flexión se indica en el literal b de la sección 2.1.4.1. y se utilizó la ecuación 2.2 para su cálculo:

$$\sigma = \frac{6E\phi e}{L^2K}$$

$$\sigma = \frac{6 \left(22500 \frac{Kg}{mm^2} \right) (139.435mm)(11mm)}{(1280mm)^2(1.38)}$$

$$\sigma = 91.58 \frac{Kg}{mm^2}$$

c) Flexibilidad

La Flexibilidad se obtiene mediante la ecuación 2.3 que se encuentra en el literal c del apartado 2.1.4.1.:

$$f = \frac{\phi}{P}$$

$$f = \frac{139.435}{4040}$$

$$f = 0.034514$$

d) Constante de Rigidez

La constante de rigidez del sistema de hojas de resorte, se define con la ecuación 2.4 que se menciona en el apartado 2.1.4.1 literal d

$$k = \frac{1}{f}$$

$$k = \frac{1}{0.034514}$$




$$k = 28.9741 \frac{Kg}{mm}$$

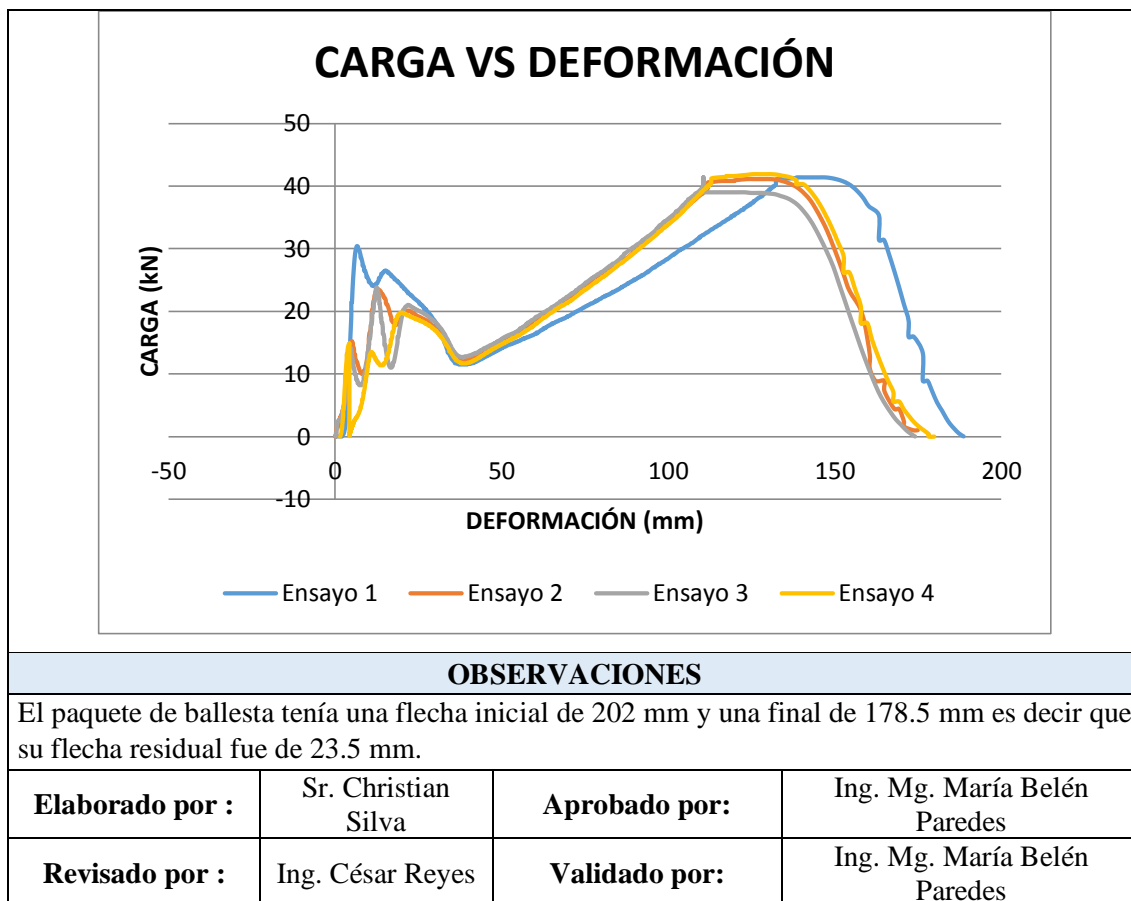
4.1.6. RECOLECCIÓN DE DATOS.

Para la recolección de los datos de los ensayos de flexión, se utilizó fichas propias del autor en función de los parámetros y necesidades establecidas en el estudio.

4.1.6.1 Tabulación de datos de las probetas a ensayo de flexión


Tabla 9. Ficha Técnica del ensayo de flexión del Paquete de Hojas Recuperadas código OE-2017-269-01.

| | | | | | | |
|--|---|---|-------------------------------|------------------------------|---|--|
|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |  | |
| ENSAYO A FLEXIÓN: Método Interno | | | | | | |
| Lugar: | Laboratorios de Ensayos del INEN | | | | | |
| Máquina: | Máquina de Ensayos Universal. Código 2500 | | | | | |
| Fecha: | 05/12/2017 | | Ciudad: | Quito | | |
| Responsable: | Sr. Christian Silva | | Revisado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes | | |
| PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO | | | | | | |
| Dimensiones del paquete: | Longitud: | 1280 mm | Flecha antes de carga: | 202 mm | | |
| Características del Paquete: | El paquete consta de 10 hojas de resorte recuperadas a la altura de la flecha al de un paquete nuevo. | | | | | |
| Temperatura: | 25.2 °C | | Humedad Relativa | 44.7 % | | |
| | | | Carga | 40 kN | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO | | | | | | |
| Código de objeto de ensayo | Carga kN | | | | Flecha Residual (mm) | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| OE-2017-269-01 | 40 | 40 | 40 | 40 | 23.5 | |
| FOTOGRAFÍA DEL PAQUETE DE BALLESTAS SOMETIDA AL ENSAYO | | | | | | |
|  | | | | | | |
| GRÁFICA DE RESULTADOS | | | | | | |
| | | | | | | |



(Fuente: Autor)

Tabla 10. Ficha Técnica del ensayo de flexión del paquete de hojas Recuperadas código OE-2017-270-01.

| | | | |
|---|---|---|--------------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | |
| ENSAYO A FLEXIÓN: Método Interno | | | |
| Lugar: | Laboratorios de Ensayos del INEN | | |
| Máquina: | Máquina de Ensayos Universal. Código 2500 | | |
| Fecha: | 05/12/2017 | Ciudad: | Quito |
| Responsable: | Sr. Christian Silva | Revisado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes |
| PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO | | | |
| Dimensiones del paquete: | Longitud: | 1280 mm | Flecha antes de carga: 200 mm |
| Características del Paquete: | El paquete consta de 10 hojas de resorte recuperadas a la altura de la flecha al de un paquete nuevo. | | |

| | | | |
|-------------------------|---------|-------------------------|-------|
| Temperatura : | 23.4 °C | Humedad Relativa | 43 % |
| | | Carga | 40 kN |

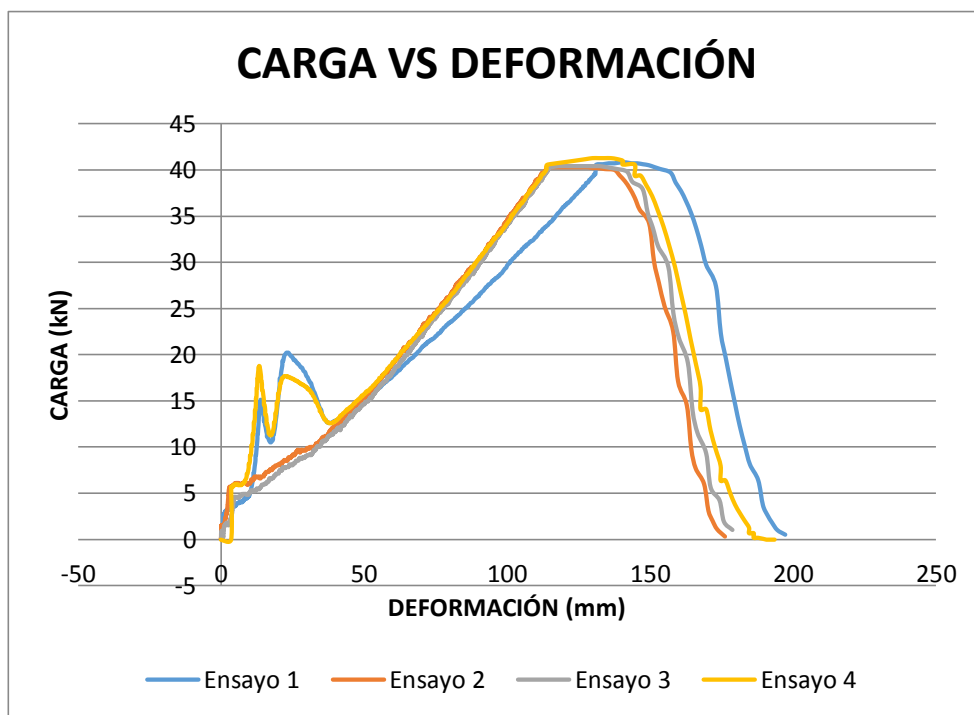
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO

| Código de objeto de ensayo | Carga kN | | | | Flecha Residual (mm) |
|-----------------------------------|-----------------|----|----|----|-----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| OE-2017-270-01 | 40 | 40 | 40 | 40 | 22 |

FOTOGRAFÍA DEL PAQUETE DE BALLESTAS SOMETIDA AL ENSAYO



GRÁFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIONES


El paquete de ballesta tenía una flecha inicial de 200 mm y una final de 178 mm es decir que su flecha residual fue de 22 mm.

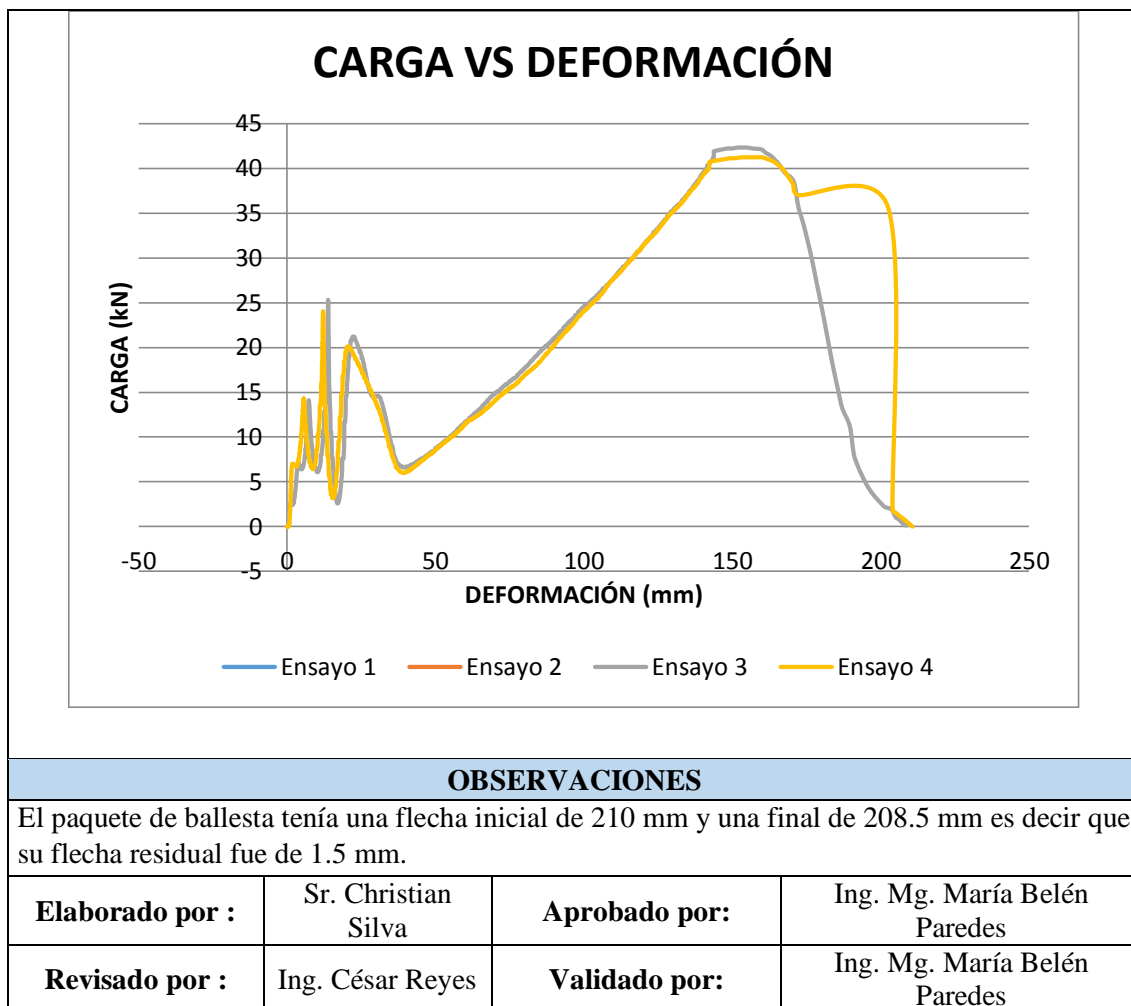
| | | | |
|------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|
| Elaborado por : | Sr. Christian Silva | Aprobado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes |
|------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|

| | | | |
|-----------------------|------------------|----------------------|------------------------------|
| Revisado por : | Ing. César Reyes | Validado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes |
|-----------------------|------------------|----------------------|------------------------------|

(Fuente: Autor)

Tabla 11. Ficha Técnica del ensayo de flexión del paquete de hojas Recuperadas código OE-2017-271-01

| | | | | | |
|--|---|-------------------------|-------------------------------|---|-----------------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |  | |
| ENSAYO A FLEXIÓN: Método Interno | | | | | |
| Lugar: | Laboratorios de Ensayos del INEN | | | | |
| Máquina: | Máquina de Ensayos Universal. Código 2500 | | | | |
| Fecha: | 05/12/2017 | Ciudad: | Quito | | |
| Responsable: | Sr. Christian Silva | Revisado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes | | |
| PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO | | | | | |
| Dimensiones del paquete: | Longitud: | 1280 mm | Flecha antes de carga: | 200 mm | |
| Características del Paquete: | El paquete consta de 10 hojas de resorte nuevas de marca Vanderbilt | | | | |
| Temperatura: | 25.2 °C | Humedad Relativa | 38.4 % | | |
| | | Carga | 40 kN | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO | | | | | |
| Código de objeto de ensayo | Carga kN | | | | Flecha Residual (mm) |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| OE-2017-271-01 | 40 | 40 | 40 | 40 | 1.5 |
| FOTOGRAFÍA DEL PAQUETE DE BALLESTAS SOMETIDA AL ENSAYO | | | | | |
|  | | | | | |
| GRÁFICA DE RESULTADOS | | | | | |
| | | | | | |



(Fuente: Autor)

Tabla 12. Ficha Técnica del ensayo de flexión del paquete de hojas Recuperadas código OE-2017-272-01.

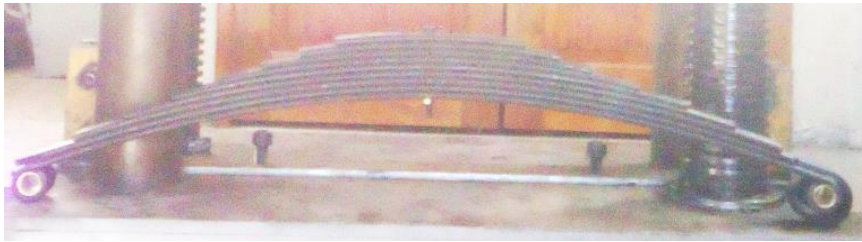
| | | |
|---|---|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  |
| ENSAYO A FLEXIÓN: Método Interno | | |
| Lugar: | Laboratorios de Ensayos del INEN | |
| Máquina: | Máquina de Ensayos Universal. Código 2500 | |
| Fecha: | 05/12/2017 | Ciudad: Quito |
| Responsable: | Sr. Christian Silva | Revisado por: Ing. Mg. María Belén Paredes |
| PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO | | |
| Dimensiones del paquete: | Longitud: 1280 mm | Flecha antes de carga: 200 mm |
| Características del Paquete: | El paquete consta de 10 hojas de resorte nuevas de marca Imal | |

| | | | |
|---------------------|---------|-------------------------|--------|
| Temperatura: | 23.2 °C | Humedad Relativa | 44.1 % |
| | | Carga | 40 kN |

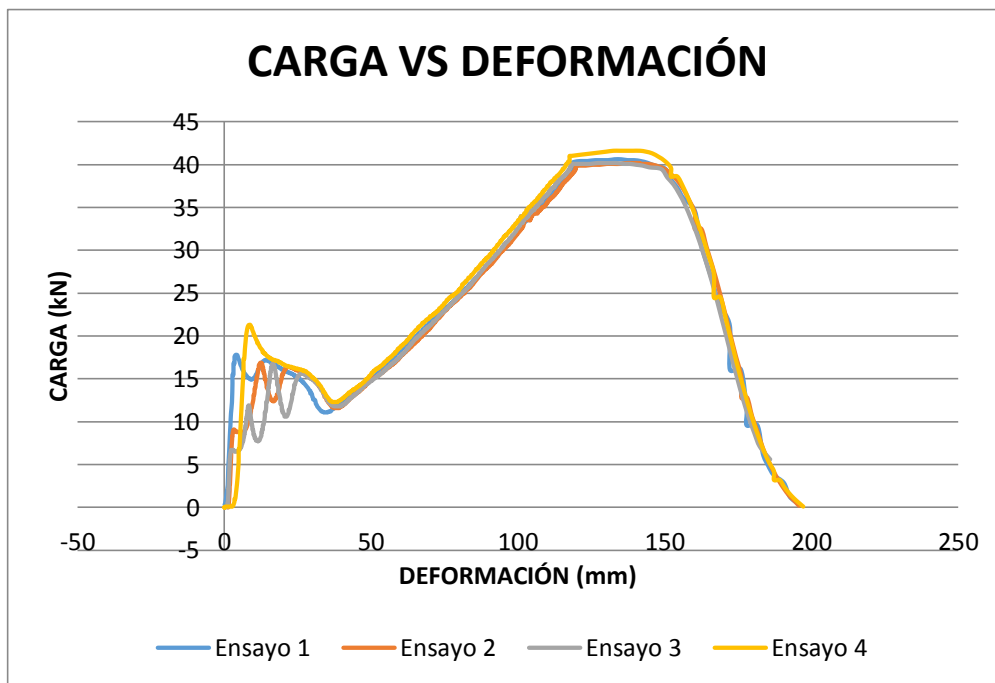
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO

| Código de objeto de ensayo | Carga kN | | | | Flecha Residual (mm) |
|-----------------------------------|-----------------|----|----|----|-----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| OE-2017-272-01 | 40 | 40 | 40 | 40 | 2.0 |

FOTOGRAFÍA DEL PAQUETE DE BALLESTAS SOMETIDA AL ENSAYO



GRÁFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIONES



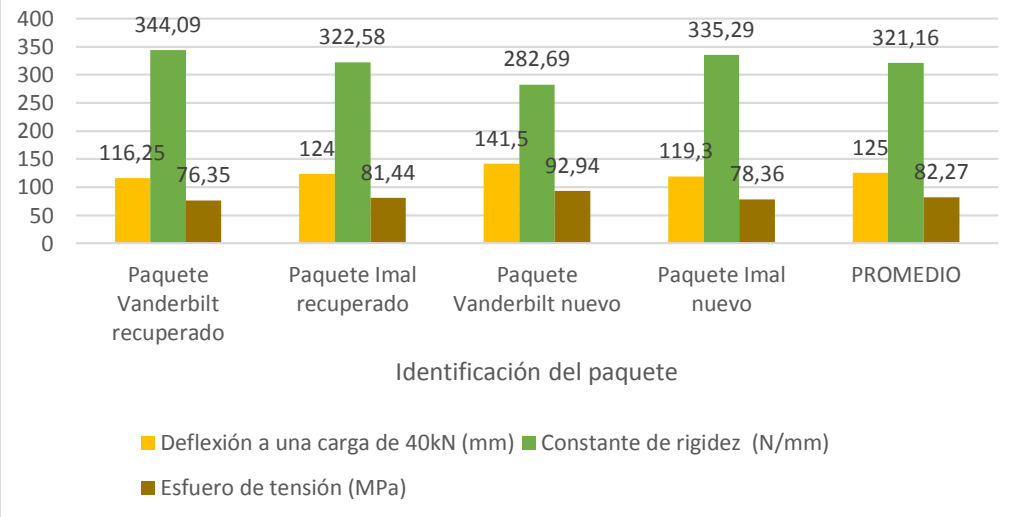
El paquete de ballesta tenía una flecha inicial de 199 mm y una final de 197 mm es decir que su flecha residual fue de 2.0 mm.

| | | | |
|------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|
| Elaborado por : | Sr. Christian Silva | Aprobado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes |
| Revisado por : | Ing. César Reyes | Validado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes |

(Fuente: Autor)

4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Tabla 13. Evaluación del comportamiento mecánico a flexión de los paquetes en diferentes condiciones de trabajo.



|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | |
|---|---|---|--------------------------------------|
| EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS PAQUETES EN DIFERENTES CONDICIONES DE TRABAJO DEL ENSAYO A FLEXIÓN. | | | |
| Identificación del paquete | Deflexión a una carga de 40kN (mm) | Constante de rigidez (N/mm) | Tensión real de trabajo (MPa) |
| Paquete Vanderbilt recuperado | 116,25 | 344,09 | 76,35 |
| Paquete Imal recuperado | 124 | 322,58 | 81,44 |
| Paquete Vanderbilt nuevo | 141,5 | 282,69 | 92,94 |
| Paquete Imal nuevo | 119,3 | 335,29 | 78,36 |
| PROMEDIO | 125,26 | 321,16 | 82,27 |
|  | | | |
| EVALUACIÓN | | | |
| <p>Con los resultados del ensayo a flexión se realizó las gráficas donde se puede apreciar las características que presentaron los paquetes en diferentes condiciones y como se observa la deflexión promedio de los diferentes paquetes están en un rango de 115 a 145 mm estos valores están dentro de lo esperado excepto el paquete Vanderbilt nuevo que se obtuvo una deflexión mayor que los otros teniendo en cuenta que la altura de este paquete fue de 210 mm para realizar el ensayo.</p> <p>La constante de rigidez y el esfuerzo de tensión no varían considerablemente en las condiciones de trabajo recuperado y nuevo obteniéndose una constante de rigidez y</p> | | | |

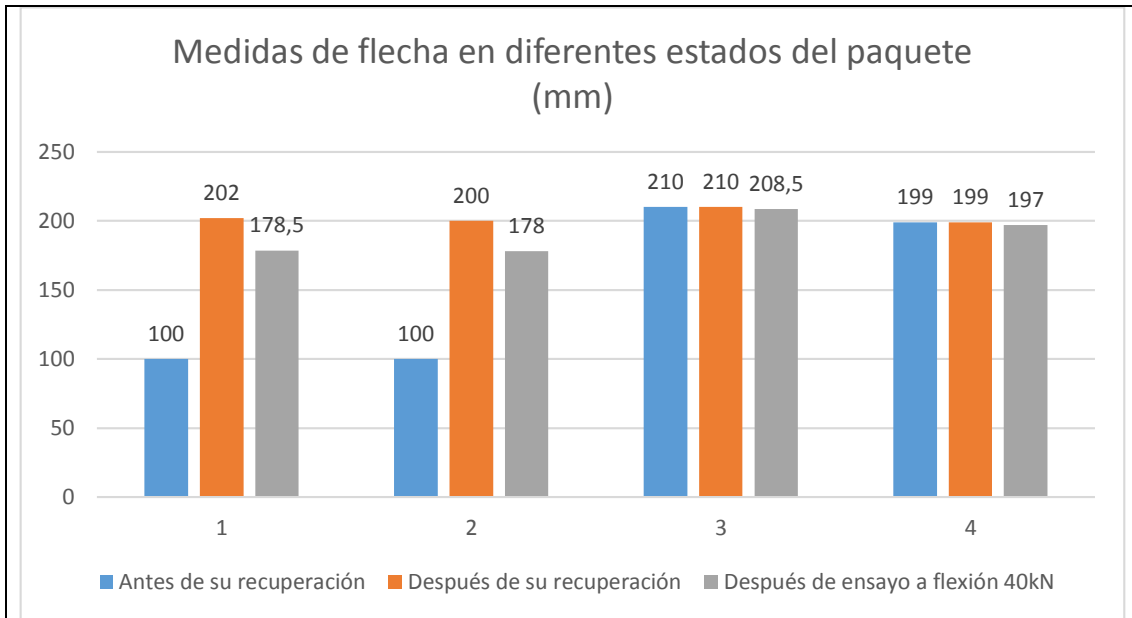
esfuerzo de tensión altas en el paquete Imal que determina mayores y mejores propiedades del material.

| | | | |
|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|
| Elaborado por: | Sr. Christian Silva | Revisado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes |
| | | Validado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes |

(Fuente: Autor)

Tabla 14. Evaluación de medidas de flecha antes y después del ensayo a flexión

| | | | |
|--|---|---|----------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | |
| EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS DE FLECHA EN DIFERENTES CONDICIONES DE TRABAJO DEL ENSAYO A FLEXIÓN | | | |
| Condiciones de trabajo | MEDIDAS DE FLECHA (mm) | | |
| | Sin recuperación | Después de su recuperación | Después de ensayo a flexión 40kN |
| 1.- Paquete de ballestas recuperadas #1 OE-2017-269-01 | 100 | 202 | 178,5 |
| 2.- Paquete de ballestas recuperadas #2 OE-2017-270-01 | 100 | 200 | 178 |
| 3.- Paquete de ballestas nuevas Marca Vanderbilt OE-2017-271-01 | 210 | 210 | 208,5 |
| 4.- Paquete de ballestas nuevas Marca Imal OE-2017-272-01 | 199 | 199 | 197 |



EVALUACIÓN

Con los resultados del ensayo a flexión se puede apreciar que los paquetes recuperados de códigos OE-2017-269-01 y OE-2017-270-01 tienen una medida de flecha antes de su recuperación de 100 mm y se procedió a su recuperación con el objetivo de obtener una medida de 200 mm que normalmente es la de un paquete nuevo, luego del ensayo los dos paquetes recuperados obtuvieron una flecha residual de 23,5 y 22 mm respectivamente; se considera que son medidas bajas ya que en el primer paquete se redujo la altura de flecha recuperada en un 11.63%, de manera similar ocurre en el segundo paquete recuperado que se redujo en un 11%. Analizando el primer paquete nuevo de marca Vanderbilt código OE-2017-271-01 se obtuvo una flecha residual de 1,5 mm es decir después del ensayo, reduciéndose en un 0,71 % de la medida original del mismo, de la misma manera ocurre con el segundo paquete nuevo de marca Imal código OE-2017-272-01 se obtuvo una flecha residual de 2 mm reduciéndose en un 1% de la medida original del paquete.

Comparando los porcentajes de paquetes recuperados y nuevos nos damos cuenta que hay una variación promedio de 10,47 %; este porcentaje se da debido a las condiciones de desgaste por el uso de los paquetes recuperados que pierden en alguna proporción sus propiedades mecánicas.

| | | | |
|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|
| Elaborado por: | Sr. Christian Silva | Revisado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes |
| | | Validado por: | Ing. Mg. María Belén Paredes |

(Fuente: Autor)

4.2.1 Simulación del paquete por elementos finitos

Descripción del modelo.- Para la realización del análisis del paquete por el método de elementos finitos fue necesario establecer el modelo figura 21, por lo que fue importante definir las medidas de las 10 ballestas que se compone el paquete de resorte de la

suspensión del camión Hino GD las medidas de cada hoja se las puede apreciar en el Anexo A; el modelo se lo realizo con la ayuda del software Solidworks.

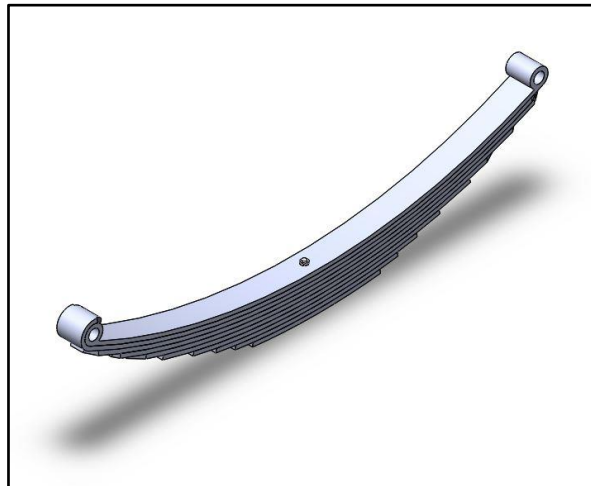


Fig. 21. Modelo CAD del paquete de ballestas.

(Fuente: Autor)

4.2.1.1 Procedimiento de la simulación ensayo a flexión del paquete recuperado

El objetivo es simular el paquete a las mismas consideraciones que fue realizado el ensayo experimental para lo cual se siguieron los siguientes pasos considerando que el material en estudio es un acero en un elemento tridimensional.

1. Se inició importando el modelo al espacio de trabajo al programa por elementos finitos como se observa en la figura 22:

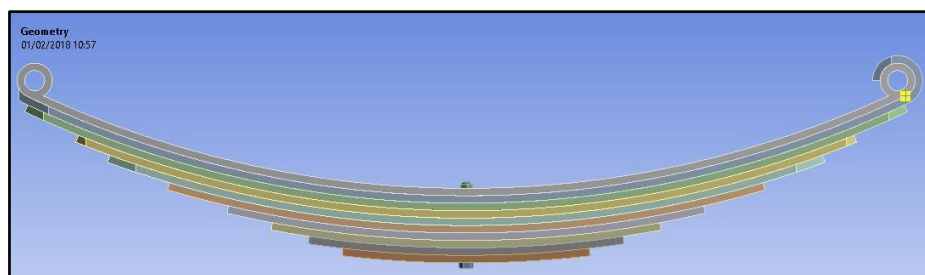


Fig. 22. Modelo en programa FEA.

(Fuente: Autor)

2. Se verifico la geometría y se asignó las propiedades del material a las ballestas, perno sujetador y tuerca las mismas se pueden apreciar en la figura 23:

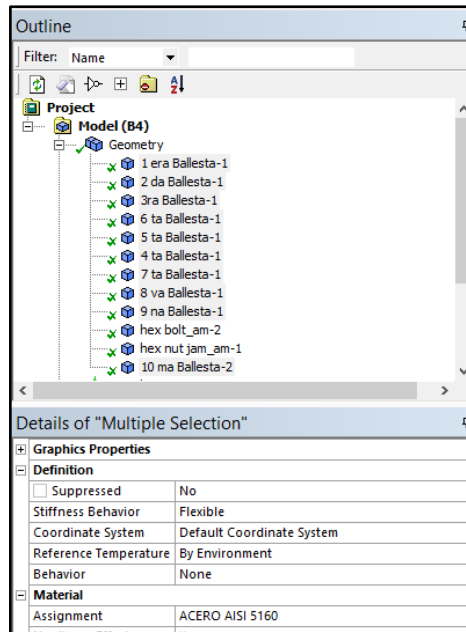


Fig. 23. Asignación del material.

(Fuente: Autor)

3. En la figura 24 se observa las partes de las caras que se les señala para ubicar las condiciones de borde en la pestaña Static Structural en el post procesador las que se detallan en la tabla 15.

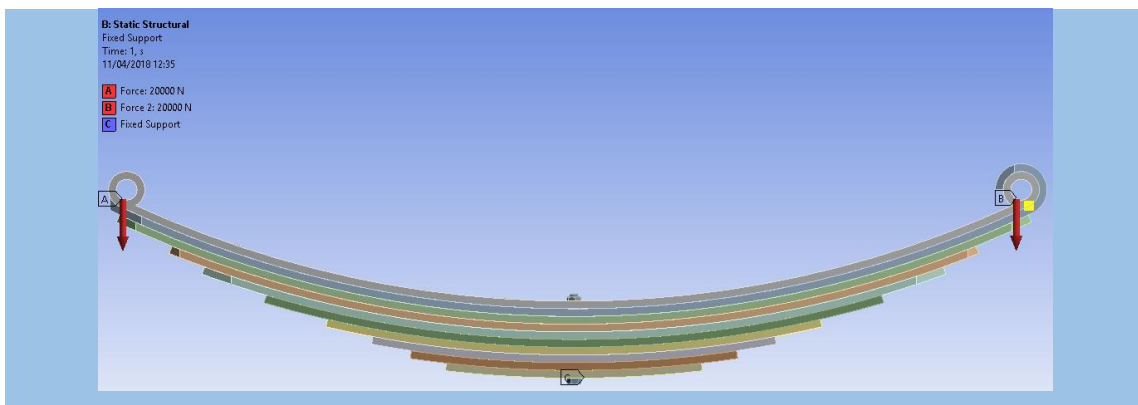


Fig. 24. Selección del punto en el modelo.

(Fuente: Autor)

Tabla 15. Condiciones de borde.

| Selección de la parte | Condición |
|-----------------------|---------------------------|
| Punto A | Componente en X= 0 N |
| | Componente en Y= -20000 N |
| | Componente en Z= 0 N |
| Punto B | Componente en X= 0 N |
| | Componente en Y= -20000 N |
| | Componente en Z= 0 N |
| Punto C | Fixed Support |

(Fuente: Autor)

4. En la figura 25 se muestra como se modificaron los contactos dentro de las conexiones entre hojas tomando una definición de tipo frictional, el valor de Friction Coefficient metal-metal que se introdujo fue de $\mu= 0.18$ y una definición de perno-tuerca de tipo Bonded.

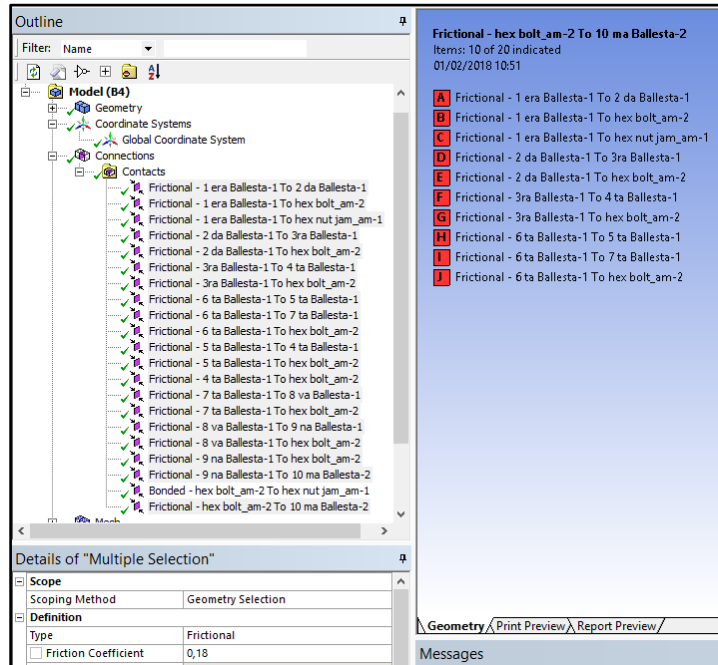


Fig. 25. Determinación de contactos.

(Fuente: Autor)

5. Finalmente se puede apreciar en la figura 26 como se insertó un método de malla controlado de tipo tetrahedrons con un algorithm Patch Independent, con un refinamiento de Minium Size Limit= 10 mm con la finalidad de que se ajuste un mallado a la forma del modelo en forma de tetraedros esto nos ayudará a obtener resultados más exactos.

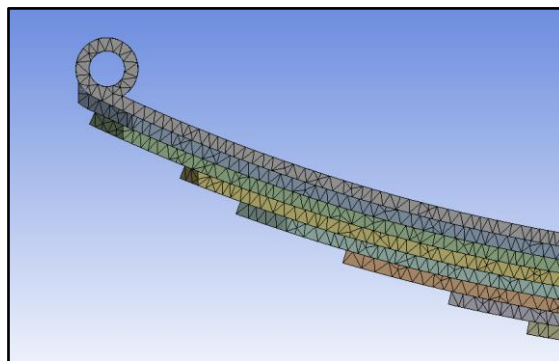


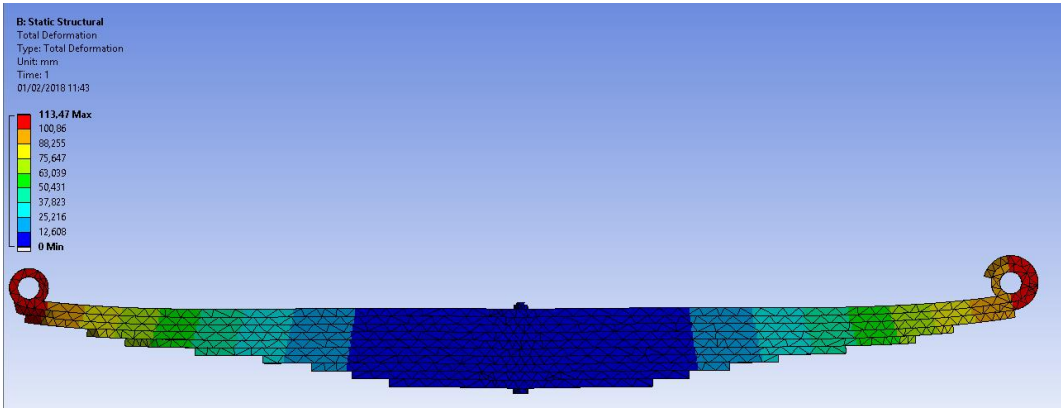


Fig. 26. Calidad de malla.

(Fuente: Autor)

4.2.1.2 Resultados obtenidos de la simulación

Tabla 16. Resultados FEA

| | | |
|---|---|--|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  |
| SIMULACIÓN DEL PAQUETE SOMETIDO A ENSAYO A FLEXIÓN | | |
| Fecha de Ejecución | 01/02/2018 | |
| Número de Elementos | 15862 | |
| Número de nodos | 33674 | |
| Tiempo de procesamiento | 3.5 horas | |
|  | | |
| RESULTADOS OBTENIDOS | | |
| Se obtiene una deflexión de 113.47 mm a la carga de 40 kN | | |
| Elaborado por: | Sr. Christian Silva | Revisado por: Ing. Mg. María Belén Paredes Validado por: Ing. Mg. María Belén Paredes |

(Fuente: Autor)

4.2.1.3 Comparación de los resultados obtenidos del ensayo real y simulado

Con los resultados obtenidos de los ensayos reales y simulado se realizó una comparación en la tabla 17 de tal manera que se determinó el porcentaje de error que existió entre los valores obtenidos.

Tabla 17. Comparación de resultados

| No. | Deflexión (mm) | | Variación |
|--|------------------------|---------------|-----------|
| | Resultado Experimental | Resultado FEA | |
| Paquete Recuperado 1 OE-2017-269-01 | 116,25 | 113,47 | 2,39 % |
| Paquete Recuperado 2 OE-2017-270-01 | 124 | 113,47 | 8,49 % |

| | | | |
|---|-------|--------|---------|
| Paquete nuevo Vanderbilt OE-2017-271-01 | 141,5 | 113,47 | 19,81 % |
| Paquete nuevo Imal OE-2017-272-01 | 119,3 | 113,47 | 4,89 % |

(Fuente: Autor)

Los resultados de la tabla 17 muestran que la simulación por elementos finitos permitirá tener con más exactitud los esfuerzos ya que el coeficiente de rigidez depende de la deflexión y en este caso se mantiene un error por debajo del 10 %, excepto la del paquete nuevo Vanderbilt esto se debe a que tenía un flecha mayor al de los otros tres paquetes antes de realizar el ensayo y su deflexión se va a ver afectada proporcionalmente a su altura de flecha inicial.

4.2.2 Interpretación de datos

Tabla 18. Interpretación de resultados de las propiedades mecánicas a flexión.

| Identificación del paquete | FLEXIÓN | | | | | | Mejores propiedades (sobre 10) |
|-------------------------------|------------------------------------|----------|-----------------------------|----------|-------------------------------|----------|--------------------------------|
| | Deflexión a una carga de 40kN (mm) | Δ | Constante de rigidez (N/mm) | Δ | Tensión real de trabajo (MPa) | Δ | |
| Paquete Vanderbilt recuperado | 116,25 | 9,01 | 344,09 | 22,93 | 76,35 | 2,01 | 6,67 |
| Paquete Imal recuperado | 124 | 1,26 | 322,58 | 1,42 | 81,44 | 3,08 | 8,33 |
| Paquete Vanderbilt nuevo | 141,5 | 16,24 | 282,69 | 38,47 | 92,94 | 13,64 | 6,67 |
| Paquete Imal nuevo | 119,3 | 5,96 | 335,29 | 14,13 | 78,36 | 15,64 | 8,33 |
| Parámetros | 125,26 | | 321,16 | | 78,36 | | |
| D. Estándar | 11,28460419 | | 27,12562795 | | 8,444032903 | | |

(Fuente: Autor)

Para la interpretación de resultados se utilizó los parámetros del valor promedio de las características mecánicas y la desviación estándar.

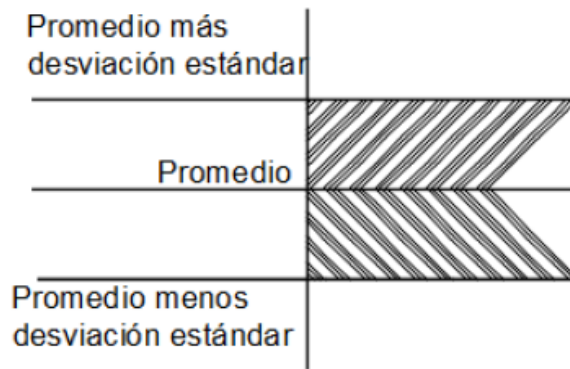


Fig. 27. Parámetros para interpretación de resultados.

(Fuente: Autor)

En la Fig. 27 se puede observar los parámetros utilizados para la interpretación de resultados, si los datos se encuentran entre el promedio y promedio más desviación estándar o sobre esta área fue aceptable, si los valores estuvieron en el área entre promedio y promedio menos desviación estándar fue medianamente aceptable mientras que si los valores estén debajo del promedio menos desviación estándar fue no aceptable.

En la tabla 18 podemos observar datos de las mejores propiedades mecánicas que puede tener un paquete correspondientes a la marca Imal, mientras se tenga mayor resistencia a la fluencia, tensión y una constante de rigidez se podrá tener una suspensión óptima debido a las altas características mecánicas requeridas, tipo de servicio y ambiente de trabajo de este tipo de suspensión.

En el apartado 4.1.5 literal a podemos observar la deflexión del sistema de suspensión por ballestas obteniéndose un valor de 139,435 es un dato acertado ya que se asemeja a datos del ensayo experimental y simulado.

La deflexión que está dentro de un rango de 115-145 mm se determina por parámetros de elasticidad y flexibilidad que son características que debe reunir una ballesta, nos damos cuenta que con una baja constante de rigidez del sistema tendremos mayor deflexión como sucede en el paquete nuevo de marca Vanderbilt; esto ocasionaría falencias en la funcionalidad de una óptima suspensión por ballestas.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Una vez realizado los ensayos, tabulación, evaluación e interpretación de datos se procedió a la demostración de la hipótesis planteada en el presente estudio de investigación, lo cual se realizó estadísticamente y comparativamente. Lo que conlleva a

la parte de estadística se utilizó la prueba T-Student para las medidas de flecha residual que son las medidas que determinarán si es factible o no la recuperación de ballestas.

4.3.1 Ho (Hipótesis Nula)

Con el análisis numérico/experimental del comportamiento mecánico a flexión se determina la recuperación de ballestas en frío empleadas en vehículos pesados Hino GD.

4.3.2 Ha (Hipótesis Alterna)

Con el análisis numérico/experimental del comportamiento mecánico a flexión no se determina la recuperación de ballestas en frío empleadas en vehículos pesados Hino GD.

La hipótesis se la comprobó con un nivel de confianza del 95 % y un nivel de significancia del 5 %

A continuación procedemos a calcular la probabilidad aplicando la ecuación 4.2:

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Donde:

P = Probabilidad

α = Nivel de significancia

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0,05$$

Posteriormente se calcula los grados de libertad aplicando la ecuación 4.3:

$$Gl = n - 1 \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde:

GL = Grados de libertad

n = Número de muestras

$$Gl = 4 - 1$$

$$Gl = 3$$

Con los datos obtenidos de las flechas residuales y los grados de libertad procedemos a calcular el valor de t tabulado para lo cual utilizamos la tabla que se muestra en el Anexo C. Por lo tanto obtuvimos el valor de:

$$t_{tab} = \pm 2,3534$$

4.3.3 Regla de decisión

Se acepta la hipótesis nula H_0 (Con el análisis numérico/experimental del comportamiento mecánico a flexión se determina la recuperación de ballestas en frío empleadas en vehículos pesados Hino GD) si el valor de t calculado está entre el rango de $-2,3534$ a $2,3534$, de otra forma, se acepta la hipótesis alterna H_a (Con el análisis numérico/experimental del comportamiento mecánico a flexión no se determina la recuperación de ballestas en frío empleadas en vehículos pesados Hino GD).

4.4.4 Verificación de la hipótesis con respecto a las medidas de la tabla 19.

En la tabla 19 se muestran los cálculos necesarios para el cálculo de la prueba T' Student.

Tabla 19. Verificación de la hipótesis de paquetes ensayo a flexión.

| CONDICIONES DE TRABAJO DE LOS PAQUETES | MEDIDAS DE FLECHA (mm) | | A= Paquetes recuperados y nuevos B= Paquetes después del ensayo a flexión | |
|--|-------------------------------|---------------------------------------|--|----------------|
| | Paquetes recuperados y nuevos | Paquetes después del ensayo a flexión | H = A - B | H ² |
| Paquete recuperado 1 | 202 | 178,5 | 23,5 | 552,25 |
| Paquete recuperado 2 | 200 | 178 | 22 | 484 |
| Paquete marca Vanderbilt nuevo | 210 | 208,9 | 1,5 | 2,25 |
| Paquete marca Imal nuevo | 199 | 197 | 2 | 4 |
| SUMA | 811 | 762 | 49 | 1042,5 |
| PROMEDIO | 202,75 | 190,5 | 12,25 | |

(Fuente: Autor)

Con los datos obtenidos procedemos a calcular las varianzas de las diferencias aplicando la ecuación 4.4:

$$S^2d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Donde:

S^2d = desviación

H = Diferencia entre los datos

n = número de muestras

$$S^2d = \frac{1042,5 - \frac{(49)^2}{4}}{4(4 - 1)}$$

$$S^2d = 36,85$$

$$Sd = 6,07$$

Luego procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 4.5:

$$t_{cal} = \frac{\bar{H}}{sd} \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Donde:

\bar{H} = Promedio de la diferencia

t_{cal} = t calculado

$$t_{cal} = \frac{12,25}{6,07}$$

$$t_{cal} = 2,01$$

$$t_{cal} = 2,01 < t_{tab} = 2,3534$$

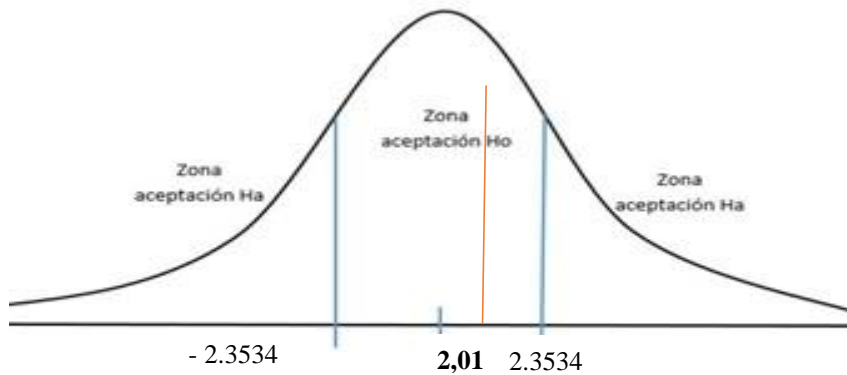


Fig. 28. Campana de distribución.

(Fuente: Autor)

La t calculada se encuentra dentro del rango 2.3534 por lo tanto se acepta la hipótesis nula (Con el análisis numérico/experimental del comportamiento mecánico a flexión se determina la recuperación de ballestas en frío empleadas en vehículos pesados Hino GD).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Con los datos recolectados en el presente análisis numérico/experimental del comportamiento mecánico a flexión de las ballestas recuperadas en frío empleadas en vehículos pesados Hino GD se tuvo las siguientes conclusiones:

- Las variables que se están inmersas dentro del análisis del comportamiento mecánico a flexión: deflexión del sistema, tensión real de trabajo, constante de rigidez y la flecha residual aplicando una determinada fuerza, son las variables que se deben analizar para determinar la recuperación de las ballestas.
- Se determinó el comportamiento mecánico de las ballestas nuevas y recuperadas las mismas se sometieron al ensayo a flexión, obteniéndose la flecha residual este dato es certero para el análisis ya que se puede observar si el paquete de hojas de resorte pierde curvatura o mantiene sus dimensiones a las que debe tener una buena suspensión.
- Se realizó la simulación del paquete de ballestas el cual comparando con los resultados obtenidos experimentalmente se obtuvo un error promedio menos del 10%, se concluye que en el FEA la fricción puede incrementar la rigidez, este dato debe considerarse ya que de no hacerlo los resultados serán erróneos o tendremos mayor porcentaje de error.
- Se analizó el comportamiento mecánico de los paquetes en diferentes condiciones de trabajo determinando centralmente del ensayo a flexión los valores de flechas iniciales, es decir; antes de iniciar el ensayo los paquetes de resortes tenían un cierto valor de altura o flecha y después de finalizado el ensayo se puede verificar que se recupera la mayoría de flecha inicial que ostentaba cierto paquete de resortes.

- Los datos obtenidos por los diferentes análisis son de gran ayuda para proporcionar un concepto de la recuperación de ballestas ya que en el país no se conoce como una práctica rutinaria de corrección en este tipo de suspensión.
- Finalmente se concluye que los cálculos analíticos y numéricos pueden ofrecernos valores muy acertados en el estudio ingenieril experimental al momento de pretender cotejar, demostrar o indicar resultados; ya que se acatan de datos que son conocidos frente a una aseveración o hipótesis que se quiera demostrar.

5.2 RECOMENDACIONES

Al finalizar el análisis numérico/experimental de las ballestas recuperadas en frío obteniéndose datos acertados con los objetivos del mismo se puede recomendar:

- Tener en consideración las medidas del modelo CAD ya que para obtener datos precisos con el FEA las medidas deberán ser iguales al físico.
- Después de la recuperación de ballestas se puede indagar si existe algún proceso que ayude a la recuperación de las características propias del material con la finalidad de ayudar a mantener con mayor tiempo la flecha del paquete.
- Se recomienda a la empresa seguir utilizando este tipo de corrección en suspensiones por ballestas teniendo presente que las hojas de resorte que estén con mucho desgaste se deberán reemplazar por nuevas ya que el no hacerlo las hojas que estén en óptimo estado sufrirán daño o desgaste acelerado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Mantilla, "*Diseño Óptimo de Resortes Tipo Ballesta Para la Suspensión de un Vehículo Comercial Considerando las Condiciones Dinámicas*", Bogotá, Colombia: Mg. Tesis, 2014.
- [2] W. Ochoa, «"Flexión Reporte de Laboratorio",» 2015. [En línea]. Available: http://www.academia.edu/16492279/Reporte_de_Laboratorio_5. [Último acceso: 14 05 2017].
- [3] J. S. Rodríguez, "Análisis estructural para resortes de ballesta granallados bajo condiciones de cargas cíclicas" Tesis, Bogotá, Colombia, 2013.
- [4] G. Cuesta, "Manual de Camiones y Vehículos Pesados Reparación y Mantenimiento", Madrid-España: Cultural S.A., 2004.
- [5] F. Iñiguez, "Implementación de una suspensión neumática con control eléctrico en un vehículo" Tesis, Quito, Ecuador, 2013.
- [6] V. H. Chacón, "Diseño de una Suspensión para un Vehículo Automóvil Basada en Amortiguadores Magneto-Reológicos", Tesis, Escuela Politécnica Superior Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España, 2009.
- [7] H. Rodríguez, «"Sistema de Suspensión en los Vehículos",» 2017. [En línea]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>. [Último acceso: 06 05 2017].
- [8] P. K. Estankandary, "Interconnected Air Suspensions with Independent Height and Stiffness Tuning", Waterloo, ontario, Canada, 2014.
- [9] A. Flores, "Validación de componentes para una suspensión neumática de un vehículo utilitario", Mexico D.F., 2007.
- [10] P. Riera, "Truncaje y adaptación de un sistema de suspensión y dirección para un vehículo tipo buggy de la Fórmula automovilística universitaria FAU", Riobamba, Ecuador, 2010.
- [11] J. N. L. L. X. X. Zepeng G, "Research on air suspension control system based on fuzzy control", Beijing. China: Elsevier Ltd., 2017.
- [12] D. M. L. G. Zhiguo S, "Numerical analysis of a dual-chamber hydro-pneumatic suspension using nonlinear vibration theory and fractional calculus", Los Angeles, Estados Unidos, 2017.

- [13] S. Huist, "Magnetic Ride Control", Nueva York. En línea: <http://thenewswheel.com/car-tech-explained-magnetic-ride-control/>, 2016.
- [14] N. Singh, "General Review of Mechanical Springs Used in Automobiles Suspension System", International Journal of Advanced Engineering Research and Studies., Jammu, India, 2013.
- [15] E. H. Judd, "Spring Design Manual," in Spring Design Manual, SAE International,, Warrendale, Pennsylvania, 1989.
- [16] R. Dominguez, "Suspensiones Vehiculares", pdf, 2011 En línea: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut73/anx1tut73.pdf>.
- [17] A. Viloría, H. Hernández, Y. Arango, A. Jiménez y H. Mendoza, «Mejoramiento del Proceso de Granallado para Resortes de Ballesta Utilizando Medición de Esfuerzos Residuales por Difracción de Rayos X», Ingeniería e Investigación, Vol. 24, n° 003, Pg. 33,,» 12 2004. [En línea]. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingein/article/viewFile/14608/15446>. [Último acceso: 28 06 2017].
- [18] M. R. García, "Resistencia de materiales" Vol. 12, University Jaume, 2002.
- [19] K. J. Marsh, "Full-Scale Fatigue Testing og components and structures", London, England: Butterworth & Co. (Publishers) Ltd, 1988, 1988.
- [20] O. Rodríguez, «Materiales y Ensayos. Santa Fe, Argentina,» 2000. [En línea]. Available: <http://matensayos.webcindario.com/ensayos/flexion.htm>. [Último acceso: 15 07 2017].
- [21] M. Cascajosa, "Ingeniería de vehículos", México: Alfaomega Grupo, 2005.
- [22] L. Ayre, "Como restaurar la suspensión de ballestas" Mobil, Estados Unidos, 2018.
- [23] A. Dighe, "A review on Testing of steel leaf spring", Loni, Maharashtra, India, 05 Mayo 2016.
- [24] E. Frías, "Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del Método de Elementos Finitos". Tesis Doctoral., Barcelona, España, 2004.
- [25] W. Bauer, «"Hidropneumatic Suspension Systems",» Weinhein, Germany: Springer, 2011, 2011. [En línea]. Available: <http://www.springer.com/us/book/9783642151460>. [Último acceso: 03 06 2017].

- [26] G. Mavesa, «"Teojama Comercial S.A." Hino 500.,» 2016. [En línea]. Available: http://grupomavesa.com.ec/cms/uploads/fichas/hino/0840591018_fc.pdf. [Último acceso: 10 09 2017].
- [27] D. C. Giancoli, "Física principio con aplicaciones", Sexta Ed., México: Pearson Editorial, 2006.
- [28] J. W. Kane y M. Sternheim, "Física", Segunda Edición, Caracas-Mexico: Reverte Editorial, 2007.

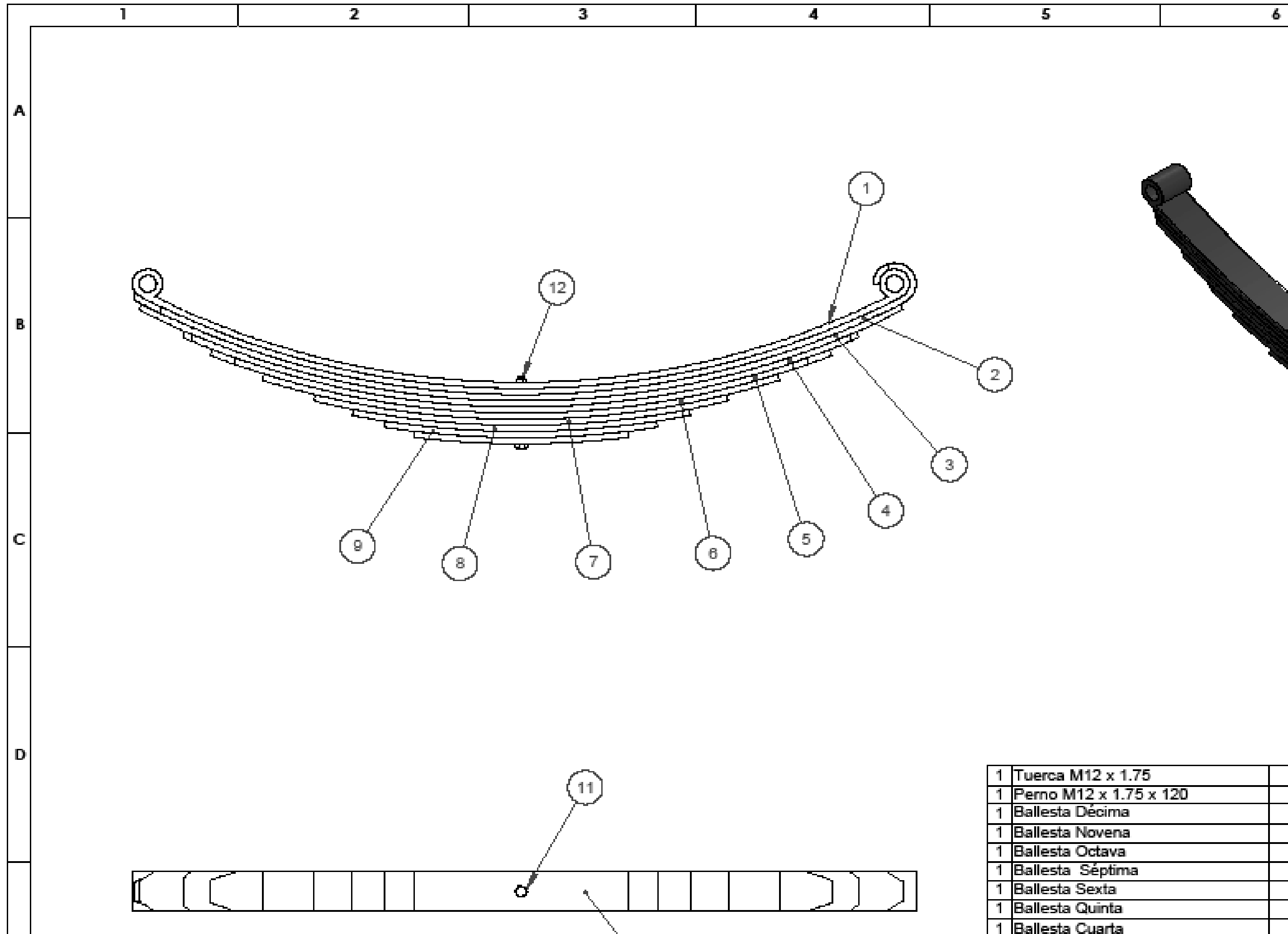
ANEXOS.

ANEXO A. Modelo CAD del paquete de ballestas

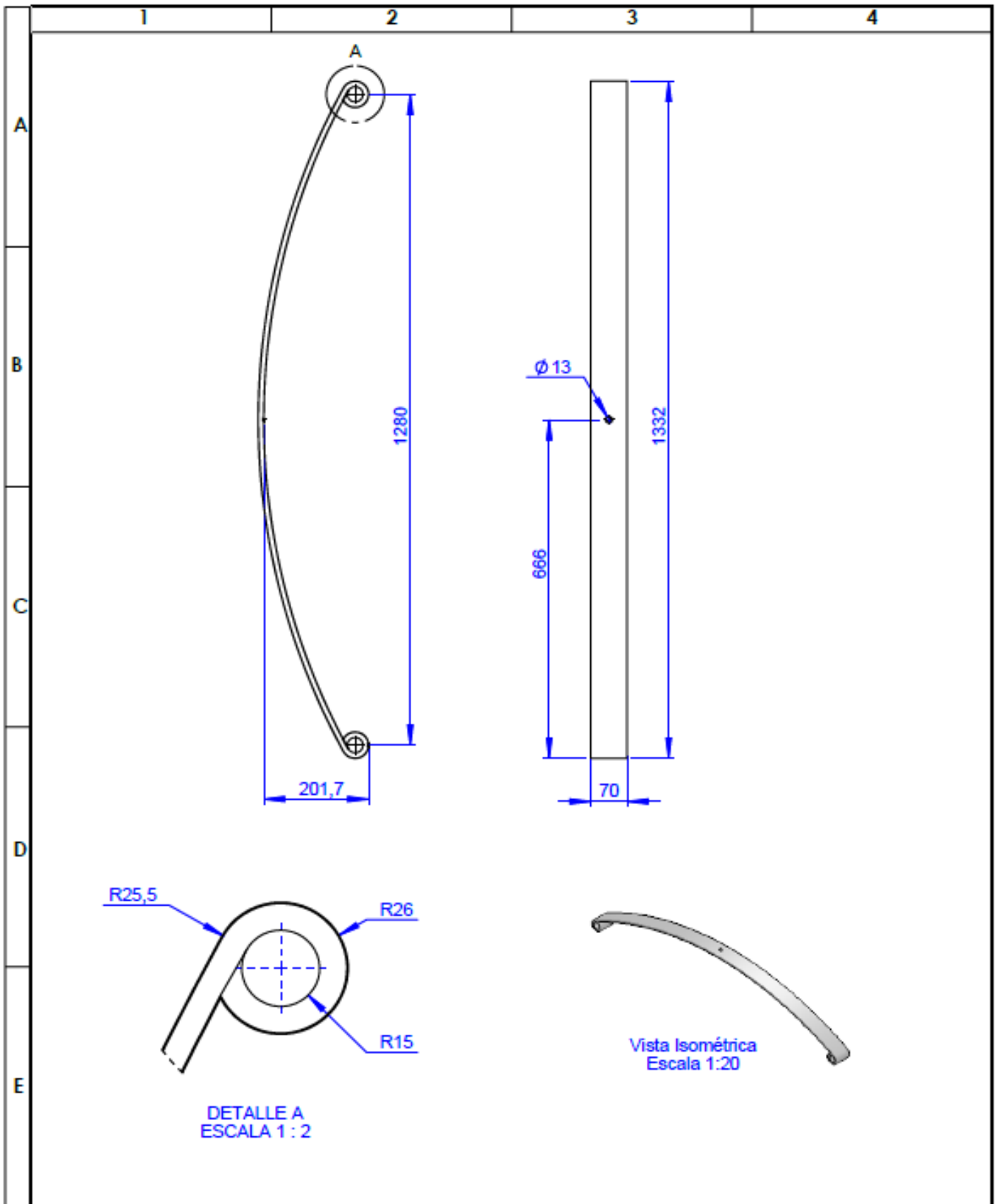
ANEXO B. Tabla de datos de la t tabulada

ANEXO C. Informe técnico ensayo a Flexión

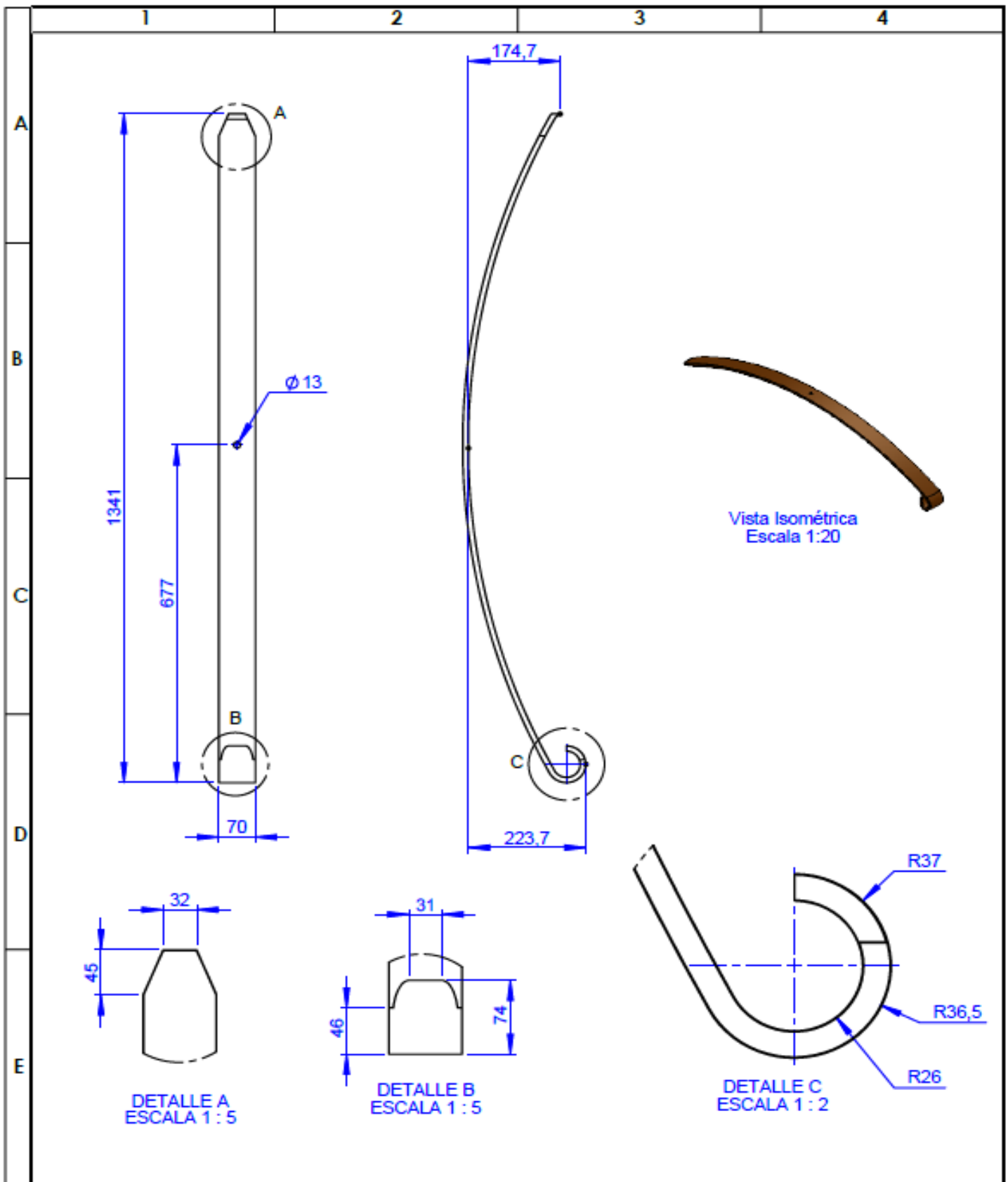
ANEXO A
MODELO CAD DEL PAQUETE DE BALLESTA



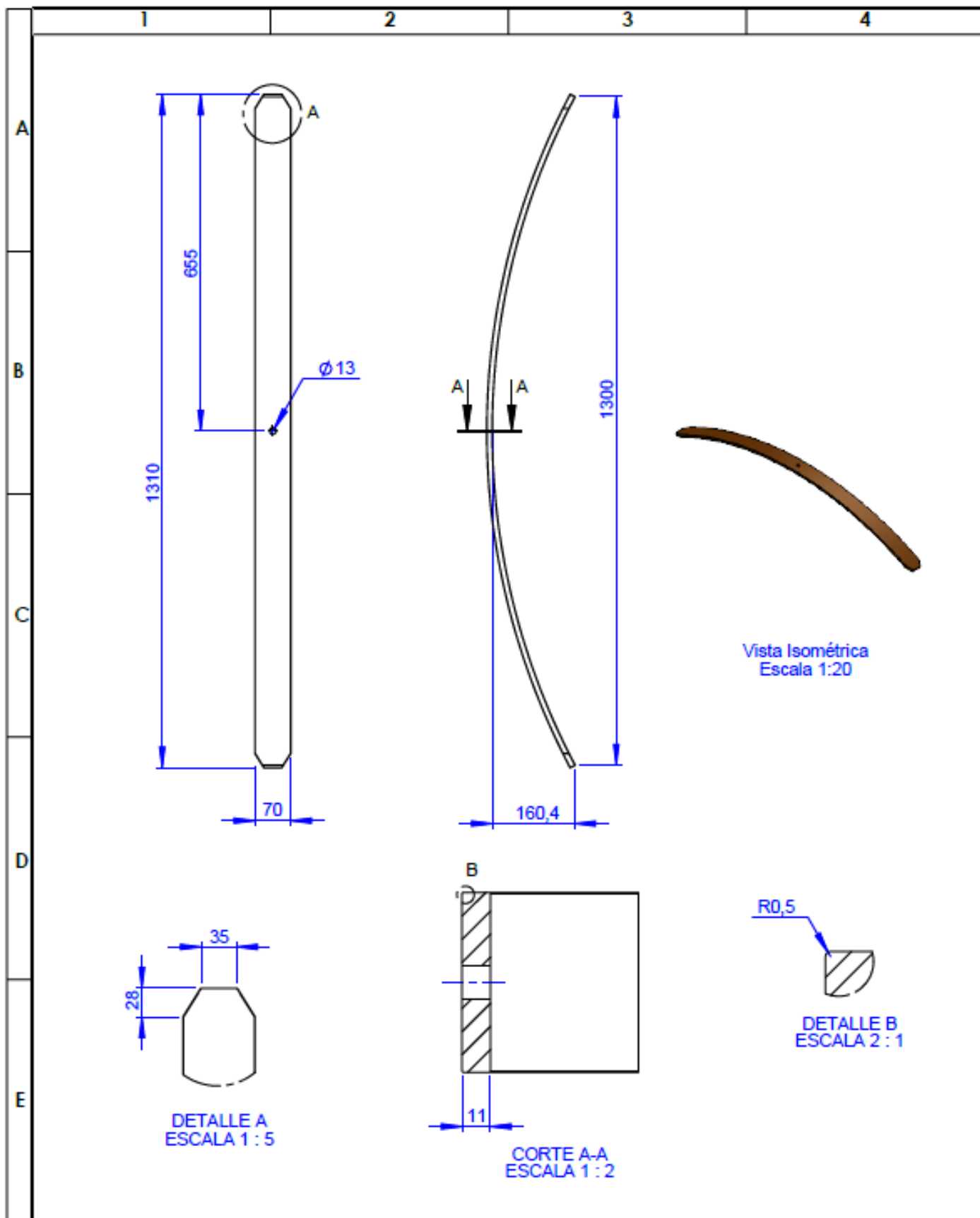
| | | |
|---|------------------------|--|
| 1 | Tuerca M12 x 1.75 | |
| 1 | Perno M12 x 1.75 x 120 | |
| 1 | Ballesta Décima | |
| 1 | Ballesta Novena | |
| 1 | Ballesta Octava | |
| 1 | Ballesta Séptima | |
| 1 | Ballesta Sexta | |
| 1 | Ballesta Quinta | |
| 1 | Ballesta Cuarta | |



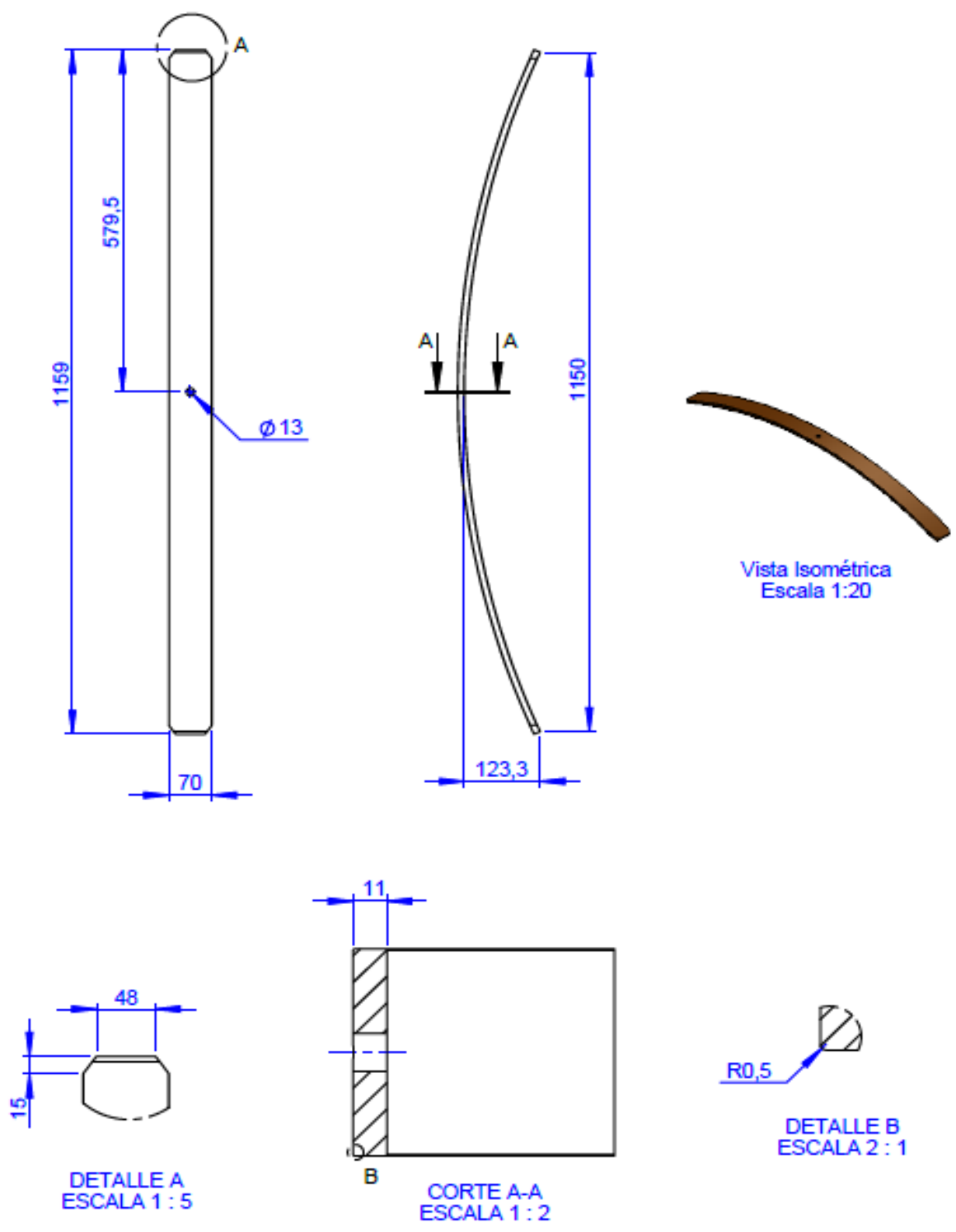
| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|---|-----------------|------------------|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | ±1 | 9408.28 gr | Acero SAE 5160 H | |
| | | | | FECHA | NOMBRE | TÍTULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: 27/01/2018 | Silva Christian | Ballesta Primera | 1:10 |
| | | | | REVISO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | APROBO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERIA MECANICA | | N.º DE LAMINA | REGISTRO: |
| | | | | | | HOJA 2 DE 11 | |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | SUSTITUCION: | | | |



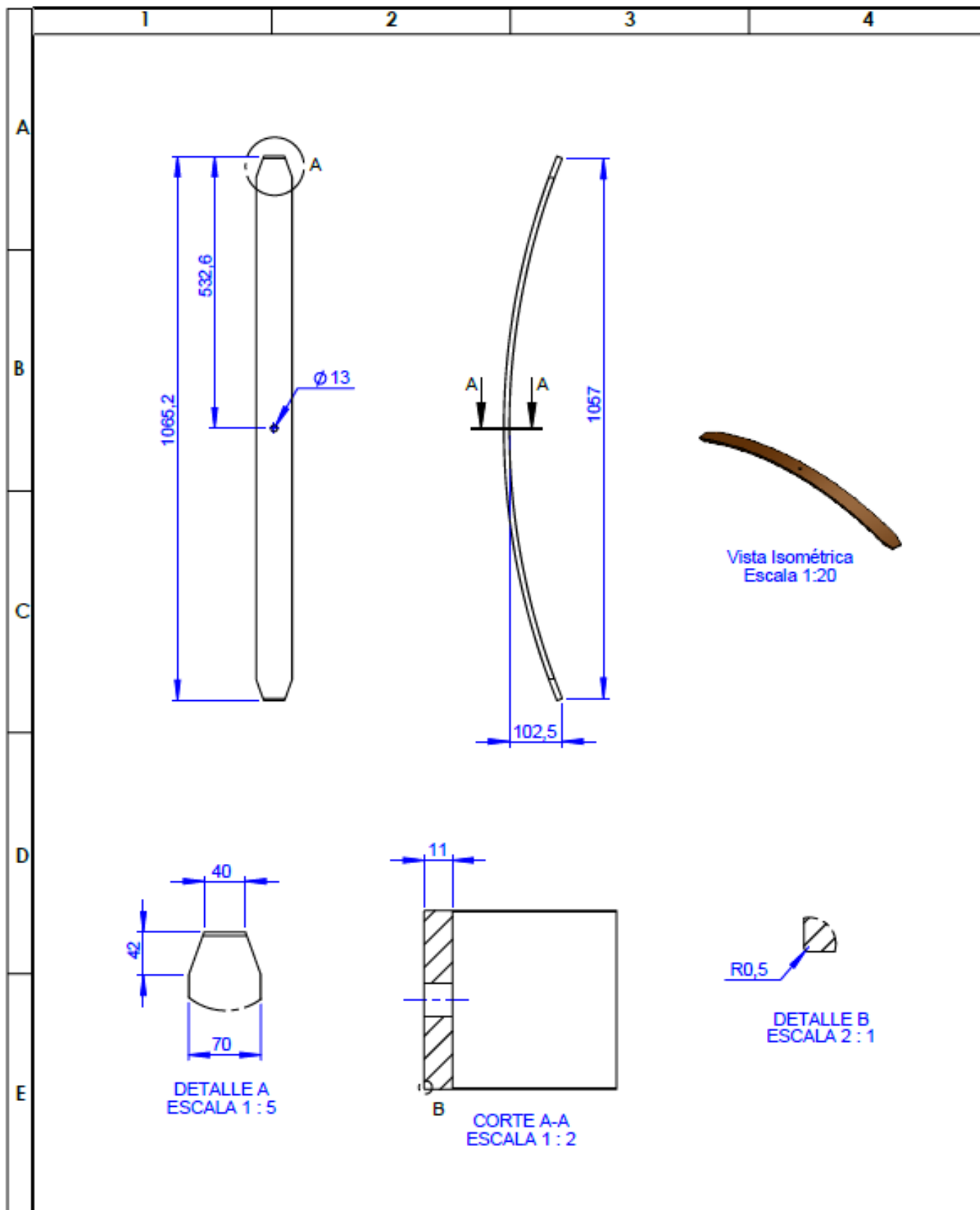
| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | ± 1 | 8815.27 gr | Acero SAE 5160 H | |
| | | | | FECHA | NOMBRE | TÍTULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: 27/01/2018 | Silva Christian | Ballesta Segunda | 1:10 |
| | | | | REVISO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M. | | |
| | | | | APROBO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M. | | |
| | | | | U.T.A. | | N.° DE LAMINA | REGISTRO: |
| | | | | | | INGENIERIA MECANICA | |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | SUSTITUCION: | | | |



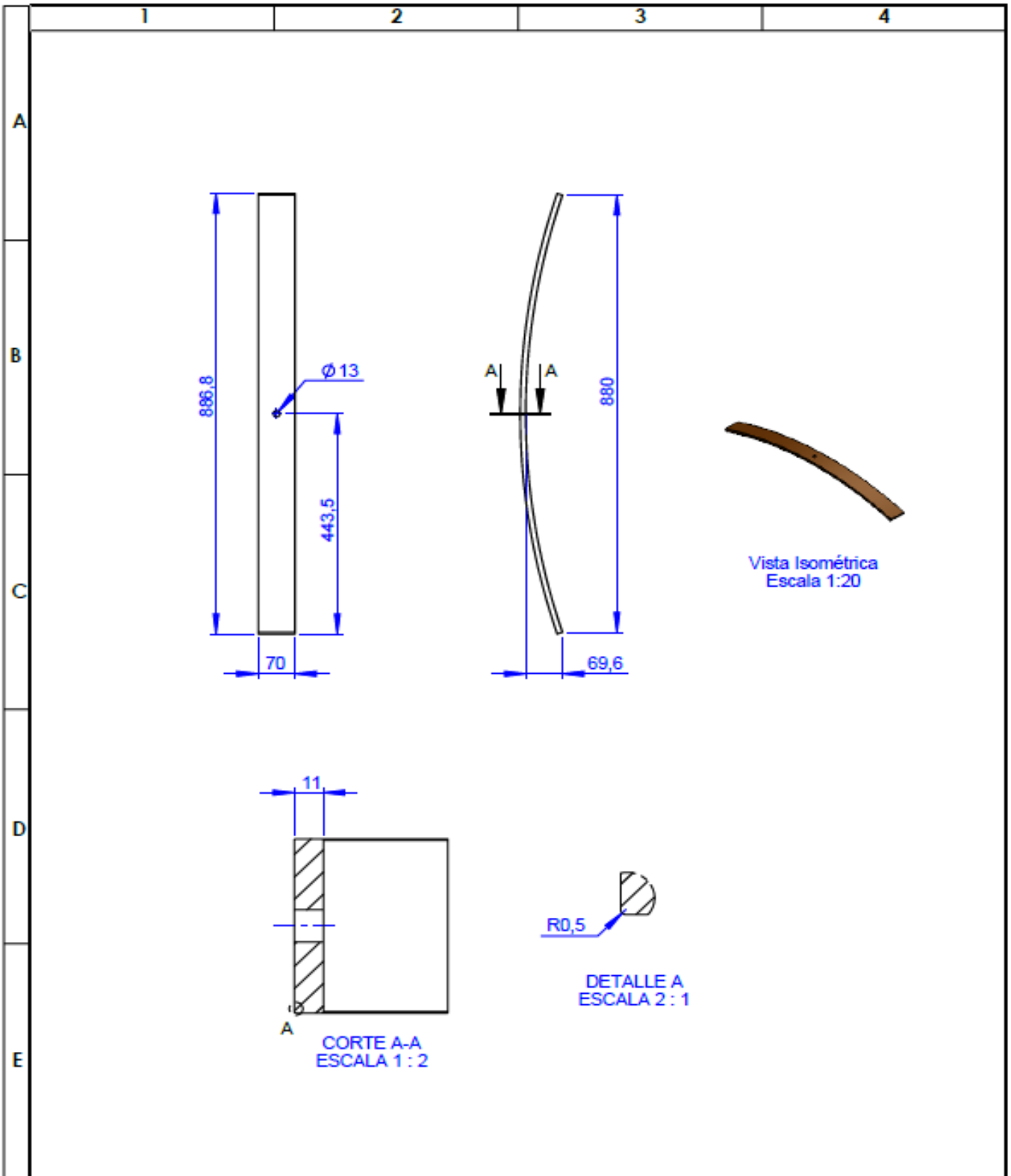
| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|-------------------------------|-----------------|------------------|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | ±1 | 8001.64 gr | Acero SAE 5160 H | |
| | | | | FECHA: | NOMBRE: | TÍTULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: 27/01/2018 | Silva Christian | Ballesta Tercera | 1:10 |
| | | | | REVISO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M. | | |
| | | | | APROBO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M. | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERIA MECANICA | | N.º DE LAMINA: | REGISTRO: |
| | | | | | | HOJA 4 DE 11 | |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | SUSTITUCION: | | | |



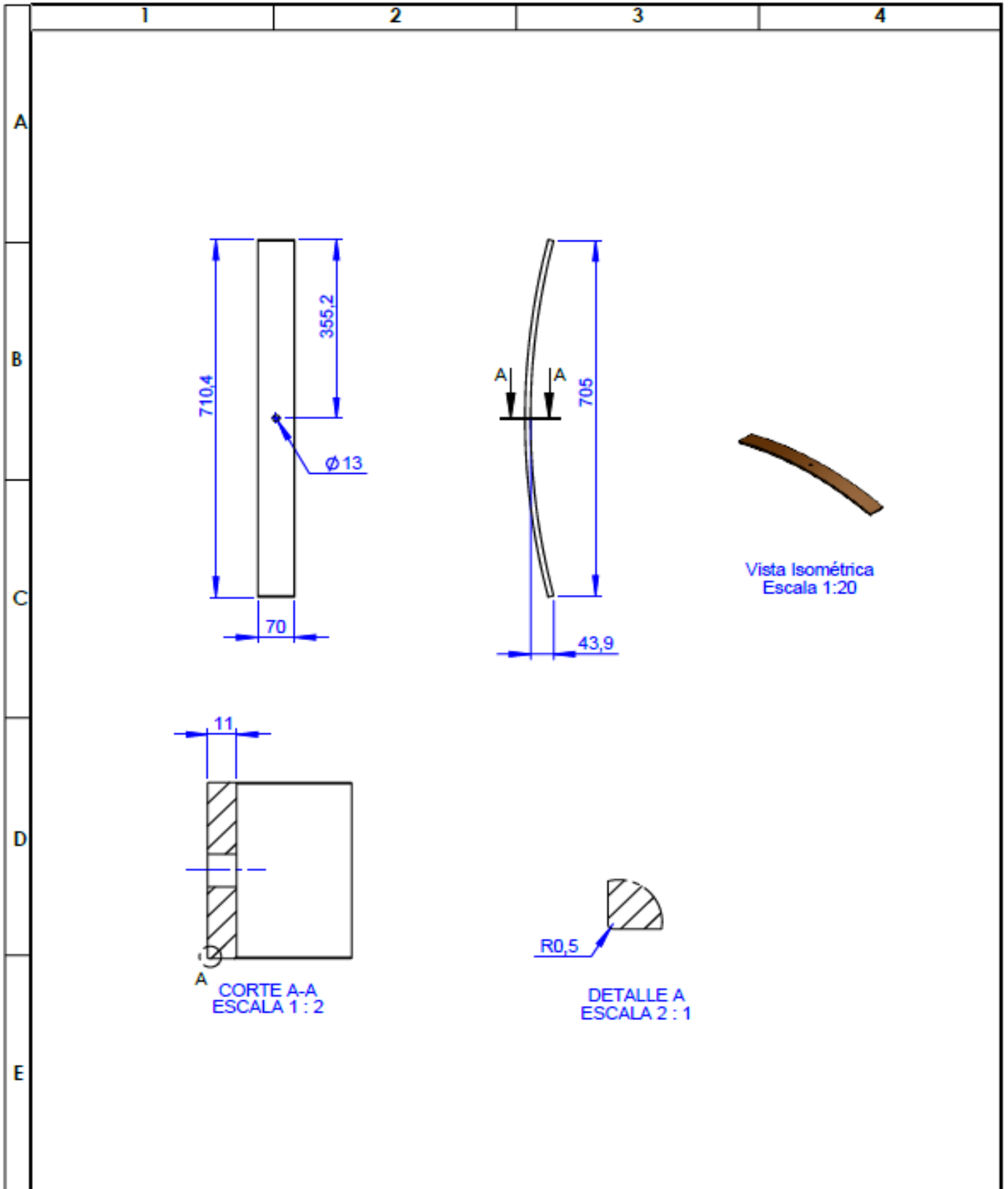
| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|--------------------------------------|-----------------|------------------|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | ±1 | 7053.87 gr | Acero SAE 5160 H | |
| | | | | FECHA: | NOMBRE: | TÍTULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: 27/01/2018 | Silva Christian | Ballesta Cuarta | 1:10 |
| | | | | REVISO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | APROBO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERIA MECANICA | | N.º DE LAMINA: | REGISTRO: |
| | | | | | | HOJA 5 DE 11 | |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | SUSTITUCION: | | | |



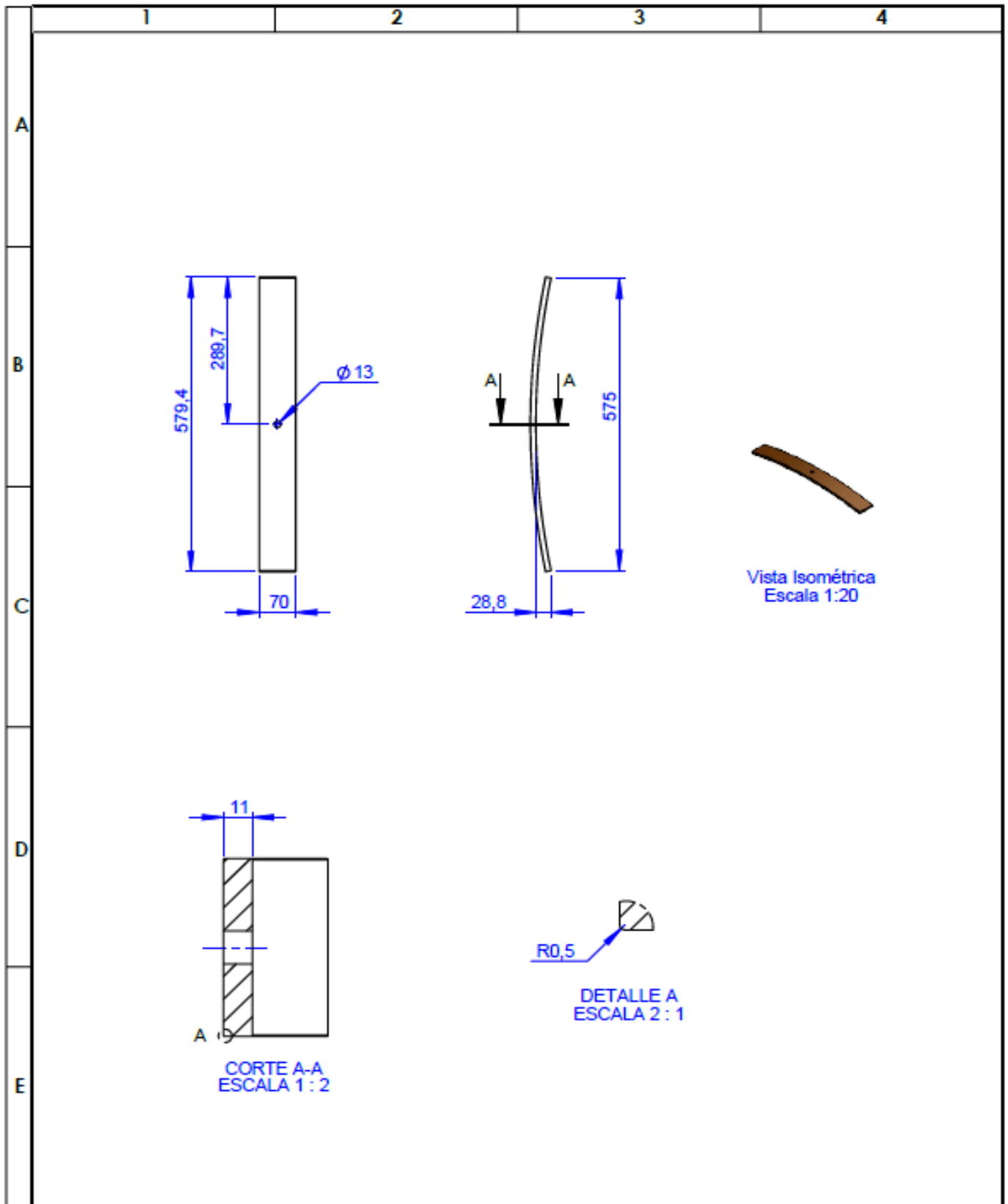
| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | ± 1 | 6364.16 gr | Acero SAE 5160 H | |
| | | | | FECHA | NOMBRE | TITULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: 27/01/2018 | Silva Christian | Ballesta Quinta | 1:10 |
| | | | | REVISO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | APROBO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | U.T.A. | | N.º DE LAMINA | REGISTRO: |
| | | | | | | INGENIERIA MECANICA | |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | SUSTITUCION: | | | |



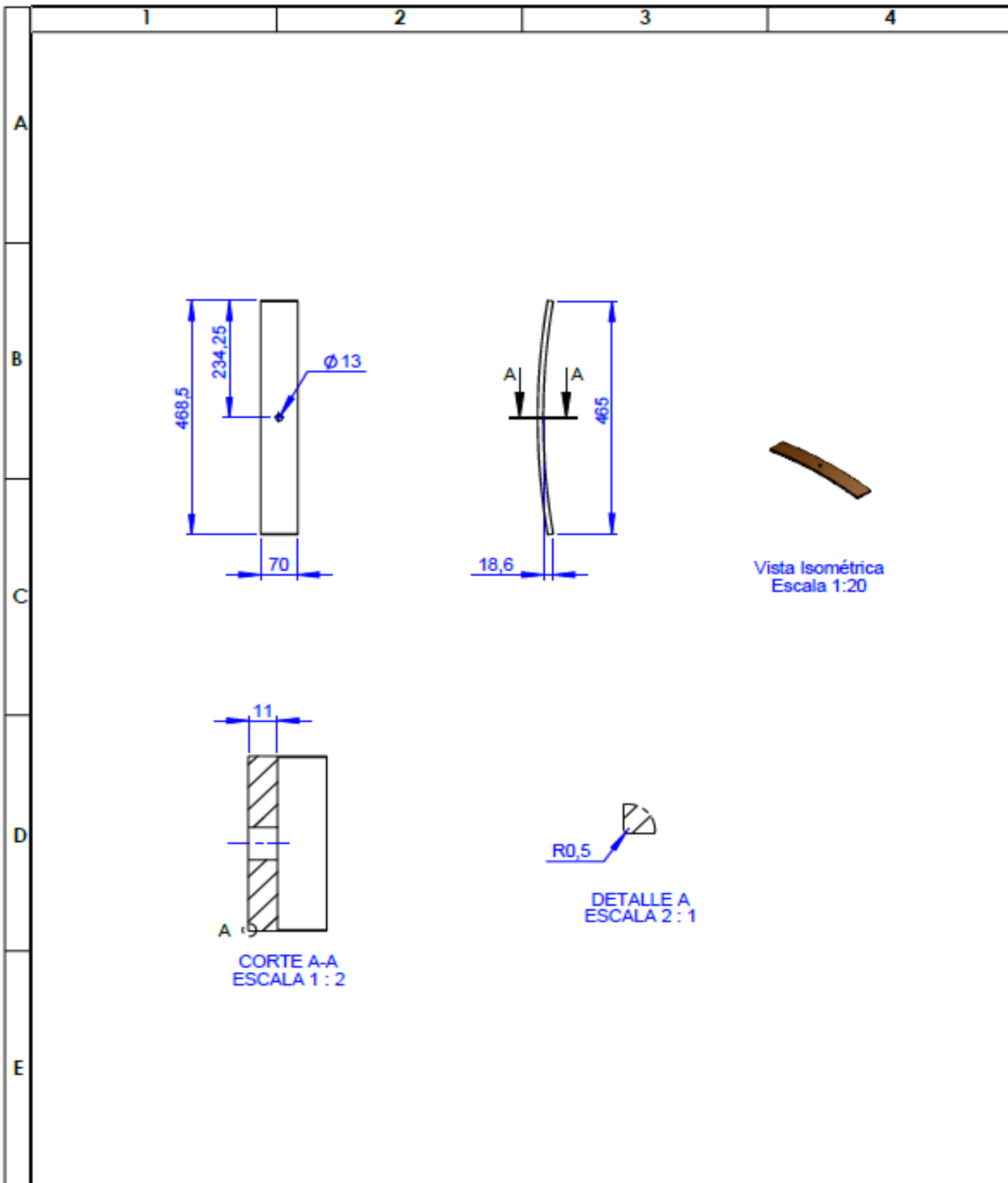
| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|--------------------------------------|-----------------|------------------|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | ± 1 | 5339.57 gr | Acero SAE 5160 H | |
| | | | | FECHA | NOMBRE | TÍTULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: 27/01/2018 | Silva Christian | Ballesta Sexta | 1:10 |
| | | | | REVISO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | APROBO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERIA MECANICA | | N.º DE LAMINA | REGISTRO: |
| | | | | | | HOJA 7 DE 11 | |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | SUSTITUCION: | | | |



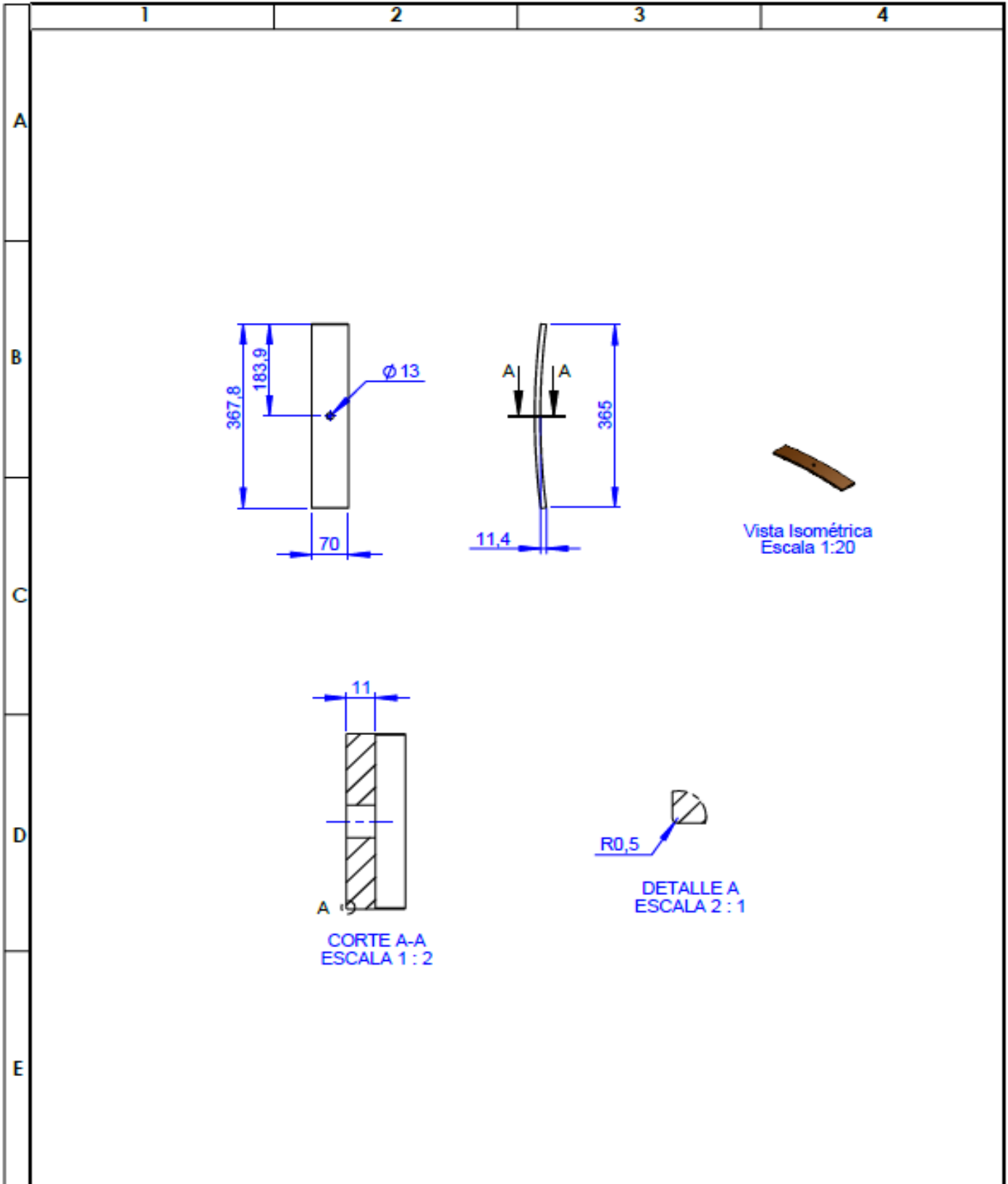
| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|---|-----------------|------------------|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | ±1 | 4248.83 gr | Acero SAE 5160 H | |
| | | | | FECHA | NOMBRE | TÍTULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: 27/01/2018 | Silva Christian | Ballesta Séptima | 1:10 |
| | | | | REVISO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | APROBO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERIA MECANICA | | N.º DE LAMINA | REGISTRO: |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | | | HOJA 8 DE 11 | |
| | | | | SUSTITUCION: | | | |



| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|---------------------|-----------------|------------------|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | ± 1 | 3450.70 gr | Acero SAE 5160 H | |
| | | | | FECHA | NOMBRE | TÍTULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: 27/01/2018 | Silva Christian | Ballesta Octava | 1:10 |
| | | | | REVISO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | APROBO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | U.T.A. | | N.º DE LAMINA | REGISTRO: |
| | | | | INGENIERIA MECANICA | | HOJA 9 DE 11 | |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | SUSTITUCION: | | | |



| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|---------------------|-----------------|------------------|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | ± 1 | 2781.62 gr | Acero SAE 5160 H | |
| | | | | FECHA | NOMBRE | TÍTULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: 27/01/2018 | Silva Christian | Ballesta Novena | 1:10 |
| | | | | REVISO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | APROBO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M | | |
| | | | | U.T.A. | | N.º DE LAMINA | REGISTRO: |
| | | | | | | HOJA 10 DE 11 | |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | INGENIERIA MECANICA | | SUSTITUCION: | |

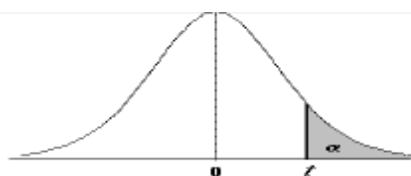


| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|--------------------------------------|-----------------|------------------|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | ±1 | 2177.22 gr | Acero SAE 5160 H | |
| | | | | FECHA | NOMBRE | TÍTULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: 27/01/2018 | Silva Christian | Ballesta Décima | 1:10 |
| | | | | REVISO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M. | | |
| | | | | APROBO: 27/01/2018 | Ing. Paredes M. | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERIA MECANICA | | N.º DE LAMINA | REGISTRO: |
| | | | | | | HOJA 11 DE 11 | |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | SUSTITUCION: | | | |

ANEXO B.

Tabla de la t de Student.

Contiene los valores t tales que $p[T > t] = \alpha$,
donde n son los grados de libertad.



| $n \setminus \alpha$ | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,025 | 0,01 | 0,005 | 0,0025 | 0,001 | 0,0005 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1 | 0,7265 | 1,0000 | 1,3764 | 3,0777 | 6,3137 | 12,7062 | 31,8210 | 63,6559 | 127,3213 | 318,3088 | 636,6192 |
| 2 | 0,6172 | 0,8165 | 1,0607 | 1,8856 | 2,9200 | 4,3027 | 6,9645 | 9,9250 | 14,0890 | 22,3271 | 31,5991 |
| 3 | 0,5844 | 0,7649 | 0,9785 | 1,6377 | 2,3534 | 3,1824 | 4,5407 | 5,8408 | 7,4533 | 10,2145 | 12,9240 |
| 4 | 0,5686 | 0,7407 | 0,9410 | 1,5332 | 2,1318 | 2,7765 | 3,7469 | 4,6041 | 5,5976 | 7,1732 | 8,6103 |
| 5 | 0,5594 | 0,7267 | 0,9195 | 1,4759 | 2,0150 | 2,5706 | 3,3649 | 4,0321 | 4,7733 | 5,8934 | 6,8688 |
| 6 | 0,5534 | 0,7176 | 0,9057 | 1,4398 | 1,9432 | 2,4469 | 3,1427 | 3,7074 | 4,3168 | 5,2076 | 5,9588 |
| 7 | 0,5491 | 0,7111 | 0,8960 | 1,4149 | 1,8946 | 2,3646 | 2,9979 | 3,4995 | 4,0293 | 4,7853 | 5,4079 |
| 8 | 0,5459 | 0,7064 | 0,8889 | 1,3968 | 1,8595 | 2,3060 | 2,8965 | 3,3554 | 3,8325 | 4,5008 | 5,0413 |
| 9 | 0,5435 | 0,7027 | 0,8834 | 1,3830 | 1,8331 | 2,2622 | 2,8214 | 3,2498 | 3,6897 | 4,2968 | 4,7809 |
| 10 | 0,5415 | 0,6998 | 0,8791 | 1,3722 | 1,8125 | 2,2281 | 2,7638 | 3,1693 | 3,5814 | 4,1437 | 4,5869 |
| 11 | 0,5399 | 0,6974 | 0,8755 | 1,3634 | 1,7959 | 2,2010 | 2,7181 | 3,1058 | 3,4966 | 4,0247 | 4,4370 |
| 12 | 0,5386 | 0,6955 | 0,8726 | 1,3562 | 1,7823 | 2,1788 | 2,6810 | 3,0545 | 3,4284 | 3,9296 | 4,3178 |
| 13 | 0,5375 | 0,6938 | 0,8702 | 1,3502 | 1,7709 | 2,1604 | 2,6503 | 3,0123 | 3,3725 | 3,8520 | 4,2208 |
| 14 | 0,5366 | 0,6924 | 0,8681 | 1,3450 | 1,7613 | 2,1448 | 2,6245 | 2,9768 | 3,3257 | 3,7874 | 4,1405 |
| 15 | 0,5357 | 0,6912 | 0,8662 | 1,3406 | 1,7531 | 2,1315 | 2,6025 | 2,9467 | 3,2860 | 3,7328 | 4,0728 |
| 16 | 0,5350 | 0,6901 | 0,8647 | 1,3368 | 1,7459 | 2,1199 | 2,5835 | 2,9208 | 3,2520 | 3,6862 | 4,0150 |
| 17 | 0,5344 | 0,6892 | 0,8633 | 1,3334 | 1,7396 | 2,1098 | 2,5669 | 2,8982 | 3,2224 | 3,6458 | 3,9651 |
| 18 | 0,5338 | 0,6884 | 0,8620 | 1,3304 | 1,7341 | 2,1009 | 2,5524 | 2,8784 | 3,1966 | 3,6105 | 3,9216 |
| 19 | 0,5333 | 0,6876 | 0,8610 | 1,3277 | 1,7291 | 2,0930 | 2,5395 | 2,8609 | 3,1737 | 3,5794 | 3,8834 |
| 20 | 0,5329 | 0,6870 | 0,8600 | 1,3253 | 1,7247 | 2,0860 | 2,5280 | 2,8453 | 3,1534 | 3,5518 | 3,8495 |
| 21 | 0,5325 | 0,6864 | 0,8591 | 1,3232 | 1,7207 | 2,0796 | 2,5176 | 2,8314 | 3,1352 | 3,5272 | 3,8193 |
| 22 | 0,5321 | 0,6858 | 0,8583 | 1,3212 | 1,7171 | 2,0739 | 2,5083 | 2,8188 | 3,1188 | 3,5050 | 3,7921 |
| 23 | 0,5317 | 0,6853 | 0,8575 | 1,3195 | 1,7139 | 2,0687 | 2,4999 | 2,8073 | 3,1040 | 3,4850 | 3,7676 |
| 24 | 0,5314 | 0,6848 | 0,8569 | 1,3178 | 1,7109 | 2,0639 | 2,4922 | 2,7970 | 3,0905 | 3,4668 | 3,7454 |
| 25 | 0,5312 | 0,6844 | 0,8562 | 1,3163 | 1,7081 | 2,0595 | 2,4851 | 2,7874 | 3,0782 | 3,4502 | 3,7251 |
| 26 | 0,5309 | 0,6840 | 0,8557 | 1,3150 | 1,7056 | 2,0555 | 2,4786 | 2,7787 | 3,0669 | 3,4350 | 3,7066 |
| 27 | 0,5306 | 0,6837 | 0,8551 | 1,3137 | 1,7033 | 2,0518 | 2,4727 | 2,7707 | 3,0565 | 3,4210 | 3,6896 |
| 28 | 0,5304 | 0,6834 | 0,8546 | 1,3125 | 1,7011 | 2,0484 | 2,4671 | 2,7633 | 3,0469 | 3,4082 | 3,6739 |
| 29 | 0,5302 | 0,6830 | 0,8542 | 1,3114 | 1,6991 | 2,0452 | 2,4620 | 2,7564 | 3,0380 | 3,3962 | 3,6594 |
| 30 | 0,5300 | 0,6828 | 0,8538 | 1,3104 | 1,6973 | 2,0423 | 2,4573 | 2,7500 | 3,0298 | 3,3852 | 3,6460 |
| 40 | 0,5286 | 0,6807 | 0,8507 | 1,3031 | 1,6839 | 2,0211 | 2,4233 | 2,7045 | 2,9712 | 3,3069 | 3,5510 |
| 80 | 0,5265 | 0,6776 | 0,8461 | 1,2922 | 1,6641 | 1,9901 | 2,3739 | 2,6387 | 2,8870 | 3,1953 | 3,4163 |
| 120 | 0,5258 | 0,6765 | 0,8446 | 1,2886 | 1,6576 | 1,9799 | 2,3578 | 2,6174 | 2,8599 | 3,1595 | 3,3735 |
| ∞ | 0,5244 | 0,6745 | 0,8416 | 1,2816 | 1,6449 | 1,9600 | 2,3263 | 2,5758 | 2,8070 | 3,0902 | 3,2905 |

ANEXO C. INFORME TÉCNICO ENSAYO A FLEXIÓN



Edición: 03

LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS - FÍSICOS Y MECÁNICOS

Hoja N° 1 de 2

INFORME DE RESULTADOS N° LEFM-2017-240

FECHA: 2017-12-12

DATOS GENERALESCLIENTE INTERNO CLIENTE EXTERNO

N° SOLICITUD DE TRABAJO: LEFM-DVC-2017-236-FV

ENTIDAD/EMPRESA: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

REPRESENTANTE: Sr. Christian Silva

CARGO: Estudiante

CORREO: crsilvab73@gmail.com

RUC/C.I.: 1804359741

CIUDAD: Ambato

DIRECCIÓN: Ambato

TELÉFONO: 0998877075

FECHA DE INGRESO DE OBJETOS DE ENSAYO:

2017-12-05

OBJETOS DE ENSAYO

| CÓDIGO - LABORATORIO | CÓDIGO - CLIENTE | DESCRIPCIÓN | MARCA COMERCIAL | CANTIDAD |
|----------------------|------------------|----------------------|-----------------|----------|
| OE-2017-269-01 | N/A | PAQUETE DE BALLESTAS | N/A | 1 |

OBSERVACIONES: Ninguna

MUESTREO

REALIZADO POR: Sr. Christian Silva

ACTA No.: N/A FECHA DE MUESTREO: N/A

LUGAR DE MUESTREO: N/A CONDICIONES AMBIENTALES (T, °C): N/A (HR, %) N/A

FECHA(S) DE FABRICACIÓN: N/A TIPO: N/A COLOR: N/A

LOTE (S) No.: N/A CONFORMADO POR (UNIDADES): N/A

FABRICADO POR: N/A DISTRIBUIDO POR: N/A

PLAN Y/O PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N/A

MATERIA PRIMA UTILIZADA: N/A

PRODUCTOR: N/A PROCEDENCIA: N/A

COLADA No. /BATCH No. N/A CERTIFICADO DE ORIGEN No. N/A DE FECHA: N/A

QUITO: Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro
Telf.: (593) 2 3 825-960
Casilla: 17-01-3999 - Correo: cesar.diaz@normalizacion.gob.ec
URL: www.normalizacion.gob.ec

CONOCOTO: Autopista General Rumiñahui. Puente No.5
Margen Derecho. Barrio El Rosal.
Telfs.: (593) 2 3 931-010 a 2 3 931-019
Correo: cguerra@normalizacion.gob.ec

LE-F-MC-07



Edición: 03

LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS - FÍSICOS Y MECÁNICOS

Hoja N° 2 de 2

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2017-12-05

NORMA DE REQUISITOS: No aplica

MÉTODO DE ENSAYO: Método Interno

LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES

CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura [°C] 25,2 Humedad relativa [%] 44,7

EQUIPOS UTILIZADOS: Máquina de Ensayos Universal. Código: 2500. Flexómetro. Código: EI-G-12, Termohigrómetro. Código: EI-A-04

MEDICIÓN DE FLECHA RESIDUAL A UNA DETERMINADA CARGA

| CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO ⁽²⁾ | Flecha Residual | | | | Resultado (mm) |
|---|-------------------------|----|----|----|----------------|
| | Carga ⁽¹⁾ kN | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| OE-2017-269-01 | 40 | 40 | 40 | 40 | 23,5 |

OBSERVACIONES: (1) Carga especificada por el Sr. Christian Silva
(2) Gráficos carga vs deformación se anexan en forma digital a pedido del Sr. Christian Silva

Realizado por: Ing. César Reyes *h*

ESTE INFORME NO DEBE SER REPRODUCIDO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

RESPONSABLES

Ing. Marcela Cáceres Miranda
Jefe de Laboratorios de Ensayo

Ing. Franklin Villa
Responsable de Laboratorio



Edición: 03

LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS - FÍSICOS Y MECÁNICOS

Hoja N° 1 de 2

INFORME DE RESULTADOS N° LEFM-2017-241

FECHA: 2017-12-13

DATOS GENERALES

CLIENTE INTERNO CLIENTE EXTERNO

N° SOLICITUD DE TRABAJO: LEFM-DVC-2017-237-FV

ENTIDAD/EMPRESA: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

REPRESENTANTE: Sr. Christian Silva

CARGO: Estudiante

CORREO: cersilvab73@gmail.com

RUC/C.I.: 1804359741

CIUDAD: Ambato

DIRECCIÓN: Ambato

TELÉFONO: 0998877075

FECHA DE INGRESO DE OBJETOS DE ENSAYO:

2017-12-05

OBJETOS DE ENSAYO

| CÓDIGO - LABORATORIO | CÓDIGO - CLIENTE | DESCRIPCIÓN | MARCA COMERCIAL | CANTIDAD |
|----------------------|------------------|----------------------|-----------------|----------|
| OE-2017-270-01 | N/A | PAQUETE DE BALLESTAS | N/A | 1 |

OBSERVACIONES: Ninguna

MUESTREO

REALIZADO POR: Sr. Christian Silva

ACTA No.: N/A FECHA DE MUESTREO: N/A

LUGAR DE MUESTREO: N/A CONDICIONES AMBIENTALES (T, °C): N/A (HR, %) N/A

FECHA(S) DE FABRICACIÓN: N/A TIPO: N/A COLOR: N/A

LOTE (S) No.: N/A CONFORMADO POR (UNIDADES): N/A

FABRICADO POR: N/A DISTRIBUIDO POR: N/A

PLAN Y/O PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N/A

MATERIA PRIMA UTILIZADA: N/A

PRODUCTOR: N/A PROCEDENCIA: N/A

COLADA No. /BATCH No.: N/A CERTIFICADO DE ORIGEN No.: N/A DE FECHA: N/A

QUITO: Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro
Telf.: (593) 2 3 825-960
Casilla: 17-01-3999 - Correo: cesar.diaz@normalizacion.gob.ec
URL: www.normalizacion.gob.ec

CONOCOTO: Autopista General Rumiñahui, Puente No.5
Margen Derecho, Barrio El Rosal.
Telfs.: (593) 2 3 931-010 a 2 3 931-019
Correo: eguerra@normalizacion.gob.ec

LE-F-MC-07



Edición: 03

LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS - FÍSICOS Y MECÁNICOS

Hoja N° 2 de 2

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2017-12-05

NORMA DE REQUISITOS: No aplica

MÉTODO DE ENSAYO: Método Interno

LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES

CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura [°C] 23,4 Humedad relativa [%] 43,0

EQUIPOS UTILIZADOS: Máquina de Ensayos Universal. Código: 2500. Flexómetro. Código: El-G-12, Termohigrómetro. Código: El-A-04

MEDICIÓN DE FLECHA RESIDUAL A UNA DETERMINADA CARGA


| CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO ⁽²⁾ | Flecha Residual | | | | Resultado (mm) |
|---|-------------------------|----|----|----|----------------|
| | Carga ⁽¹⁾ kN | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| OE-2017-270-01 | 40 | 40 | 40 | 40 | 22,0 |

OBSERVACIONES: (1) Carga especificada por el Sr. Christian Silva
(2) Gráficos carga vs deformación se anexan en forma digital a pedido del Sr. Christian Silva

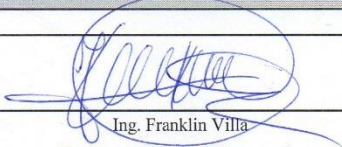
Realizado por: Ing. César Reyes 

ESTE INFORME NO DEBE SER REPRODUCIDO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

RESPONSABLES



Ing. Marcela Cáceres Miranda
Jefe de Laboratorios de Ensayo



Ing. Franklin Villa
Responsable de Laboratorio

LE-F-MC-07

Los resultados de este informe son exclusivos de las muestras ensayadas.



LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS - FÍSICOS Y MECÁNICOS

Hoja N° 1 de 2

Edición: 03

INFORME DE RESULTADOS N° LEFM-2017-242

FECHA: 2017-12-13

DATOS GENERALES

CLIENTE INTERNO

CLIENTE EXTERNO

N° SOLICITUD DE TRABAJO: LEFM-DVC-2017-238-FV

ENTIDAD/EMPRESA: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

REPRESENTANTE: Sr. Christian Silva

CARGO: Estudiante

CORREO: crsilvab73@gmail.com

RUC/C.I.: 1804359741

CIUDAD: Ambato

DIRECCIÓN: Ambato

TELÉFONO: 0998877075

FECHA DE INGRESO DE OBJETOS DE ENSAYO:

2017-12-05

OBJETOS DE ENSAYO

| CÓDIGO - LABORATORIO | CÓDIGO - CLIENTE | DESCRIPCIÓN | MARCA COMERCIAL | CANTIDAD |
|----------------------|------------------|----------------------|-----------------|----------|
| OE-2017-271-01 | N/A | PAQUETE DE BALLESTAS | N/A | 1 |

OBSERVACIONES: Ninguna

MUESTREO

REALIZADO POR:

Sr. Christian Silva

ACTA No.: N/A

FECHA DE MUESTREO: N/A

LUGAR DE MUESTREO: N/A

CONDICIONES AMBIENTALES (T, °C): N/A (HR, %) N/A

FECHA(S) DE FABRICACIÓN: N/A

TIPO: N/A COLOR: N/A

LOTE (S) No.: N/A

CONFORMADO POR (UNIDADES): N/A

FABRICADO POR: N/A

DISTRIBUIDO POR: N/A

PLAN Y/O PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:

N/A

MATERIA PRIMA UTILIZADA:

N/A

PRODUCTOR: N/A

PROCEDENCIA: N/A

COLADA No. /BATCH No. N/A

CERTIFICADO DE ORIGEN No. N/A DE FECHA: N/A

QUITO: Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro
Telf.: (593) 2 3 825-960
Casilla: 17-01-3999 - Correo: cesar.diaz@normalizacion.gob.ec
URL: www.normalizacion.gob.ec

CONOCOTO: Autopista General Rumiñahui, Puente No.5
Margen Derecho, Barrio El Rosal.
Telfs.: (593) 2 3 931-010 a 2 3 931-019
Correo: eguerra@normalizacion.gob.ec

LE-F-MC-07



LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS - FÍSICOS Y MECÁNICOS

Hoja N° 2 de 2

Edición: 03

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2017-12-05

NORMA DE REQUISITOS: No aplica

MÉTODO DE ENSAYO: Método Interno

LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES

CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura [°C] 25,2 Humedad relativa [%] 38,4

EQUIPOS UTILIZADOS: Máquina de Ensayos Universal. Código: 2500. Flexómetro. Código: EI-G-12, Termohigrómetro. Código: EI-A-04

MEDICIÓN DE FLECHA RESIDUAL A UNA DETERMINADA CARGA


| CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO ⁽²⁾ | Flecha Residual | | | | Resultado (mm) |
|---|-------------------------|----|----|----|----------------|
| | Carga ⁽¹⁾ kN | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| OE-2017-271-01 | 40 | 40 | 40 | 40 | 1,5 |

OBSERVACIONES: (1) Carga especificada por el Sr. Christian Silva
 (2) Gráficos carga vs deformación se anexan en forma digital a pedido del Sr. Christian Silva

Realizado por: Ing. César Reyes 

ESTE INFORME NO DEBE SER REPRODUCIDO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

RESPONSABLES



Ing. Marcela Cáceres Miranda
Jefe de Laboratorios de Ensayo



Ing. Franklin Villa
Responsable de Laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS - FÍSICOS Y MECÁNICOS

Hoja N° 1 de 2

Edición: 03

INFORME DE RESULTADOS N° LEFM-2017-243

FECHA: 2017-12-13

DATOS GENERALES

CLIENTE INTERNO

CLIENTE EXTERNO

N° SOLICITUD DE TRABAJO: LEFM-DVC-2017-239-FV

ENTIDAD/EMPRESA: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

REPRESENTANTE: Sr. Christian Silva

CARGO: Estudiante

CORREO: crsilvab73@gmail.com

RUC/C.I.: 1804359741

CIUDAD: Ambato

DIRECCIÓN: Ambato

TELÉFONO: 0998877075

FECHA DE INGRESO DE OBJETOS DE ENSAYO:

2017-12-05

OBJETOS DE ENSAYO

| CÓDIGO - LABORATORIO | CÓDIGO - CLIENTE | DESCRIPCIÓN | MARCA COMERCIAL | CANTIDAD |
|----------------------|------------------|----------------------|-----------------|----------|
| OE-2017-272-01 | N/A | PAQUETE DE BALLESTAS | N/A | 1 |

OBSERVACIONES: Ninguna

MUESTREO

| | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|----------------------------------|-------------|---------------|
| REALIZADO POR: | Sr. Christian Silva | | | |
| ACTA No.: | N/A | FECHA DE MUESTREO: | N/A | |
| LUGAR DE MUESTREO: | N/A | CONDICIONES AMBIENTALES (T, °C): | N/A (HR, %) | N/A |
| FECHA(S) DE FABRICACIÓN: | N/A | TIPO: | N/A | COLOR: N/A |
| LOTE (S) No.: | N/A | CONFORMADO POR (UNIDADES): | N/A | |
| FABRICADO POR: | N/A | DISTRIBUIDO POR: | N/A | |
| PLAN Y/O PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: | N/A | | | |
| MATERIA PRIMA UTILIZADA: | N/A | | | |
| PRODUCTOR: | N/A | PROCEDENCIA: | N/A | |
| COLADA No. /BATCH No. | N/A | CERTIFICADO DE ORIGEN No. | N/A | DE FECHA: N/A |

QUITO: Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro
Telf.: (593) 2 3 825-960
Casilla: 17-01-3999 - Correo: cesar.diaz@normalizacion.gob.ec
URL: www.normalizacion.gob.ec

CONOCOTO: Autopista General Rumiñahui. Puente No.5
Margen Derecho. Barrio El Rosal.
Telfs.: (593) 2 3 931-010 a 2 3 931-019
Correo: eguerra@normalizacion.gob.ec

LE-F-MC-07



Edición: 03

LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS - FÍSICOS Y MECÁNICOS

Hoja N° 2 de 2

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2017-12-05

NORMA DE REQUISITOS: No aplica

MÉTODO DE ENSAYO: Método Interno

LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES


CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura [°C] 23,2 Humedad relativa [%] 44,1

EQUIPOS UTILIZADOS: Máquina de Ensayos Universal. Código: 2500. Flexómetro. Código: EI-G-12, Termohigrómetro. Código: EI-A-04

MEDICIÓN DE FLECHA RESIDUAL A UNA DETERMINADA CARGA

| CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO ⁽²⁾ | Flecha Residual | | | | Resultado (mm) |
|---|-------------------------|----|----|----|----------------|
| | Carga ⁽¹⁾ kN | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| OE-2017-272-01 | 40 | 40 | 40 | 40 | 2,0 |

OBSERVACIONES: (1) Carga especificada por el Sr. Christian Silva
(2) Gráficos carga vs deformación se anexan en forma digital a pedido del Sr. Christian Silva

Realizado por: Ing. César Reyes 

ESTE INFORME NO DEBE SER REPRODUCIDO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

RESPONSABLES



Ing. Marcela Cáceres Miranda
Jefe de Laboratorios de Ensayo



Ing. Franklin Villa
Responsable de Laboratorio

