



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

DE INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: ANDRÉS ALBERTO ANDRADE VÁSQUEZ

GUILLERMO ANTONIO CAJAS ORTIZ

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE ENSAYOS

MECÁNICOS DEL BAMBÚ EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE

MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-

ESPE

DIRECTOR: Ing. JOSÉ PÉREZ R. MSc

CODIRECTOR: Ing. JOSÉ PAZMIÑO M. MSc

SANGOLQUÍ, ENERO 2015

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE ENSAYOS MECÁNICOS DEL BAMBÚ EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE**” fue realizado en su totalidad por los señores Andrés Alberto Andrade Vásquez y Guillermo Antonio Cajas Ortiz, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniería Mecánica.

Ing. José Pérez

DIRECTOR

Ing. José Pazmiño

CODIRECTOR

Sangolquí, 2015 – 01 – 06

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, ANDRÉS ALBERTO ANDRADE VÁSQUEZ Y

GUILLERMO ANTONIO CAJAS ORTIZ

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE ENSAYOS MECÁNICOS DEL BAMBÚ EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 2015 – 01 – 06

Andrés Alberto Andrade Vásquez

CC: 050292396-4

Guillermo Antonio Cajas Ortiz

CC: 171832223-1

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ANDRÉS ALBERTO ANDRADE VÁSQUEZ Y
GUILLERMO ANTONIO CAJAS ORTIZ**

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE ENSAYOS MECÁNICOS DEL BAMBÚ EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 2015 – 01 – 06

Andrés Alberto Andrade Vásquez

CC: 050292396-4

Guillermo Antonio Cajas Ortiz

CC: 171832223-1

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro principalmente a Dios por darme su bendición y ser mi soporte durante toda mi carrera, sin él nada de esto sería posible.

A mi madre Ligia, por ser el motor de mi vida, que siempre con amor me levantó las veces que caí y con una sonrisa en sus labios me incentivó a continuar cuando tambaleaba, me enseñó que en la vida no hay caminos fáciles, ni difíciles, si no que todos son iguales para él que tenga clara su meta.

A mi padre Omar, porque nunca dejó de creer en mí, que con sus sabios consejos me guio con cariño, siempre por el sendero correcto, me enseñó el valor de una familia y que en la vida no existe excusa para fracasar, ni tampoco para no ser feliz.

A mi abuelita Libia, por estar siempre junto a mí durante toda mi vida con su oración, cuidados y amor.

A mis hermanas Milena y Natalie, porque siempre están a mi lado apoyándome y sacándome una sonrisa cuando más lo necesito.

Andrés Alberto Andrade Vásquez

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada primeramente a Dios por haberme llenado de salud, vida y las fuerzas necesarias para haber cumplido esta etapa de mi vida.

Dedico especialmente a mi madre, por ser el motor de mi vida, y que es la mayor motivación que tengo para seguir creciendo.

A mi padre, por ser un ejemplo y un apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida. Dedico también a mis hermanas María Augusta, Gabriela y Camila, que con su apoyo, ejemplo y cariño respectivamente han sabido estar presentes en mi vida.

Guillermo Antonio Cajas Ortiz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de vivir esta etapa universitaria, por darme salud y cuidarme durante mi carrera.

A mi familia porque nunca me hicieron sentir que estaba solo, por todo el apoyo, paciencia, cariño y amor que entregaron para que este proyecto de grado fuera posible y así culminar una etapa muy importante en mi vida.

A mi enamorada Estefanía que estuvo conmigo en los momentos más difíciles de mi carrera y que con paciencia y cariño siempre me incentivo a seguir adelante.

A mis familiares, amigos, maestros y a todas las personas que estuvieron junto a mí en este periodo de mi vida.

A mis directores de tesis, que con sus enseñanzas, guía y experiencia fueron una parte esencial en que este proyecto se logre llevar a cabo.

Un agradecimiento especial a INBAR, Coventry University y mi compañero de tesis. por haber confiado en nosotros para este proyecto por haber formado parte del mismo.

Andrés Alberto Andrade Vásquez

AGRADECIMIENTO

La culminación de esta carrera en primer lugar agradezco a Dios, que me lleno de salud, vida y me dio una familia maravillosa con unos excelentes amigos, que con experiencias y enseñanzas han labrado la forma de ser que tengo hoy en día.

A mi mama Liliana, que con su amor y paciencia ha sido el pilar fundamental para haber crecido como persona y querer superarme cada día, agradezco a mi padre Guillermo que con su ejemplo y apoyo puedo ahora disfrutar de estas metas alcanzadas. A mis hermanas, ya que con su amor, paciencia y ejemplo me han enseñado lo importante que es alcanzar metas grandes y seguir caminando hacia adelante.

Agradezco a Mishelle, mis familiares y amigos en su que con su apoyo, amor y forma de ser, he logrado ser la persona que soy en día. Un agradecimiento especial a mi tía Alicia que fue una persona que siempre estuvo pendiente de mi formación, que hoy se encuentra vigilándome y cuidándome desde arriba.

Un agradecimiento especial a INBAR, Coventry university, mis tutores y mi compañero de tesis por habernos prestado su apoyo incondicional y guiado en este proyecto.

Guillermo Antonio Cajas Ortiz

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1		1
INTRODUCCIÓN		1
1.1	OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.3	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.4	JUSTIFICACIÓN	3
1.5	ALCANCE.....	3
CAPÍTULO 2.....		6
FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA		6
2.1	CARACTERIZACIÓN DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES.....	6
2.1.1	INFRAESTRUCTURA.....	6
2.1.2	TALENTO HUMANO	6
2.1.3	PRUEBAS MECÁNICAS A REALIZARSE SOBRE EL BAMBÚ.....	7
2.1.4	EQUIPO.....	7
2.1.5	MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES	13
2.1.6	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA.....	16
2.1.7	NORMAS A APLICARSE	17

2.2	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS MEDIANTE EL USO DE NORMAS APLICABLES AL BAMBÚ	17
2.2.1	COMPRESIÓN	17
2.2.2	TRACCIÓN.....	18
2.2.3	FLEXIÓN	19
2.2.4	CORTE	20
2.2.5	NORMAS.....	20
2.3	DISTRIBUCIÓN DEL CENTRO.....	21
2.3.1	ÁREAS DE TRABAJO	21
2.3.3	ELEMENTOS DEL CICLO DE TRABAJO	27
2.3.4	REQUERIMIENTOS DE ESPACIO	28
2.3.5	DISTRIBUCIÓN DE PLANTA (LAYOUT) DEL ÁREA DE TRABAJO.....	31
2.4	PRESUPUESTO	31
2.5	FINANCIAMIENTO.....	33
	CAPÍTULO 3.....	34
	SELECCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS.....	34
3.1	INVENTARIO DE MATERIALES Y ELEMENTOS DISPONIBLES...	34

3.1.1	INVENTARIO DE MATERIALES	34
3.1.2	INVENTARIO DE ELEMENTOS MECÁNICOS	34
3.1.3	INVENTARIO DE ELEMENTOS ELÉCTRICO/ELECTRÓNICOS	34
3.2	MEDICIÓN.....	35
3.3	ANÁLISIS DE FUERZAS Y ESFUERZOS.....	36
3.4	SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS MECÁNICOS	39
3.4.1	FLEXIÓN	39
3.4.2	COMPRESIÓN	40
3.4.3	CORTE	40
3.4.4	TRACCIÓN.....	40
3.5	SELECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y DE DIGITALIZACIÓN	41
3.5.1	FLEXIÓN	41
3.5.2	COMPRESIÓN	41
3.5.3	CORTE	42
3.5.4	TRACCIÓN.....	42
3.6	DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS.....	42
3.6.1	ANÁLISIS MECÁNICO	42

3.6.2	ANÁLISIS ECONÓMICO	48
CAPÍTULO 4.....		51
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS		51
4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	51
4.2	DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE O EQUIPOS.....	52
4.3	ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL.....	59
4.4	PROCESO DE CONVERSIÓN DE LA SEÑAL ANALÓGICA EN DIGITAL	60
4.5	CONEXIONES ENTRE LOS EQUIPOS Y LA PC	61
CAPÍTULO 5.....		63
DISEÑO Y FABRICACIÓN DE ACCESORIOS		63
5.1.	DESCRIPCIÓN DE PROCESOS	63
5.2.	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	64
5.3.	MEDICIÓN.....	66
5.4.	ANÁLISIS DE FUERZAS Y ESFUERZOS.....	66
5.4.1.	FLEXIÓN	66
5.4.2.	COMPRESIÓN	68
5.4.3.	CORTE	69

5.4.4.	TRACCIÓN.....	71
5.5.	DISEÑO DE SOPORTES Y ACCESORIOS.....	72
5.6.	SELECCIÓN DE MATERIALES	89
CAPÍTULO 6.....		95
ENSAMBLAJE		95
6.1.	ARMADO ELEMENTOS MECÁNICOS	95
6.1.1.	DIAGRAMA DE CONSTRUCCIÓN	95
6.2.	ARMADO SISTEMA ELÉCTRICO.....	101
6.2.1.	DIAGRAMA ELÉCTRICO.....	102
6.3.	ENSAMBLAJE POR SOLDADURA.....	102
6.4.	ACABADOS.....	102
6.5.	DIAGRAMAS DE ENSAMBLAJE	103
6.5.1.	FLEXIÓN	103
6.5.2.	CORTE	103
6.5.3.	COMPRESIÓN	104
6.5.4.	TRACCIÓN.....	104
CAPITULO 7.....		105
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		105

7.1.	CALIBRACIÓN	106
7.1.1.	CELDA DE CARGA.....	107
7.1.2.	LVDT Y EL ER.....	110
7.1.3.	HIGRÓMETRO.....	111
7.1.4.	VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS	120
	CAPITULO 8.....	132
	PRUEBAS PILOTO.....	132
8.1.	FLEXIÓN	132
8.1.1.	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	132
8.1.2.	EQUIPO.....	132
8.1.3.	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	132
8.1.4.	PROCEDIMIENTO	133
8.1.5.	CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS	134
8.2.	CORTE	139
8.2.1.	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	140
8.2.2.	EQUIPO.....	140
8.2.3.	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	141
8.2.4.	PROCEDIMIENTO	141

8.2.5.	CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS	142
8.3.	COMPRESIÓN.....	145
8.3.1.	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	145
8.3.2.	EQUIPO.....	145
8.3.3.	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	145
8.3.4.	PROCEDIMIENTO	146
8.3.5.	CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS	147
8.4.	TRACCIÓN.....	150
8.4.1.	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	150
8.4.2.	EQUIPO.....	150
8.4.3.	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	150
8.4.4.	PROCEDIMIENTO	151
	CAPÍTULO 9.....	159
	ANÁLISIS ECONÓMICO	159
9.1.	PRESUPUESTO DE INVERSIÓN.....	159
9.1.1.	MATERIALES.....	159
9.1.2.	MANO DE OBRA.....	161
9.1.3.	COSTOS GENERALES	163

9.1.4.	COSTO TOTAL DEL PROYECTO	163
9.2.	ANÁLISIS FINANCIERO	164
	CAPITULO 10.....	165
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	165
10.1.	CONCLUSIONES.....	165
10.2.	RECOMENDACIONES.....	166
	BIBLIOGRAFÍA.....	168
	GLOSARIO	170
	ANEXOS.....	172

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características máquina de compresión manual	7
Tabla 2: Características máquina de compresión	9
Tabla 3: Características de la máquina de Flexión	10
Tabla 4: Características de la máquina de Tracción	12
Tabla 5: Denominación de las instalaciones y maquinaria según Layout, . LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	22
Tabla 6: Medidas de las Máquinas de Ensayos, LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	30
Tabla 7: Cálculo y resultados de los requerimientos de espacio.	30
Tabla 8: Presupuesto estimado para la implementación del centro de . ensayos mecánicos en el LMM, Universidad de las Fuerzas . Armadas ESPE	31
Tabla 9: Análisis de la disponibilidad de maquinaria, equipos e instrumentos . para ensayos de flexión, en el LMM, Universidad de las Fuerzas . Armadas ESPE	43
Tabla 10: Análisis de la disponibilidad de maquinaria, equipos e . instrumentos para ensayos de compresión, en el LMM . Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.....	44

Tabla 11: Análisis de la disponibilidad de maquinaria, equipos e instrumentos para ensayos de corte, en el LMM Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	45
Tabla 12: Análisis de la disponibilidad de maquinaria, equipos e instrumentos para ensayos de tracción, en el LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	46
Tabla 13: Análisis de la disponibilidad de maquinaria, equipos e instrumentos para la realización de los ensayos mecánicos al bambú, en el LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	47
Tabla 14: Análisis Económico, gastos varios	48
Tabla 15: Gastos de implementación del centro de ensayos mecánicos.....	48
Tabla 16: Gastos por mano de obra.	49
Tabla 17: Total de gastos de implementación del centro de ensayos mecánicos para el bambú en el LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	50
Tabla 18: Características del material Madera.....	73
Tabla 19: Resultados Simulación soportes de madera, con el Software Inventor.	73
Tabla 20: Características del material acero de la viga.	75
Tabla 21: Resultados Simulación de la viga principal.....	75
Tabla 22: Características del material acero de baja aleación en las placas....	77
Tabla 23: Resultados Simulación de las placas, con el Software Inventor.	77

Tabla 24: Características del material acero suave utilizado en los soportes. . .	79
Tabla 25: Resultados Simulación de los soportes, con el Software Inventor. . . .	79
Tabla 26: Características del material acero utilizado en la brida.	81
Tabla 27: Resultados Simulación de la brida, con el Software Inventor.	82
Tabla 28: Características del material acero utilizado en el eje . Celda- Pinza de tracción	83
Tabla 29: Resultados Simulación del eje Celda- Pinza de tracción, con el . Software Inventor.	84
Tabla 30: Características del material acero utilizado en los platos de . compresión.	85
Tabla 31: Resultados Simulación de los platos de compresión, con el . Software Inventor.	86
Tabla 32: Características del material acero utilizado en los platos de corte. . . .	87
Tabla 33: Resultados Simulación de los platos de corte, con el Software . Inventor.	88
Tabla 34: Instrumentos de medición para ensayo de flexión	105
Tabla 35: instrumentos de medición para ensayo de compresión	106
Tabla 36: instrumentos de medición para ensayo de corte y tracción	106
Tabla 37: Factor de corrección de la curva para la celda de carga MTS	109
Tabla 38: Carga vs deformación para la viga 50X50 con carga en un . punto de aplicación	121

Tabla 39: Carga vs deformación para la viga 50X50 con carga en dos . puntos de aplicación	123
Tabla 40: Carga vs deformación para la viga 25X25 con carga en un . punto de aplicación	126
Tabla 41: Carga vs deformación para la viga 25X25 con carga en . dos puntos de aplicación.....	129
Tabla 42: Resultados carga máxima deflexión máxima de probetas para . validación	131
Tabla 43: Dimensiones de probeta para flexión.....	135
Tabla 44: Carga vs Deformación en ensayo de flexión.....	136
Tabla 45: Dimensiones de probeta para corte	142
Tabla 46: Carga vs Deformación en ensayo de corte	143
Tabla 47: Dimensiones de probeta para compresión.....	147
Tabla 48: Carga vs Deformación en ensayo de compresión	148
Tabla 49: Dimensiones de probeta para tracción perpendicular a las fibras...	153
Tabla 50: Carga vs Deformación en ensayo de tracción perpendicular a las . fibras	154
Tabla 51: Costos de materiales directos.....	159
Tabla 52: Costos de equipos	160
Tabla 53: Costos por utilización de máquinas	160
Tabla 54: Costos de materiales	161

Tabla 55: Mano de obra directa	161
Tabla 56: Sueldos y salarios	161
Tabla 57: Costos mano de obra.....	162
Tabla 58: COSTOS GENERALES	163
Tabla 59: Costos de proyecto	163

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico No 1: Prensa hidráulica de 100 ton del LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	8
Gráfico No 2: Máquina Universal de Ensayos MTS del LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	9
Gráfico No 3: Vibróforo de Baja Frecuencia del LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	11
Gráfico No 4: Máquina Universal de Ensayos AMSLER del LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	12
Gráfico No 5: Sistema de adquisición de Datos.....	51
Gráfico No 6: Ficha técnica de data logger amplificador 621, RDP	55
Gráfico No 7: Ficha técnica de 628 $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y el amplificador del calibrador de tensión de puente completo, RDP.....	56
Gráfico No 8: Ficha técnica del deformímetro ER, RDP	57
Gráfico No 9: Ficha técnica del deformímetro LVDT, RDP	58
Gráfico No 10: Ficha técnica de la celda de carga de 100 KN, RDP	59
Gráfico No 11: Ensayo de Flexión.	67
Gráfico No 12: Esquema ensayo de flexión, aplicación de fuerzas.	67
Gráfico No 13: Ensayo de Compresión.....	68
Gráfico No 14: Esquema ensayo de compresión, aplicación de fuerzas.	69
Gráfico No 15: Ensayo de Corte.	70

Gráfico No 16: Esquema ensayo de corte, aplicación de fuerzas.....	70
Gráfico No 17: Ensayo de Tracción.	71
Gráfico No 18: Esquema ensayo de tracción, aplicación de fuerzas.	72
Gráfico No 19: Simulación soportes de madera, con el Software Inventor.	72
Gráfico No 20: Simulación de la Viga, con el Software Inventor.....	74
Gráfico No 21: Simulación de las Placas Metálicas, con el Software Inventor.	76
Gráfico No 22: Simulación de las Placas Metálicas, con el Software Inventor.	78
Gráfico No 23: Simulación brida a tracción, con el Software Inventor.	81
Gráfico No 24: Simulación eje Celda- Pinza de tracción, con el Software . Inventor.....	83
Gráfico No 25: Simulación platos de compresión, con el Software Inventor.....	85
Gráfico No 26: Simulación de las platos de corte, con el Software Inventor.....	87
Gráfico No 27: Detalle Vista Superior Soldadura.....	102
Gráfico No 28: celda de carga MTS de 50 del LMM	107
Gráfico No 29: Carga mostrada por la celda de carga MTS de 500 KN	108
Gráfico No 30: Carga mostrada por la celda de carga tipo botella calibrada ..	109
Gráfico No 31: transductor de desplazamiento modelo no . ER-M-1000M-D34-1-V01 a utilizar en el laboratorio.	110
Gráfico No 32: transductor de desplazamiento, cautivo-guiado LVDT . modelo ACT2000C +-50mm a utilizar en el laboratorio.....	110
Gráfico No 33: Comprobación del desplazamiento del transductor ER	111

Gráfico No 34: Higrómetro, sonda medidor de humedad brookhuis modelo . FMC, similar a utilizar en el laboratorio.	112
Gráfico No 35: Higrómetro desenrosque de tuerca.....	112
Gráfico No 36: Higrómetro aguja de medición	113
Gráfico No 37: Higrómetro base giratoria.	113
Gráfico No 38: Higrómetro agujas y bases giratoria.	114
Gráfico No 39: Higrómetro cable al conector.	114
Gráfico No 40: Higrómetro cable al FMC/E.....	115
Gráfico No 41: Higrómetro introducción al bambú.	115
Gráfico No 42: FMC/E menú.....	116
Gráfico No 43: FMC/E encerado.....	116
Gráfico No 44: Patrón de calibración Higrómetro.....	117
Gráfico No 45: FMC/E ajuste con patrón.	117
Gráfico No 46: Comprobación FMC/E con patrón.....	118
Gráfico No 47: Ensayo de flexión en un punto de carga a velocidad . constante hasta una carga de 3500 N en viga 50X50 (mm) ..	120
Gráfico No 48: Curva característica de ensayo de flexión en viga de . 50X50, carga aplicada en un punto.....	122
Gráfico No 49: Ensayo de flexión en dos puntos de carga a velocidad . constante, hasta una carga de 7000 N en viga 50X50 (mm) ..	122

Gráfico No 50: Curva característica de ensayo de flexión en viga de . 50X50, carga aplicada en dos puntos.....	125
Gráfico No 51: Ensayo de flexión en dos puntos de carga a velocidad . constante, hasta a una carga de 2000 N en viga 25X25(mm)	125
Gráfico No 52: Curva característica de ensayo de flexión en viga de . 25X25, carga aplicada en un punto.....	128
Gráfico No 53: Ensayo de flexión en dos punto de carga a velocidad . constante, hasta a una carga de 3000N en viga 25X25(mm)	128
Gráfico No 54: Curva característica de ensayo de flexión en viga de . 25X25, carga aplicada en dos puntos.....	131
Gráfico No 55: Esquema de ensayo de flexión.....	133
Gráfico No 56: Ensayo de flexión en bambú en el LMM.	135
Gráfico No 57: Curva característica de ensayo de flexión en bambú.	138
Gráfico No 58: Esquema de la posición de los discos de corte.	140
Gráfico No 59: Ensayo de corte en bambú, en el LMM.	142
Gráfico No 60: Curva característica de ensayo de corte en bambú.....	144
Gráfico No 61: Ensayo de compresión en bambú, en el LMM.....	147
Gráfico No 62: Curva característica de ensayo de compresión en bambú.	149
Gráfico No 63: Probeta de tracción perpendicular a la fibra.	151
Gráfico No 64: Partes de la probeta para ensayo de tracción . perpendicular a la fibra.....	152

Gráfico No 65: Ensayo tracción perpendicular a las fibras en bambú, . en el LMM.	153
Gráfico No 66: Curva característica de ensayo tracción perpendicular a . las fibras en bambú.....	155
Gráfico No 67: Higrómetro Prueba 1.....	157
Gráfico No 68: Higrómetro Prueba 2.....	157
Gráfico No 69: Higrómetro Prueba 3.....	158

NOMENCLATURA

LMM	Laboratorio de Mecánica de Materiales
NTC	Norma Técnica Colombiana
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
F	Fuerza (N)
A	Área (mm ²)
σ_{ult}	Esfuerzo último (MPa)
L	Longitud (mm)
m	Masa (g)
CH	Contenido de Humedad
I_B	Inercia (mm ⁴)
D	Diámetro (mm)
t	Espesores (mm)
E	Módulo de Elasticidad (MPa)
τ_{ult}	Esfuerzo último cortante (MPa)
δ	Deflexión o deformación (mm)
V	Voltaje (V)

RESUMEN

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con el presente proyecto de titulación, ha puesto en marcha el programa de caracterización físico-mecánica del bambú, por medio de la creación de un centro de ensayos mecánicos adecuados para este material. Este proyecto cuenta con el auspicio de la Universidad de Coventry ubicada en Inglaterra y de INBAR, Red Internacional del Bambú y Ratán, las mismas que aportaron con equipos y accesorios a nuestra Universidad. El Centro está ubicado en el Laboratorio de Mecánica de Materiales y tiene la capacidad de realizar los ensayos mecánicos de tracción, compresión, corte y flexión, a la vez que se lo ha adecuado según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN-ISO/DIS-22157 y la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5525. En las máquinas del laboratorio fueron implementados varios accesorios tanto mecánicos como electrónicos para poderlas usar en bambú. La aplicación de software especializado Inventor contribuyeron y facilitaron el diseño y simulación de los accesorios implementados en los distintos ensayos. Las máquinas cuentan con un sistema de adquisición de datos digital, que registra en tiempo real las medidas de los diferentes sensores, que varían dependiendo del tipo de prueba que se realice, mediante un registrador de datos y su respectivo software. Los datos son visualizados en una tabla de Microsoft Excel y pueden ser utilizados como se lo requiera. Realizamos ensayos piloto en todas las máquinas para comprobar su correcto funcionamiento y a la vez que establecimos limitaciones de diámetros para las probetas a utilizar, para flexión 130 mm, para compresión y corte 120mm. Con la culminación de esta etapa se puede proceder la caracterización físico-mecánica del bambú.

Palabras claves: ENSAYOS / SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS / INVENTOR / REGISTRADOR DE DATOS / ENSAYOS PILOTO.

ABSTRACT

The University of the Armed Forces ESPE with this graduation project, has launched the program of physical-mechanical characterization of bamboo, through the creation of a center for mechanical tests suitable for this material. This project is sponsored by the University of Coventry located in England and INBAR International Network for Bamboo and Rattan, which provided equipment and accessories at our University. The Center is located at the Laboratory of Mechanics of Materials and has the ability to perform mechanical tests of tensile, compression, shear and bending, while it has been adapted according to the Ecuadorian Technical Standard (NTE) INEN ISO / DIS -22157, and Colombian Technical Standard (NTC) 5525. In the machines from the laboratory, were implemented several accessories as much like mechanical as electronical so they can be used in bamboo. The application of specialized Inventor software contributed to and facilitated the design and simulation of accessories, implemented in different test. The machines have a digital acquisition system data, which records real-time measurements of different sensors, which vary depending on the type of test being performed by a data logger and its respective software. The data are displayed in a table and Microsoft Excel and it can be used as required. At this stage of the program is necessary to run various tests without problems, so we conducted pilot tests on all machines tested to check a proper operation and at the same time established limitations of diameters for the specimens used for bending 130 mm, compression and cutting 120 mm. With the completion of this stage can proceed to the next one that is the performance of the tests and finally the physical-mechanical characterization of bamboo.

Keywords: TEST / DIGITAL ACQUISITION SYSTEM DATA / INVENTOR / DATA LOGGER / PILOT TEST

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El estudio de nuevos materiales es esencial para los seres humanos ya que nos ofrecen nuevas propiedades que podrían reemplazar en algunas utilidades a los materiales comúnmente utilizados como el acero y el plástico. El bambú es un material compuesto de origen vegetal y de alta resistencia, por este motivo es necesario la creación de un lugar en nuestro país donde se puedan estudiar las características físicas y mecánicas de este tipo de material, de una manera fiable y confiable, para conocer las condiciones ideales de cultivo, cosecha segmento de utilización etc., con métodos basados en la norma técnica ISO 22157.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un centro de ensayos mecánicos del bambú en el laboratorio de mecánica de materiales.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detallar un estudio de factibilidad técnica-económica haciendo una caracterización del laboratorio de mecánica de materiales.
- Seleccionar adecuadamente los equipos e instrumentos necesarios para la realización de los respectivos ensayos que tengan un sistema de adquisición de datos adecuados para el estudio de la caracterización mecánica del bambú.

- Diseñar, seleccionar y fabricar los accesorios a utilizar en las respectivas adecuaciones de los equipos y máquinas.
- Construir y ensamblar los distintos elementos diseñados y seleccionados previamente.
- Realizar las pruebas de funcionamiento y pruebas piloto, con una calibración previa de los equipos e instrumentos.
- Resumir un análisis económico del proyecto.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

INBAR junto a la universidad de Coventry University, UK representada por el Ing. David Trujillo “*Senior Lecturer*”, se encuentran desarrollando estudios sobre ensayos mecánicos no destructivos en bambú, en base de ensayos mecánicos destructivos como tensión, compresión, corte y flexión, estudios conjuntos entre las universidades de Colombia e Inglaterra, ya que las normas que se han publicado en la última década (por ejemplo, ISO 22157 y NSR-10), proporcionan poca orientación sobre la manera de garantizar material de construcción que tenga una resistencia y rigidez adecuadas. Por este motivo se busca un procedimiento similar al utilizado en madera, utilizando un equipo que nos permita obtener el grado de esfuerzo, de una manera no destructiva, basándose en la correlación de las propiedades físicas y mecánicas. Por medio de este trabajo se ha elegido a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE como representante del Ecuador para realizar estos estudios, en el cual se busca establecer un método fiable y simple, para estimar las propiedades mecánicas de bambú y someterlo a un régimen de clasificación confiable, por esto la importancia de crear la construcción de un centro de ensayos mecánicos especializados en bambú.

El departamento de Ingeniería Mecánica de la ESPE con la ayuda de los equipos de Laboratorio de Mecánica de Materiales, busca cumplir con este objetivo planteado a largo plazo, iniciando por el estudio de las capacidades del laboratorio y un estudio técnico-económico para la implementación de un centro de ensayos mecánicos con la capacidad para realizar los ensayos de tracción, compresión, corte y flexión.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En vista de que el laboratorio de mecánica de materiales no dispone de un centro de ensayos mecánicos para realizar una adecuada caracterización físico-mecánica en bambú, de la cual se va a definir una ecuación característica para el bambú mediante la correlación entre las propiedades físicas y mecánicas, propuestas por el Ing. David Trujillo “*Senior Lecturer*” de la universidad de COVENTRY UNIVERSITY de Inglaterra, se hace necesario la creación de un centro de ensayos mecánicos que se implemente dentro del mismo laboratorio de LMM, en el cual se debe adecuar el espacio físico y donde esté provisto de hojas guías, normas de aplicación, equipos de ensayos y adquisición de datos, lo cual corresponde a un centro de investigación específicamente para el estudio del bambú, ya que es de vital importancia la búsqueda de nuevos materiales sustentables que reemplacen a los materiales convencionales como la madera y el acero.

1.5 ALCANCE

Implementar un centro de ensayos mecánicos para el estudio del bambú cumpliendo con la norma ISO/DIS -22157, el que estará ubicado dentro del laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el mismo que contará con un diseño de distribución de los

distintos puestos de trabajo y demás aspectos que conlleva un centro de ensayos mecánicos. Este centro tiene la capacidad de estudiar las especies *dendrocalamus asper* y *angustifolia kunth* del bambú, por medio de los respectivos ensayos mecánicos de corte, tensión, flexión, y compresión, para los cuales se cuenta con equipos importados, auspiciados por CONVENTRY UNIVERSITY (Inglaterra), previamente estudiados, seleccionados y ensamblados a las máquinas del laboratorio, por medio de accesorios diseñados y construidos en nuestro país con el auspicio del INBAR.

Los equipos una vez calibrados con la ayuda de un número de pruebas y ensayos, y con la realización de pruebas piloto, quedarán listos para una futura caracterización del material. Por medio del diseño e implementación del sistema de digitalización de datos, se podrá obtener una ecuación matemática de la característica físico-mecánica del bambú, y de esta manera, evitar las pruebas destructivas a dicho material, para obtener la información de sus propiedades sin dañar el mismo.

En este centro se puede realizar los siguientes tipos de ensayos para cualquier tipo de bambú según dicte la Norma:

- Tracción perpendicular a la fibra.
- Compresión paralela a la fibra.
- Corte paralelo a la fibra.
- Flexión.

Los estándares internacionales enviados por el INBAR y CONVENTRY UNIVERSITY tienen que ser cumplidos por el centro, los cuales se basan en los siguientes puntos:

- Para la compresión, corte, la tensión (tanto paralela como perpendicular a la fibra), que requiere una máquina universal de ensayos capaz de aplicar una carga de hasta 300 KN (30Ton) en tensión y compresión.
- Para ayudar a la exactitud de los resultados también se requiere de LVDTs para tomar lecturas de deformación.
- Las lecturas de ambos, los LVDT y los instrumentos deben ser hechas de una manera continua (es decir, no discreta) en algunos medios de comunicación electrónicos de manera digitalizada.
- Para los ensayos de flexión, se ha encontrado que la mejor manera es establecer un marco de trabajo, el uso de un actuador y un transductor largo de desplazamiento o ER. El hecho es que las muestras de bambú tendrán que ser al menos 30 veces el diámetro y se desplazan mucho, en el orden de 200-500mm, además es necesario la construcción de un banco de pruebas ya que la norma nos exige ciertos parámetros que se deben cumplir para llegar al objetivo del centro de estudios para el bambú de acuerdo a la norma y a los parámetros internacionales previamente establecidos.

CAPÍTULO 2

FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES

2.1.1 INFRAESTRUCTURA.

Las instalaciones del laboratorio cuentan con iluminación natural e iluminación artificial, mediante lámparas fluorescentes que cumplen con las especificaciones de luminosidad de las áreas de trabajo. Las condiciones ambientales presentan una temperatura media anual de 20°C con una humedad relativa de 63%. El nivel de ruido es bajo, las máquinas y equipos se encuentran protegidas del polvo por cobertores plásticos, además cuenta con personal de aseo. Las máquinas y equipos no producen interferencia electromagnética significativa, ni radiación entre ellas. En cuanto al suministro eléctrico es proporcionado por la empresa eléctrica local y la acometida del LMM es trifásica y cuentan con fuentes de voltaje de 110 V y 220 V.

Los trabajos que se realizan en este laboratorio son específicamente ensayos mecánicos en diversos tipos de materiales, distribuidos en diferentes áreas de trabajos.

2.1.2 TALENTO HUMANO

El laboratorio cuenta con dos personas: El jefe del laboratorio que es Ingeniero Mecánico, y el Técnico Laboratorista el cual es un Ingeniero Industrial con 12 años de experiencia, que se encarga de las practicas del

laboratorio de Mecánica de Materiales 1 y Mecánica de Materiales 2 en las carreras de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica y Civil, además ayuda con la prestación de servicios a instituciones públicas y privadas en lo referente a ensayos mecánicos de materiales, además de la preparación de probetas y mantenimiento de los equipos.

2.1.3 PRUEBAS MECÁNICAS A REALIZARSE SOBRE EL BAMBÚ.

En el laboratorio se realizarán los siguientes tipos de ensayos para bambú según dicte la Norma (ISO, La Organización Internacional de Normalización, 2004):

- Tracción perpendicular a la fibra.
- Compresión paralelo a la fibra.
- Corte paralelo a la fibra.
- Flexión.

2.1.4 EQUIPO

COMPRESIÓN:

Tabla 1: Características máquina de compresión manual

Equipo:	Prensa hidráulica de 100 ton
<i>Especificaciones</i>	
Marca:	AMSLER
Modelo:	941-130
Características técnicas	
Activación:	Es de activación manual.
Masa:	400 kgf
Capacidad máxima:	100 Ton.

Fuente: (Laboratorio Mecánica de Materiales)



Gráfico No 1: Prensa hidráulica de 100 ton del LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

EN ESTE EQUIPO SE REALIZA LAS SIGUIENTES PRÁCTICAS ENTRE OTRAS:

- *Compresión en madera*
- *Esfuerzo flector vigas*
- *Columnas largas*
 - Columna articulada-Articulada,
 - Articulada-Empotrada
 - Empotrada-Empotrada

Tabla 2: Características máquina de compresión

Equipo:	Máquina Universal de Ensayos
Especificaciones:	
Marca:	MTS
Modelo:	810-14-2
Características técnicas:	
Activación:	Automática
Voltaje:	230 V
Tipo de Corriente:	trifásica
Frecuencia:	60 Hz
Masa:	3000 Kgf
Capacidad máxima:	500KN
Potencia del motor:	40 hp
Velocidad máxima motor:	1765 rpm

Fuente: (Laboratorio Mecánica de Materiales)



**Gráfico No 2: Máquina Universal de Ensayos MTS del LMM,
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**

EN ESTE EQUIPO SE REALIZA LAS SIGUIENTES PRÁCTICAS ENTRE OTRAS:

- *Módulo de elasticidad coeficiente de Poisson*
- Flexión

Tabla 3: Características de la máquina de Flexión

Equipo:	Vibróforo de Baja Frecuencia
Especificaciones:	
Marca:	AMSLER
Modelo:	417U
Características técnicas:	
Voltaje:	220 V
Fases:	Trifásica
Ciclos:	50 hz
Peso:	1100 kg
Capacidad máxima:	100 TON
Potencia del motor:	8 ½ hp
Velocidad máxima motor:	1430 rpm

Fuente: (Laboratorio Mecánica de Materiales)



Gráfico No 3: Vibróforo de Baja Frecuencia del LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

EN ESTE EQUIPO SE REALIZA LAS SIGUIENTES PRÁCTICAS ENTRE OTRAS:

- *Esfuerzos combinados y medición de esfuerzos, pórtico soportando una carga inclinada*
- *Viga de dos materiales*

TRACCIÓN:

Tabla 4: Características de la máquina de Tracción

Equipo:	Máquina Universal de Ensayos
Especificaciones:	
Marca:	AMSLER
Modelo:	FM-1033
Características técnicas:	
Activación:	Automática.
Voltaje:	220 v
Tipo de Corriente:	Trifásico
Frecuencia:	60 Hz
Masa:	500kg
Capacidad máxima:	Compresión: 200 ton
	Tracción: 100 KN
Potencia del motor:	2 hp
Velocidad máxima motor:	1700 RPM

Fuente: (Laboratorio Mecánica de Materiales)



Gráfico No 4: Máquina Universal de Ensayos AMSLER del LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

EN ESTE EQUIPO SE REALIZA LAS SIGUIENTES PRÁCTICAS ENTRE OTRAS:

- *Corte en elementos*
- *Módulo de elasticidad y coeficiente de poisson*
- *Tracción en diferentes materiales*

2.1.5 MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES

En las diferentes prácticas que se realizan en el LMM se requiere el uso de diversos materiales y materias primas en los que resaltan los siguientes:

MATERIAS PRIMAS:

ACERO BOHLER K455 (AISI S1)

El acero k455 se utilizará en la construcción de accesorios los cuales van acoplados en las máquinas para hacer de platos de compresión y discos de corte.

Propiedades.- Acero de gran tenacidad y buena resistencia al desgaste, para trabajos de choque. (BOHLER, 2012)

Aplicación.- Herramientas cortantes (matrices y punzones y cizallas de corte en frío, útiles para trabajar en madera, herramientas neumáticas, troqueles de acuñar. Para trabajos en caliente. (BOHLER, 2012)

ACERO ASTM A36

El acero estructural A36 es utilizado en la viga para el ensayo de flexión así como también en las abrazaderas y pines de apoyo.

Propiedades.- El acero A-36, es un acero de bajo carbono, muy dúctil y que tiene un punto de fluencia de 248 MPa. Como todo acero dulce, es propenso a la oxidación, pero con un recubrimiento químico relativamente simple, resulta menos costoso que el acero inoxidable. (Mott, 2006)

Aplicación.- Debido a que el A-36 es relativamente barato y estructuralmente muy resistente, a menudo se utiliza como material de construcción estructural. Las vigas, placas y láminas de A-36 se utilizan tanto para construir la estructura final de un edificio como para construir estructurales temporales, como soportes y cubiertas.

ACERO ASTM A588

El acero estructural ASTM A588 es el material de las placas de soporte para los apoyos de madera.

Propiedades.- El acero A-588, es un acero de bajo carbono. La resistencia a la corrosión atmosférica del acero en la mayoría de los ambientes es substancialmente mejor que el acero al carbono con o sin adición de cobre. Cuando se expone apropiadamente a la atmósfera este acero puede ser usado sin pintura para muchas aplicaciones. (Mott, 2006)

Aplicación.- Esta especificación está destinada principalmente para uso en puentes y edificios en los que la disminución en peso o mayor durabilidad son importantes. La resistencia a la corrosión atmosférica de este acero en la mayoría de los ambientes es sustancialmente mejor que la de los aceros al

carbono estructurales con o sin adición de cobre. Cuando es debidamente expuesto a la atmósfera, este acero es adecuado para muchas aplicaciones sin ningún tipo de recubrimiento como pintura.

MADERA

La madera será utilizada como apoyos en los que se aplica la carga que va sobre el bambú, según la norma ISO 22157-1. Se utiliza este material para evitar el aplastamiento de la caña, y el cual será aplicado en los nudos del bambú.

Propiedades.- La madera es un material de origen orgánico. Es uno de los materiales más versátiles utilizado en diversas aplicaciones, está constituida por componentes estructurales como la celulosa y lignina y componentes no estructurales como resinas, taninos, azúcares, almidón y otros. La madera es un material de baja densidad y la resistencia depende del tipo que sea. (PERIS, 2002)

Aplicaciones.- Es uno de los materiales más versátiles utilizados en diversas aplicaciones: como elementos estructurales en la construcción de obras civiles, hasta muebles y objetos decorativos.

NEOPRENO

Este material se usara para distribuir mejor la carga y que no se aplique cargas puntuales en las zonas más sobresalientes del bambú, ya que el neopreno es altamente elástico y se ajusta a la forma irregular de la caña. El neopreno también se utilizara como aislante eléctrico, ya que los instrumentos de medición son muy sensibles, se necesita que el equipo este totalmente aislado.

El neopreno se utilizara en los apoyos de los ensayos de flexión así como también se los aplicara en las mordazas para los ensayos de tracción, así como también para aislar eléctricamente el pórtico del pistón donde se encuentra la celda de carga.

Propiedades.- El neopreno es un material que resiste a la degradación a causa del sol, el ozono y el clima, presenta resistencia aceptable a solventes y agentes químicos.

Aplicaciones.- Debido a su flexibilidad le hace útil en aplicaciones como sellos (o juntas) y mangueras, así como en recubrimientos resistentes a la corrosión. También puede usarse como base para adhesivos. Su elasticidad hace que sea muy difícil plegarlo. Su flexibilidad también lo hace apto para diseñar fundas que se ajusten perfectamente al objeto que se desea proteger.

2.1.6 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

La documentación técnica del laboratorio son las siguientes:

- Las normas aplicarse para los ensayos en bambú.
 - Norma técnica Colombiana NTC 5525 Métodos de ensayo para la determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth
 - Norma técnica Ecuatoriana INEN-ISO/DIS-22157, “determinación de propiedades físicas y mecánicas del bambú”
- Los manuales de la maquinaria y equipos.
 - Vibróforo de baja frecuencia marca AMSLER, modelo 417 U
 - Máquina universal de ensayos marca MTS, modelo 810-14-2
 - Prensa hidráulica de 100 Ton marca: AMSLER, modelo: 941-130

- Máquina universal de ensayos marca: AMSLER, modelo: FM-1033

2.1.7 NORMAS A APLICARSE

Las normas a utilizarse son las siguientes:

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO/DIS-22157, “DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL BAMBÚ”

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5525, “MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH”

2.2 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS MEDIANTE EL USO DE NORMAS APLICABLES AL BAMBÚ

2.2.1 COMPRESIÓN

1.- La probeta se coloca de tal forma que el centro del cabezal móvil esté verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la probeta y se aplica inicialmente una carga pequeña, no mayor a 1 *KN*, para acomodar la probeta.

2.- La carga se debe aplicar continuamente durante el ensayo para hacer que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0,01 *mm/s*.

3.- Cuando sea necesario se deben realizar lecturas de deformación la cantidad necesaria de veces para poder hacer un diagrama lo más exacto posible de la deformación frente a la carga a partir de la cual se determina el valor de *E*.

4.- Registrar la lectura final de la carga máxima a la cual falla la probeta.

(ISO, La Organización Internacional de Normalización, 2004)

2.2.2 TRACCIÓN

1.- Las muestras se toman de las partes inferior, media y superior de cada culmo.

Estas muestras se deben marcar con las letras *l*, *M* y *s* respectivamente.

2.- Los ensayos de tensión paralela a las fibras se realiza en probetas con un nudo, que debe estar en la porción de ensayo. Esta limitación es válida en caso de ensayos con propósitos comerciales; en caso de investigación científica, existe libertad para determinar algo diferente.

3.- La dirección general de las fibras debe ser paralela al eje longitudinal de la porción de ensayo de la probeta. La porción de ensayo debe tener una sección transversal rectangular cuyas dimensiones sean iguales al espesor de la pared o menor en la dirección radial; y de 10 *mm* a 20 *mm* en la dirección tangencial. La longitud de la porción de ensayo debe estar entre 50 *mm* y 100 *mm*.

4.- Los extremos de las probetas deberán tener una forma tal que garantice que la falla se produce en la porción de ensayo y que minimice la concentración del esfuerzo en el área de transición. Se permite usar probetas con extremos laminados.

5.- Para determinar el módulo de elasticidad *E*, se debe usar alguno de los siguientes instrumentos de medición; deformímetros eléctricos, mecánicos,

electromecánicos, de imagen digital, mínimo dos por probeta, cada uno de ellos en el lado opuesto de la probeta.

(ISO, La Organización Internacional de Normalización, 2004)

2.2.3 FLEXIÓN

1.- Determinar el valor medio del diámetro externo D y del espesor de la pared t , según lo indicado en el numeral 4.2.1 de la “NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5525”. Obtenemos el momento de inercia:

$$I_B = \frac{\pi}{64} * [D^4 - [D - 2t]^4]$$

NOTA: Este valor de I_B se usa para predecir el comportamiento durante el ensayo.

2.- Colocar el culmo en su lugar en la máquina de ensayo, apoyado sobre los dos soportes en los dos apoyos, permitiendo que la probeta encuentre su propia posición. Enseguida ubique las dos monturas y la viga (que divide la carga) en la parte superior del culmo y permita nuevamente que el culmo encuentre su posición. Alinee visualmente el culmo, los soportes, las monturas, la carga y los apoyos en un plano vertical.

3.- La aplicación de la carga al culmo se lo realiza uniformemente a velocidad constante.

La velocidad de ensayo (preferiblemente con movimiento constante del cabezal de carga de la máquina o con incremento constante de carga) debe ser de 0,5 mm/s. La carga máxima se debe determinar con la exactitud indicada en el numeral 10.3.1 de la “NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5525”. Observe las grietas y describa la forma de la falla. Diagrame la deflexión con relación a la carga.

4.- Después del ensayo determinar nuevamente el diámetro externo D y el espesor de la pared t , lo más cerca posible de los puntos de carga. El promedio de los valores de diámetro y de los espesores de pared se debe usar para calcular el momento de Inercia I_B con la fórmula del primer paso.

5.- Determinar el contenido de humedad de acuerdo con el numeral 6 de la Norma, utilizando una probeta proveniente de un punto cercano a la falla.

(Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007)

2.2.4 CORTE

1.- La probeta se debe colocar de tal forma que el centro del cabezal móvil esté verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la probeta y se aplica inicialmente una carga pequeña, no mayor a 1 KN, para acomodar la probeta.

2.- La carga se debe aplicar continuamente durante el ensayo para hacer que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0,01 *mm/s*.

3.- Se debe registrar la lectura final de la carga máxima en la cual fallo la probeta, así como la cantidad de áreas que fallaron.

(ISO, La Organización Internacional de Normalización, 2004)

2.2.5 NORMAS

*NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO/DIS-22157,
“DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL
BAMBÚ”*

Esta Norma compendia ensayos sobre especímenes de bambú que son conducidos para obtener datos que puedan ser usados para establecer funciones características de resistencia y llegar a los esfuerzos admisibles. Los datos también pueden ser usados para establecer la relación entre las propiedades mecánicas y factores tales como contenido de humedad, masa por volumen, sitio de crecimiento, posición a lo largo del tallo, presencia de nudos y entrenudos, etc., todo para funciones de control de calidad. (ISO, La Organización Internacional de Normalización, 2004)

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5525, “MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH”

Esta norma especifica los métodos de ensayo para evaluar las propiedades físicas y mecánicas característica de la Guadua angustifolia Kunth.

La norma comprende los ensayos que se van a realizar sobre segmentos de Guadua angustifolia Kunth, para obtener resultados de laboratorio, los cuales se utilizan para establecer valores y resistencias. Los resultados también se usan para establecer la relación de propiedades físicas y factores mecánicos, como contenido de humedad, densidad, sitio de cultivo, posición a lo largo del culmo, presencia de nudo y entrenudo, contracción, compresión, flexión, corte y tensión etc., para las funciones de control de calidad. (Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007)

2.3 DISTRIBUCIÓN DEL CENTRO

2.3.1 ÁREAS DE TRABAJO

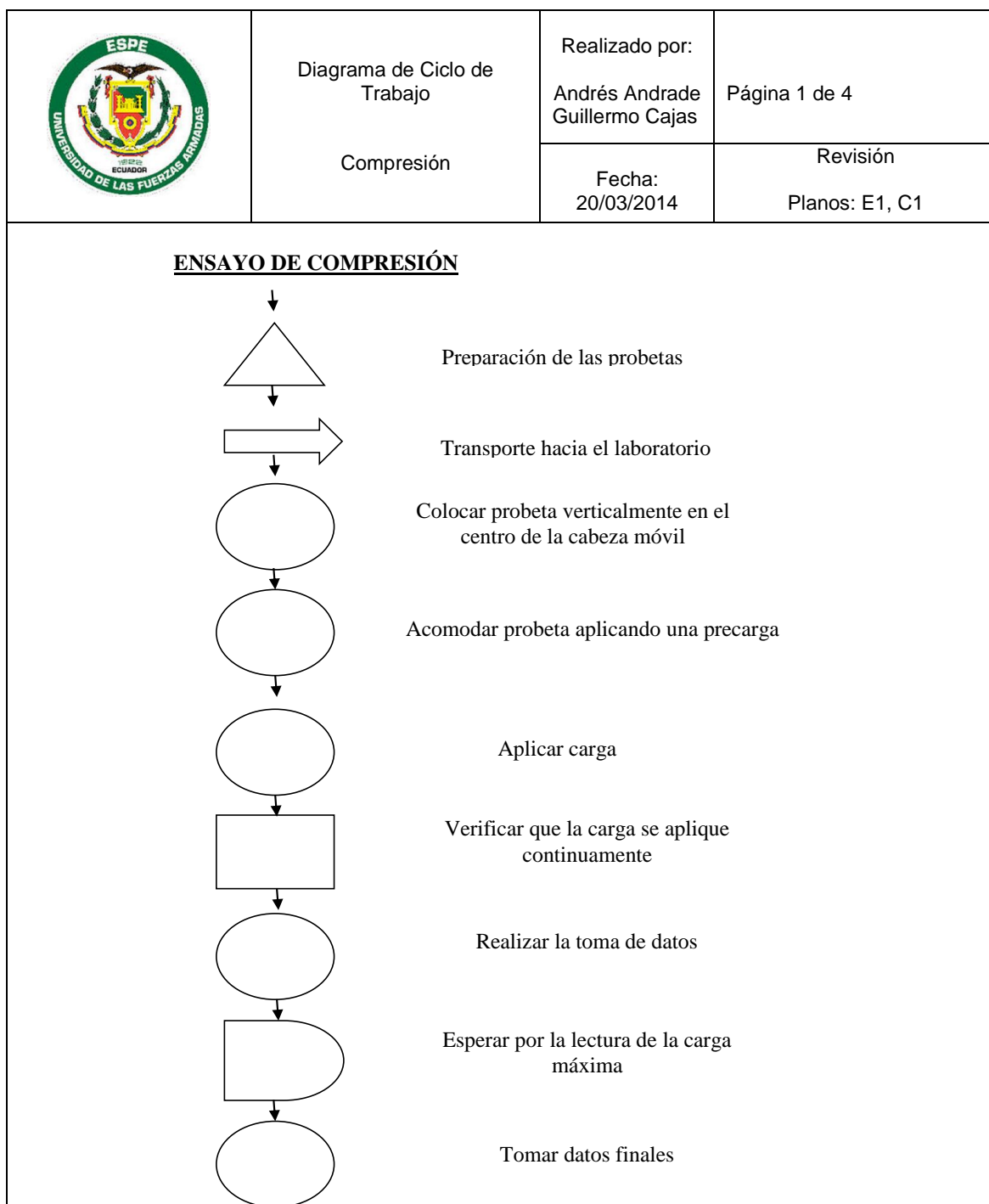
El plano de distribución detallada de las áreas de trabajo, es la ordenación final del área donde están señalados los espacios requeridos para la

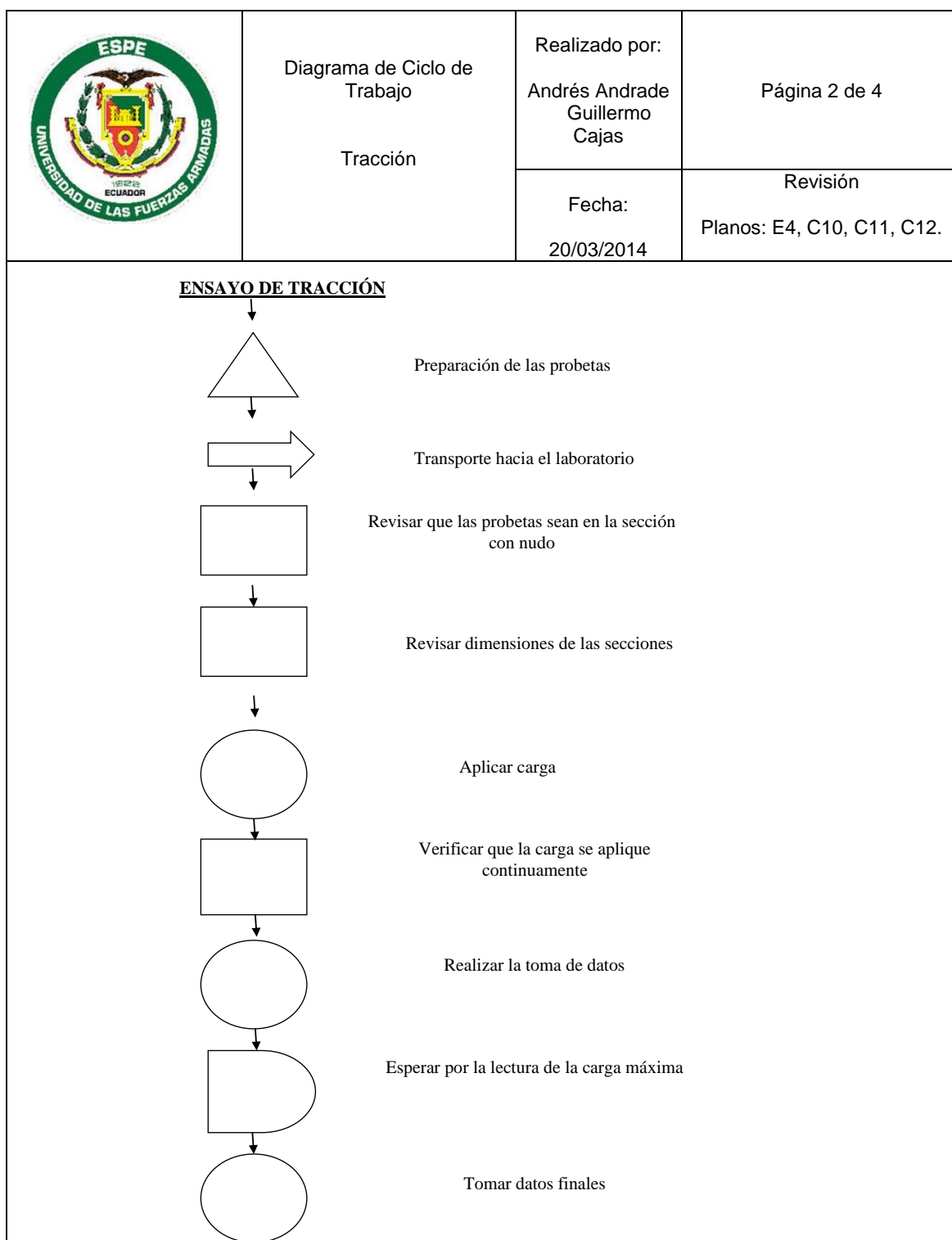
maquinaria y equipo, los ensayos mecánicos se realizarán de acuerdo a la ubicación de las máquinas y equipos para cada tipo de ensayo las cuales van a ser las siguientes:

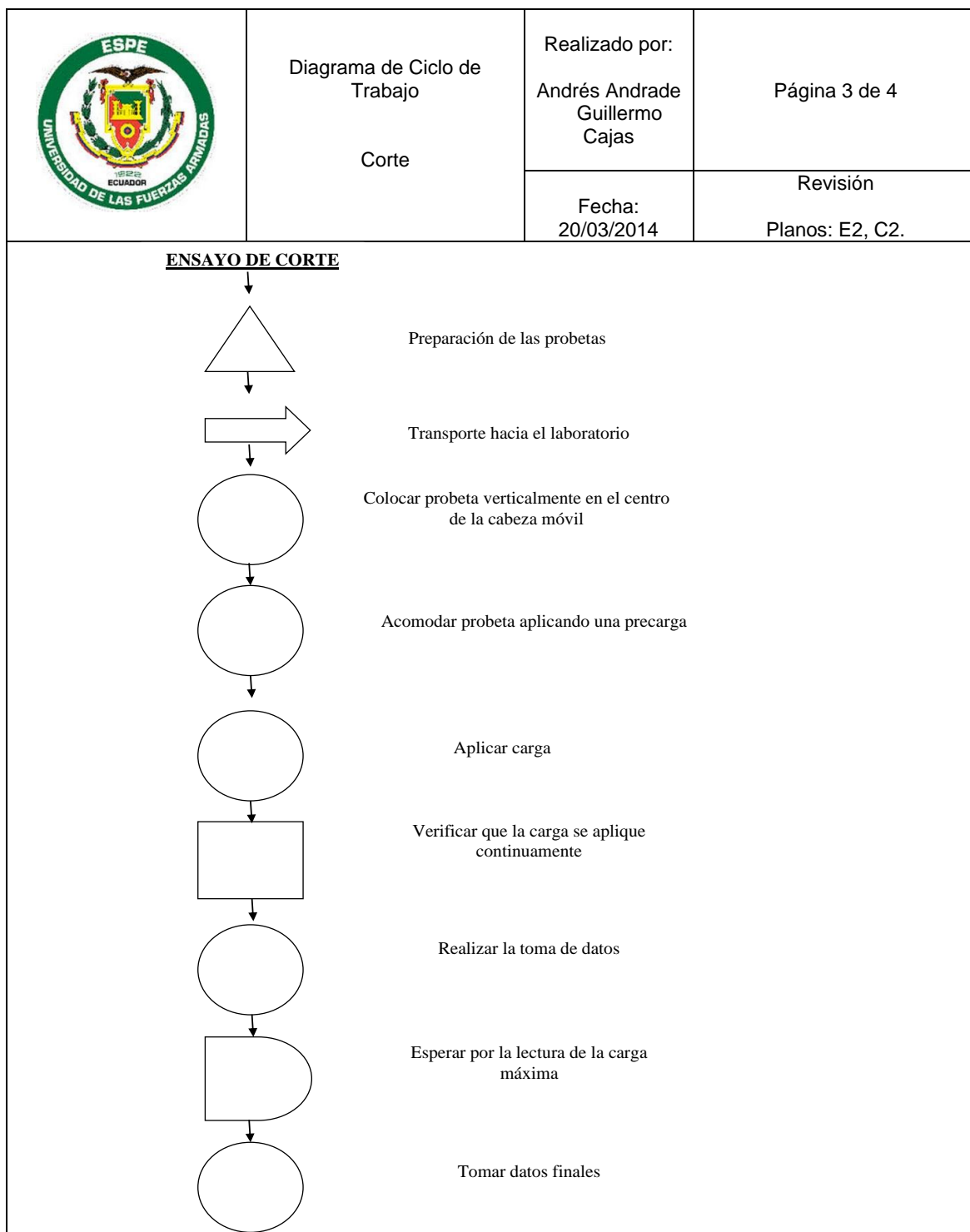
Tabla 5: Denominación de las instalaciones y maquinaria según Layout, LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

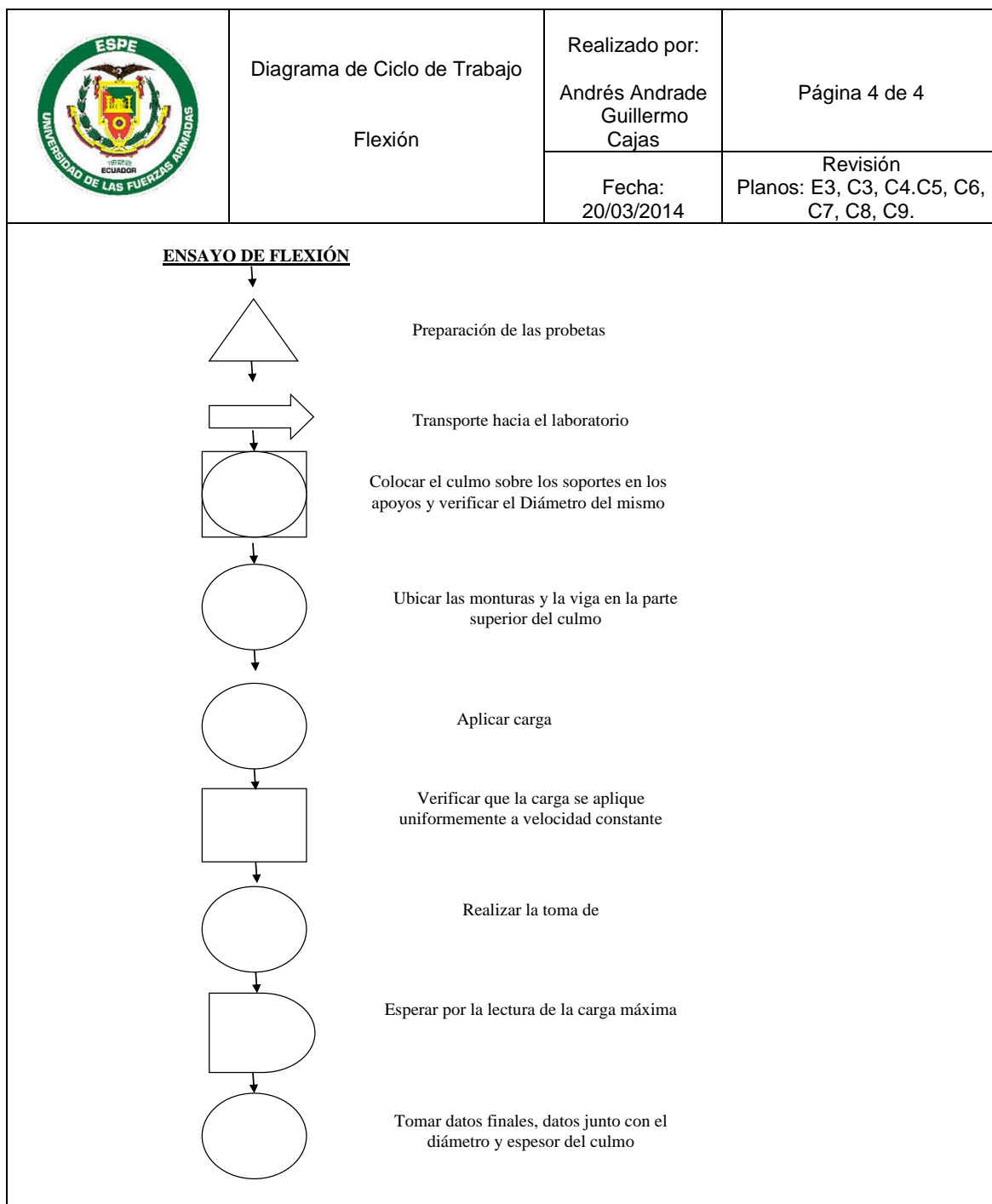
Tipo de Ensayo	Instalaciones y Máquinas	Código LMM
Compresión, Corte	Máquina universal de ensayos MTS	MM-30
Compresión, Corte	Prensa Hidráulica 1000 KN manual	MM-25
	AMSLER	
Flexión	Vibróforo de baja frecuencia	MM-28
Tracción	Máquina Universal de Ensayos	MM-29
	AMSLER	
Materiales y Materias	Bodega	MM-34
Primas		

2.3.2 DIAGRAMAS DEL CICLO DE TRABAJO









2.3.3 ELEMENTOS DEL CICLO DE TRABAJO

MATERIALES:

Recepción y Almacenamiento del bambú

El material se almacena tan pronto sea posible, preferiblemente en un lapso de dos semanas después del corte, en un lugar donde haya sombra, protegido de la lluvia y sin contacto con el suelo.

En el momento en que el responsable de la prueba recibe el material, se revisa las particularidades de la identificación de los diferentes culmos y debe conservar un registro apropiado. Los culmos de guadua se deben almacenar durante un periodo lo más corto que sea posible, de modo tal que no se produzca deterioro

Rotulado de Probetas.

Se deben rotular adecuadamente como el tipo de segmento de la caña, lugar de cosecha, fecha de envío etc.

MAQUINARIA, EQUIPOS Y ACCESORIOS:

La maquinaria constituye otro factor importante a la hora de distribuir. La forma de las máquinas (larga, estrecha, corta, circular, etc.) afecta su ordenación y su relación con otra maquinaria. Además de las dimensiones, se debe tomar nota de detalles particulares de cada máquina como partes que sobresalgan, puertas que se abran, partes que se puedan desacoplar para su uso, condiciones que la puedan dañar o condiciones que imposibiliten a otras máquinas situarse cerca.

La altura es también importante, por lo general dictará la altura mínima del techo y podrá limitar las áreas en las que sea posible instalar cierto equipo que sea particularmente alto. En cuanto al peso, esta característica influirá en la condición de resistencia que debe tener el piso; máquinas muy pesadas requerirán posiblemente el uso del sótano o por lo menos la primera planta, para ser instaladas. En general, se procura siempre:

1. Ordenar las máquinas y en especial las más utilizadas con vistas al máximo aprovechamiento de la luz natural.
2. Los equipos y accesorios pesados estén en un área cercana al acceso de las máquinas con el cual trabajarán y de una manera en que se facilite que éstas sean atendidas por equipo especial de transporte.
3. Ordenar todas las máquinas de forma que exista suficiente superficie de suelo, para el operario y para el mantenimiento.
4. Todas las máquinas deberán estar niveladas y fijadas al suelo.
5. Los interruptores de control de las equipos deben situarse allí donde exista menos peligro de confusión así como también el cableado del mismo.

Nota: estos requerimientos son cumplidos en el laboratorio de mecánica de materiales por lo que los instrumentos y equipos nuevos serán dispuestos con dichas recomendaciones

2.3.4 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO

Para tener unas dimensiones en conjunto adecuadas, necesitamos tener en cuenta las necesidades de espacio que requiere independientemente cada máquina, para lograr una adecuada manipulación de las mismas. Para calcular

los requerimientos de espacio existe un método llamado cálculo de superficies de P.F.Guerchet, que proporciona el espacio total requerido en base a la suma de tres superficies parciales, que son la superficie estática (S_s), la gravitacional (S_g) y la evolutiva (S_e). (Muñoz Cabanillas, 2002)

La superficie estática (S_s) representa el área física que ocupa una máquina o un mueble.

$$S_s = l * a(\text{largo x ancho})$$

En donde el largo por el ancho, será calculado para cada una de las máquinas o equipos.

La superficie gravitacional (S_g) representa el área que necesita un trabajador para el desempeño de su labor, calculándose de la siguiente manera:

$$S_g = S_s * N$$

Donde N es el número de lados operables de las máquinas o equipos.

(Muñoz Cabanillas, 2002)

Por último la superficie evolutiva (S_e), que representa el área necesaria para circulación, se calcula así:

$$S_e = K(S_s + S_g)$$

$$K = \frac{\text{Altura de hombres u objetos desplazados}}{2 * (\text{Cota media de máquinas o muebles})}$$

Donde K es un coeficiente único para toda la planta.

Tabla 6: Medidas de las Máquinas de Ensayos, LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

MÁQUINA	CÓDIGO	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)	N lados operables
Máquina Universal de Ensayos MTS	MM-30	3.2	1	3.60	1
Prensa hidráulica manual	MM-25	0.72	0.69	1.70	2
AMSLER					
Vibráfono de baja frecuencia	MM-28	2.7	1.60	2.20	1
Máquina Universal de ensayos AMSLER	MM-29	2.75	2	2.90	1

Tabla 7: Cálculo y resultados de los requerimientos de espacio.

ESTACIÓN	N	Sa	Sg	C	Se	S TOT m ²
		L*A	Sa*N	Sa+Sg	K*C	
E1	1	3.84	3.84	7.68	2.46	10.14
E2	2	0.50	0.99	1.49	0.48	1.97
E3	1	4.32	4.32	8.64	2.76	11.40
E4	1	5.5	5.5	11	3.52	14.52
					TOTAL	38.02

El espacio total requerido para la utilización de las máquinas de laboratorio es igual a 38.03 m²

2.3.5 DISTRIBUCIÓN DE PLANTA (LAYOUT) DEL ÁREA DE TRABAJO

ANEXO A

2.4 PRESUPUESTO

Tabla 8: Presupuesto estimado para la implementación del centro de ensayos mecánicos en el LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

ACCESORIOS	
ENSAYO DE FLEXIÓN	Precio en Dólares
acople celda de carga-actuador	250
acople celda de carga -viga	150
viga de sección tipo I	250
barra de acero para apoyos	100
soporte de apoyos regulables metálicos	300
bases de apoyo de madera	150
ENSAYO DE COMPRESIÓN	
acoples para platos de compresión-MTS810	300
platinas de teflón -cera	200
TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	
mordazas de ajuste	200
TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA	
mordazas de sujeción	200
ENSAYO DE CORTE	

CONTINÚA →

placas de corte	300
ENSAMBLAJE	200
SUBTOTAL ACCESORIOS	2600

EQUIPOS

10T load cell + ERs + RDP data logger	6064
2 Medidores de desplazamiento de hasta 100 mm	820
1 Medidor de desplazamiento de hasta 500 mm	581
celda de carga 68 T	5141
Báscula con una precisión de 0,1 g	1000
Horno para secado de muestras	2000
SUBTOTAL EQUIPOS	15606
TOTAL	18206

INFRAESTRUCTURA

Espacio para almacenar 100 piezas de 4 a 5m de longitud

Taller de carpintería para adaptación de las muestras

PERSONAL

2 pasantes para realización de ensayos

2.5 FINANCIAMIENTO

El financiamiento de la construcción de accesorios para los ensayos de flexión, compresión paralela a la fibra, tracción perpendicular a la fibra y ensayo de corte, módulo de elasticidad inferido por medios dinámicos, dotación de probetas de Bambú, adecuadas para los ensayos mecánicos en base a las normas ISO aplicables a los ensayos requeridos se realizará en su totalidad con fondos del INBAR

Coventry University adquiere y organiza la entrega de los instrumentos. INBAR América Latina importa estos instrumentos y se prestan a Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE hasta la conclusión exitosa del proyecto, cuando los instrumentos pasarán a ser propiedad de la misma universidad. El valor de los instrumentos, además de los costes de mensajería y los impuestos, se descontará del pago de Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

CAPÍTULO 3

SELECCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS

3.1 INVENTARIO DE MATERIALES Y ELEMENTOS DISPONIBLES

3.1.1 INVENTARIO DE MATERIALES

- Acero E410
- Acero A36
- Acero A588
- Neopreno
- Bambú

3.1.2 INVENTARIO DE ELEMENTOS MECÁNICOS

- Accesorios para ensayos de corte para la Máquina Universal de ensayos.
- Calibrador pie de rey
- Comparador de reloj
- Flexómetro
- Medidor de deformaciones unitarias
- Micrómetro
- Pesos de varios valores
- Pórtico de acero

3.1.3 INVENTARIO DE ELEMENTOS ELÉCTRICO/ELECTRÓNICOS

- Celda de Carga 500 KN, de la Máquina Universal de ensayos MTS.

- LVDT, de la máquina universal de ensayos MTS.
- Bomba de aceite, del Vibróforo de frecuencia.
- Tomacorrientes con voltaje de 110V y 220V.
- Calibrador digital.

3.2 MEDICIÓN

CELDA DE CARGA 100 KN Y DE 500 KN

Un sensor de celda de carga o fuerza es un dispositivo que convierte la carga o fuerza en una señal eléctrica.

Una celda de carga es montada sobre una superficie dura y plana. Celda de carga de tensión/compresión de medir la fuerza aplicada a las roscas del centro de la celda de carga. Cuidar que el sensor no este expuesto a carga o fuerza en exceso de su capacidad. Por consiguiente, la gama de celdas de carga de tensión/compresión (celda de carga universal), seleccionada debe ser apropiado para la fuerza máxima (incluyendo fuerzas transitorias) que se puede aplicar a la misma.

MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO (LVDT Y ER) 100 mm Y 1000 mm

Son sensores extremadamente robustos, ideales para un funcionamiento continuo en las más duras condiciones industriales. Un perfil de cilindro de aluminio ofrece un montaje flexible, al igual que su configuración y su fácil instalación. La medición de la posición es totalmente sin contacto y es echa a través de la posición del imán en el interior del cilindro. El pistón del cilindro está construido de diámetro tal que mejore el soporte de carga, resistencia a la corrosión y una vida extendida.

REGISTRADOR DE DATOS

Se requiere acondicionamiento de señal, donde la salida de un transductor necesita ser potenciada o cambiada, en una forma adecuada para el monitor o dispositivo de registro como la PC. Una muy amplia gama de ajuste de ganancia se asegura de que los amplificadores son compatibles con la gran mayoría de LVDT y los sensores del calibrador de tensión.

Un Data logger de acondicionamiento de señal, permite seleccionar el tipo y la cantidad de tarjetas de entrada requeridas para la aplicación de un número de diferentes tipos disponibles. El sistema se puede suministrar con unidades opcional de monitor, pantalla y almacenamiento de datos

En primer lugar el tipo y la cantidad de módulos necesarios asegurándose de incluir los requisitos futuros, es decir, si necesita un monitor o registrador de datos, también elegir un alojamiento de tamaño adecuado con una fuente de alimentación y paneles en blanco para cubrir cualquiera de las ranuras no utilizadas.

3.3 ANÁLISIS DE FUERZAS Y ESFUERZOS

CORTE

La resistencia última se calcula con:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(t * L)}$$

En donde:

τ_{ult} : Es la resistencia ultima al corte, en MPa, con aproximación, por exceso a una cifra decimal.

F_{ult} : Es el valor máximo de la carga aplicada en la cual falla la probeta, expresada en N .

$\Sigma(t * L)$: Es la suma de los cuatro productos de t y L

(Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007)

TENSIÓN

El esfuerzo máximo de tensión es calculado con:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

En donde

σ_{ult} : Es el esfuerzo último de tensión, en MPa , con aproximación de 1 MPa entero.

F_{ult} : Es el valor de la carga aplicada en la cual falla la probeta, expresada en N .

A : Es el área media de la sección transversal de la porción de ensayo, expresada en mm^2 (Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007)

COMPRESIÓN

El esfuerzo último de compresión se determina con:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

σ_{ult} : Es el esfuerzo último de compresión, en MPa .

F_{ult} : Es la carga máxima a la cual falla la probeta.

A : Es el área de la sección transversal mm^2 .

(Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007)

El módulo de elasticidad E se calcula a partir del valor medio de las lecturas de los deformímetros como una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, en un rango entre el 10% y el 60% de F_{ult} .

El esfuerzo último promedio de la muestra de ensayo se calcula con aproximación de $0.5 MPa$ como la media aritmética de los resultados de ensayo de las probetas. (Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007)

FLEXIÓN

La resistencia última, σ_{ult} en MPa , en la flexión estática con el contenido de humedad en el momento del ensayo está determinado por:

$$\sigma_{ult} = F * L * \frac{D}{6} * I_B$$

F : Carga máxima aplicada, en N (la carga total aplicada en los dos puntos de carga)

L : Luz, en mm (o espacio de separación)

D : Diámetro externo, en mm

I_B : Momento de Inercia, en mm^4

Expresar los resultados con una exactitud de $1 MPa$.

Sugerido por: (ISO NTC 5525, 2007)

El módulo de elasticidad (módulo de Young) está determinado por la pendiente de la parte lineal del diagrama frente a la carga, El módulo de elasticidad E , en MPa , se calcula:

$$E = \frac{23 * F * L^3}{1296 * \delta * I_B}$$

F, L y I_B: Son igual que las fórmulas anteriores

δ: Es la deflexión en el punto medio de la luz en mm.

Si hay suficientes datos (acerca de la relación entre las propiedades mecánicas y el contenido de humedad), la resistencia última en la flexión estática se debe ajustar hasta 12 % del contenido de humedad, con una exactitud de 1 MPa.

La resistencia última media de la muestra de su desviación estándar se debe calcular, con una exactitud de 1 MPa, a partir de los resultados de los culmos individuales de la muestra.

(Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007)

3.4 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS MECÁNICOS

3.4.1 FLEXIÓN

El ensayo de flexión requiere una máquina de ensayo, con capacidad para medir la carga con exactitud de 1 % de la escala utilizada y la deflexión con exactitud de mm, además un montaje para flexionar el culmo, aplicando una carga en la distancia media entre los centros de las monturas del dispositivo de carga. El ensayo es de flexión de cuatro puntos. (ISO, La Organización Internacional de Normalización, 2004)

La carga es dividida en dos mitades mediante una viga apropiada. Para evitar el aplastamiento del culmo, las mitades de las cargas y las fuerzas de reacción en los soportes se aplican en los nudos mediante los dispositivos apropiados. (ISO, La Organización Internacional de Normalización, 2004)

En los soportes el culmo rota libremente.

3.4.2 COMPRESIÓN

Los ensayos se deben realizar en una máquina adecuada para ellos. Al menos un plato de la máquina debe tener un apoyo hemisférico para obtener una distribución uniforme de la carga en los extremos de la probeta. Entre las dos platos de acero de la máquina y los dos extremos de la muestra se necesita colocar una capa intermedia para reducir a un mínimo la fricción. (ISO, La Organización Internacional de Normalización, 2004)

3.4.3 CORTE

Los ensayos se los realiza en una máquina de compresión tal como se indicó en 3.4.2, el ensayo de compresión. La probeta está apoyada en el extremo inferior, sobre dos cuartas partes de su superficie, opuestas entre sí; y aplica la carga en el extremo superior, sobre las dos cuartas partes que no estén apoyadas. Esta forma de apoyar y aplicar la carga a la probeta produce cuatro áreas de corte.

3.4.4 TRACCIÓN

Los ensayos se deben realizar en una máquina de universal de ensayos tal que realice carga de tensión por medio de mordazas, además los sujetadores de la máquina de ensayo tienen que asegurar que la carga se aplique a lo largo del eje transversal de la probeta.

La carga se aplica continuamente durante todo el ensayo a una velocidad de movimiento del cabezal móvil de $0,01 \frac{mm}{s}$. La carga se mide con exactitud del 1 % de la escala utilizada.

(ISO, La Organización Internacional de Normalización, 2004)

3.5 SELECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y DE DIGITALIZACIÓN

3.5.1 FLEXIÓN

Los equipos necesarios para medir las variables, y de esta manera obtener una correcta lectura de datos que se obtendrán de esta práctica son los siguientes:

Resistencia ultima.- Se requiere de la carga máxima aplicada en el ensayo, por lo cual se procede a la utilización de una celda de carga de 100 KNeladas, este rango de celda es escogido debido a estudios previos realizados en el bambú en otros países.

Módulo de elasticidad.- Encontrar la deflexión en el punto medio de la luz del culmo es necesario, por lo que se procede a la utilización de un LVDT rango de posición mínimo de 50 cm largo del vástago, este rango es tomado de trabajos realizados anteriormente sobre bambú

Para proceder con la digitalización utilizamos un Registrador de datos que sea compatible con las señales enviadas de la celda de carga y los LVDTs, a la vez que posee un software de fácil interpretación y adaptabilidad a cualquier computador portátil.

3.5.2 COMPRESIÓN

Esfuerzo último.- La variable es la carga máxima a la cual falla la probeta, la cual es medida mediante una celda de carga.

Módulo de elasticidad.- Los LVDTs que estarán en el equipo darán la variable de deformación de la probeta.

Registrador de datos que sea compatible con las señales enviadas de la celda de carga y los LVDTs, a la vez que tiene un software de fácil interpretación y adaptabilidad a cualquier computador portátil.

3.5.3 CORTE

Resistencia última al corte.- La variable es la carga máxima a la cual falla la probeta, la cual es medida mediante una celda de carga.

Datalogger que sea compatible con las señales enviadas de la celda de carga y los LVDTs, a la vez deberá tener un software de fácil interpretación y adaptabilidad a cualquier computador portátil.

3.5.4 TRACCIÓN

Esfuerzo último a la tracción.- La variable que a obtener es el valor de la carga aplicada a la cual falla la probeta, por esta razón nuestra celda de carga tiene la capacidad de trabajar tanto a tensión como a compresión.

Módulo de elasticidad.- Los LVDTs que estarán en el equipo nos dan la variable de deformación de la probeta.

El Registrador de datos es compatible con las señales enviadas de la celda de carga y los LVDTs, a la vez que posee un software de fácil interpretación y adaptabilidad a cualquier computador portátil.

3.6 DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS

3.6.1 ANÁLISIS MECÁNICO

FLEXIÓN

Tabla 9: Análisis de la disponibilidad de maquinaria, equipos e instrumentos para ensayos de flexión, en el LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

CARACTERÍSTICAS GENERALES	ESTADO ACTUAL	OBSERVACIONES
Medidores de desplazamiento	NO DISPONE	3 sensores de desplazamiento, los mismos que serán provisionados por Coventry University
Celda de 500 KN	NO DISPONE	Adquirir una celda de carga de aproximadamente 100 KN, la misma que será provisionada por Coventry University
Registrador de datos	NO DISPONE	Compatibilidad con los sensores de desplazamiento y celda de carga, con capacidad de almacenamiento de datos, el mismo que será provisionado por Coventry University
Pórtico	SI DISPONE	
Pistón hidráulico de 500 mm de carrera simple efecto	NO DISPONE	Al momento se tiene un pistón de 120 mm de carrera. El pistón requerido es financiado por INBAR y construido y ensamblado en el LMM.
Máquina para ensayos de flexión	SI DISPONE	
	VIABILIDAD	SI ES VIABLE YA QUE SE CUMPLE CON TODOS LOS REQUERIMIENTOS

COMPRESIÓN

Tabla 10: Análisis de la disponibilidad de maquinaria, equipos e instrumentos para ensayos de compresión, en el LMM Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

CARACTERÍSTICAS	ESTADO	OBSERVACIONES
GENERALES	ACTUAL	
Medidores de desplazamiento	SI DISPONE	
Celda de 500 KN	SI DISPONE	
Registrador de datos	NO DISPONE	Compatibilidad con los sensores de desplazamiento y celda de carga, con capacidad de almacenamiento de datos, el cual es realizado dentro de la tesis.
Discos de compresión	NO DISPONE	2 discos que soporten la preferentemente la misma carga de la celda, los mismos que son financiados por INBAR y construido en el LMM.
Máquina para ensayos de compresión	SI DISPONE	
	VIABILIDAD	SI ES VIABLE YA QUE SE CUMPLE CON TODOS LOS REQUERIMIENTOS

CORTE

Tabla 11: Análisis de la disponibilidad de maquinaria, equipos e instrumentos para ensayos de corte, en el LMM Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

CARACTERÍSTICAS	ESTADO	OBSERVACIONES
GENERALES	ACTUAL	
Medidores de desplazamiento	SI DISPONE	El equipo de ensayos universales MTS dispone de un sensor de deformación.
Celda de 46 KN	SI DISPONE	El equipo de ensayos universales MTS contiene una celda de carga de 500 ton
Registrador de datos	NO DISPONE	El equipo MTS dispone de un graficador analógico el cual no digitaliza ni almacena los datos por lo cual es necesario contar con un nuevo, el cual es diseñado y construido en el transcurso de la tesis
Accesorios de Corte	NO DISPONE	Discos de corte según norma técnica ISO 22157, los cuales son construidos en el transcurso de la tesis por medio de la financiación del INBAR
Máquina de ensayos de flexión	SI DISPONE	El LMM dispone Equipo MTS ensayos universales
	VIABILIDAD	SI ES VIABLE YA QUE SE CUMPLE CON TODOS LOS REQUERIMIENTOS

TENSIÓN (TRACCIÓN) PERPENDICULAR A LA FIBRA.

Tabla 12: Análisis de la disponibilidad de maquinaria, equipos e instrumentos para ensayos de tracción, en el LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

CARACTERÍSTICAS	ESTADO	OBSERVACIONES
GENERALES	ACTUAL	
Medidores de desplazamiento	SI DISPONE	El equipo universal de ensayos MTS dispone de un sensor de deformación
Celda de 0.6 KN	SI DISPONE	El equipo de universal de ensayos MTS contiene una celda de carga de 500 KN
Registrador de datos	NO DISPONE	El equipo MTS dispone de un graficado analógico el cual no digitaliza ni almacena los datos por lo cual es necesario contar con un nuevo
Accesorios para Tracción	SI DISPONE	Mordazas de tracción según norma técnica ISO 22157
Máquina de ensayos de flexión	SI DISPONE	El LMM dispone Equipo MTS universal de ensayos
	VIABILIDAD	SI ES VIABLE YA QUE SE CUMPLE CON TODOS LOS REQUERIMIENTOS

OTROS

Tabla 13: Análisis de la disponibilidad de maquinaria, equipos e instrumentos para la realización de los ensayos mecánicos al bambú, en el LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

CARACTERÍSTICAS GENERALES	ESTADO ACTUAL	OBSERVACIONES
Báscula con una precisión de 0.1g	NO DISPONE	El LMM dispone de una báscula de precisión de 1 g, la cual no nos sirve según norma ISO 22157
Horno para secado de muestras	NO DISPONE	La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE no cuenta con horno de secado para las probetas , el cual es proporcionado por el convenio ESPE, INBAR y COVENTRY
Espacio para almacenar piezas de 4000 a 5000 (mm) de longitud	SI DISPONE	Se dispone de espacio necesario para las probetas
Taller de carpintería para adaptación de las muestras	SI DISPONE*	La carpintería se encuentra fuera de las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la cual nos es facilitada por el Concejo Provincial de Pichincha

3.6.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

GASTOS VARIOS

Tabla 14: Análisis Económico, gastos varios

DESCRIPCIÓN	COSTO
	(USD)
Útiles de oficina	30
Transporte	100
Impresiones	120
Varios	80
Total	330

GASTOS CONSTRUCTIVOS

Tabla 15: Gastos de implementación del centro de ensayos mecánicos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO	COSTO
		UNITARIO	TOTAL
		(USD)	(USD)
Probetas de Prueba			
Bambú	60	4	240
	(unidades)		
Carpintero	---	200	200
Pruebas	100	15	1500

CONTINÚA →

Materiales varios			
Perfil tipo C 150*50*8	2	100	200
Barra de Acero SAE1018 de 7/8 de diámetro	1	25	25
Plancha de Acero A588 (1,22 x 2,44)m	1	600	600
Otros	--	100	100
Accesorios			
Construcción	--	2000	2000
Materiales	--	1500	1500
Equipo (RDP)			
10T Celda de Carga	1	487	487
ERs	1	1401	1401
RDP	1	3166	3166
Subtotal			5054
Otros			
Bibliografía de consulta			400
		TOTAL	11819 \$

Tabla 16: Gastos por mano de obra.

SUELDOS (USD)			
Tesistas	2	308X2	4928(X8 meses)
Tutor	1	20(hora)	7040(X8 meses)
		TOTAL	11968 \$

Tabla 17: Total de gastos de implementación del centro de ensayos mecánicos para el bambú en el LMM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

CONCEPTO	VALOR (USD)
GASTOS VARIOS	330
GASTOS DE CONSTRUCCIÓN	11819
GASTOS MANO DE OBRA	11968
TOTAL	24117 \$

CAPÍTULO 4

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El sistema de adquisición de datos tiene como objetivo fundamental transformar la señal de analógica a digital (A/D) en un formato que acepta el sistema de control, en la cual podemos procesar, almacenar, analizar y desplegar la información ingresada por los sensores. (Echeverría, 2012)

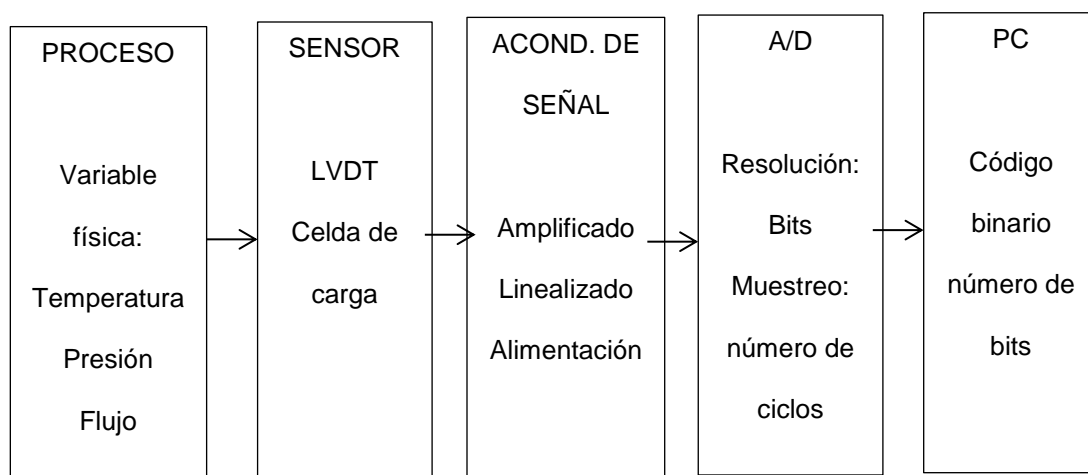


Gráfico No 5: Sistema de adquisición de Datos

Fuente: (Echeverría, 2012)

4.2 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE O EQUIPOS

REGISTRADOR DE DATOS (DATA LOGGER):

El sistema de adquisición y registro de datos lo realizará un Datalogger que se va utilizar donde se requiere acondicionamiento de señal, donde la salida de un transductor necesita ser impulsado o cambiado en una forma adecuada para el monitor o dispositivo de registro que se utilizará.

Una muy amplia gama de ajuste de ganancia garantiza que el sistema sea compatible con la gran mayoría de sensores LVDT y celdas de carga existentes en el mercado. El sistema modular de acondicionamiento de señal 600 permite seleccionar el tipo y la cantidad de tarjetas de entrada necesarios para la aplicación deseada, de una serie de diferentes tipos de tarjetas para diferentes instrumentos disponibles, así como también el tipo de indicador de señal que se requiera.

La gran compatibilidad de este tipo de sistema y la variabilidad de la ganancia nos permitirá acondicionar la señal de la celda de carga MTS de 500 KN perteneciente a la máquina universal de ensayos MTS del laboratorio de mecánica de materiales

ESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO DE DATOS.

El sistema de acondicionamiento de señal modular tipo 600 provee varias formas de mostrar los datos obtenidos por los instrumentos de medición, como es el caso de la tarjeta tipo 650, que tiene una pantalla digital donde nos indica el voltaje de excitación de los sensores conectados al sistema, y tiene la capacidad de registrar hasta 100 datos obtenidos.

La otra forma de registrar los datos, es por medio de un cable serial conectado al computador el cual nos permitirá correr un programa y registrar

los datos obtenidos aplicando un factor multiplicador y obteniendo de esta forma las mediciones en valores deseados ya sea en milímetros para desplazamiento y Newtons para medidas de fuerza.



Gráfico No 6: Sistema de Acondicionamiento de señal modular 600, RDP

Fuente: (RDP, <http://www.rdpe.com/>, 2014)

Proveedor: RDP

Equipo: Sistema de acondicionamiento modular 600 de señal multicanal.

TARJETAS DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL


Amplificador transductor 611 medidores de deformación Y Celda de Carga		
	Compatible con	La mayoría de medidores de deformación. La mayoría de transductores amplificados de cualquier marca.
	Número de canales	2
	La tensión de alimentación	± 15 V, 60 mA
	Excitación del transductor	1V a 10V y ± 15 V (máx. 110 mA)
	Detalles de salida	± 10 V / 4-20mA (resistencia 0 ohmios a 450 ohmios)
	Rango de ganancia del amplificador	1 a 2000
	Rango de señal de entrada	-13V a 13V
	Error de linealidad	$\pm 0.02\%$ FS (típico)
	Ancho de banda de salida eléctrica	0 a 200 Hz (10 Hz con filtro de encendido)
	Ondulación de salida	4mV pico a pico (típico) / 15uA pico a pico (típico)

Gráfico No 7: Ficha técnica de data logger amplificador transductor 611, RDP

Fuente: (RDP, <http://www.rdpe.com/>, 2014)

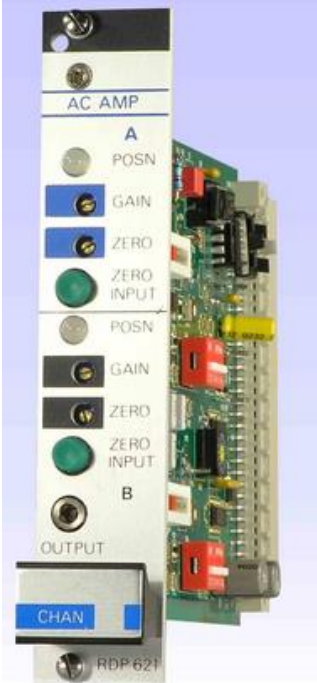
621 amplificador de LVDT		
	Compatible con	Cualquier LVDT RDP estándar (sin electrónica integrada). La mayoría de los LVDT de cualquier fabricante.
	Número de canales	2
	La tensión de alimentación	± 15 V, 65 mA (típico)
	Excitación del transductor	1.1 V, 5 kHz (1 kHz a 10 kHz con el cambio de componentes), 100 mA
	Detalles de salida	± 10 V / 4-20mA (resistencia 0 ohmios a 450 ohmios)
	Rango de ganancia del amplificador	2,5-833
	Rango de señal de entrada	12mV a 4V
	Error de linealidad	$\pm 0.05\%$ FS (típico)
	Ancho de banda de salida eléctrica	0 a 400 Hz
	Ondulación de salida	10 mV pico a pico (típico) / 100uA pico a pico (típico)

Gráfico No 6: Ficha técnica de data logger amplificador 621, RDP

Fuente: (RDP, <http://www.rdpe.com/>, 2014)

628 1/4, 1/2 y el amplificador del calibrador de tensión de puente completo		
	Compatible con	1/4, 1/2 y la mayoría de medidores de deformación de puente completo.
	Número de canales	1
	La tensión de alimentación	± 15 V, 70 mA (más transductor y carga de salida)
	Excitación del transductor	1V a 10V 110mA máxima
	Detalles de salida	± 10 V / 4-20mA (resistencia 0 ohmios a 400 ohmios)
	Rango de ganancia del amplificador	1-80000
	Rango de señal de entrada	-11V a 11V
	Error de linealidad	± 0.02% FS (típico)
	Ancho de banda de salida eléctrica	0 a 10/100/1k/10kHz
	Ondulación de salida	40 mV pico a pico (típico) / 80uA pico a pico (típico)

Gráfico No 7: Ficha técnica de 628 ¼, ½ y el amplificador del calibrador de tensión de puente completo, RDP

Fuente: (RDP, <http://www.rdpe.com/>, 2014)

ER:

El instrumento de medición del tipo ER es un sensor que mide desplazamiento o posición por medio del movimiento de un vástago, la metodología de medición se basa en el principio de un transformador eléctrico, en el cual posee un devanado primario que se encuentra en la mitad del cilindro y tres devanados secundarios ubicados en el cilindro, estos devanados interactúan con un núcleo ferromagnético que se encuentra en el vástago principal, cuando una corriente alterna circula a través del primario, causa un

voltaje que es inducido a cada secundario proporcionalmente a la inductancia mutua con el primario.

Proveedor: RDP

Equipo: ER Sensores MTS


ER		
	Entrada	
	Variable de medida	posición
	Largo de vástago	50...1500 mm
	Salida	
	Voltaje	0...10 VDC o 10...0 VDC
	Corriente	4...20mA o 20...4 mA
	Resolución	
	Análoga	infinita
	Iniciar/Parar:	0,1/0,01/0,005 mm
	Consumo de corriente	50...140 mA
Suministro de Voltaje	24 VDC	

Gráfico No 8: Ficha técnica del deformímetro ER, RDP

Fuente: (MTS, 2014)

LVDT:

Estos transductores son para medición de desplazamiento / posición. Ellos hacen una medición precisa de la posición del movimiento del vástago (la parte deslizante) con respecto al cuerpo del transductor de desplazamiento.

Este transductor utiliza el principio de transformador diferencial de variación lineal por sus siglas en inglés (LVDT) lo que significa que es probable que sea la posición más robusto y fiable disponible tipo de sensor

Proveedor: RDP

Equipo: LVDT transductor de desplazamiento

LVDT		
	Excitación/Alimentación	0.5V a 7V rms, 2kHz a 10 kHz(sinusoidal)
	Carga de Salida	100k Ohms
	Terminación eléctrica	2m
	Longitud vástago	100...150 mm
	Material	Acero Inoxidable
	Resolución	Infinita

Gráfico No 9: Ficha técnica del deformimetro LVDT, RDP

Fuente: Autores

CELDA DE CARGA:

Un sensor de celda de carga o fuerza es un dispositivo que convierte la carga o fuerza en una señal eléctrica, una celda de carga debe montarse sobre una superficie dura y plana. Se debe tener cuidado para asegurar que el sensor de carga no está expuesto a la carga o fuerza en exceso de su capacidad

Este transductor es un transductor de tipo medidor de deformación y tiene una salida de mV.

Proveedor: RDP

Equipo: Celda de Carga Universal de Tensión y Compresión

Celda de Carga 10 TON		
	Excitación / alimentación	0 a 15V
	Salida	2 mV / V \pm 10%
	Resistencia	350/700Ohms nominal
	Histéresis	\pm 0.03% FS
	Repetibilidad	\pm 0.03% FS
	Terminación eléctrica	3m
	Capacidad	100 KN
	Error de linealidad	\pm 0.03% FS
	Material	Acero

Gráfico No 10: Ficha técnica de la celda de carga de 100 KN, RDP

Fuente: (RDP, <http://www.rdpe.com/>, 2014)

4.3 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

El acondicionamiento de señal permite transformar la entrada de cualquier naturaleza en una señal eléctrica de corriente o voltaje.

El Sistema de acondicionamiento modular 600 de señal multicanal tiene incorporado un sistema de acondicionamiento de señales, el mismo que puede cumplir con las siguientes funciones:

- **Amplificación:** Consiste en aumentar proporcionalmente la magnitud de los elementos de la señal.
- **Atenuación:** Consiste en disminuir proporcionalmente la magnitud de los elementos de la señal.
- **Linealización:** Compensa la no linealidad de los sensores provocando que la entrada al sensor y la salida del acondicionamiento sea lineal.

- Aislamiento: Se caracteriza por aislar eléctricamente la entrada del acondicionamiento de señal de su salida, sin perder la información contenida en la señal.
- Filtrado: Limpia el ruido eléctrico, el cual puede distorsionar la señal.
- Alimentación y/o compensación: Para que un sensor especialmente los que no emiten energía puedan expresar sus señales en cambios de voltaje o corriente, necesitan circuitos adicionales para que el acondicionador proporcione la energía que requieren. (Echeverría, 2012)

Cabe recalcar que cada tipo de sensor requiere un diferente tipo de acondicionamiento, es por esto que nuestro Datalogger posee varios módulos que fueron descritos en 4.2.

4.4 PROCESO DE CONVERSIÓN DE LA SEÑAL ANALÓGICA EN DIGITAL

Los elementos de conversión de señal analógica en digital (A/D), transforma una señal analógica lineal o no lineal por medio de seccionamiento de la señal en una señal digital. Las entradas para cada señal se conocen como canales.

Los factores influyentes en la etapa A/D que tienen que ser tomados en cuenta son:

- La señal de entrada: Normalmente analógica y eléctrica
- Tasa de muestreo: En la conversión A/D la señal analógica, constante en el tiempo, es dividida mediante un proceso de muestreo.

Durante un intervalo de tiempo se toman solo ciertos valores de la señal, esta frecuencia se mide en muestras por segundo (S/s) o muestras por ciclo.

- Resolución: Representa el número de bits con los que se representa binariamente cada uno de los puntos de muestra de la señal. Si un A/D trabaja a dos bits, las muestras de la señal solo podrán ser representadas por las combinaciones 00, 01, 10 y 11, a tres bits tenemos 8 posibles combinaciones y para n bits tenemos 2^n combinaciones. Mientras la resolución sea más alta más cercano será el valor digital a su equivalente real (analógico).
- Rango: Son los límites máximo y mínimo entre los cuales se puede encontrar la señal que vamos a digitalizar.
- Ganancia: Otra forma de amplificación.
- Distorsión de la señal (aliasing): Si la frecuencia de muestreo es muy baja con respecto a la frecuencia de la onda se produce una distorsión en la señal que llega al controlador. (Echeverría, 2012)

4.5 CONEXIONES ENTRE LOS EQUIPOS Y LA PC

La conexión entre los instrumentos y el computador es el software que es el cual registrara, transformara los valores de voltaje emitido por los instrumentos en lecturas que puedan ser utilizadas.

Otros aspectos a considerar al momento de diseñar o seleccionar un sistema de adquisición de datos son:

- El sistema es móvil o fijo.
- Tipo de señal de entrada/salida. Analógica o digital.
- La frecuencia de la señal de entrada.

- Resolución, rango y ganancia requerida.
- El tipo de proceso a realizar.
- Compatibilidad entre el hardware y software. Requerimiento de drivers.
- Precio.

Las principales características de nuestro Sistema de adquisición de datos son:

- Sistema compacto con conectividad vía USB.
- Los módulos de adquisición de datos pueden conectarse directamente a muchos sensores de uso industrial.
- Permite portabilidad.

Elementos principales:

- Chasis
- Módulos de entrada y salida.
- Accesorios

(Echeverría, 2012)

CAPÍTULO 5

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE ACCESORIOS

5.1. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS

El proceso de diseño de un elemento mecánico empieza por la necesidad, que es producir un dispositivo de utilidad que sea seguro, eficiente y práctico. Cuando se inicia un diseño es importante definir las funciones y las especificaciones de diseño para el dispositivo, por completo y en forma clara. (Aaron, 1987)

Los criterios generales en el diseño de elementos mecánicos son:

- Seguridad.
- Rendimiento.
- Confiabilidad.
- Facilidad para fabricar.
- Disponibilidad de servicio o reemplazo de componentes.
- Facilidad en cuanto a operación.
- Bajo costo
- Tamaño reducido y poco peso.
- Que operen con suavidad.
- Uso de materiales accesibles.
- Aspecto atractivo y adecuado para su aplicación.

Tomando en consideración estos criterios y teniendo en cuenta que lo que se va a realizar es una integración de elementos de una maquinaria en un

diseño mecánico, el proceso es diseñar, elegir o ambos, componentes mecánicos y armarlos para que cumplan con la función que se pretende.

Para la fabricación es necesario tener un conocimiento sobre las capacidades de fabricación básicas y el equipo de proceso en el taller. Solo con este conocimiento se podrá diseñar adecuadamente las partes, componentes, la selección del material, las tolerancias y los procedimientos de ensamblaje. (Mott, 2006)

Los elementos fabricados, tienen que ajustarse entre sí de una manera adecuada y su funcionamiento tiene que ser eficiente pero a la vez seguro. Esto genera una compatibilidad adecuada.

5.2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

EQUIPO PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN:

La Máquina Universal de Ensayos MTS ha sido utilizada en el laboratorio para la realización de este tipo de ensayos generalmente en materiales metálicos, la adecuación para efectuarlos sobre Bambú consiste básicamente en la inclusión de platos metálicos diseñados para soportar el aplastamiento generado por la prueba en sí y que tengan la capacidad de abarcar una mayor gama de diámetros para una aplicación uniforme de las fuerzas sobre las probetas.

EQUIPO PARA ENSAYO DE TRACCIÓN:

Las pruebas de tracción en el laboratorio se las realizan generalmente en la máquina de ensayos Universales AMSLER, pero se los realizara en la Máquina Universal de Ensayos MTS, ya que esa posee una celda de carga que nos proporciona los datos analógicos que necesitamos para la digitalización.

Para este ensayo se necesita aplicar una fuerza perpendicular a las fibras de la probeta de Bambú, por este motivo la necesidad de soportes que atrapen el espécimen y logren aislarlo de fuerzas perpendiculares que pueden inferir en los resultados finales. Estos soportes, en el área de contacto con el Bambú, son recubiertos con neopreno para evitar que existan concentraciones de esfuerzos al aplicar carga.

EQUIPO PARA ENSAYO DE CORTE:

Al tener el mismo principio del ensayo de compresión, se optó por utilizar la misma Máquina de Universal de Ensayos MTS, incluyendo los platos metálicos, ya que estos nos darán una referencia de concentricidad, al implantar los platos de corte, que son llamados así ya que son platos diseñados específicamente para realizar dicha prueba en Bambú.

Los platos de corte son diseñados para soportar aplastamiento, pero a diferencia de los de compresión estos son vaciados dos cuartas partes de su superficie, para crear los planos de corte que necesitamos para el ensayo.

EQUIPO PARA ENSAYO DE FLEXIÓN:

La máquina utilizada para ese tipo de ensayos es el VIBRÓFORO DE BAJA FRECUENCIA AMSLER, la misma que tiene como capacidad por si sola de aplicar una carga puntual, para lo cual se diseña un elemento mecánico que nos permitan dividir esta carga en dos puntos y ubicarlos equidistantemente entre sí a lo largo de la probeta de Bambú.

El primer elemento que recibe la carga, es una viga de longitud de al menos $1/3$ de la longitud máxima de la probeta que vamos a utilizar. Esta longitud es debido a que a cada extremo de esta viga irán pines, que distribuirán de

manera puntual la carga, de esta manera obtenemos la fuerza inicial dividida en dos en este punto.

Bajo estos pines o ejes, se necesita placas que sirvan como soporte para los apoyos de madera que van en contacto directo con la probeta, en este punto van dos placas las cuales sostendrán dos soportes de madera cada una, la madera es recubierta en su área de contacto con neopreno para evitar concentración de esfuerzos al aplicar la fuerza.

Finalmente necesitamos los apoyos inferiores, los cuales tienen la misma forma que los superiores sin embargo, se agrega que estos no pueden ir en contacto directo con el suelo, ya que necesitamos una articulación para generar reacciones puntuales de una viga simplemente apoyada.

5.3. MEDICIÓN

ANEXO B

5.4. ANÁLISIS DE FUERZAS Y ESFUERZOS

5.4.1. FLEXIÓN

La fuerza se aplica de una manera puntual y perpendicularmente a la viga, la cual junto con los pines y las placas de acero generaran una división de la fuerza en dos puntos, sobre el cuerpo del bambú. Finalmente el bambú será situado sobre dos bases iguales a las que van debajo de los pines, para generar las dos reacciones en los extremos.

De esta manera se consigue crear el efecto de una viga simplemente apoyada con dos fuerzas puntuales y dos reacciones en los extremos.

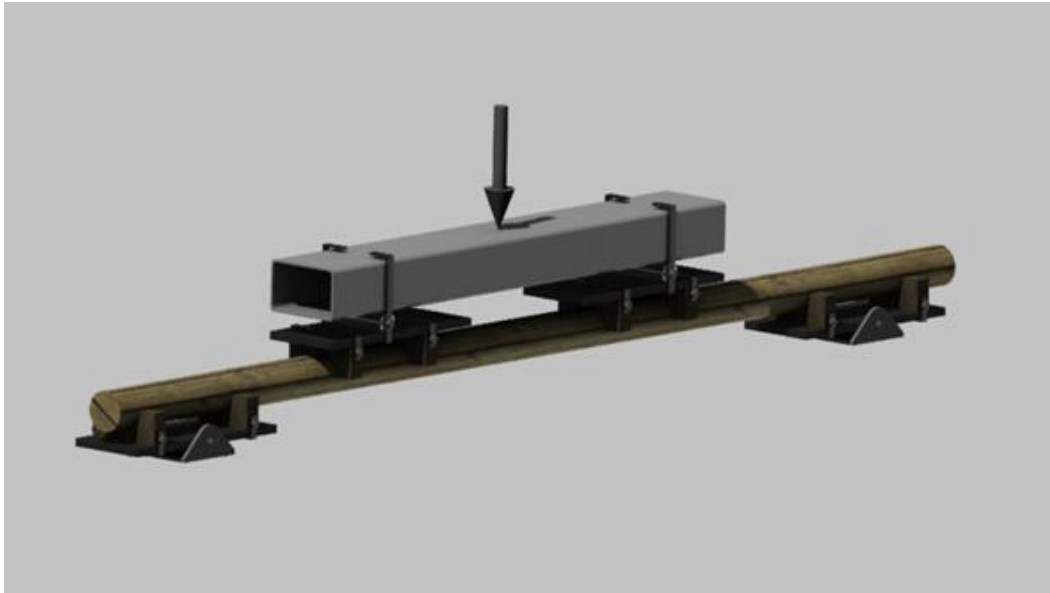


Gráfico No 11: Ensayo de Flexión.

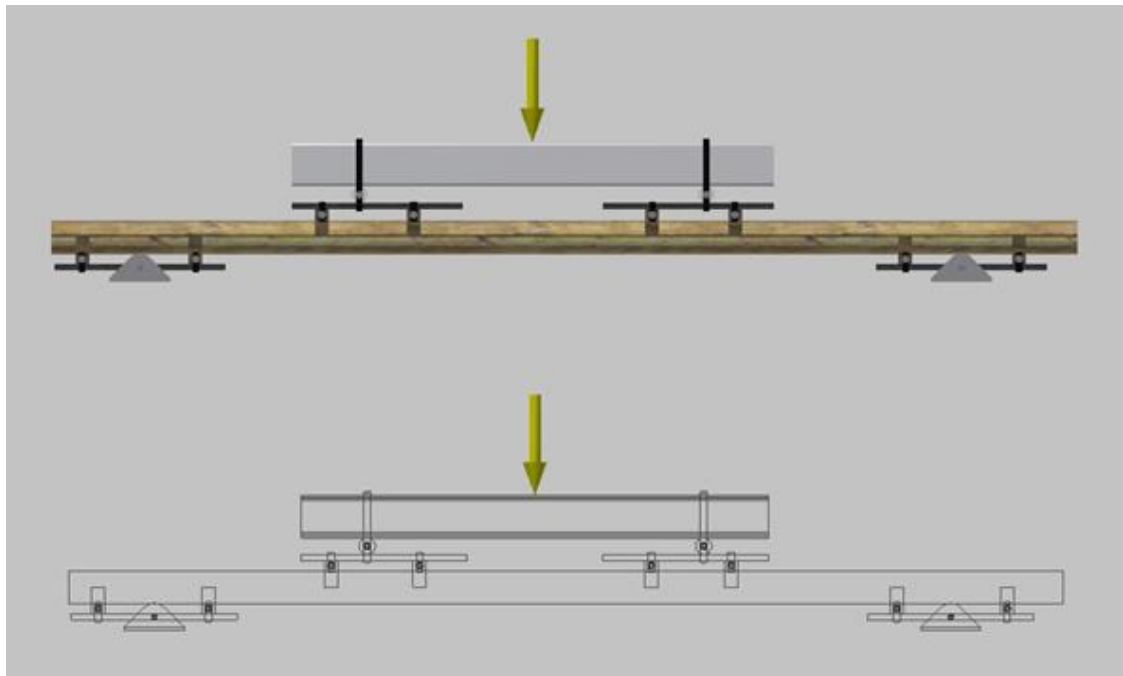


Gráfico No 12: Esquema ensayo de flexión, aplicación de fuerzas.

5.4.2. COMPRESIÓN

Para el ensayo de compresión se aplica una fuerza perpendicular al plato de compresión superior, la misma que ejercerá un efecto de aplastamiento sobre la probeta de bambú con la ayuda del plato inferior de compresión.

Para minimizar las tolerancias del ángulo de aplicación de la fuerza y asegurar que dicha fuerza se encuentre a 90° , los platos de compresión irán montadas sobre una rotula, la cual cumple la función de que una vez aplicada la fuerza este esta se alinee de forma perpendicular al plato.

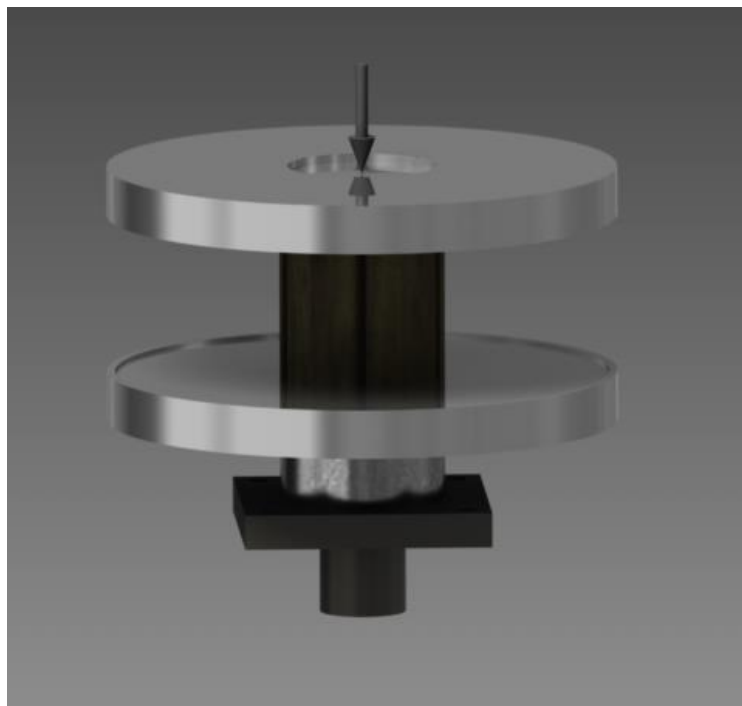


Gráfico No 13: Ensayo de Compresión.

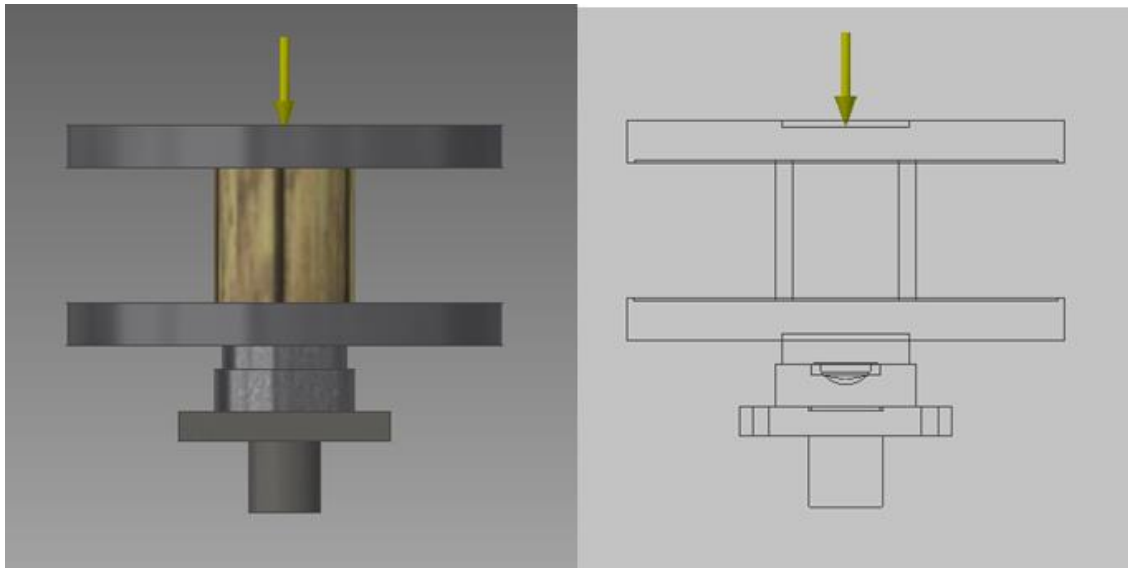


Gráfico No 14: Esquema ensayo de compresión, aplicación de fuerzas.

5.4.3. CORTE

Para realizar corte en bambú se aplica una fuerza perpendicular al plato de compresión superior, debajo está ubicado un disco con divisiones huecas que ocupan las dos cuartas partes de su superficie, que junto con la fuerza generara los planos de corte que requiere el ensayo. Estos discos producirán aplastamiento sobre la probeta de bambú con la ayuda del plato inferior de compresión y de un segundo disco de corte.

A igual que en el ensayo de compresión se necesita la ayuda de una rotula para minimizar las tolerancias del ángulo de aplicación de la fuerza y asegurar que dicha fuerza se encuentre a 90° .

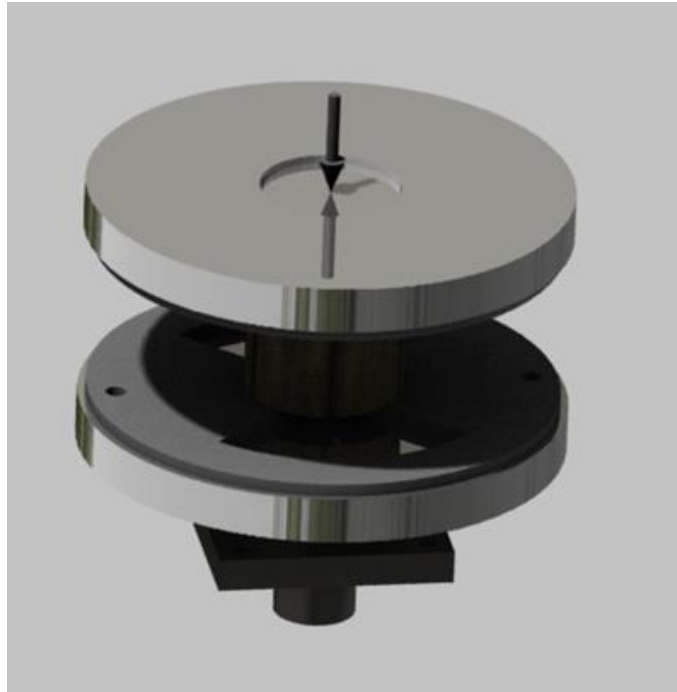


Gráfico No 15: Ensayo de Corte.

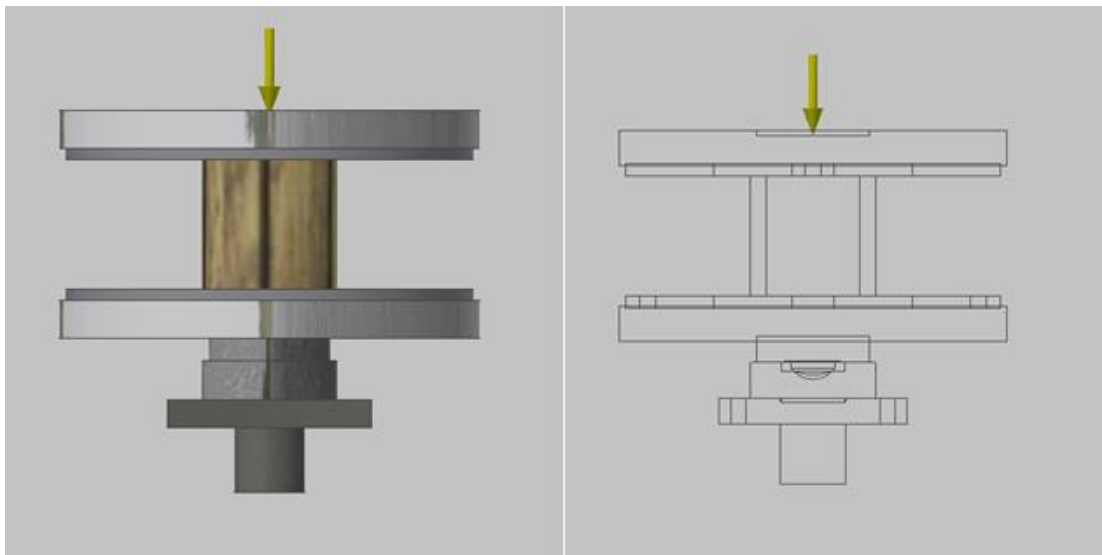


Gráfico No 16: Esquema ensayo de corte, aplicación de fuerzas.

5.4.4. TRACCIÓN

Para aplicar dos fuerzas alineadas verticalmente y de dirección contraria, sobre una probeta horizontal de bambú, se usa mordazas que posee la Máquina Universal de Ensayos MTS, la cual con la ayuda de estas generamos una fuerza de tracción.

Para que estas fuerzas de tracción se apliquen de forma perpendicular a las fibras horizontales del bambú, se aplica mordazas de acero las cuales ayudaron a eliminar fuerzas residuales horizontales y aplican directamente las fuerzas verticales sobre la probeta.

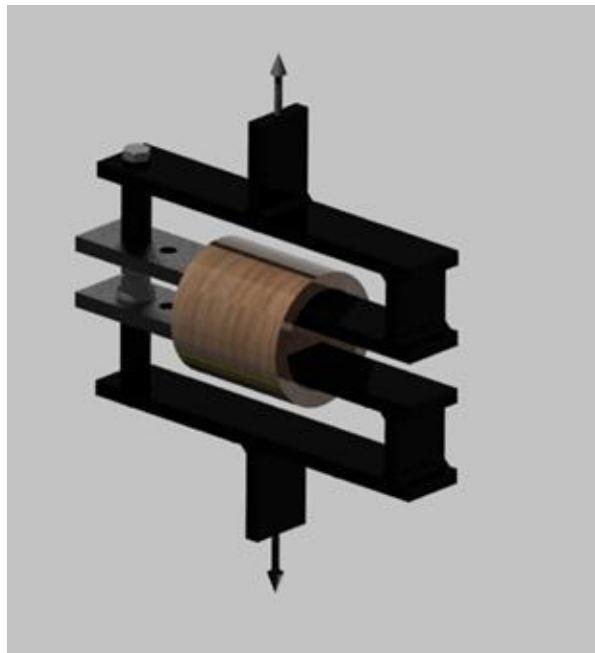


Gráfico No 17: Ensayo de Tracción.

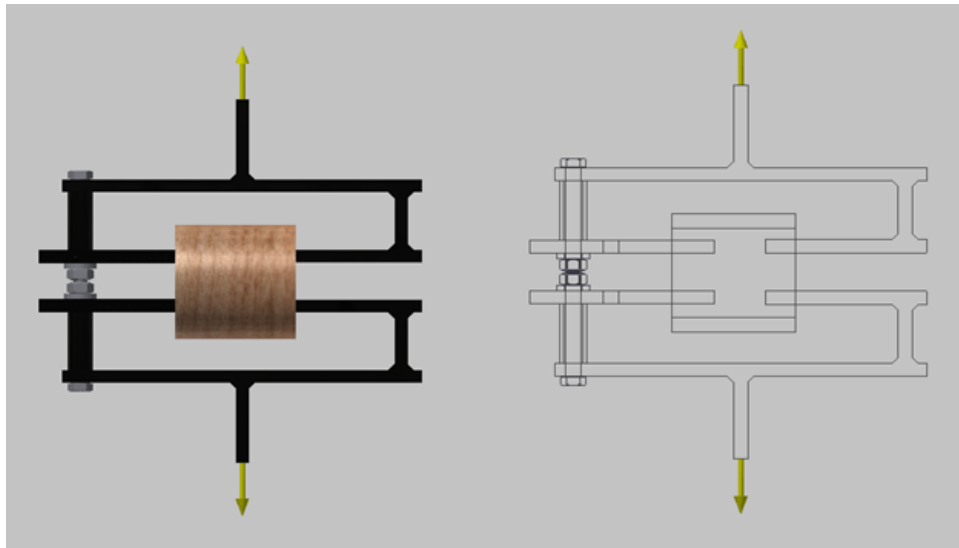


Gráfico No 18: Esquema ensayo de tracción, aplicación de fuerzas.

5.5. DISEÑO DE SOPORTES Y ACCESORIOS

Soportes de madera

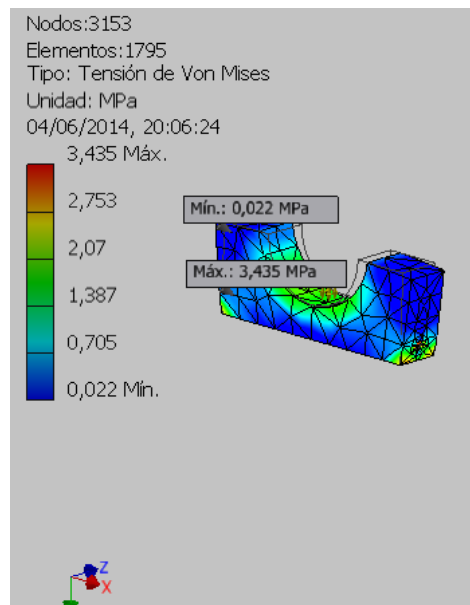


Gráfico No 19: Simulación soportes de madera, con el Software Inventor.

Tabla 18: Características del material Madera

Material		
Nombre	Madera (abedul)	
General	Densidad de masa	0,55 g/cm ³
	Límite de elasticidad	56,3 MPa
	Resistencia máxima a tracción	6,3 MPa
Tensión	Módulo de Young	10,3 GPa
Coefficiente de POISSON	0,426 su	
Módulo cortante	3,6115 GPa	
Nombre(s) de pieza	BASE BAMBÚ	

Fuente: (INVENTOR, 2013)

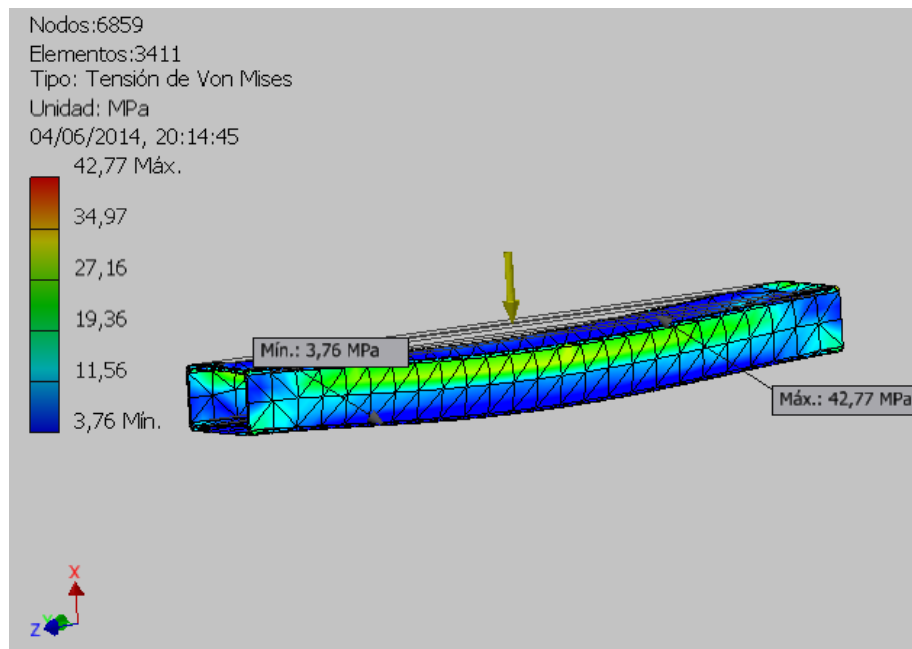
Tabla 19: Resultados Simulación soportes de madera, con el Software Inventor.

Resultados		
Volumen	467212 mm ³	
Masa	0,256967 kg	
Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	22,181 KPa	3435,140 KPa
Primera tensión principal	-1224,863 KPa	1911,354 KPa
Tercera tensión principal	-4411,084 KPa	622,099 KPa

CONTINUÍA →

Desplazamiento	0 mm	15,887 μm
Tensión XX	-1958,789 KPa	1911,180 KPa
Tensión XY	-1357,240 KPa	1,350,550 KPa
Tensión XZ	-551,042 KPa	0,547,634 KPa
Tensión YY	-3807,890 KPa	0,808,877 KPa
Tensión YZ	-838,805 KPa	0,856,195 KPa
Tensión ZZ	-2322,39 KPa	1,067,311 KPa
Desplazamiento X	-158,622 μm	15,866 μm
Desplazamiento Y	-0,271989 μm	5,915 μm
Desplazamiento Z	-1,28199 μm	1,278 μm

Viga



Gráfico No 20: Simulación de la Viga, con el Software Inventor.

Tabla 20: Características del material acero de la viga.

Material		
Nombre	Acero	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	210 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	80,7692 GPa
Nombre(s) de pieza	VIGA PRINCIPAL	

Fuente: (INVENTOR, 2013)

Tabla 21: Resultados Simulación de la viga principal.

Resultados		
Volumen	5105,690 cm ³	
Masa	40,079 kg	
Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	3,755 MPa	42,769 MPa
Primera tensión principal	-12,263 MPa	49,923 MPa
Tercera tensión principal	-49,085 MPa	14,879 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,285 mm
Tensión XX	-47,719 MPa	35,977 MPa
Tensión XY	-19,469 MPa	15,504 MPa

CONTINÚA →

Tensión XZ	-15,108 MPa	16,682 MPa
Tensión YY	-27,622 MPa	35,167 MPa
Tensión YZ	-13,887 MPa	16,916 MPa
Tensión ZZ	-46,033 MPa	48,227 MPa
Desplazamiento X	-0,285 mm	2,991 μm
Desplazamiento Y	-0,054 mm	0,056 mm
Desplazamiento Z	-0,013 mm	0,013 mm

Placas metálicas

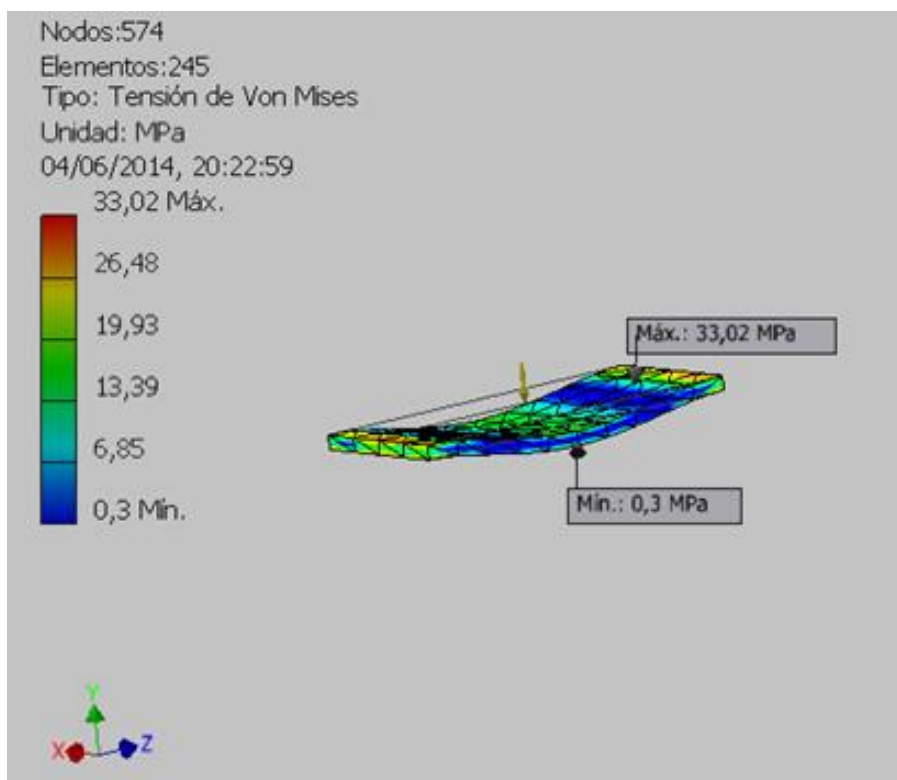


Gráfico No 21: Simulación de las Placas Metálicas, con el Software Inventor.

Tabla 22: Características del material acero de baja aleación en las placas.

Material		
Nombre	Acero, baja aleación y alta resistencia	
General	Densidad de masa	7,84 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,8 MPa
	Resistencia máxima a tracción	448 MPa
Tensión	Módulo de Young	200 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,287 su
	Módulo cortante	77,700 GPa
Nombre(s) de pieza	CHAPA METÁLICA	

Fuente: (INVENTOR, 2013)

Tabla 23: Resultados Simulación de las placas, con el Software Inventor.

Resultados		
Volumen	1905 cm ³	
Masa	14,935 kg	
Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	0,3008 MPa	33,023 MPa
Primera tensión principal	-18,311 MPa	42,373 MPa
Tercera tensión principal	-48,175 MPa	15,752 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,174 mm
Tensión XX	-19,060 MPa	16,332 MPa
Tensión XY	-1,996 MPa	2,047 MPa
Tensión XZ	-4,901 MPa	4,867 MPa

CONTINÚA →

Tensión YY	-19,060 MPa	16,497 MPa
Tensión YZ	-5,772 MPa	5,375 MPa
Tensión ZZ	-47,351 MPa	41,92 MPa
Continua		
Desplazamiento X	-2,117 μm	2,146 μm
Desplazamiento Y	-174,117 μm	0 mm
Desplazamiento Z	-10,174 μm	10,123 μm

Tracción

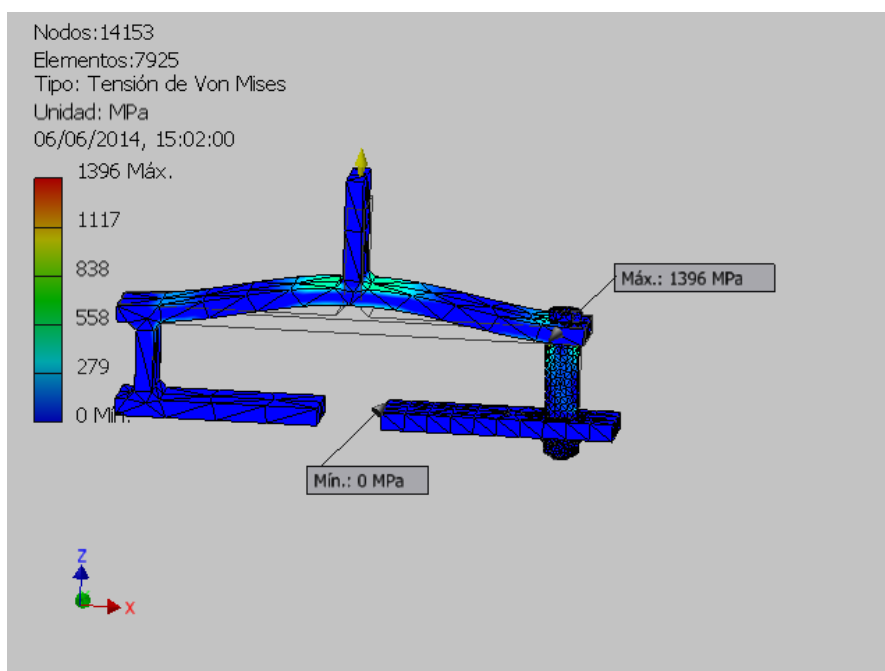


Gráfico No 22: Simulación de las Placas Metálicas, con el Software Inventor.

Tabla 24: Características del material acero suave utilizado en los soportes.

Materiales		
Nombre	Acero, suave	
General	Densidad de masa	7,86 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	220 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su
	Módulo cortante	86,274 GPa
Nombre(s) de pieza	Mordaza1 Base Bocín	

Fuente: (INVENTOR, 2013)

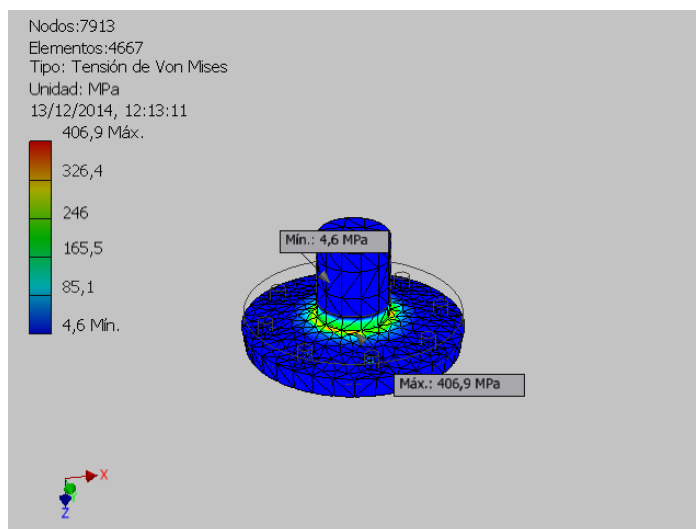
Tabla 25: Resultados Simulación de los soportes, con el Software Inventor.

Resultados		
Volumen	400,379 cm ³	
Masa	3,14355 kg	
Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	0,420 MPa	166,102 MPa

CONTINÚA →

Primera tensión principal	-37,526 MPa	203,001 MPa
Tercera tensión principal	-103,58 MPa	32,626 MPa
Continua		
Desplazamiento	0 mm	0,463 mm
Tensión XX	-102,302 MPa	94,894 MPa
Tensión XY	-21,616 MPa	20,497 MPa
Tensión XZ	-57,788 MPa	47,954 MPa
Tensión YY	-38,804 MPa	67,707 MPa
Tensión YZ	-28,162 MPa	28,564 MPa
Tensión ZZ	-101,908 MPa	199,471 MPa
Desplazamiento X	-0,026 mm	25,573 μ m
Desplazamiento Y	-1,611 μ m	1,659 μ m
Desplazamiento Z	0 mm	0,462 mm
Presión de contacto	0 MPa	90,219 MPa
Presión de contacto X	-48,301 MPa	46,293 MPa
Presión de contacto Y	-19,301 MPa	19,839 MPa
Presión de contacto Z	-77,226 MPa	76,984 MPa

BRIDA TRACCIÓN



Gráfico No 23: Simulación brida a tracción, con el Software Inventor.

Tabla 26: Características del material acero utilizado en la brida.

Material		
Nombre	Acero	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	210 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	80,77 GPa
Nombre(s) de pieza	BRIDA	

Fuente: (INVENTOR, 2013)

Tabla 27: Resultados Simulación de la brida, con el Software Inventor.

Resultados		
Volumen	394,384 cm ³	
Masa	3,1 kg	
Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	4.6 MPa	406.862MPa
Primera tensión principal	-10,12 MPa	610,285 MPa
Tercera tensión principal	-193,9 MPa	208,143 MPa
Continua		
Desplazamiento	0 mm	0.144 mm
Tensión XX	-192,498MPa	457,385 MPa
Tensión XY	-111,315 MPa	86.604 MPa
Tensión XZ	--145,44 MPa	162,359 MPa
Tensión YY	-188,205 MPa	489,654 MPa
Tensión YZ	--176,96 MPa	175,165 MPa
Tensión ZZ	-33,13 MPa	414,125MPa
Desplazamiento X	-0,020 mm	0,020 mm
Desplazamiento Y	--0,020 mm	0,020 mm
Desplazamiento Z	0 mm	0,142 mm

EJE CELDA- PINZA DE TRACCIÓN

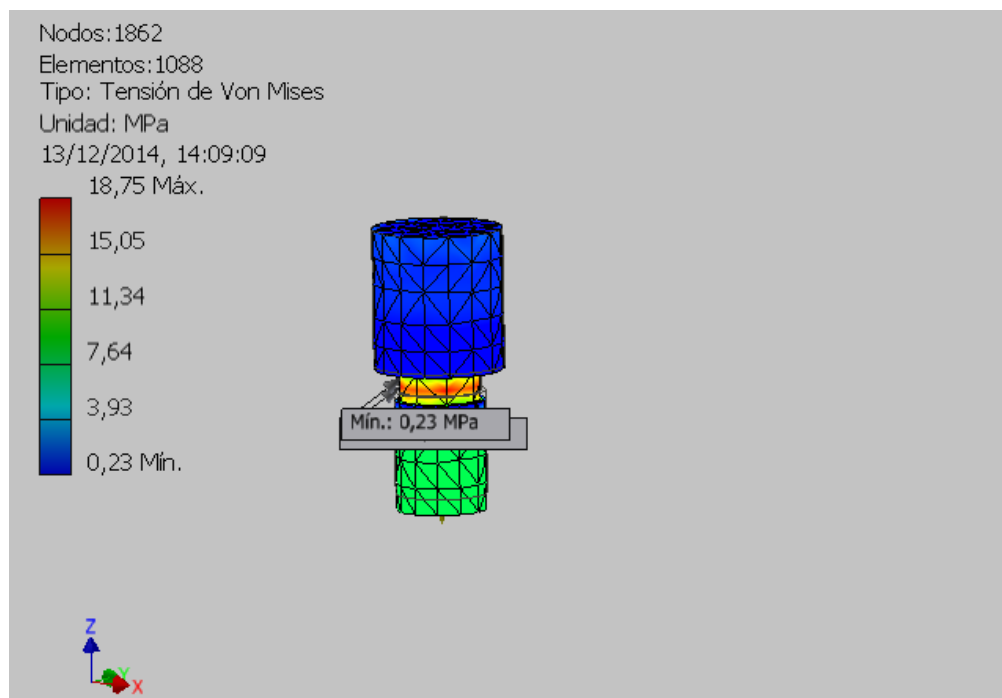


Gráfico No 24: Simulación eje Celda- Pinza de tracción, con el Software Inventor.

Tabla 28: Características del material acero utilizado en el eje Celda- Pinza de tracción

Material		
Nombre	Acero	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	210 GPa

CONTINÚA →

	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	80,77 GPa
Nombre(s) de pieza	BRIDA	

Fuente: (INVENTOR, 2013)

Tabla 29: Resultados Simulación del eje Celda- Pinza de tracción, con el Software Inventor.

Resultados		
Volumen	154,220 cm ³	
Masa	1,210 kg	
Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	0,230 MPa	18,749 MPa
Primera tensión principal	-0,788 MPa	610,285 MPa
Tercera tensión principal	-193,9 MPa	21,835 MPa
Continua		
Desplazamiento	0 mm	0,004 mm
Tensión XX	-2,956 MPa	7,691 MPa
Tensión XY	-1,766 MPa	1,510 MPa
Tensión XZ	-5,575 MPa	6,191 MPa
Tensión YY	-2,940 MPa	7,089 MPa
Tensión YZ	-6,506 MPa	6,427 MPa
Tensión ZZ	-2,899 MPa	21,165 MPa
Desplazamiento X	-0,0002 mm	0,0002 mm
Desplazamiento Y	--0,0002 mm	0,0002 mm
Desplazamiento Z	-0,004 mm	0 mm

Compresión

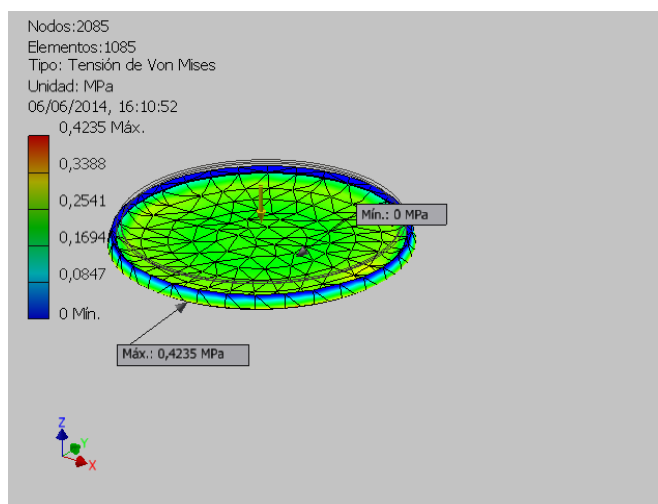


Gráfico No 25: Simulación platos de compresión, con el Software Inventor.

Tabla 30: Características del material acero utilizado en los platos de compresión.

Material		
Nombre	Acero	
General	Densidad de masa	8,08 g/cm ³
	Límite de elasticidad	250 MPa
	Resistencia máxima a tracción	540 MPa
Tensión	Módulo de Young	193 GPa
	Coeficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	74,2308 GPa
Nombre(s) de pieza	COMPRESIÓN PLATO INFERIOR	

Fuente: (INVENTOR, 2013)

Tabla 31: Resultados Simulación de los platos de compresión, con el Software Inventor.

Resultados		
Volumen	209,112 cm ³	
Masa	16,896 kg	
Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	0 MPa	0,423516 MPa
Primera tensión principal	-0,196364 MPa	0,188475 MPa
Tercera tensión principal	-0,568525 MPa	0,0439412 MPa
Continua		
Desplazamiento	0 mm	0,0000538049 mm
Tensión XX	-0,203644 MPa	0,0638662 MPa
Tensión XY	-0,0435247 MPa	0,0441894 MPa
Tensión XZ	-0,151364 MPa	0,123327 MPa
Tensión YY	-0,199699 MPa	0,0788488 MPa
Tensión YZ	-0,157286 MPa	0,14736 MPa
Tensión ZZ	-0,533418 MPa	0,139276 MPa
Desplazamiento X	-0,0000248336 mm	0,0000246673 mm
Desplazamiento Y	-0,0000249411 mm	0,0000247116 mm
Desplazamiento Z	-0,0000513177 mm	0 mm

Corte

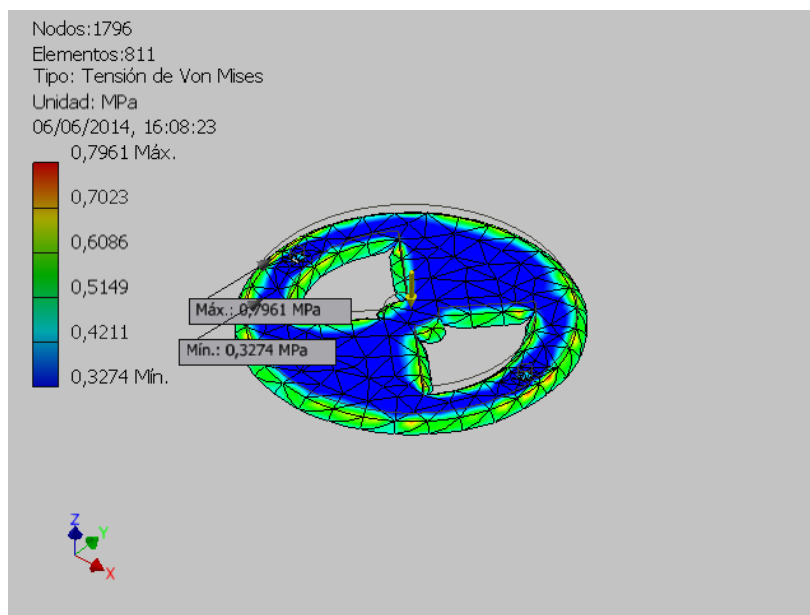


Gráfico No 26: Simulación de las platos de corte, con el Software Inventor.

Tabla 32: Características del material acero utilizado en los platos de corte.

Material		
Nombre	Acero, suave	
General	Densidad de masa	7,86 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	220 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su

CONTINÚA →

	Módulo cortante	86,2745 GPa
Nombre(s) de pieza	DISCO INFERIOR	

Fuente: (INVENTOR, 2013)

Tabla 33: Resultados Simulación de los platos de corte, con el Software Inventor.

Resultados		
Volumen	516,672 cm ³	
Masa	4,061 kg	
Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	327,379 KPa	796,088 KPa
Primera tensión principal	-287,329 KPa	48,232 KPa
Continua		
Tercera tensión principal	-1121,92 KPa	-518,692 KPa
Desplazamiento	0 mm	0,323 μm
Tensión XX	-0,385 MPa	0,044 MPa
Tensión XY	-0,136 MPa	0,120 MPa
Tensión XZ	-0,279 MPa	0,277 MPa
Tensión YY	-0,385 MPa	0,025 MPa
Tensión YZ	-0,259 MPa	0,267 MPa
Tensión ZZ	-1,0154 MPa	-0,519 MPa
Desplazamiento X	-0,150 μm	0,016 μm
Desplazamiento Y	-0,015 μm	0,015 μm
Desplazamiento Z	-0,028 μm	0 mm

5.6. SELECCIÓN DE MATERIALES

La selección de materiales se lo realiza en base a la carga que va a soportar el material, por este motivo es importante seleccionar un material que tenga una resistencia adecuada.

$$FS = \frac{\sigma_{limit}}{\sigma_{VonMises}}$$

FS = Factor de Seguridad

σ_{limit} = limite de tensión, también se utiliza el limite elastico

$\sigma_{VonMises}$ = Esfuerzo maximo de Von Mises

FLEXIÓN:

Viga

$$FS = \frac{207 \text{ MPa}}{42,7694 \text{ MPa}} = 4.8$$

Placas Metálicas

$$FS = \frac{275,8 \text{ MPa}}{33,0229 \text{ MPa}} = 8.4$$

COMPRESIÓN:

Platos de Compresión

$$FS = \frac{250 \text{ MPa}}{0,423516 \text{ MPa}} = 590$$

CORTE:

Platos de Corte

$$FS = \frac{207 \text{ MPa}}{0,796088 \text{ MPa}} = 260$$

TRACCIÓN:

Mordazas de tracción

$$FS = \frac{207 \text{ MPa}}{166,102 \text{ MPa}} = 1.25$$

Brida

$$FS = \frac{207 \text{ MPa}}{203 \text{ MPa}} = 1.02$$

Eje Celda – Pinza de tracción

$$FS = \frac{207 \text{ MPa}}{18,75 \text{ MPa}} = 11.04$$

5.7. CONSTRUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS

COMPRESIÓN:

Discos de Compresión

- Corte con cizalla del eje:

Es la operación de corte del metal que se realiza mediante dos cuchillas, una fija y una móvil en una cizalla. En esta operación, una estrecha tira de metal deforma plásticamente con tanta intensidad que llega a romperse en las superficies en contacto con las cuchillas, la fractura inicial se propaga hacia el interior hasta producirse el corte completo.

- Refrentado de los discos de compresión:

Este proceso consiste en mecanizar una de las caras de la pieza cilíndrica para dejarla perfectamente plana. Esto se realiza moviendo la herramienta en dirección normal al eje de rotación de la pieza. Para poder efectuar esta operación, la herramienta se ha de colocar en un ángulo aproximado de 60° respecto al porta herramientas. De lo contrario, debido a la excesiva superficie de contacto la punta de la herramienta correrá el riesgo de sobrecalentarse.

- Ranurado frontal:

Consiste en mecanizar unas ranuras cilíndricas de anchura y profundidad variable en las piezas que se tornean, las cuales tienen muchas utilidades diferentes.

Al desbastar, el primer corte siempre se inicia sobre el diámetro mayor y trabaja hacia adentro. El primer corte ofrece control de viruta con poca rotura de la misma.

El segundo y tercer corte deben ser 0.5-0.8 x anchura de la plaquita. Ahora ya es aceptable la rotura de la viruta y se puede incrementar ligeramente el avance.

- Roscado exterior

El roscado consiste en la mecanización helicoidal interior (tuercas) y exterior (tornillos) sobre una superficie cilíndrica.

La superficie roscada es una superficie helicoidal, engendrada por un perfil determinado, cuyo plano contiene el eje y describe una trayectoria helicoidal cilíndrica alrededor de este eje.

FLEXIÓN:

Placas

- Oxicorte:

La técnica del oxicorte se presenta como un procedimiento auxiliar de la soldadura, mediante el cual se puede seccionar metales mediante su combustión local y continua en presencia de un chorro de oxígeno.

En condiciones normales, a temperatura ambiente, el acero en la atmósfera sufre un proceso de oxidación, que es lento y no combustible, dado que la proporción de oxígeno en la atmósfera se encuentra aproximadamente en un 20%. No obstante, si esta oxidación se realiza bajo una atmósfera de oxígeno (superior al 88%) y a temperatura que alcance la de combustión del acero (870 °C aprox.), ésta se hace combustible.

Por lo tanto, para que exista oxicorte al metal se le debe calentar (oxidar) bajo una atmósfera adecuada (proyección de oxígeno puro), con lo que se consigue su quemado violento, y por tanto, dará lugar al oxicorte.

El oxicorte tiene buena aplicación en aceros al carbono y aceros de baja aleación.

- Soldadura Mig Mag:

El proceso de soldadura por arco eléctrico con protección de gas, es un proceso en el cual el calor necesario es generado por un arco que se establece entre un electrodo consumible y el metal que se va a soldar.

El electrodo es un alambre macizo, desnudo, que se alimenta de forma continua automáticamente y se convierte en el metal depositado según se consume.

El electrodo, arco, metal fundido y zonas adyacentes del metal base, quedan protegidas de la contaminación de los gases atmosféricos mediante una corriente de gas que se aporta por la tobera de la pistola, concéntricamente al alambre/electrodo.

- Taladrado

Método para producir agujeros cilíndricos en una pieza con herramientas de arranque de viruta.

- Esmerilado

Es un proceso de remoción de material en el cual las partículas abrasiva se están contenidas en una rueda de esmeril aglutinado que opera a velocidades periféricas muy altas. Por lo general la rueda de esmeril tiene una forma de disco, balanceada con toda precisión para soportar altas velocidades de rotación.

TRACCIÓN:

Mordazas de Tracción

- Soldadura de Placas (filete)

El proceso de soldadura es aquel donde se realiza la unión de dos o más piezas de un material, por lo general metales, logrando la fusión en la cual las piezas son soldadas por la fusión de ambos metales, o metal base con metal de aporte, que al momento de enfriarse forman una junta fija.

La soldadura de filete se utiliza para unir placas creadas mediante unión de esquinas y placas sobrepuestas, la soldadura de filetes es la soldadura mas usada, esta trabaja a corte y la sección útil se denomina garganta.

- Articulación cilíndrica.

La articulación es la conexión entre dos elementos que permite que al menos uno de los elementos gire libremente. La articulación cilíndrica mediante un pasador en este caso un perno, elimina tres grados de libertad haciendo que su movimiento sea rotacional y se eliminen los movimientos de traslación.

CORTE:

- Corte con cizalla del eje (ver compresión)
- Refrentado de los discos(ver compresión)
- Corte con chorro de agua abrasivo:

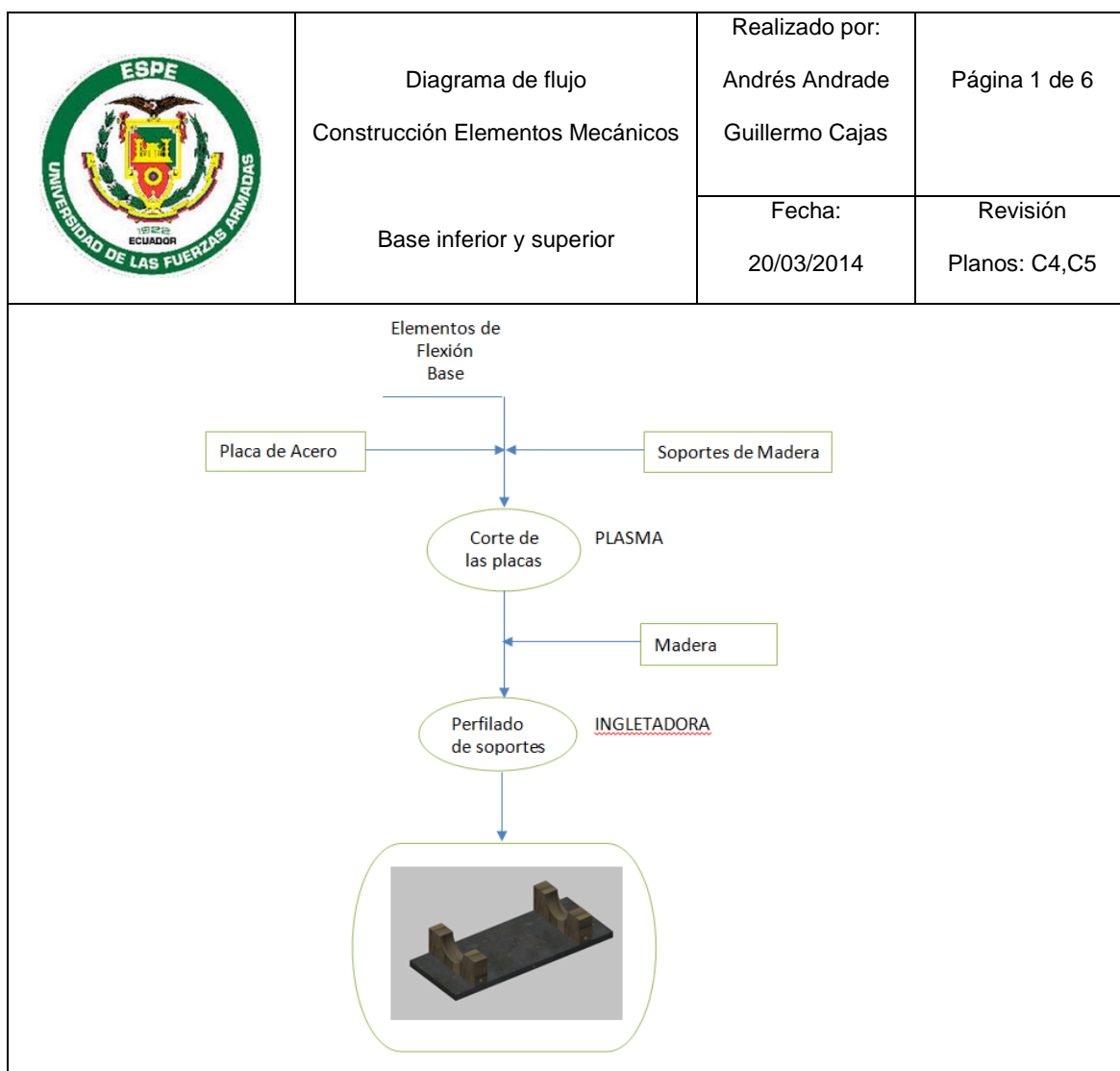
El corte por chorro de agua es un proceso en el cual se puede cortar cualquier material haciendo impactar al material con un chorro de agua a una gran presión, haciendo que este se perfora. Este proceso tiene un gran acabado superficial que depende del tiempo de impacto del agua con el material. Existen dos tipos de corte con chorro de agua que son: el corte con agua normal en el cual solo se aplica un chorro de agua pura y se utiliza en materiales blandos, y el corte con chorro de agua abrasiva, el cual se utiliza agua con abrasivo que erosiona el material el cual es utilizado en materiales duros como el acero. El corte por chorro de agua abrasivo, es cientos de veces más potente que el de agua pura.

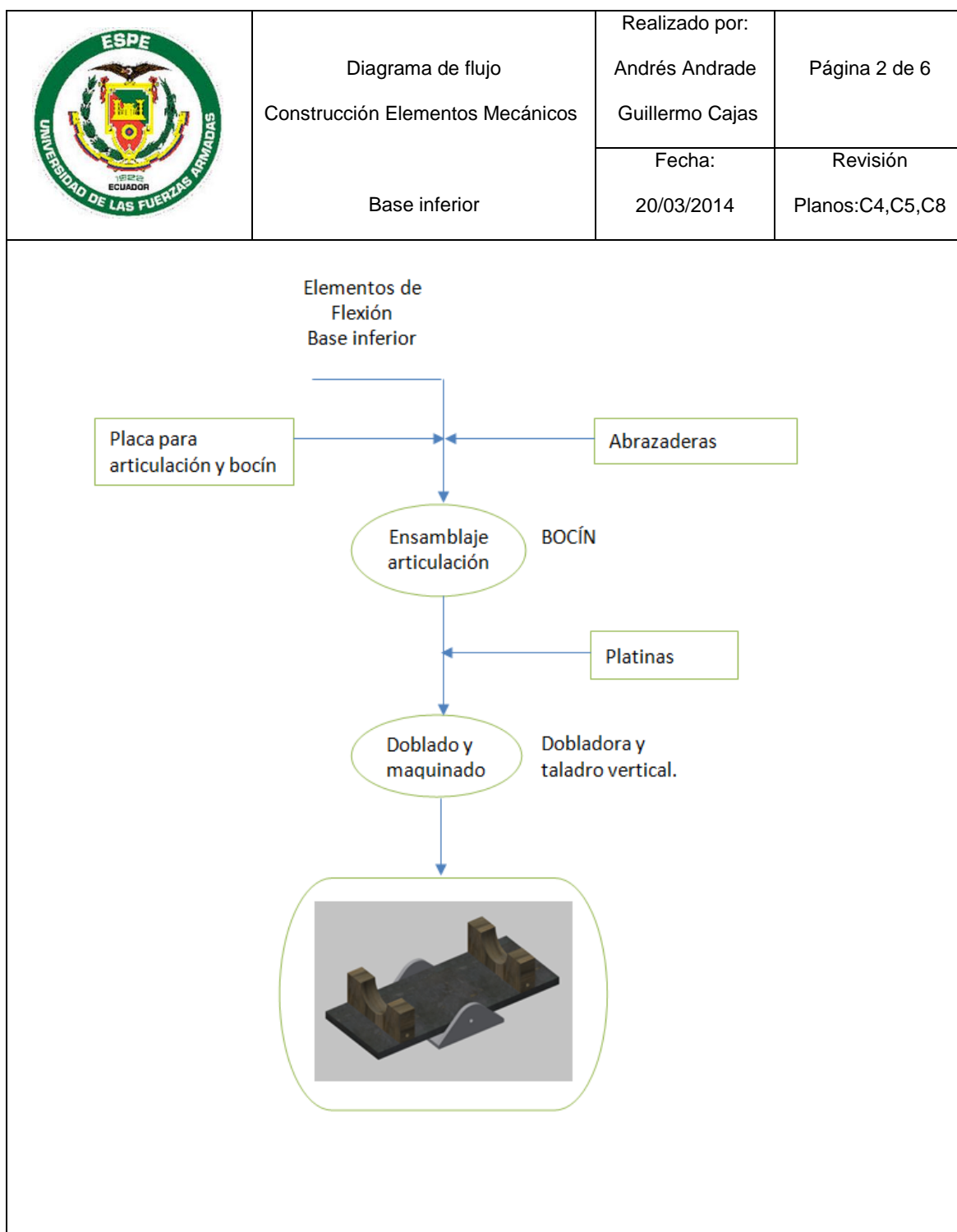
CAPÍTULO 6

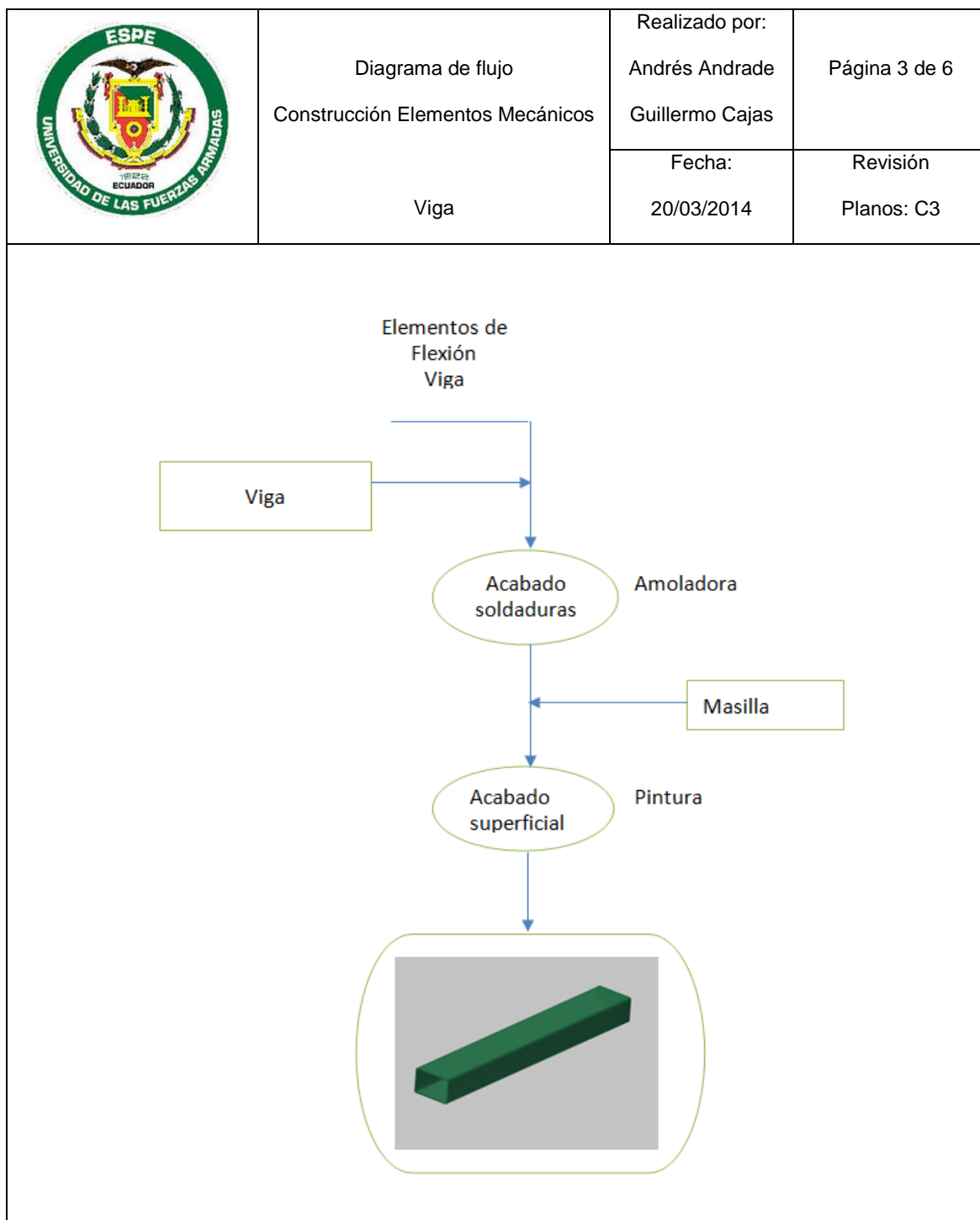
ENSAMBLAJE


6.1. ARMADO ELEMENTOS MECÁNICOS

6.1.1. DIAGRAMA DE CONSTRUCCIÓN

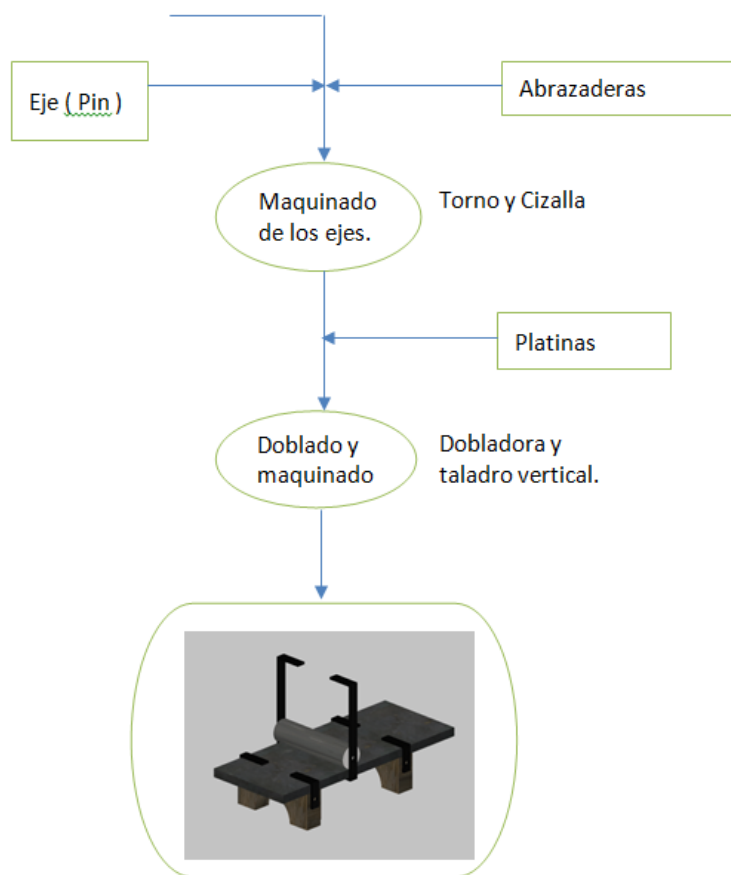


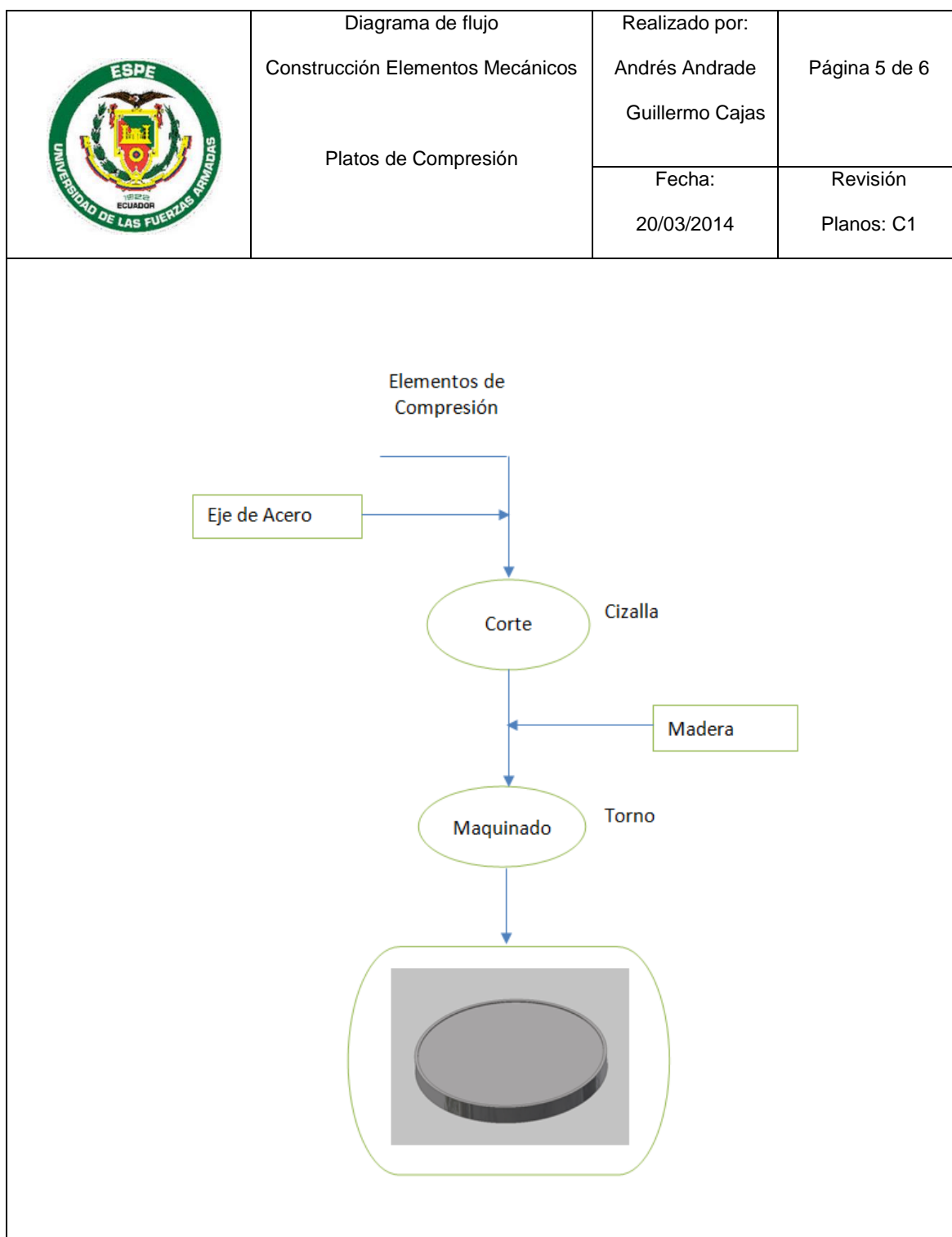


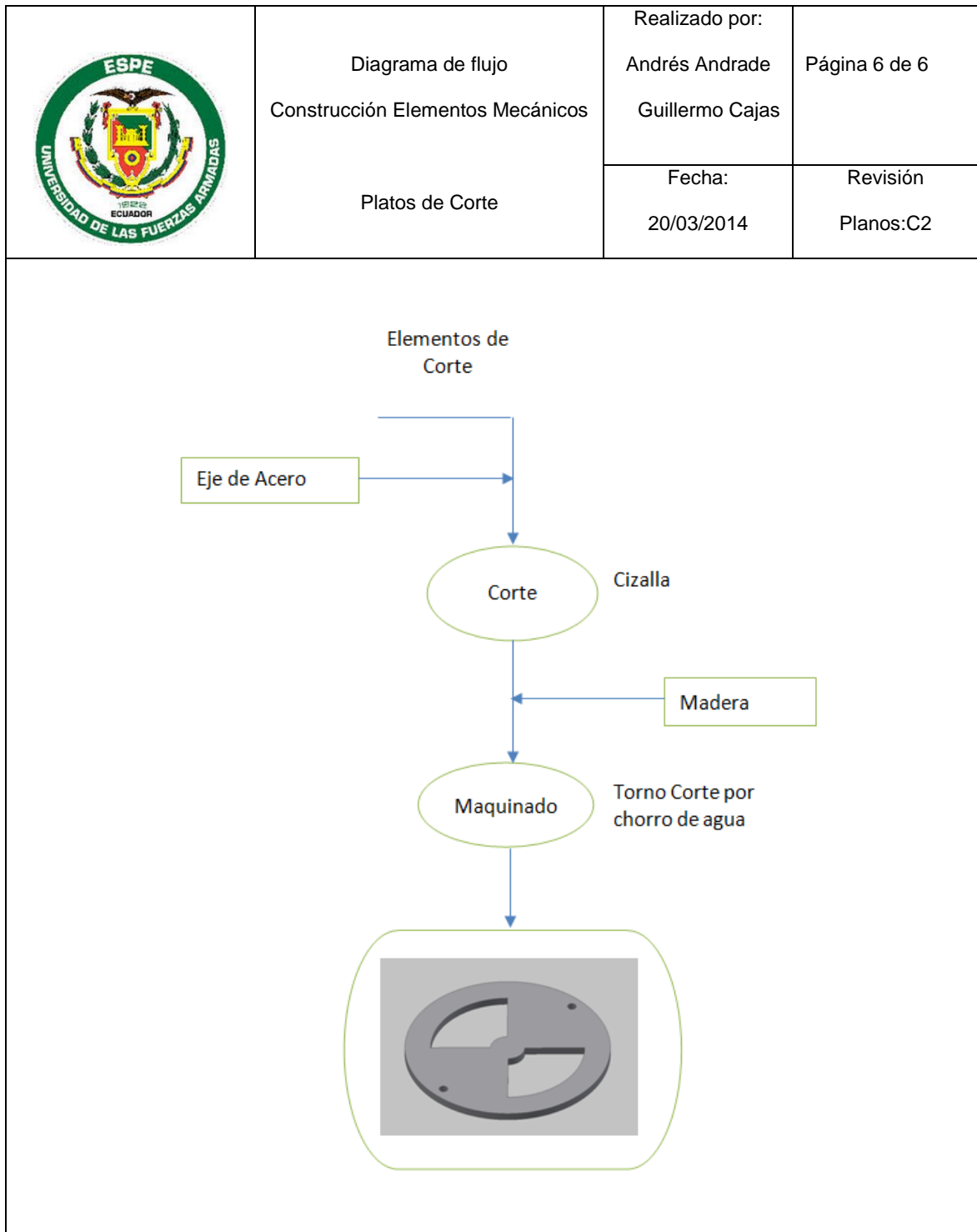


	Diagrama de flujo	Realizado por:	Página 4 de 6
	Construcción Elementos Mecánicos	Andrés Andrade Guillermo Cajas	
	Base superior	Fecha:	Revisión
		20/03/2014	Planos:C6,C7,C9

Elementos de Flexión
Base superior







6.2. ARMADO SISTEMA ELÉCTRICO

El armado del sistema eléctrico se lo realizara por medio de conexiones, que sea de una forma fácil y sencilla del tipo conectar y usar (plug and play), estas conexiones se los realizara mediante cable coaxial con conectores de 7 pines excepto en el caso del ER y de la celda de 500 KN MTS, los cuales serán adaptadas la salida de 5 pines, que viene de fábrica, a una de 7 pines para que sea la conexión compatible con el Datalogger RDP multicanal tipo 600. Ver Anexo I.

Las conexiones serán desde los instrumentos de medición hasta los respectivos canales de las tarjetas del Datalogger y de estos al computador por medio de cable coaxial a una salida USB la cual debe ser exclusivamente conectada en el puerto USB número 2 del computador. Ver anexo J

AISLAMIENTO DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS A LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.

Los instrumentos de medición deberán ser aisladas de corrientes eléctricas, magnéticas, y electromagnéticas externas de cualquier tipo, ya que pueden generar ruido y dar lecturas erróneas o falsas en los instrumentos de medición, por este motivo las máquinas deberán estar correctamente conectadas a tierra, caso contrario se debe aislar los mismos.

Aislamiento del banco de pruebas de flexión.- El aislamiento de la celda de carga de 100 KN al pórtico del equipo Vibróforo De Baja Frecuencia AMSLER se lo realizo cortando la continuidad eléctrica entre el actuador (pistón de 100 KN) con el pórtico, este procedimiento se lo ejecuto de la siguiente forma:

- Pintar base y pórtico.
- Colocar neopreno entre la base del pistón y el pórtico.
- Aislar pernos con arandelas de duralón y forrar con taípe negro el cuerpo del perno.

6.2.1. DIAGRAMA ELÉCTRICO

ANEXO C

6.3. ENSAMBLAJE POR SOLDADURA

La unión entre las abrazaderas grandes y las placas metálicas superiores fue soldada por el método de electrodo revestido, con un electrodo 7018. Se utilizó este electrodo para disminuir escoria y obtener un mejor acabado.

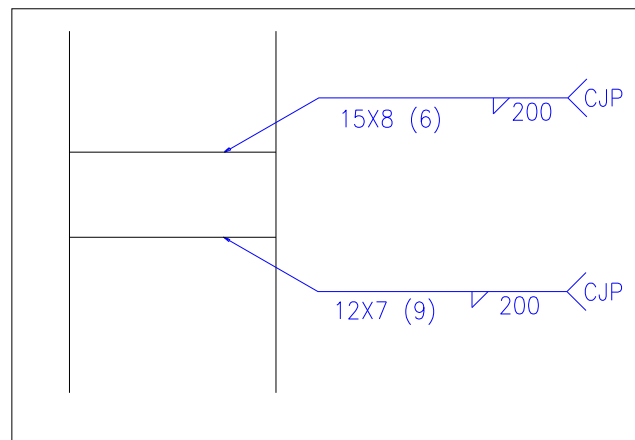


Gráfico No 27: Detalle Vista Superior Soldadura.

Fuente: Autores

6.4. ACABADOS

El nivel de los acabados es una parte muy importante en el proceso de diseño, ya que estos interactúan entre las relaciones cognitivas y emocionales de los usuarios con el producto.

El acabado en los aceros consta de una capa de limpia y uniforme, sobre este una capa de pintura de fondo y esta complementada con una capa de pintura antioxidante.

Este tratamiento fue repetido en los siguientes elementos:

- Viga principal
- Placas de soportes secundarios superiores
- Placas de soportes secundarios inferiores

La sección que va en contacto con la probeta es de madera para evitar el daño de esta última.

En los discos de Corte así como en los de Compresión se necesita un rectificado de la superficie que va en contacto con las probetas, por esta razón esta superficie no va con ninguna capa de pintura.

En los soportes de tracción únicamente aplicamos el acabado anteriormente mencionado, con pintura antioxidante, mientras que en su área de contacto con la probeta esta forrada de neopreno, por esta razón la no necesidad de otro acabado.

6.5. DIAGRAMAS DE ENSAMBLAJE

6.5.1. FLEXIÓN

ANEXO D

6.5.2. CORTE

ANEXO E

6.5.3. COMPRESIÓN

ANEXO F

6.5.4. TRACCIÓN

ANEXO G

CAPITULO 7

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

La adquisición de nuevos equipos para el centro de ensayos mecánicos, fundamental realizar una serie de pruebas de funcionamiento, para saber si los equipos se encuentran en buen estado y calibrados, ya que por motivos de manipulación, transportación, cambios climáticos, etc. Los instrumentos de medición pueden haber sufrido una descalibración, por lo tanto se es necesario realizar una serie de pruebas de calibración. Además los instrumentos no van a trabajar tal y como se presentan en fábrica sino que van acopladas a accesorios que van a estar unidos a los equipos de laboratorio que se encuentran dispuestos en el LMM.

La clasificación de instrumentos de medición que se van a utilizar, según el tipo de ensayo, son los siguientes:

FLEXIÓN:

Tabla 34: Instrumentos de medición para ensayo de flexión

EQUIPO	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES	FUNCIÓN
Vibróforo de Baja Frecuencia AMSLER 417u	ERs	1	Transductor de desplazamiento de que mide hasta 500mm	Medir el desplazamiento de la deflexión del bambú en el centro de la probeta
	LVDT	2	Transductor de desplazamiento, cautivo-guiado LVDT de +- 50mm(+2"), 0.5 % de linealidad	Medir el desplazamiento del bambú en los extremos
	CELDA DE CARGA 100 KN RDP	1	Celda de carga, rango 10000 kgf, trabaja a tensión y a compresión	Mide la fuerza aplicada sobre el bambú

COMPRESIÓN:**Tabla 35: instrumentos de medición para ensayo de compresión**

EQUIPO	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES	FUNCIÓN
Máquina Universal de Ensayos MTS	CELDA DE CARGA 500 KN MTS	1	Celda de carga, rango 50000 kgf, trabaja a tensión y a compresión	Mide la fuerza aplicada sobre el bambú
	LVDT	1	Transductor de desplazamiento, cautivo-guiado LVDT de +-50mm(+2"), 0.5 % de linealidad	Medir el desplazamiento del bambú

CORTE Y TRACCIÓN:**Tabla 36: instrumentos de medición para ensayo de corte y tracción**

EQUIPO	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES	FUNCIÓN
Máquina Universal de Ensayos MTS	CELDA DE CARGA 100 KN RDP	1	Celda de carga, rango 10000 kgf, trabaja a tensión y a compresión	Mide la fuerza aplicada sobre el bambú
	LVDT	1	Transductor de desplazamiento, cautivo-guiado LVDT de +-50mm(+2"), 0.5 % de linealidad	Medir el desplazamiento del bambú

7.1. CALIBRACIÓN

La calibración es un conjunto de acciones en el cual se relaciona valores, indicados por un instrumento de medida y los valores indicados por un objeto de referencia o patrón, para identificar y cuantificar variaciones, reportarlas o

eliminarlas mediante un ajuste. Los equipos a calibrarse deben apegarse a las condiciones de operación, conforme a los procedimientos y al manual de operación de los instrumentos.

La calibración y clasificación de los instrumentos de medida de fuerza objeto de este procedimiento puede ser realizada con fuerzas de referencia aplicadas en sentido de compresión o de tracción en función del diseño del referido instrumento. (CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA, 2014) .

7.1.1. CELDA DE CARGA

En la calibración de los instrumentos de medida de fuerza, como procedimiento consiste fundamentalmente, en aplicar al elemento fuerzas conocidas con exactitud y comparar con el elemento a calibrar, para ajustarlos a las medidas deseadas.



Gráfico No 28: celda de carga MTS de 50 del LMM

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA MTS DE 500 KN DEL LMM.

El procedimiento de calibración para compresión es:

1. Conectar la celda de carga al Datalogger.
2. Realizar precargas con valores conocidos o comprobados con una báscula de precisión.
3. Realizar precargas con valores de carga conocidos, con valores similares a los que va a trabajar el sensor (cada precarga debe aplicarse máximo en 2 minutos y las precargas deben realizarse con 3 minutos de separación).
4. Los valores registrados deberán ser comprobados y calcular el porcentaje de error.

CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA MTS DE 500 KN.

La calibración de la celda de carga MTS de 500 KN, se lo realizo aplicando una carga, a velocidad constante, a una celda de carga tipo botella calibrada (patrón de calibración) por medio del actuador del equipo MTS, para comparar y corregir la curva mostrada por la celda de carga MTS.

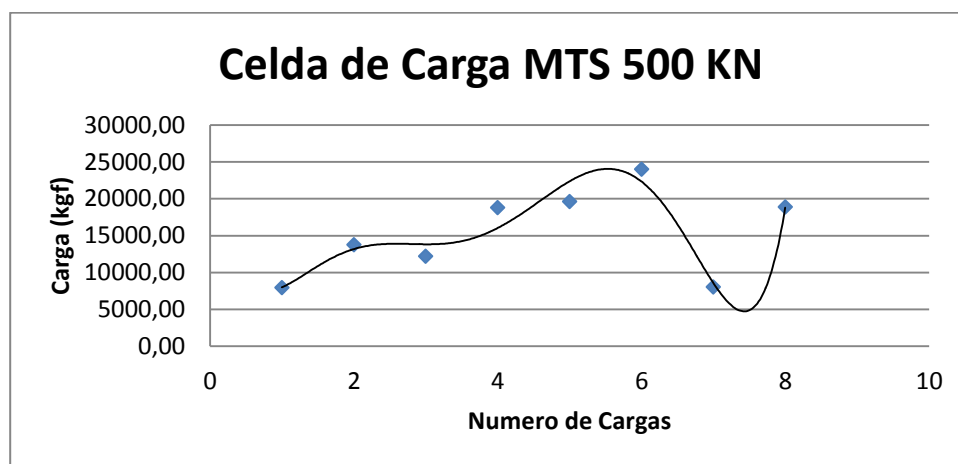


Gráfico No 29: Carga mostrada por la celda de carga MTS de 500 KN

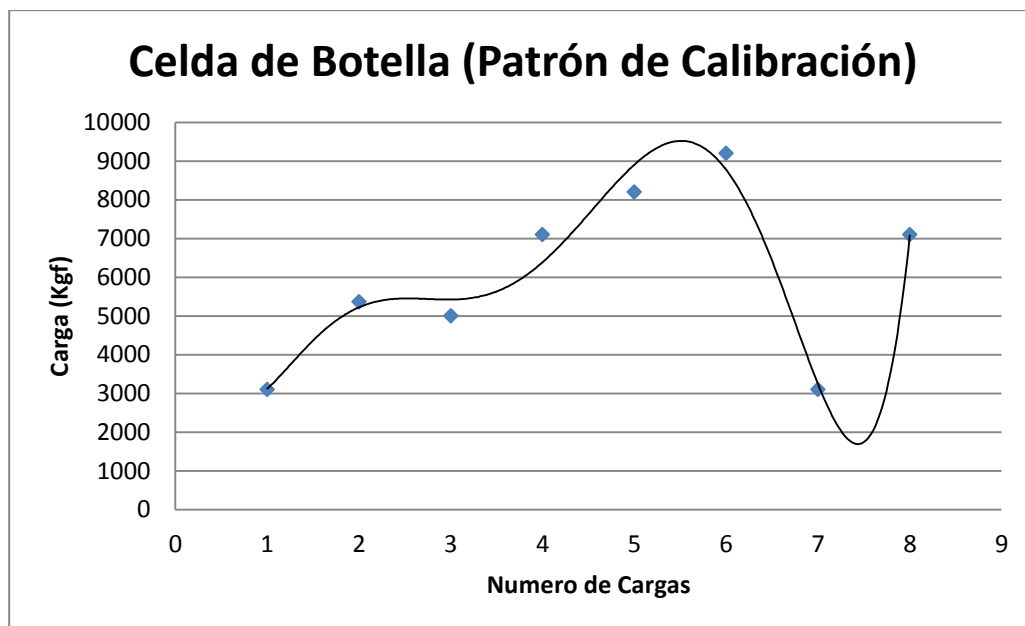


Gráfico No 30: Carga mostrada por la celda de carga tipo botella calibrada

Tabla 37: Factor de corrección de la curva para la celda de carga MTS

Celda tipo botella (kgf)	Celda MTS (kgf)	Factor de Corrección
3100,000	7930,93	2,558
5367,273	13725,05	2,557
5000,000	12178,69	2,435
7100,000	18779,25	2,645
8200,000	19617,56	2,392
9200,000	23981,78	2,607
3100,000	8019,17	2,587
7100,000	18865,45	2,657
Promedio		2,555

El factor de corrección de 2,55 es un multiplicador el cual se lo multiplica a los datos mostrados por el software del Datalogger, para que las lecturas sean en la unidad de kilogramos.

7.1.2. LVDT Y EL ER.

La calibración de los LVDT y ER se realiza comparando el LVDT y un comparador (transductor mecánico de desplazamiento, calibrado), El proceso de calibración se lo realiza midiendo simultáneamente el desplazamiento mostrado en el indicador y compararlos con los valores obtenidos en el transductor mecánico de movimiento.

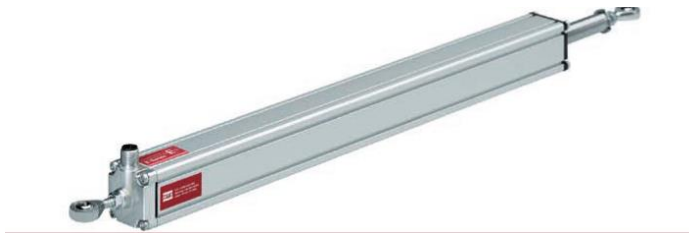


Gráfico No 31: transductor de desplazamiento modelo no ER-M-1000M-D34-1-V01 a utilizar en el laboratorio.

Fuente: (RDP, <http://www.rdpe.com/>, 2014)



Gráfico No 32: transductor de desplazamiento, cautivo-guiado LVDT modelo ACT2000C +-50mm a utilizar en el laboratorio.

Fuente: (RDP, <http://www.rdpe.com/>, 2014)

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO LVDT Y ER (RDP).

El procedimiento de calibración se lo realizara para los LVDT y el ER:

1. Conectar el transductor de desplazamiento al Datalogger.
2. Mover el núcleo del transductor para saber si trabaja adecuadamente.
3. Realizar al menos 3 mediciones con bloques patrón y comparar las medidas con el comparador de reloj del laboratorio.
4. Los valores registrados deberán ser comprobados y calcular el porcentaje de error.



Gráfico No 33: Comprobación del desplazamiento del transductor ER

7.1.3. HIGRÓMETRO

La calibración del higrómetro o sonda de humedad se lo realiza con un patrón que viene con el mismo higrómetro que es del material con el que se van a realizar las mediciones, pero para el caso en que se va a realizar la medición en un material distinto al patrón, en este caso bambú se deberá comprobar las mediciones del patrón de referencia con el cálculo matemático de la humedad basado en la masa del material húmedo y seco.



Gráfico No 34: Higrómetro, sonda medidor de humedad brookhuis modelo FMC, similar a utilizar en el laboratorio.

Fuente: (Brookhuis, 2014)

CONEXIÓN Y ARMADO.

- Instalar la batería
- Desenrosque la tuerca de la base giratoria del electrodo con la llave de tuercas que se suministra con el medidor



Gráfico No 35: Higrómetro desenrosque de tuerca

- Inserte la aguja de medición en la base giratoria



Gráfico No 36: Higrómetro aguja de medición

- Inserte la tuerca de la base giratoria en la aguja de medición y enrósquela firmemente



Gráfico No 37: Higrómetro base giratoria.

- Repita el paso anterior con la segunda aguja de medición



Gráfico No 38: Higrómetro agujas y bases giratoria.

- Fije la clavija para el cable de medición al conector del electrodo.
Asegúrese de que los salientes del conector encajan en la ranura de la clavija.



Gráfico No 39: Higrómetro cable al conector.

- Gire el alojamiento metálico de la clavija en el sentido de las agujas del reloj hasta que quede bloqueado en el conector, fije el otro extremo del cable de medición al FMC/E de la misma manera.



Gráfico No 40: Higrómetro cable al FMC/E

- Inserte las agujas de medición del electrodo en el material a medir clavándolas en el material. Sostenga el electrodo por la parte superior y en vertical sobre la madera



Gráfico No 41: Higrómetro introducción al bambú.

- El medidor está listo para su calibración.

CALIBRACIÓN DEL FMC/E

- Pulse la tecla menú
La pantalla indicará lo siguiente (Grafico No 42):



Gráfico No 42: FMC/E menú

- Pulse la tecla + o – para poner en cero el FMC/E
La pantalla indicará lo siguiente (Grafico No 43):



Gráfico No 43: FMC/E encerado.

- Pulse la tecla menú
- Ajuste la temperatura como se indica en la parte trasera de la resistencia patrón



Gráfico No 44: Patrón de calibración Higrómetro.



Gráfico No 45: FMC/E ajuste con patrón.

- Inserte las agujas de medición en las dos tomas de la resistencia patrón

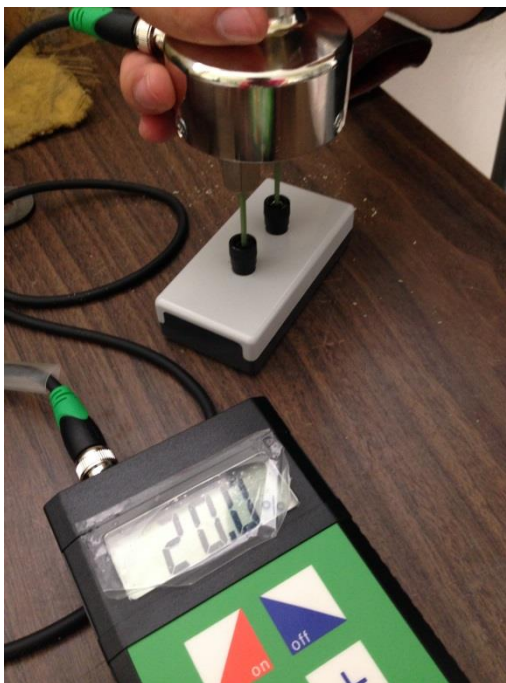


Gráfico No 46: Comprobación FMC/E con patrón.

- Cuando el valor indicado por el medidor se corresponde con el valor indicado en la resistencia patrón, el medidor esta calibrado correctamente.

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DEL HIGRÓMETRO PARA BAMBÚ.

El procedimiento de calibración de la sonda de humedad se realiza para ajustar el patrón de madera del higrómetro para que sea compatible con el bambú, el procedimiento de cálculo matemático para la humedad se lo realiza bajo la (Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007)

1. Revisar la temperatura del medio en donde se encuentra el laboratorio.
2. Las probetas para el ensayo de humedad, tienen que ser prismáticas de un tamaño de 25 cm de altura por 25 cm de anchura, y se deben identificar y rotular registrando los siguientes datos:
 - Nombre (botánico y local).
 - Nombre de la localidad.
 - Cantidad de rodales y culmos seleccionados.
 - Estado de madures del culmo.
 - Fecha y corte de despacho.
3. El día del ensayo de humedad, es necesario que el culmo sea de un día de lo más pronto posible a la cosecha (no más de dos semanas), y la probeta debe estar almacenada a la sombra, protegida del sol y la lluvia, almacenada en recipiente de vidrio tapado. Para las probetas que provienen de un ensayo deberá ser de un área cercana a la falla.
4. Las probetas se pesan en una balanza con una exactitud de 0.01g.
5. Después de pesadas las probetas se las ingresa al horno durante 24 horas luego de este tiempo se realiza mediciones a intervalos no inferiores a 2 horas de manera regular.
6. El secado deberá ser terminado cuando la diferencia entre la masa húmeda y seca no exceda el 0.01g.
7. El cálculo de contenido de humedad es realizado de la siguiente manera:

$$CH = \frac{m - m_o}{m_o} * 100$$

Dónde:

CH es el contenido de humedad.

m Es la masa antes del secado.

m_o Es la masa después del secado.

8. Se compara estos datos con los obtenidos del higrómetro.

7.1.4. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

El validar los resultados de los bancos de pruebas es fundamental para certificar los resultados obtenidos, este proceso de validación serán bajo parámetros enviados por Coventry University, los cuales consisten en aplicar diferentes tipos de carga en perfiles tubulares cuadrados de material sintético, los cuales ya han sido ensayados en dicha universidad.

El procedimiento consiste en aplicar carga a una viga simplemente apoyada en uno y dos puntos respectivamente, a dos tipos diferentes de vigas hasta un valor de carga previamente dado, este procedimiento se lo realiza solamente en el rango elástico de la viga.

Los instrumentos que se van a validar son los siguientes:

- Celda de Carga de 100 KN RDP.
- Medidor de desplazamiento ER.
- LVDT.

VIGA DE 50X50 (mm)



Gráfico No 47: Ensayo de flexión en un punto de carga a velocidad constante hasta una carga de 3500 N en viga de 50X50 (mm)

Tabla 38: Carga vs deformación para la viga 50X50 con carga en un punto de aplicación

N°	CELDA DE CARGA DE 100 KN RDP, CARGA (N)	ER DEFORMACIÓN (mm)	LVDT DEFORMACIÓN (mm)
1	161	0,00	0,085
2	221	0,02	0,082
3	272	0,02	0,120
4	332	0,05	0,162
6	448	0,15	0,252
7	496	0,28	0,379
8	568	0,37	0,421
9	661	0,50	0,438
10	720	0,60	0,449
12	882	0,86	0,504
13	975	1,01	0,542
14	1067	1,16	0,572
15	1154	1,32	0,563
16	1262	1,48	0,590
17	1366	1,61	0,596
18	1474	1,73	0,578
19	1597	1,93	0,592
20	1693	2,10	0,609
22	1935	2,51	0,606
23	2051	2,77	0,616
24	2180	2,97	0,615
25	2300	3,20	0,606
26	2428	3,44	0,609
27	2533	3,67	0,610
28	2644	3,99	0,625
29	2766	4,24	0,630
30	2901	4,54	0,645
31	3077	4,83	0,642
32	3254	5,12	0,648
33	3412	5,40	0,654
34	3571	5,74	0,656

El valor marcado, es el valor de desplazamiento más cercano a la carga deseada, el cual para este ensayo es de 5,74mm.

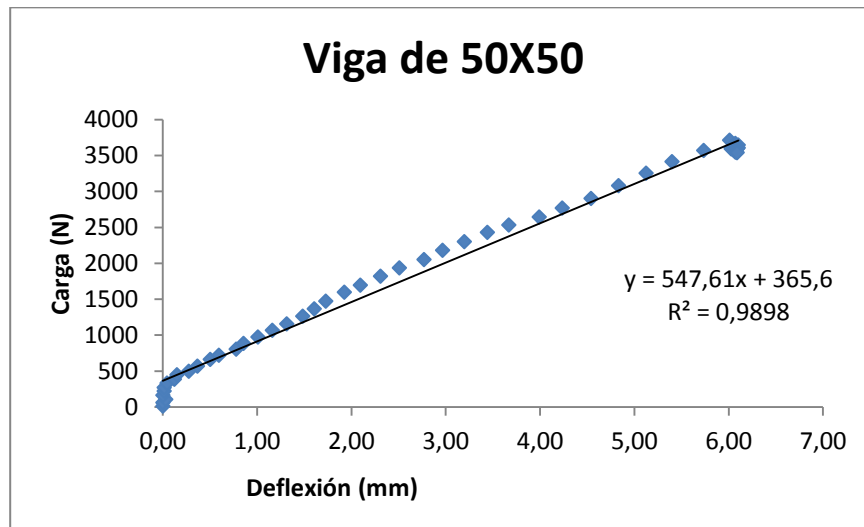


Gráfico No 48: Curva característica de ensayo de flexión en viga de 50X50, carga aplicada en un punto.



Gráfico No 49: Ensayo de flexión en dos puntos de carga a velocidad constante, hasta una carga de 7000 N en viga de 50X50 (mm)

Tabla 39: Carga vs deformación para la viga 50X50 con carga en dos puntos de aplicación

N°	CELDA DE CARGA DE 100 KN RDP, CARGA (N)	ER DEFORMACIÓN (mm)	LVDT DEFORMACIÓN (mm)
1	119	0,00	0,000
2	194	0,09	0,004
3	275	0,21	0,014
4	257	0,23	0,003
5	305	0,34	0,047
6	314	0,43	0,042
7	400	0,52	0,065
8	421	0,55	0,059
9	460	0,66	0,067
10	484	0,75	0,094
11	553	0,84	0,085
12	583	0,92	0,117
13	640	1,06	0,098
14	714	1,12	0,130
15	828	1,24	0,124
17	981	1,58	0,146
18	1109	1,68	0,158
19	1250	1,80	0,178
20	1372	1,94	0,193
21	1501	2,17	0,196
22	1645	2,29	0,197
23	1761	2,45	0,217
24	1881	2,51	0,231
25	1968	2,68	0,229
26	2108	2,89	0,231
27	2240	2,92	0,240
28	2336	3,09	0,263
29	2422	3,09	0,278
30	2533	3,27	0,257
31	2656	3,35	0,271

CONTINÚA →

32	2730	3,46	0,289
33	2913	3,56	0,280
34	3200	3,87	0,316
35	3616	4,22	0,333
36	4062	4,70	0,342
37	4537	5,09	0,389
38	5049	5,48	0,377
39	5402	5,87	0,382
40	5435	5,93	0,408
41	5509	5,98	0,382
42	5563	6,06	0,409
43	5635	6,07	0,395
44	5731	6,15	0,414
45	5808	6,24	0,408
46	5880	6,29	0,408
47	5958	6,36	0,397
48	6084	6,49	0,397
49	6164	6,61	0,400
50	6209	6,64	0,412
51	6284	6,61	0,405
52	6401	6,73	0,408
53	6437	6,79	0,424
54	6574	6,91	0,409
55	6595	6,97	0,433
56	6685	6,97	0,420
57	6763	7,07	0,438
58	6837	7,11	0,409
59	6897	7,23	0,441
60	7014	7,33	0,444

El valor marcado, es el valor de desplazamiento más cercano a la carga deseada, el cual para este ensayo es de 7,33 mm.

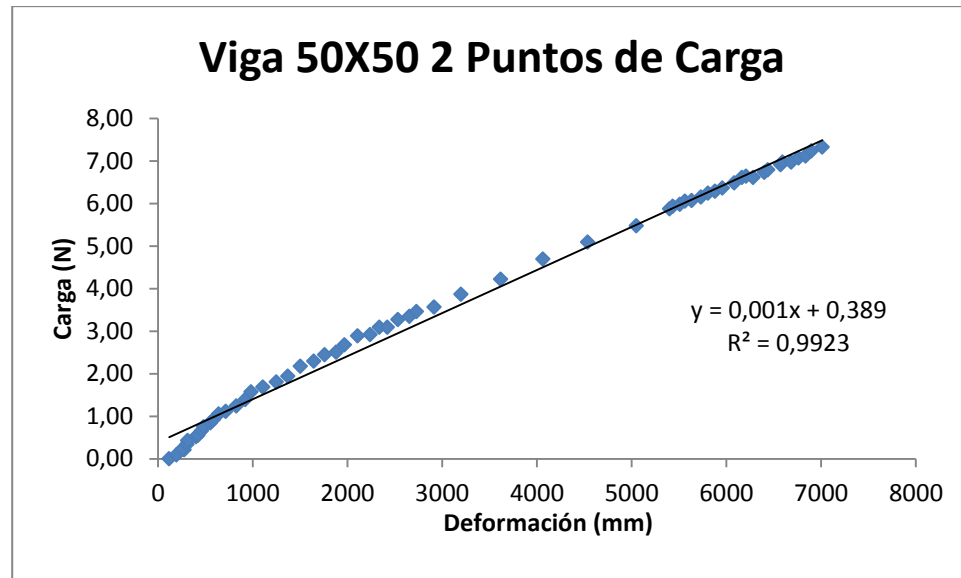


Gráfico No 50: Curva característica de ensayo de flexión en viga de 50X50, carga aplicada en dos puntos.

VIGA DE 25X25 (mm)



Gráfico No 51: Ensayo de flexión en dos puntos de carga a velocidad constante, hasta a una carga de 2000 N en viga de 25X25 (mm)

Tabla 40: Carga vs deformación para la viga 25X25 con carga en un punto de aplicación

N°	CELDA DE CARGA DE 100 KN RDP, CARGA (N)	ER DEFORMACIÓN (mm)
1	77	0,14
2	62	0,29
3	179	0,63
4	152	0,80
5	200	1,25
6	218	1,44
7	254	1,99
8	296	2,34
9	311	2,49
10	332	3,00
11	355	3,36
12	391	3,64
13	454	4,16
14	445	4,39
15	433	4,76
16	517	5,17
17	535	5,54
18	556	5,87
19	592	6,30
20	604	6,75
21	652	7,14
22	664	7,54
23	708	7,86
24	765	8,27
25	765	8,86
26	795	9,24
27	885	9,73
28	915	10,09
29	957	10,49
30	993	10,92

CONTINÚA →

31	1052	11,39
32	1073	11,81
33	1106	12,24
34	1163	12,60
35	1220	13,03
36	1259	13,43
37	1286	13,83
38	1366	14,30
39	1408	14,58
40	1402	14,93
41	1429	15,22
42	1462	15,48
43	1516	15,80
44	1546	15,98
45	1522	16,07
46	1534	16,26
47	1552	16,38
48	1564	16,56
49	1582	16,67
50	1618	16,79
51	1651	17,22
52	1702	17,67
53	1776	18,20
54	1806	18,64
55	1851	18,90
56	1857	19,21
57	1887	19,56
58	1932	19,84
59	1971	20,13
60	2001	20,40

El valor marcado, es el valor de desplazamiento más cercano a la carga deseada, el cual para este ensayo es de 20,40 mm, el LVDT mostraba valores menores a 0,1 mm los cuales no fueron tomados en cuenta.

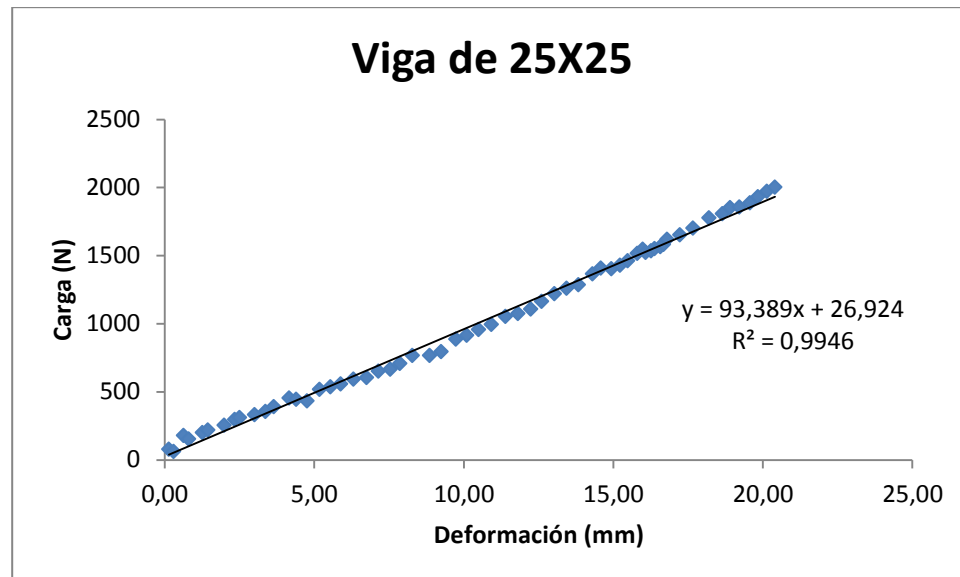


Gráfico No 52: Curva característica de ensayo de flexión en viga de 25X25, carga aplicada en un punto.



Gráfico No 53: Ensayo de flexión en dos punto de carga a velocidad constante, hasta a una carga de 3000 N en viga de 25X25 (mm)

Tabla 41: Carga vs deformación para la viga 25X25 con carga en dos puntos de aplicación

Ordinal	CELDA DE CARGA DE 100 KN RDP, CARGA (N)	ER DEFORMACIÓN (mm)	LVDT DEFORMACIÓN (mm)
1	20	0,47	0,082
2	23	0,87	0,102
3	26	1,21	0,129
4	29	1,50	0,129
5	65	1,80	0,138
6	74	2,29	0,161
7	101	2,60	0,147
9	170	3,35	0,167
10	203	3,79	0,178
11	278	4,22	0,187
12	329	4,68	0,214
13	299	5,09	0,213
14	427	5,54	0,229
16	478	6,35	0,220
17	523	6,87	0,234
18	565	7,25	0,249
19	595	7,71	0,245
20	640	8,17	0,260
21	702	8,73	0,239
22	738	9,15	0,251
24	786	10,05	0,236
25	831	10,57	0,243
26	930	11,18	0,216
27	936	11,55	0,202
28	945	12,04	0,190
29	1002	12,57	0,187
30	1088	13,08	0,205
31	1145	13,58	0,164

CONTINÚA →

32	1256	14,56	0,152
33	1331	15,07	0,130
34	1408	15,60	0,105
35	1453	16,07	0,114
36	1486	16,63	0,083
37	1612	17,13	0,054
38	1648	17,67	0,053
39	1713	18,14	0,033
40	1803	18,68	0,024
41	1806	19,15	-0,001
42	1863	19,58	0,001
43	1899	19,85	-0,004
44	1941	20,17	-0,018
45	1986	20,50	-0,003
46	1995	20,63	-0,033
47	2016	20,80	-0,030
48	2040	20,97	-0,033
49	2057	21,17	-0,030
50	2084	21,37	-0,033
51	2129	21,84	-0,035
52	2201	22,38	-0,070
53	2273	23,06	-0,103
54	2422	23,98	-0,120
55	2551	24,88	-0,185
56	2608	25,19	-0,199
57	2641	25,73	-0,200
58	2730	26,28	-0,223
59	2808	26,95	-0,296
60	2913	27,52	-0,330
61	3009	28,20	-0,336
62	3086	28,92	-0,351

El valor marcado, es el valor de desplazamiento más cercano a la carga deseada, el cual para este ensayo es de 28,20 mm.

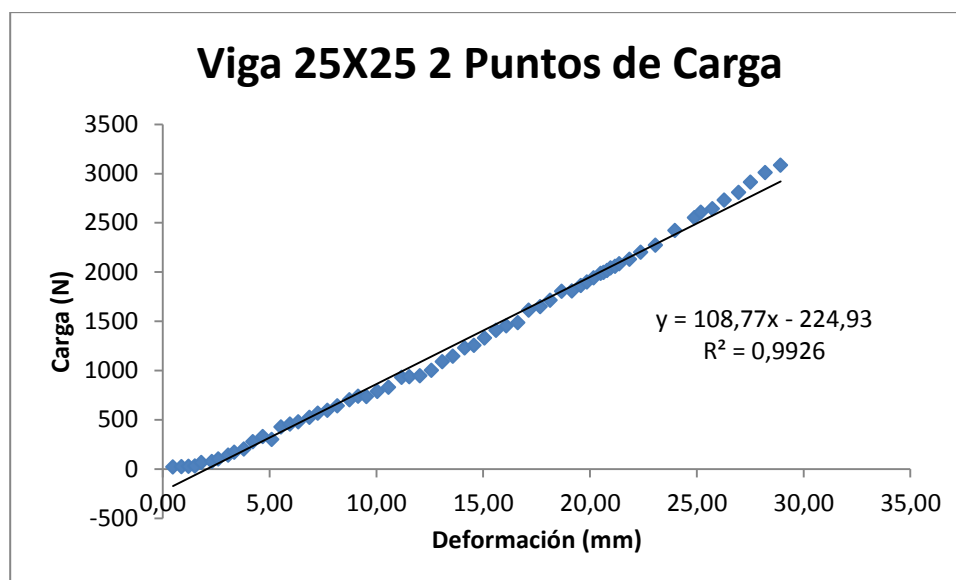


Gráfico No 54: Curva característica de ensayo de flexión en viga de 25X25, carga aplicada en dos puntos.

RESULTADOS:

Tabla 42: Resultados carga máxima deflexión máxima de probetas para validación

Tipo de Ensayo	Carga (N)	Deformación (mm)
Viga de 50X50 un punto de aplicación	3571	5,735
Viga de 50X50 dos puntos de aplicación	7014	7,33
Viga de 25X25 un punto de aplicación	2001	20,40
Viga de 25X25 dos puntos de aplicación	3009	28,20

CAPITULO 8

PRUEBAS PILOTO

8.1. FLEXIÓN

8.1.1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Determinación de la capacidad de flexión de los culmos usando un ensayo de flexión de cuatro puntos.

8.1.2. EQUIPO

Los ensayos se realizan en la Máquina Vibróforo de baja frecuencia AMSLER 417u, la cual aplica la fuerza mediante el actuador (pistón de 100 KN) que se encuentra sostenido en el pórtico del LMM.

El actuador tiene que aplicar una carga en dos puntos, la cual los proporciona una viga con apoyos de madera, que se puedan ajustar la medida según el tamaño de la probeta (ejemplo para un diámetro de 10 mm la distancia entre apoyos es de 1 m) y unos soportes a los extremos, los cuales tienen una articulación la cual permita girar la probeta mientras se aplica la carga.

8.1.3. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Las probetas para el ensayo, son culmos los cuales deben tener una longitud no menos de $30 D$, donde D es el diámetro exterior más una longitud extra que garantice al menos un entrenudo después del apoyo en cada extremo.

Las probetas se requieren que estén sin defectos visibles.

8.1.4. PROCEDIMIENTO

El procedimiento de ensayo de flexión se lo realiza tanto en probetas verdes y secas.

1. Conectar los instrumentos celda de carga, LVDTs y ER con el Datalogger en sus tarjetas respectivas, y este a su vez con la computadora.
 - Canal 1A LVDT, mide desplazamiento derecho.
 - Canal 3A Celda de carga de 100 KN, para medir la carga proporcionada por el actuador.
 - Canal 1B LVDT, mide el desplazamiento izquierdo.
 - Canal 2B ER, mide desplazamiento central.
2. Determinar el valor medio del diámetro externo D y del espesor de la pared t para calcular el momento de inercia:

$$I_B = \frac{\pi}{64} * [D^4 - (D - 2t)^4]$$

Este valor de I_B se usa para predecir el comportamiento durante el ensayo.

(Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007)

3. Colocar el culmo en posición mostrada en el gráfico No 43 permitiendo que este se acomode libremente y ajustar visualmente la posición de los soportes y apoyos.

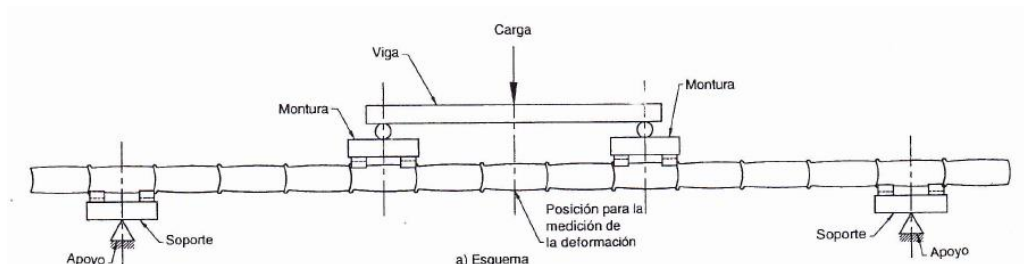


Gráfico No 55: Esquema de ensayo de flexión.

Autores: (Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007).

4. Una vez colocado el culmo posicionar los transductores de desplazamiento LVDT y ER.
5. Encender la bomba del Vibróforo de baja frecuencia con el botón 616.
6. Aplicar carga con la válvula 631, tratando que sea de una velocidad constante no mayor de $0.5 \frac{mm}{s}$, y ser determinada a una exactitud de 1% de la escala utilizada.
7. Determinar la deflexión frente a la carga.
8. Después del ensayo determine nuevamente el diámetro externo D y el espesor de la pared t.
9. Calcular nuevamente el valor de la inercia como indica la ecuación del numeral 8.1.4 literal 2.
10. Registrar los valores de carga máxima a la cual falla la probeta de manera manual como indica ANEXO H y guardar los datos almacenados en Excel.
11. Descargar el pistón con la válvula 641 para que regrese a su posición inicial.

8.1.5. CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Aplicando las fórmulas del numeral 3.3:

$$\sigma_{ult} = F * L * \frac{D}{6} * I_B$$

ENSAYO DE FLEXIÓN



Gráfico No 56: Ensayo de flexión en bambú en el LMM.

Dimensiones de la probeta:

Tabla 43: Dimensiones de probeta para flexión

	Dimensiones (mm)				Promedio (mm)
	Diámetro Medio	100,1	100,4		
Espesor Superior	14,7	14	14,4	13,1	14,05
Espesor Inferior	11	12,1	13,2	11,1	11,85
Longitud entre apoyos (30XDprom)				3007,5	
Longitud total				3407,5	

Espesor Medio:

$$t = \frac{14,05 + 11,85}{2}$$

$$t = 12,95 \text{ mm}$$

Cálculo de inercia:

$$I_B = \frac{\pi}{64} * [D^4 - (D - 2t)^4]$$

$$I_B = \frac{\pi}{64} * [100,25^4 - (100,25 - 212,95)^4]$$

$$I_B = 3,4580 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Determinación Carga vs Deformación:

Tabla 44: Carga vs Deformación en ensayo de flexión

N°	Desplazamiento izquierdo (mm)	Desplazamiento derecho (mm)	Carga (N)	Deflexión (mm)	N°	Desplazamiento izquierdo (mm)	Desplazamiento derecho (mm)	Carga (N)	Deflexión (mm)
1	0,012	0,008	113	0,50	116	0,42	0,555	3143	40,103
2	0,015	0,010	116	1,04	117	0,426	0,560	3113	40,256
3	0,015	0,000	131	1,28	118	0,437	0,566	3143	40,454
4	0,001	0,004	146	1,56	119	0,432	0,571	3218	40,714
5	0,000	0,050	194	2,05	120	0,462	0,577	3200	40,974
6	0,013	0,017	200	2,28	121	0,461	0,582	3230	41,127
7	0,027	0,034	290	2,62	122	0,467	0,588	3221	41,357
8	0,004	0,008	248	3,04	123	0,458	0,593	3269	41,602
9	0,004	0,010	320	3,44	124	0,443	0,599	3200	41,8
10	0,012	0,062	308	3,73	125	0,458	0,604	3377	42,076
11	0,003	0,060	379	4,08	126	0,45	0,610	3290	42,336
12	0,010	0,074	326	4,50	127	0,473	0,615	3395	42,687
13	0,001	0,056	406	4,85	128	0,479	0,621	3353	42,84
14	0,018	0,064	445	5,35	129	0,481	0,626	3365	43,131
15	0,003	0,090	475	5,69	130	0,484	0,632	3317	43,36
16	0,016	0,083	496	6,09	131	0,475	0,637	3481	43,636
17	0,012	0,004	520	6,56	132	0,499	0,643	3430	43,865
18	0,006	0,050	559	7,05	133	0,502	0,648	3442	44,186
19	0,019	0,017	589	7,45	134	0,49	0,654	3535	44,477
20	0,006	0,034	634	7,95	135	0,51	0,659	3532	44,768
21	0,010	0,045	649	8,27	136	0,5	0,665	3589	45,043
22	0,006	0,056	690	8,78	137	0,528	0,670	3580	45,15
23	0,001	0,076	723	9,22	138	0,532	0,676	3544	45,578
24	0,016	0,064	783	9,70	139	0,519	0,681	3604	45,838
25	0,007	0,056	804	10,13	140	0,548	0,687	3592	46,006
26	0,021	0,075	807	10,66	141	0,54	0,692	3583	46,236
27	0,021	0,076	927	11,23	142	0,561	0,698	3607	46,343
28	0,004	0,082	897	11,64	143	0,545	0,703	3646	46,603
29	0,030	0,087	990	12,14	144	0,589	0,709	3634	46,741
30	0,021	0,093	978	12,60	145	0,575	0,714	3730	49,02
31	0,016	0,098	1005	13,05	146	0,595	0,720	3715	47,169
32	0,025	0,104	1061	13,46	147	0,577	0,725	3768	47,475
33	0,021	0,109	1085	13,87	148	0,609	0,731	3753	47,719
34	0,053	0,115	1118	14,33	149	0,615	0,736	3748	47,888
35	0,044	0,120	1148	14,79	150	0,615	0,742	3724	48,148
36	0,062	0,126	1214	15,23	151	0,624	0,747	3753	48,316
37	0,039	0,131	1232	15,65	152	0,598	0,753	3819	48,347
38	0,048	0,137	1268	16,12	153	0,604	0,758	3753	48,301
39	0,039	0,142	1304	16,55	154	0,593	0,764	3828	48,469
40	0,065	0,148	1334	17,01	155	0,61	0,769	3742	48,484

CONTINÚA →

41	0,048	0,153	1378	17,50	156	0,627	0,775	3861	48,622
42	0,066	0,159	1417	18,03	157	0,631	0,780	3768	48,744
43	0,059	0,164	1447	18,51	158	0,616	0,786	3873	48,836
44	0,083	0,170	1483	18,95	159	0,631	0,791	3774	48,943
45	0,071	0,175	1513	19,46	160	0,633	0,797	3885	49,02
46	0,092	0,181	1606	19,98	161	0,612	0,802	3783	49,081
47	0,105	0,186	1600	20,45	162	0,627	0,808	3888	49,249
48	0,089	0,192	1666	20,94	163	0,633	0,813	3819	49,264
49	0,102	0,197	1639	21,43	164	0,633	0,819	3897	49,417
50	0,120	0,203	1731	21,92	165	0,615	0,824	3810	49,448
51	0,108	0,208	1713	22,41	166	0,63	0,830	3888	49,585
53	0,141	0,219	1857	23,45	168	0,631	0,841	3924	49,8
54	0,138	0,225	1890	23,97	169	0,634	0,846	3930	49,83
55	0,143	0,230	1929	24,47	170	0,642	0,852	3921	49,891
56	0,173	0,236	1947	25,02	171	0,625	0,857	3855	49,998
57	0,153	0,241	2016	25,62	172	0,653	0,863	3954	50,075
58	0,167	0,247	2040	26,03	173	0,633	0,868	3867	50,182
59	0,179	0,252	2111	26,64	174	0,644	0,874	3957	50,258
60	0,188	0,258	2114	27,09	175	0,663	0,879	3879	50,304
61	0,223	0,263	2213	27,67	176	0,654	0,885	3969	50,427
62	0,226	0,269	2180	28,14	177	0,665	0,890	3906	50,518
63	0,239	0,274	2270	28,69	178	0,662	0,896	3969	50,595
65	0,251	0,280	2303	29,49	179	0,673	0,901	3975	50,656
67	0,266	0,291	2378	30,50	181	0,673	0,912	3909	50,886
68	0,260	0,296	2413	31,00	182	0,676	0,918	4014	50,947
69	0,292	0,302	2449	31,43	183	0,669	0,923	4130	53,409
70	0,299	0,307	2533	31,92	184	0,723	0,929	4077	52,017
71	0,321	0,313	2506	32,38	185	0,729	0,934	4050	52,859
72	0,318	0,318	2599	32,76	186	0,717	0,940	4145	53,47
73	0,309	0,324	2575	33,08	187	0,735	0,945	4115	53,776
74	0,312	0,329	2641	33,34	188	0,738	0,951	4175	54,097
75	0,327	0,335	2611	33,43	189	0,761	0,956	4130	54,327
76	0,321	0,340	2662	33,71	190	0,782	0,962	4220	54,679
77	0,330	0,346	2647	33,79	191	0,764	0,967	4169	54,985
78	0,325	0,351	2689	33,89	192	0,788	0,973	4277	55,535
79	0,328	0,357	2608	33,95	193	0,811	0,978	4241	55,979
80	0,341	0,362	2647	34,03	194	0,813	0,984	4349	56,453
81	0,347	0,368	2665	34,05	195	0,816	0,989	4316	57,003
82	0,330	0,373	2659	34,26	196	0,823	0,995	4471	57,523
84	0,334	0,384	2692	34,37	198	0,88	1,006	4582	58,686
85	0,356	0,390	2695	34,43	199	0,906	1,011	4594	59,435
86	0,345	0,395	2710	34,58	200	0,933	1,017	4723	60,659
88	0,330	0,406	2710	34,70	202	1,011	1,028	4854	62,785
89	0,347	0,412	2683	34,75	203	1,05	1,033	4824	63,733
90	0,363	0,417	2745	34,90	204	1,078	1,039	4974	64,957
91	0,351	0,423	2733	34,98	205	1,119	1,044	5055	66,089
92	0,366	0,428	2775	35,15	206	1,149	1,050	5150	67,006
93	0,339	0,434	2710	35,18	207	1,213	1,055	5207	68,352
94	0,357	0,439	2781	35,35	208	1,251	1,061	5216	69,561
95	0,374	0,445	2760	35,42	209	1,291	1,066	5270	70,601
96	0,357	0,450	2805	35,65	210	1,314	1,072	5384	71,472
97	0,365	0,456	2838	35,85	211	1,359	1,077	5375	72,054
98	0,356	0,461	2796	36,00	212	1,373	1,083	5348	72,405
99	0,376	0,467	2844	36,19	213	1,368	1,088	5372	72,864
100	0,386	0,472	2886	36,46	214	1,373	1,094	5393	73,155

CONTINÚA →

101	0,391	0,478	2862	36,68	215	1,414	1,099	5417	73,568
102	0,392	0,483	2892	36,89	216	1,422	1,105	5381	73,889
103	0,382	0,489	2874	37,06	217	1,44	1,110	5515	74,256
104	0,391	0,494	2922	37,35	218	1,464	1,116	5396	74,623
105	0,409	0,500	2964	37,56	219	1,461	1,121	5494	74,944
106	0,411	0,505	2976	37,70	220	1,486	1,127	5515	75,311
107	0,409	0,511	3015	38,15	221	1,496	1,132	5548	75,755
108	0,397	0,516	2994	38,48	222	1,496	1,138	5557	76,137
109	0,414	0,522	3042	38,74	223	1,53	1,143	5566	76,55
110	0,418	0,527	3018	38,97	224	1,547	1,149	5626	77,086
111	0,427	0,533	3077	39,19	225	1,557	1,154	5638	77,713
112	0,417	0,538	3086	39,46	226	1,579	1,160	5713	78,34
113	0,412	0,544	3086	39,64	227	1,582	1,165	5728	79,166
114	0,426	0,549	3119	39,84	228	2,284	1,171	658	93,405
115	0,420	0,555	3143	40,10	229	2,294	1,176	750	93,512

Curva característica de flexión:

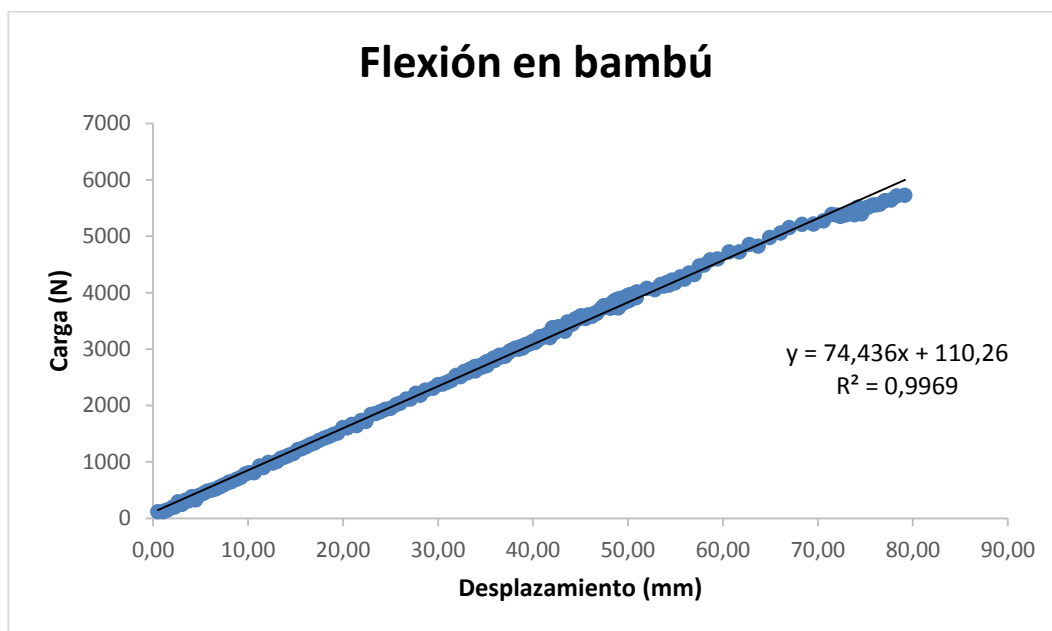


Gráfico No 57: Curva característica de ensayo de flexión en bambú.

Dimensiones después de ensayo

Tabla 44: Dimensiones de probeta para flexión

	Dimensiones (mm)				Promedio (mm)
Diámetro Medio	124,1	92,4			108,25
Espesor Superior	14,7	14	14,4	13,1	14,05
Espesor Inferior	11	12,1	13,2	11,1	11,85

Re cálculo de la inercia:

$$I_B = \frac{\pi}{64} * [D^4 - (D - 2t)^4]$$

$$I_B = \frac{\pi}{64} * [108,25^4 - (108,25 - 2(12,95))^4]$$

$$I_B = 4,48285 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Carga y deflexión máxima:

$$\text{Carga máxima: } 5728 \text{ (N)}$$

$$\text{Deflexion Maxima: } 79.17 \text{ (mm)}$$

Cálculo de esfuerzo último:

$$\sigma_{ult} = F * (L * \frac{D}{6}) / I_B$$

$$\sigma_{ult} = 5728 \text{ N} * (3007,5 \text{ mm} * \frac{100,25 \text{ mm}}{6}) / 3,4580 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{ult} = 41,61 \text{ MPa}$$

8.2. CORTE

8.2.1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Determinación de la resistencia última al esfuerzo cortante, paralelo a las fibras, en probetas provenientes de culmos de bambú.

8.2.2. EQUIPO

Los ensayos se realizan en la máquina universal de ensayos MTS, junto con la celda de 100 KN RDP, con platos rectificados y un apoyo hemisférico (una rotula para una carga uniforme). También se requiere de un LVDT RDP externo correctamente posicionado para medir el desplazamiento.

En los platos de compresión se deberán colocar unos discos de corte, los cuales la probeta se debe apoyar en el extremo inferior y superior, sobre dos cuartas partes de su superficie, opuestas entre sí. Como indica el Gráfico No 58:

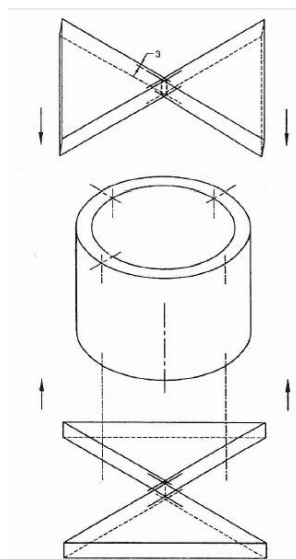


Gráfico No 58: Esquema de la posición de los discos de corte.

Autores: (Instituto Colombiano de Normas y Certificación, 2007)

8.2.3. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

- Las probetas deben ser de las partes inferior, media y superior de cada culmo marcadas respectivamente.
- La probetas necesariamente tienen que ser sin nudo y cuya longitud sea igual a la mitad del diámetro externo del bambú.
- Las superficies de los extremos de la probeta deben estar en ángulo recto con la longitud de ésta con una desviación no mayor a 1mm y de superficies deben ser planas.

8.2.4. PROCEDIMIENTO

1. Conectar los sensores de la máquina universal de ensayos MTS con el Datalogger y este a su vez con la computadora.
 - Canal 1A LVDT.
 - Canal 3A Celda de carga RDP de 100 KN.
2. Colocar la probeta en el centro del plato inferior y aplicar una carga no mayor a 1KN (0.1 Voltios Celda de Carga RDP de 100 KN) para acomodar la probeta con los discos inferior y superior de corte, la máquina MTS debe estar en accionamiento LOCAL y realizar la precarga con la perilla SET POINT.
3. Activar la máquina en la perilla REMOTE, a una velocidad no mayor a $0.01 \frac{mm}{s}$ (velocidad en equipo MTS en RATE $8.5 * 10^2$) y presionar el botón RUN.
4. Registrar los valores de carga máxima a la cual falla la probeta de manera manual como indica ANEXO H y guardar los datos almacenados en Excel.
5. Determinar el esfuerzo último de corte.

8.2.5. CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Aplicando la fórmula del numeral 3.3:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(t * L)}$$

ENSAYO DE CORTE



Gráfico No 59: Ensayo de corte en bambú, en el LMM.

Dimensiones de la probeta:

Tabla 45: Dimensiones de probeta para corte

	Dimensiones (mm)				Promedio (mm)
Díámetro Medio		82	82,5		82,25
Espesor Superior	6,8	6,5	8,5	7,1	7,225
Espesor Inferior	6,5	7	8,1	6,2	6,95
Longitud D/2			41,125		

Determinación Carga vs Deformación:

Tabla 46: Carga vs Deformación en ensayo de corte

N°	Desplazamiento (mm)	Carga (N)	N°	Desplazamiento (mm)	Carga (N)
1	0,027	182	34	1,087	7681
2	0,053	490	35	1,093	8019
3	0,085	592	36	1,108	8237
4	0,133	783	37	1,134	8572
5	0,164	807	38	1,166	8710
6	0,219	1073	39	1,221	9075
7	0,283	1097	40	1,215	9189
8	0,283	1393	41	1,260	9488
9	0,334	1402	42	1,269	9811
10	0,389	1728	43	1,321	10032
11	0,395	1824	44	1,315	10050
12	0,417	2081	45	1,339	10343
13	0,470	2231	46	1,370	10481
14	0,505	2503	47	1,393	10717
15	0,508	2677	48	1,443	10879
16	0,554	2943	49	1,432	10747
17	0,574	3149	50	1,435	10747
18	0,602	3332	51	1,449	10983
19	0,653	3676	52	1,475	11115
20	0,688	3861	53	1,522	11303
21	0,714	4175	54	1,516	11387
22	0,756	4394	55	1,528	11608
23	0,782	4947	56	1,575	11845
24	0,805	5315	57	1,583	11896
25	0,848	5503	58	1,595	11923
26	0,874	5823	59	1,624	11988
27	0,915	6036	60	1,649	12234
28	0,933	6392	61	1,693	12249
29	0,962	6562	62	1,673	12389
30	0,992	6849	63	1,711	12368
31	1,023	7092	64	1,755	12596
32	1,033	7525	65	1,748	12521

Curva característica de corte:

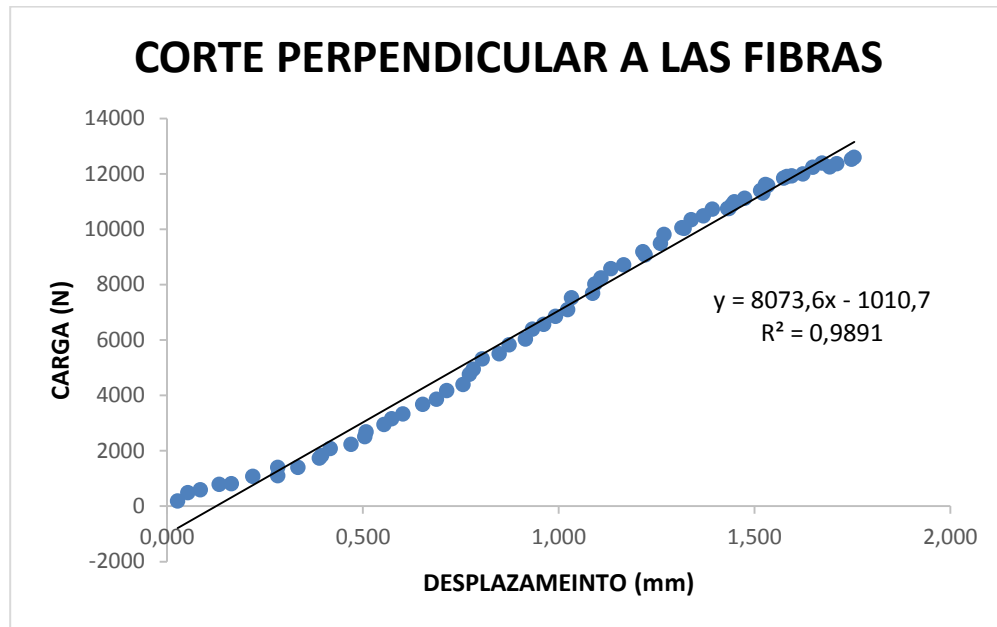


Gráfico No 60: Curva característica de ensayo de corte en bambú.

Carga y deflexión máxima:

Carga máxima: 12521 (N)

Deflexion Maxima: 1,748 (mm)

Cálculo de esfuerzo último cortante:

Cálculo de las áreas cortadas

$$(t_1 * L)_1 = \frac{6,8 + 6,5}{2} * (41,125) = 273,481 \text{ mm}^2$$

$$(t_2 * L)_2 = \frac{7,1 + 6,2}{2} * (41,125) = 273,481 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(t * L)}$$

$$\tau_{ult} = \frac{12521 \text{ N}}{273,481 \text{ mm}^2 + 273,481 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{ult} = 22,89 \text{ MPa}$$

8.3. COMPRESIÓN

8.3.1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Determinación del esfuerzo último de compresión de las probetas de bambú.

8.3.2. EQUIPO

Los ensayos se realizan en una máquina universal de ensayos MTS junto con la Celda de carga de 500 KN y un LVDT RDP externo correctamente posicionado. Discos de compresión rectificadas donde se colocan las probetas y un apoyo hemisférico (rótula por debajo del disco inferior).

8.3.3. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

- Las probetas deben ser de las partes inferior, media y superior de cada culmo marcadas respectivamente,
- La probetas necesariamente tienen que ser sin nudo y cuya longitud sea igual al diámetro externo del bambú (si el diámetro es menor a 20mm, la altura deberá ser el doble del diámetro externo).

- El corte de las probetas deberán ser en un ángulo perfectamente recto a la longitud con una desviación máxima de 0.02mm según indica la norma NTC 5525 y paralelo en sus dos caras.

8.3.4. PROCEDIMIENTO

El procedimiento de ensayo de compresión se lo realiza tanto en probetas en verde y secas.

1. Conectar los sensores de la máquina universal de ensayos MTS.
 - Canal 1A LVDT.
 - Canal 3A Celda de carga MTS de 500 KN.
2. Colocar la probeta en el centro de los platos inferior y superior, aplicar una carga no mayor a 1KN (0.225 Voltios Celda de Carga MTS de 500 KN).
3. Activar la máquina con la perilla en REMOTE, a una velocidad no mayor a $0.01 \frac{mm}{s}$ (velocidad en equipo MTS en RATE $8.5 * 10^2$) y presionar el botón RUN.
4. Registrar los valores de carga máxima a la cual falla la probeta de manera manual como indica ANEXO H y guardar los datos almacenados en un nuevo documento de Excel.
5. Únicamente en el ensayo de compresión las lecturas de carga dadas por la Celda de Carga de 500 KN en la hoja de Excel, son divididas por un factor de 2.55, para obtener las medidas en Kgf.
6. Determinar el esfuerzo último de compresión.

NOTA: El factor de 2.55 para obtener los resultados en Kgf, es únicamente utilizado en el ensayo de Compresión ya que se utiliza la celda de la Máquina Universal de Ensayos MTS de 500 KN. En el resto de ensayos los datos de carga son directamente mostrados en N.

8.3.5. CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Aplicando la fórmula del numeral 3.3:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

ENSAYO DE COMPRESIÓN

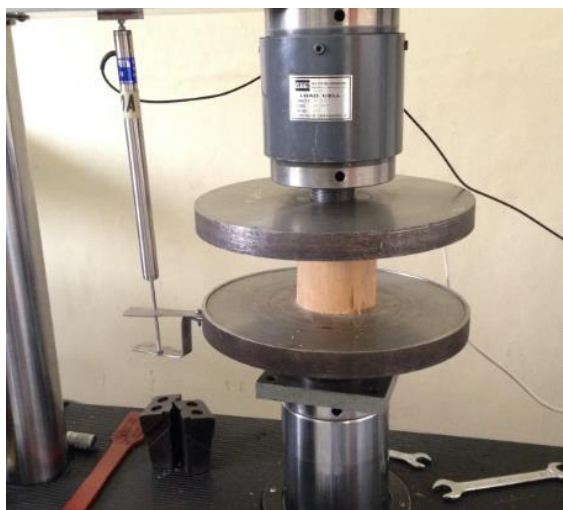


Gráfico No 61: Ensayo de compresión en bambú, en el LMM.

Dimensiones de la probeta:

Tabla 47: Dimensiones de probeta para compresión

	Dimensiones (mm)				Promedio (mm)
Díámetro Medio	84,9		88,2		86,55
Espesor Superior	9,3	8,5	10	9,1	9,225
Espesor Inferior	10	15	9	9,2	10,8
Longitud					87

Determinación Carga vs Deformación:

Tabla 48: Carga vs Deformación en ensayo de compresión

N°	Desplazamiento (mm)	Carga (N)	N°	Desplazamiento (mm)	Carga (N)
1	0,162	3785,506	29	0,861	45660,74
2	0,193	4381,8	30	0,889	4847,843
3	0,213	8917,482	31	0,948	5062,745
4	0,251	6959,329	32	0,953	5127,059
5	0,263	10883,33	33	0,986	5144,706
6	0,321	8248,094	34	1,043	5500
7	0,324	10871,79	35	1,075	5472,157
8	0,370	11872,02	36	1,113	5500
9	0,376	13403,15	37	1,135	5896,471
10	0,414	13922,51	38	1,160	5636,078
11	0,440	15615,21	39	1,230	6255,686
12	0,473	18846,74	40	1,277	5991,765
13	0,476	17592,6	41	1,298	6190,98
14	0,519	22920,78	42	1,364	5928,235
15	0,520	23070,81	43	1,379	6230,98
16	0,569	23001,56	44	1,437	6121,961
17	0,581	27764,22	45	1,492	6173,333
18	0,596	26729,36	46	1,530	5971,765
19	0,604	31207,34	47	1,559	6093,725
20	0,624	30091,69	48	1,609	6236,863
21	0,650	35566,06	49	1,658	5934,118
22	0,695	34092,64	50	1,688	6282,353
23	0,715	38951,47	51	1,734	5981,176
24	0,735	37616,54	52	1,776	5982,353
25	0,750	42563,86	53	1,822	6330,588
26	0,778	41436,67	54	1,862	6043,137
27	0,820	44783,61	55	1,932	6200,392
28	0,860	44441,22	56	1,946	5840,392

Curva característica de compresión:

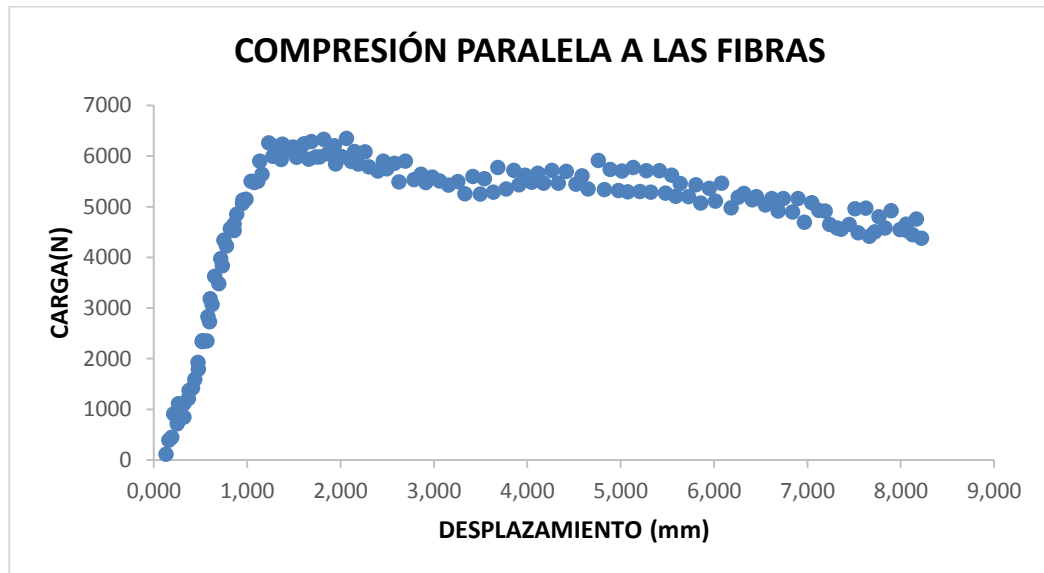


Gráfico No 62: Curva característica de ensayo de compresión en bambú.

Carga y deflexión máxima:

Carga máxima: 45660,74 (N)

Deflexion Maxima: 1,230 (mm)

Cálculo de esfuerzo de compresión:

Cálculo del área:

$$A = \frac{\pi D_{ext}^2}{4} - \frac{\pi D_{int}^2}{4}$$

$$A = 2407,50 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

$$\sigma_{ult} = \frac{45660,74 \text{ N}}{2407,50 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{ult} = 18.97 \text{ MPa}$$

8.4. TRACCIÓN

8.4.1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Determinación de la resistencia última a la tensión, perpendicular a la fibra, aplicando una carga sobre la probeta.

8.4.2. EQUIPO

Los ensayos se realizan en una máquina universal de ensayos MTS, junto con la celda de carga de 100 KN RDP, aplicados los sujetadores (pinzas de tracción), que a su vez tendrán las mordazas que sostengan un pin de diámetro de 38mm siempre y cuando este valor no sea menor al $\frac{1}{4}$ del diámetro exterior del bambú (DEREK MITCH, KENT A., HARRIES AND BHAVNA SHARMA, 2009-2013) para aplicar tracción perpendicular a las fibras.

8.4.3. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

- Las probetas deben ser de las partes inferior, media y superior de cada culmo marcadas respectivamente,
- La probetas necesariamente tienen que ser sin nudo y cuya longitud sea igual al diámetro externo del bambú (si el diámetro es menor a 20mm, la altura deberá ser el doble del diámetro externo).

- Las probetas deben tener un agujero en el medio del diámetro del pin indicado en el equipo como muestra la figura.



Gráfico No 63: Probeta de tracción perpendicular a la fibra.

Autores: (DEREK MITCH, KENT A., HARRIES AND BHAVNA SHARMA, 2009-2013)

8.4.4. PROCEDIMIENTO

El procedimiento de ensayo de tracción perpendicular a la fibra se lo realiza tanto en probetas en verde y secas.

1. Conectar los instrumentos de medición con el Datalogger y este a su vez con la computadora:
 - Canal 1A LVDT.
 - Canal 3A Celda de carga RDP de 100 KN.
2. Colocar la probeta en la mordaza dentro del eje de 38mm.
3. Activar la máquina con la perilla REMOTE, y una velocidad no mayor a $0.01 \frac{mm}{s}$ (velocidad en equipo MTS en RATE $8.5 * 10^2$), presionar el botón RUN.
4. Tomar las lecturas de deformación y de carga, para la determinación del módulo de elasticidad E.

5. Registrar los valores de carga máxima a la cual falla la probeta de manera manual como indica ANEXO H y guardar los datos almacenados en Excel.
6. Determinar el esfuerzo último de tensión.

8.2.5 CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Formula descrita para tracción perpendicular (DEREK MITCH, KENT A., HARRIES AND BHAVNA SHARMA, 2009-2013)

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{2t(2w - 2a - 38)}$$

Dónde:

- σ_{ult} Esfuerzo ultimo perpendicular a la fibra.
- F_{ult} Valor de la carga aplicada en la cual falla la probeta
- t Espesor de la probeta.
- a Iniciadores de 3 mm (el ancho de los cortes son menores a 1 mm)
- $2w$ Longitud de la probeta ($2w = D$)

NOTA: El diámetro del agujero no tiene que ser menor a $\frac{1}{4}$ del diámetro de la probeta.

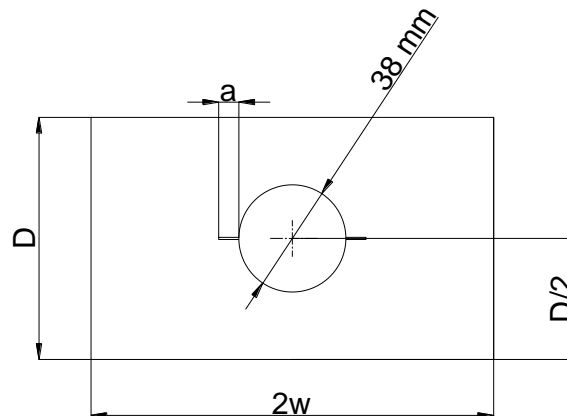


Gráfico No 64: Partes de la probeta para ensayo de tracción perpendicular a la fibra.

ENSAYO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS



Gráfico No 65: Ensayo tracción perpendicular a las fibras en bambú, en el LMM.

Dimensiones de la probeta:

Tabla 49: Dimensiones de probeta para tracción perpendicular a las fibras

	Dimensiones (mm)				Promedio (mm)
Diámetro Medio	133,1	124,9	122,7	131,5	128,05
Espesor Superior	23,2	23,1	21,1	23,5	22,725
Espesor Inferior	23	23,2	21,5	24,1	22,95
Longitud	178				

Determinación Carga vs Deformación:

Tabla 50: Carga vs Deformación en ensayo de tracción perpendicular a las fibras

N°	Desplazamiento (mm)	Carga (N)	N°	Desplazamiento (mm)	Carga (N)
1	0,060	4080	33	3,903	5426
2	0,230	4292	34	4,04	5605
3	0,310	4220	35	4,177	5551
4	0,450	4373	36	4,314	5713
5	0,575	4310	37	4,451	5638
6	0,700	4435	38	4,588	5791
7	0,950	4540	39	4,862	5752
8	1,075	4465	40	4,999	5967
9	1,200	4654	41	5,136	5880
10	1,325	4615	42	5,273	6021
11	1,450	4759	43	5,41	5985
12	1,848	4839	44	5,684	6051
13	1,985	4699	45	5,821	6224
14	2,152	4872	46	5,958	6134
15	2,269	4791	47	6,095	6275
16	2,386	5013	48	6,232	6248
17	2,453	4926	49	6,369	6398
18	2,670	5111	50	6,506	6377
19	2,807	5126	51	6,643	6493
20	2,823	5234	52	6,78	6470
21	3,081	5106	53	6,917	6595
22	3,218	5324	54	7,054	6535
23	3,355	5207	55	7,191	6736
24	3,492	5423	56	7,328	6631
25	3,629	5297	57	7,465	6796
26	3,766	5473	58	7,602	6787
27	3,903	5426	59	7,739	6861
28	4,040	5605	60	7,876	6852
29	4,177	5551	61	8,013	6864
30	4,314	5713	62	8,15	6957

Curva característica de tracción perpendicular a las fibras:

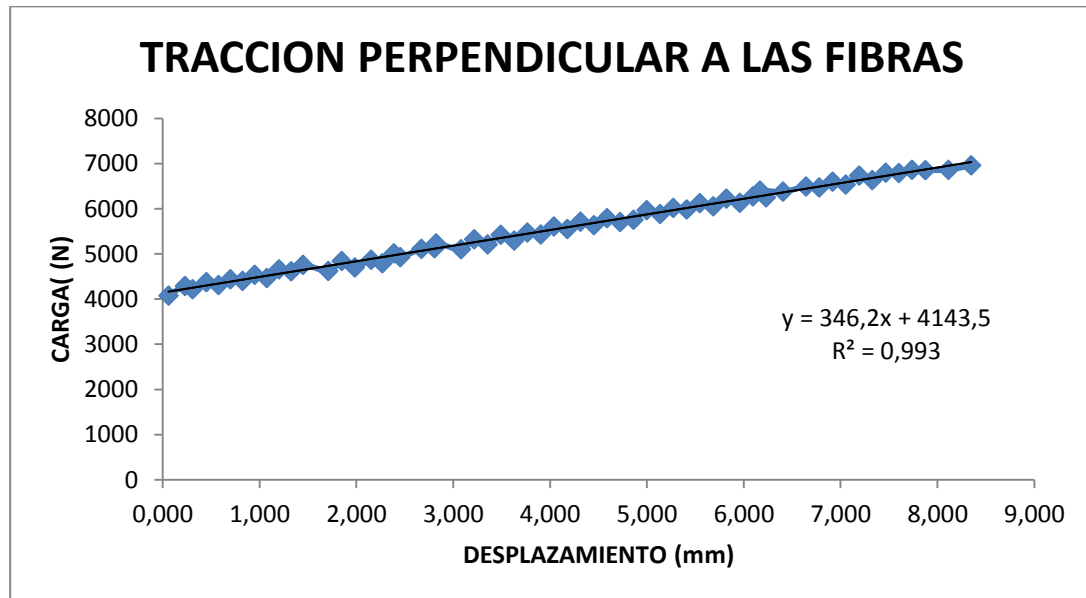


Gráfico No 66: Curva característica de ensayo tracción perpendicular a las fibras en bambú.

Carga y desplazamiento máximo:

Carga máxima: 6957(N)

Deflexion Maxima: 8,15 (mm)

Cálculo de esfuerzo de tracción perpendicular a las fibras:

Cálculo del espesor medio:

$$t = \frac{22,725 + 22,95}{2}$$

$$t = 22,837 \text{ mm}$$

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{2t(2w - 2a - 38)}$$

$$\sigma_{ult} = \frac{6957 N}{2 * 22,837mm(130mm - 2(3mm) - 38)}$$

$$\sigma_{ult} = 1,77 MPa$$

USO DEL HIGRÓMETRO

PROCEDIMIENTO

- Una vez calibrado el higrómetro para bambú como en 7.1.4, procedemos a realizar la práctica.
- Encendemos el FMC/E.
- Colocamos el higrómetro de manera vertical sobre la probeta de bambú (la orientación de las agujas no cambia el resultado).
- Golpeamos firmemente 3 veces con la manija movable incluida en el cuerpo del higrómetro.
- Una vez estable la medida mostrada en el FMC/E, procedemos a tomar el dato de la humedad.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN:



Gráfico No 67: Higrómetro Prueba 1.

Humedad: 12.4%



Gráfico No 68: Higrómetro Prueba 2.

Humedad: 11.5%



Gráfico No 69: Higrómetro Prueba 3.

Humedad: 13.6 %

CAPÍTULO 9

ANÁLISIS ECONÓMICO

9.1. PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

9.1.1. MATERIALES

Tabla 51: Costos de materiales directos

COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS					
Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total
FLEXIÓN					
1	acople celda de carga-actuator	u	\$ 250,00	1	\$ 250,00
2	acople celda de carga -viga	u	\$ 150,00	1	\$ 150,00
3	viga de sección tipo rectangular 128x201x1400	u	\$ 250,00	1	\$ 250,00
4	barra de acero para apoyos	u	\$ 100,00	2	\$ 100,00
5	Placas de acero 200x500x20	u	\$ 75,00	4	\$ 300,00
6	bases de apoyo de madera	u	\$ 18,75	8	\$ 150,00
ENSAYO DE COMPRESIÓN					
7	acoples para platos de compresión-MTS810	u	\$ 300,00	1	\$ 300,00
8	Platos para compresión de Acero D=310, t= 30	u	\$ 100,00	2	\$ 200,00
ENSAYO DE TRACCIÓN					
9	Soportes metálicos	u	\$ 100,00	2	\$ 200,00
ENSAYO DE CORTE					
10	Platos de corte	u	\$ 150,00	2	\$ 300,00
11	MATERIALES DE ENSAMBLAJE		\$ 200,00		\$ 200,00
TOTAL ACCESORIOS					\$ 2400,00

Tabla 52: Costos de equipos

COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS					
COSTOS DE EQUIPOS					
Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total
1	10T load cell + ERs + RDP data logger	u	\$ 6064,00	1	\$ 6.064,00
2	2 Medidores de desplazamiento de hasta 100 mm	u	\$ 410,00	2	\$ 820,00
3	1 Medidor de desplazamiento de hasta 500 mm	u	\$ 581,00	1	\$ 581,00
4	celda de carga 68 T	u	\$ 5141,00	1	\$ 5.141,00
5	Báscula con una precisión de 0,1 g	u	\$ 1000,00	1	\$ 1.000,00
6	Horno para secado de muestras, higrómetro y bascula de gancho	u	\$ 2000,00	1	\$ 2.000,00
TOTAL ACCESORIOS					\$15.606,0

Tabla 53: Costos por utilización de máquinas

COSTOS POR UTILIZACIÓN DE MÁQUINAS, HERRAMIENTAS Y CONSUMIBLES		
Ord	Descripción	Costo
1	Soldadora y electrodos	\$ 50,00
2	Dobladora	\$ 20,00
3	Cortadora de plasma	\$ 100,00
4	Cortadora de agua a presión	\$ 150,00
5	Maquinado y rectificado	\$ 350,00
6	Pintura y acabados	\$ 100,00
7	Otros	\$ 50,00
TOTAL		\$ 820,00

Tabla 54: Costos de materiales

COSTOS DE MATERIALES	
Descripción	Costo
Costo de materiales directos	\$ 2.400,00
Costo de Equipos	\$ 15.606,00
Costo por utilización de máquinas, herramientas y consumibles	\$ 820,00
Total	\$ 18.826,00

9.1.2. MANO DE OBRA**Tabla 55: Mano de obra directa**

CUADRO DE COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA					
Días = 40					
Ord	Nombre	Especialidad	Horas Totales Trabajadas	Valor/Hora De Trabajo	Total
1	Trabajador 1	Soldador	3	\$ 15,00	\$ 45,00
2	Trabajador 2	Cortador	1	\$ 10,00	\$ 10
3	Trabajador 3	Doblador	2	\$ 5,00	\$ 10,00
4	Trabajador 4	Tornero	20	\$ 5,00	\$ 100,00
5	Trabajador 5	Rectificador	3	\$ 15,00	\$ 45,00
Costo total de la mano de obra directa					\$ 210,00

SUELDOS Y SALARIOS INGENIEROS DE LA ESPE Y ESTUDIANTES

Período de Proyecto: 8 meses

Descripción	Número de trabajadores	Tiempo	Número de horas semanales	Número de Horas en 7 meses	Valor Unitario	Valor Total
Director de Tesis	1	7	2	40	\$ 26,25	\$ 1050,00
Codirector de Tesis	1	7	2	40	\$ 26,25	\$ 1050,00
Alumno	2	7	6	300	\$ 5	\$ 3.000,00
Total					\$ 5.100,00	

Tabla 57: Costos mano de obra

COSTOS MANO DE OBRA	
Descripción	Costo
Sueldos y salarios ingenieros de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y estudiantes	\$ 5.100,00
Costos mano de obra directa	\$ 210,00
Total	\$ 5.310,00

9.1.3. COSTOS GENERALES

Tabla 58: COSTOS GENERALES

COSTOS GENERALES		
Ord	Nombre	Costo
1	Impresiones	\$ 100,00
2	Útiles de oficina	\$ 100,00
3	Transporte	\$ 100,00
5	Otros	\$ 150,00
	Total	\$ 450,00

9.1.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Tabla 59: Costos de proyecto

COSTO DE PROYECTO	
COSTOS DE MATERIALES	\$ 18.826,00
COSTOS DE MANO DE OBRA	\$ 5.310,00
COSTOS GENERALES	\$ 450,00
TOTAL	\$ 24.586,00

9.2. ANÁLISIS FINANCIERO

COSTO / BENEFICIO

Al ser un proyecto de investigación y sin fines de lucro, el beneficio es intangible y no puede ser evaluada de una manera convencional, si no que será evaluada en torno al progreso de la caracterización del bambú y al desarrollo de conocimientos del estudiante mediante nuevos temas investigativos que partirán de este.

La viabilidad de este proyecto es indudable debido al gran beneficio que este genera a la institución y por consiguiente a los estudiantes, gracias a la inversión extranjera y nacional que se ha entregado a nuestra Universidad.

El costo del proyecto es conocido, sin embargo el costo del beneficio no lo es, esto genera la necesidad de recalcar los beneficios que obtiene el beneficiario al utilizar el proyecto. En el caso de nuestra tesis existen varios beneficiarios como serian: La Universidad de Coventry, INBAR, Consejo Provincial de Pichincha y las plantaciones de bambú de donde se extraerán los culmos. Pero sin lugar a duda el principal beneficiado es la Facultad de Ciencia de la Ingeniería y Mecánica de la ESPE, ya que este es un proyecto internacional que abre las puertas a muchos nuevos temas de investigación, esto significa un aporte significativamente grande para el desarrollo de nuevos conocimientos.

CAPITULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un centro de ensayos mecánicos para el bambú en el laboratorio de mecánica de materiales, en el cual se pueden realizar los ensayos de: flexión, compresión, tracción perpendicular a las fibras y corte.
- Se determinó que tanto la Máquina Universal de Ensayos MTS como el Vibróforo de Baja Frecuencia son factibles para realizar los ensayos destructivos en bambú, sin embargo el laboratorio cuenta con limitaciones tanto de espacio como de capacidad de los sensores, por lo que el diámetro de las probetas no deben sobrepasar para flexión 130 mm, para compresión y corte 120 mm.
- Al realizar las pruebas de funcionamiento se determinó que el Data Logger es compatible con la celda de carga ubicada en la Máquina Universal de Ensayos MTS, cabe recalcar que la celda al ser de 500 KN se dificulta estabilizar los datos en cargas muy pequeñas como son el caso de los ensayos de tracción y corte por lo que optamos por utilizar la celda de 100 KN para estos ensayos y dejamos la celda de 500 KN únicamente para ensayos de compresión.
- En el proceso de selección y fabricación de los accesorios, se reemplazó el pistón que originalmente se encontraba conectada al Vibróforo de Baja Frecuencia, debido a que este contaba con un desplazamiento máximo de 120 mm y para el ensayo de flexión en bambú se necesita mínimo de

un desplazamiento de 300 mm, se adquirió y ensambló un nuevo pistón el mismo que consta de un desplazamiento máximo de 450 mm.

- Previo a la construcción de los accesorios se realizó las debidas simulaciones de los elementos en Inventor, para garantizar el correcto funcionamiento de las mismas. En la actualidad todos los accesorios se encuentran ya contruidos y listos para el armado según el tipo de ensayo que se vaya a realizar.
- La calibración en la Máquina Universal de Ensayos MTS se la realizó aplicando cargas conocidas proporcionadas por una celda de carga de tipo botella también se realizó ensayos de tracción en la Máquina de Ensayos AMSLER con probetas normalizadas en acero. En flexión se realizó la calibración por medio de unas vigas patrón que nos entregó la Universidad de Coventry. Las pruebas piloto se las realizo con éxito ya que las máquinas se encuentran correctamente calibradas.
- Mediante el análisis económico se determinó que la implementación del Centro de Ensayos mecánicos para el Bambú tiene un costo de 24586 USD. En materiales se invirtió 18826 USD correspondiente al 76.5 % del costo total. También 5310 USD de mano de obre que corresponde al 21.5% y finalmente en otros costos generales 450 USD que corresponde al 2%. Se observa claramente que se trata de un proyecto de investigación en donde la inversión hecha al laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armada ESPE es muy amplia.

10.2. RECOMENDACIONES.

- En el ensayo de flexión en el panel del Vibróforo de Baja Frecuencia no fiarse del porcentaje de carga que nos muestra, ya que este porcentaje NO es el equivalente a la fuerza real aplicada sobre el culmo de bambú.

- Encender el Data Logger 30 minutos antes de empezar a realizar los ensayos, esta es una recomendación del fabricante.
- Revisar que la válvula del agua se encuentre abierta antes de encender la Máquina Universal de Ensayos MTS, para evitar un sobrecalentamiento de la bomba.
- El momento de obtener las probetas, primero separar la sección destinada para flexión, seguido por compresión, tracción y corte en ese orden.
- Obtener la probeta de flexión partiendo del lado de menor diámetro para de esta manera no tener problemas con las limitaciones de espacio del laboratorio.
- Verificar que las probetas no se encuentren fracturadas, antes de realizar los ensayos.
- Antes de empezar con el proyecto de caracterización del bambú se recomienda realizar un mantenimiento profundo de la Máquina Universal de Ensayos así como también del Vibróforo de Baja Frecuencia.
- Con la ayuda de un multímetro comprobar que no exista continuidad entre el pistón y el pórtico.
- Si la celda de carga de 100 KN marca en el Data Logger un valor constante de 10.25 sin variar, aflojar ligeramente la tuerca de la parte posterior de la celda.
- Los pernos de la base superior de la Máquina Universal de Ensayos tienen que estar ajustados antes de empezar a correr el ensayo.
- La velocidad de automático en la Máquina Universal de Ensayos tiene que estar en $8,5 \times 10^2$, tanto para corte, tracción y compresión.
- Revisar la Norma Colombiana de Ensayos Mecánicos para el bambú ya que se encuentran varias discrepancias como unidades y fórmulas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aaron, D. (1987). *Diseño de Máquinas*. México: Continental S.A.
- BOHLER. (2012). *www.acerosboehler.com.ar*. Obtenido de <http://www.acerosboehler.com.ar/english/files/downloads/K455FSp.pdf>
- Brookhuis. (2014). *www.brookhuis.com*.
- CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. (2014). *PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA*.
- DEREK MITCH, KENT A., HARRIES AND BHAVNA SHARMA. (2009-2013). *CGARACTERIZATION OF SPLITTING BEHAVIOR OF BAMBOO CULMS*.
- Echeverría, L. (2012). *Automatización Industrial*. Obtenido de [insdecem.com: http://insdecem.com/archivos/Automatiza.pdf](http://insdecem.com/archivos/Automatiza.pdf)
- Instituto Colombiano de Normas y Certificación, I. (2007). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA- Métodos de ensao para Determinar las Propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth*. Bogota (Colombia): ICONTEC.
- INVENTOR. (2013).
- ISO, La Organización Internacional de Normalización. (2004). *NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO-22157: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL BAMBÚ*. Quito - Ecuador.
- Laboratorio Mecánica de Materiales, U.-E. (s.f.). Sangolquí.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Pearson Educación.
- MTS. (2014). *Sensores de Posición absoluta*.

- Muñoz Cabanillas, M. (2002). *sisbib.unmsm.edu.pe*. Obtenido de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/munoz_cm/cap4.pdf
- PERIS, J. V. (2002). *CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE MATERIAL*. Valencia (España): BiBlioteca Valencuana .
- RDP. (2013). Obtenido de <http://www.rdpe.com/>: <http://www.rdpe.com/cds/cd2013.pdf>
- RDP. (2014). <http://www.rdpe.com/>. Obtenido de <http://www.rdpe.com/us/m600.htm>
- RDP. (2014). <http://www.rdpe.com/>. Obtenido de <http://www.rdpe.com/uk/slc41.htm>

GLOSARIO

Acometida.- las instalaciones eléctricas a la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora

Alimentación.- *alimentacion electrica de los instrumentos de medicion*

Angustifolia Kunth.- *termino cientifico para el comunmente llamado caña guadua*

Cabecal Móvil.- conjunto de elementos que integran entre sí distintos mecanismos con funciones específicas

Chasis.- *Cuerpo del datalogger*

Correlación.- *relacion entre propiedades ya sean fisicas mecanicas etc.*

Culmo.- Tallo herbáceo, denominando así al tallo del bambú

Data Logger.- transformador eléctrico utilizado para medir desplazamientos lineales

Deformimetro.- instrumento de medición de deformación de alta precisión

Dendrocalamus Asper.- *termino cientifico para el comunmente llamado bambú gigante*

ER.- *transductor de desplazamiento, utilizado para medir deformaciones, posiciones lineales*

Guadua.- *nombre endemico del tipo de bambu Angustifolia Kunth*

INBAR.- *de siglas en ingles International Network for Bamboo and Rattan que significa Red Internacional del Bambú y el Ratán*

LMM.- *siglas de laboratorio de mecanica de materiales*

LVDT.- El transformador diferencial de variación lineal, transformador eléctrico utilizado para medir desplazamientos lineales

Multicanal.- *varias entradas para canales.*

Patrón.- Objeto, proceso o procedimiento que sirve para definir la unidad de una magnitud física

Plug And Play.- es la tecnología o cualquier avance que permite a un dispositivo informático ser conectado a una computadora sin tener que configurar.

Senior Lecturer.- es una posición de la facultad en una universidad, es un profesor dirigir grupos de investigación y supervisar a los estudiantes de investigación, así como enseñar

Transductor.- Dispositivo que recibe energía de un tipo (eléctrica, mecánica, acústica, etc.) y la convierte en otro tipo de energía, aunque de características dependientes de la recibida.

ANEXOS