

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)

TEMA: “ANÁLISIS DEL DISEÑO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS
DE UNA CUCHILLA DE CORTE, PARA LA OBTENCIÓN DE TIRAS DE
CAÑA GUADUA (BAMBÚ)”

Trabajo de Investigación, Previo a la obtención del Grado Académico de
Magister en Diseño Mecánico

Autor: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda

Director: Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.

Ambato – Ecuador
2016

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por el Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg., e integrado por los señores: Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg., Ing. Cristian Fabián Pérez Salinas, Mg. e Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una cuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)”, elaborado y presentado por el señor Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda, para optar por el Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg.
Presidente del Tribunal

Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Cristian Fabián Pérez Salinas, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una cuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)”, le corresponde exclusivamente a: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda, Autor bajo la Dirección de: Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda

c.c.: 180249546-3

AUTOR

Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.

c.c.: 180214789-0

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda

c.c.: 180249546-3

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Portada.....	i
A la Unidad Académica de Titulación.....	ii
Autoría del trabajo de investigación.....	iii
Derechos de autor.....	iv
Índice general de contenidos.....	v
Agradecimiento.....	xv
Dedicatoria.....	xvi
Resumen ejecutivo.....	xvii
Executive summary.....	xviii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	2
El problema de investigación.....	2
1.1 Tema.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.2.1 Contextualización.....	2
1.2.1 Análisis crítico.....	3
1.2.2 Prognosis.....	3
1.2.3 Formulación del problema.....	4
1.2.4 Preguntas directrices.....	4
1.2.5 Delimitación del problema de investigación.....	4
1.2.5.1 Delimitación de contenido.....	4
1.2.5.2 Delimitación espacial.....	4
1.2.5.3 Delimitación temporal.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO II.....	7
Marco teórico.....	7
2.1 Antecedentes.....	7
2.1.1 Antecedentes investigativos.....	7
2.2 Fundamentación filosófica.....	8
2.3 Fundamento teórico.....	8
2.3.1 Criterios de diseño para una herramienta de corte.....	8
2.3.2 Cuchilla de corte para madera.....	9
2.3.3 Materiales utilizados para herramientas de corte.....	9
2.3.4 Aceros para trabajo en frío.....	10
2.3.4.1 Acero para trabajo en frío: acero D2.....	10
2.3.4.2 Acero para trabajo en frío: Böhler K353.....	11
2.3.5 Forma geométrica de la cuchilla.....	13
2.3.6 Formas geométricas de afilado en cuchillas de corte.....	14
2.3.6.1 Durabilidad del filo.....	16
2.3.7 Método de elementos finitos.....	16
2.3.7.1 Principios básicos y aplicaciones del MEF.....	18
2.3.7.2 Problemas no lineales.....	19
2.3.7.3 Coordenadas en elementos finitos: formulación de análisis no lineales.....	21
2.3.7.4 Ecuaciones gobernantes.....	22
2.3.7.5 Mallado del sistema.....	25
2.3.8 Caña guadua (bambú).....	27
2.3.8.1 Características de la caña guadua.....	28
2.4 Hipótesis.....	30
2.5 Señalamiento de variables.....	30
2.5.1 Variable independiente.....	30
2.5.2 Variable dependiente.....	30
CAPÍTULO III.....	31
Metodología.....	31

3.1 Enfoque.....	31
3.1.1 Modalidad y tipo de investigación.....	31
3.2 Modalidad básica de la investigación.....	31
3.2.1 De campo.....	31
3.2.2 Bibliográfico.....	31
3.2.3 Experimental.....	32
3.3 Nivel o tipo de investigación.....	32
3.3.1 Exploratoria.....	32
3.3.2 Descriptivo.....	32
3.3.3 Asociación de variables.....	33
3.4 Población y muestra.....	33
3.4.1 Población.....	33
3.4.2 Muestra.....	33
3.5 Operacionalización de variables.....	34
3.5.1 Variable independiente.....	34
3.5.2 Variable dependiente.....	35
3.6 Técnicas de recolección de la información.....	36
3.6.1 Observación.....	36
3.7 Procesamiento y análisis.....	36
3.7.1 Plan de procesamiento.....	36
3.7.2 Plan de análisis e interpretación de resultados.....	37
CAPÍTULO IV.....	38
Análisis e interpretación de resultados.....	38
4.1 Análisis de los resultados.....	38
4.1.1 Caracterización de la caña guadua.....	38
4.1.1.1 Ensayos de tracción.....	39
4.1.1.2 Datos obtenidos mediante ensayo de tracción en las probetas de caña guadua sin nudo.....	42
4.1.1.3 Ensayo de tracción de las probetas de caña guadua sin nudo.....	43

4.1.1.4 Datos obtenidos mediante ensayo de tracción en las probetas de caña guadua con nudo.....	50
4.1.1.5 Ensayo de tracción de las probetas de caña guadua sin nudo.....	51
4.1.2 Ensayos de compresión.....	58
4.1.2.1 Datos obtenidos mediante ensayo de compresión en cilindros de caña guadua sin nudo.....	60
4.1.2.2 Resultados de esfuerzos de las probetas sin nudos sometidos a compresión....	61
4.1.2.3 Datos obtenidos mediante ensayo de compresión en cilindros de caña guadua con nudo.....	61
4.1.2.4 Resultados de esfuerzos de las probetas sin nudos sometidos a compresión.....	62
4.1.3 Ensayos de dureza.....	62
4.1.3.1 Datos obtenidos mediante ensayo de dureza de caña guadua sin nudo.....	64
4.1.3.2 Datos obtenidos mediante ensayo de dureza de caña guadua en el nudo.....	65
4.2 Análisis de resultados del estudio de la cuchilla.....	65
4.2.1 Modelos a considerarse para la determinación de la cuchilla de corte.....	67
4.2.2 Características mecánicas de cada material ingresado en el software de elementos finitos.....	68
4.2.3 Análisis de diseño estático de las diferentes tipos de material y ángulo de filo....	69
4.2.3.1 Mallado en las cuchillas.....	69
4.2.3.2 Calidad del mallado (discretización).....	69
4.2.3.2 Presión aplicada en las cuchillas.....	71
4.2.3.3 Sujeción de la cuchilla (anclajes).....	72
4.2.4 Caso 1.- material: acero bohler k110 – diseño convexo con afilado recto a 23°....	73
4.2.5 Caso 2.- material: acero bohler k110 – diseño convexo con afilado recto a 45°....	76
4.2.6 Caso 3. material: acero bohler k353 – diseño convexo con afilado recto a 23°....	78
4.2.7 Caso 4.- material: acero bohler k353 – diseño convexo con afilado recto a 45°....	80
4.2.8 Caso 5.- material: acero bohler k110 – diseño cóncavo con afilado recto a 23°....	82
4.2.9 Caso 6.- material: acero bohler k110 – diseño cóncavo con afilado recto a 45°....	84
4.2.10 Caso 7.- material: acero bohler k353 – diseño cóncavo con afilado recto a 23°...86	
4.2.11 Caso 8. material: acero bohler k353 – diseño cóncavo con afilado recto a 45°...88	

4.2.12 Cuadro resumen de resultados a partir del análisis estático de las cuchillas analizadas por elementos finitos.....	90
4.2.13 Resultados de los análisis dinámicos de la herramienta de corte considerando esfuerzos y factor de seguridad.....	91
4.2.13.1 Esfuerzos equivalentes permisibles.....	91
4.2.13.2 Factor de seguridad.....	92
4.3 Verificación de hipótesis.....	93
CAPÍTULO V.....	98
Conclusiones y recomendaciones.....	98
5.1 Conclusiones.....	98
5.2 Recomendaciones.....	99
CAPÍTULO VI.....	100
Propuesta.....	100
6.1 Datos informativos.....	100
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	101
6.3 Justificación.....	101
6.4 Objetivos.....	102
6.4.1 General.....	102
6.4.2 Específicos.....	102
6.5 Análisis de factibilidad.....	103
6.6 Fundamentación.....	104
6.6.1 Análisis de fuerza y potencia necesaria para el corte.....	105
6.6.2 Configuración de modelado para el análisis.....	106
6.6.3 Preproceso.....	107
6.6.4 Dominio geométrico.....	107
6.6.5 Materiales.....	108
6.6.6 Conexiones.....	111
6.6.7 Esquemas iniciales de proceso para el análisis dinámico en ansys ls-dyna.....	112
6.6.8 Mallado del sistema.....	113

6.7 Resultados del análisis dinámico de cuchilla convexa, material AISI D2 (Böhler K110), con filo recto a 23°	115
6.8 Licenciamiento y respaldo de los análisis.....	117
6.9 Determinación de la aplicación.....	117
6.10 Previsión de la evaluación.....	117
7. BIBLIOGRAFÍA.....	118
Anexos.....	123
A. Catálogos Böhler acero K110 y K353	
B. Documentación habilitante de validación de datos y licenciamiento del software	
C. Norma ASTM D-143	
D. Fotografías de la cuchilla	
E. Informes de ensayos de caracterización – UTA	
F. Norma GPE INEN 042	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Posicionamiento del acero K353 en el mercado.....	12
Figura 2.2 Configuración geométrica de la Cuchilla.....	13
Figura 2.3 Ángulos descriptivos en cuchillas para madera.....	14
Figura 2.4 Geometrías ampliamente usadas en cuchillería.....	15
Figura 2.5 Descripción de ángulos de la cuchilla para el corte.....	16
Figura 2.6 Curva tensión – deformación de un material.....	20
Figura 2.7 Muestra de elementos Lagrangianos (L) y Eulerianos (E).....	21
Figura 2.8. Criterio de convergencia Aspect Ratio.....	27
Diagrama 4.1 Proceso de obtención de resultados del comportamiento mecánico de la Caña.....	38
Figura 4.1: Modelo de Probeta para ensayo de tracción paralelo a la fibra.....	39
Figura 4.2. Probetas lisas para ser sometidas a ensayo de tracción.....	39
Figura 4.3. Probetas con nudo intermedio para ser sometidas a ensayo de tracción.....	39
Figura 4.4. Máquina de tracción FICM.....	40
Figura 4.5 Probeta montada para el Análisis.....	41
Figura 4.6 Interfaz de software para ingreso de datos.....	41
Figura 4.7 Probetas lisas para ser sometidas a ensayo de compresión.....	58
Figura 4.8 Máquina de compresión FICM.....	58
Figura 4.9 Figura montada para el Análisis.....	59
Figura 4.10 Interfaz de software para ingreso de datos.....	60
Figura 4.11 Ensayos de compresión en probetas sin nudo paralelo a la fibra.....	61
Figura 4.12 Ensayos de compresión en probetas con nudo paralelo a la fibra.....	62
Figura 4.13 Probetas de análisis para ensayo de dureza.....	62
Figura 4.14 Máquina de compresión FICM.....	63
Figura 4.15 Probeta montada en máquina de ensayo de dureza.....	63
Diagrama 4.2 Proceso de obtención de resultados de análisis mediante MEF.....	66
Figura 4.16 Esfuerzo equivalente acero Böhler K110-Diseño convexo con afilado recto a 23°.....	74
Figura 4.17 Esfuerzo máximo acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 23°.....	74
Figura 4.18 Deformación total acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 23°.....	75
Figura 4.19 Factor de seguridad acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 23°.....	75
Figura 4.20 Esfuerzo equivalente acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 45°.....	76
Figura 4.21 Esfuerzo máximo acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 45°.....	76

Figura 4.22 Deformación total acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 45°.....	77
Figura 4.23 Factor de seguridad acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 45°.....	77
Figura 4.24 Esfuerzo equivalente acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 23°....	78
Figura 4.25 Esfuerzo máximo acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 23°.....	78
Figura 4.26 Deformación total acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 23°.....	79
Figura 4.27 Factor de seguridad acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 23°.....	79
Figura 4.28 Esfuerzo equivalente acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 45°.....	80
Figura 4.29 Esfuerzo máximo acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 45°.....	80
Figura 4.30. Deformación total acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 45°.....	81
Figura 4.31 Factor de seguridad acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 45°.....	81
Figura 4.32 Esfuerzo equivalente acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°....	82
Figura 4.33. Esfuerzo máximo acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°.....	82
Figura 4.34. Deformación total acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°.....	83
Figura 4.35 Factor de seguridad acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°.....	83
Figura 4.36 Esfuerzo equivalente acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°.....	84
Figura 4.37 Esfuerzo máximo acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°.....	84
Figura 4.38 Deformación total acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°.....	85
Figura 4.39 Factor de seguridad acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°.....	85
Figura 4.40 Esfuerzo equivalente acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°.....	86
Figura 4.41 Esfuerzo máximo acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°.....	86
Figura 4.42 Deformación total acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°.....	87
Figura 4.43 Factor de seguridad acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°.....	87
Figura 4.44 Esfuerzo equivalente acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°....	88
Figura 4.45 Esfuerzo máximo acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°.....	88
Figura 4.46 Deformación total acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°.....	89
Figura 4.47 Factor de seguridad acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°.....	89
Figura 4.48 Esfuerzos equivalentes de las cuchillas cóncava y convexa con respecto al bambú.....	91
Figura 4.49 Factor de seguridad de las cuchillas cóncavas y convexas sometidas a corte.....	92
Figura 4.50 El corte y proceso de mecanizado. La herramienta tiene un rastrillo ángulo A y es accionado a velocidad constante, V, la eliminación de un espesor h de la pieza de trabajo.....	93
Figura 4.51 Resistencia al corte cizalla. Las fuerzas F_c y F_t son aquellas que actúan en la capa de espesor debido al contacto con la herramienta y F_n y F_s son los que actúan en el plano de la cizalla. (Tener en cuenta que como en este caso la punta de la herramienta hace contacto con la punta de la grieta, G_c resiste F_c y también que $h_c > h$).....	94
Figura 4.52 Diagrama esquemático de corte en la película extendida de polímero por una hoja de afeitar.....	95

Figura 4.53 Diagrama esquemático de corte en la caña guadua por la cuchilla objeto de este estudio.....	95
Figura 4.54 Resultados carga de la película de poliéster.....	96
Figura 4.55 Resultados carga de corte de la caña guadua.....	96
Figura 6.1 Cuchilla y caña guadúa,.....	106
Figura 6.2 Cuchilla diseño convexo y caña guadúa modelados.....	108
Figura 6.3 Definición de materiales en Ansys.....	110
Figura 6.4 Asignación de materiales en Ansys.....	111
Figura 6.5 Esquema inicial del proyecto.....	112
Figura 6.6 Esquema de interfaz inicial del proyecto.....	112
Figura 6.7 Mallado de los elementos en interacción.....	113
Figura 6.8 Calidad de elementos en la malla (Elements quality).....	113
Figura 6.9 Relación de aspecto (Aspect Ratio).....	114
Figura 6.10 Esfuerzo Equivalente.....	115
Figura 6.11 Gráfica del Esfuerzo Equivalente.....	115
Figura 6.12 Factor de Seguridad.....	116
Figura 6.13 Gráfica del Factor de seguridad.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición química de acero D2.....	11
Tabla 2.2 Propiedades físicas del acero D2.....	11
Tabla 2.3 Composición química de acero K353.....	12
Tabla 2.4 Propiedades físicas del acero K353.....	13
Tabla 4.1 Resultados de Ensayo de tracción en Probetas sin nudo.....	42
Tabla 4.2 Resultados de Ensayo de tracción en Probetas con nudo.....	50
Tabla 4.3 Resultados de ensayo de compresión en probetas sin nudo.....	60
Tabla 4.4 Resultados de ensayo de compresión en probetas sin nudo.....	61
Tabla 4.5 Comparación porcentual entre pico máximo y punto promedio de la recta de armonía luego del pico de corte más alta.....	97
Tabla 6.1 Rubro de gasto de materiales.....	103
Tabla 6.2 Rubro de gasto recurso humano.....	103
Tabla 6.3 Rubro de gasto recursos varios.....	104
Tabla 6.4 Costo total de rubros.....	104
Tabla 6.5 Propiedades del acero AISI D2.....	109
Tabla 6.6 Propiedades de la caña guadua.....	109

AGRADECIMIENTO.

AGRADEZCO A DIOS, SER MARAVILLOSO QUE ME DIO FUERZA Y ENTEREZA PARA LOGRAR LO QUE ME PARECÍA INTERMINABLE. A LA FAMILIA DE MI AMADA ESPOSA, QUE YA ES MI FAMILIA TAMBIÉN POR AYUDARME CON MIS HIJOS MIENTRAS REALIZABA INVESTIGACIONES Y POR DARME ÁNIMOS Y CONFIAR SIEMPRE EN MÍ, ESTO NO HUBIESE SIDO POSIBLE SIN USTEDES, DOÑA FANNY UNA SEGUNDA MADRE A LA QUE LE ESTARÉ ETERNAMENTE AGRADECIDO.

A MI ESPOSA, QUIEN HA SOPORTADO MIS MALOS HUMORES Y FRUSTRACIONES Y POR DARME EL APOYO Y SER UNA GUERRERA Y DARME UNA GRAN LECCIÓN DE COMPRESIÓN, PACIENCIA Y AMOR, AL SACRIFICARSE LEJOS DE SUS AMADOS HIJOS PARA BUSCAR UN MEJOR PORVENIR PARA TODOS NOSOTROS.

A MI PADRE QUE, SIN SU APOYO Y AYUDA, NO HUBIESE OBTENIDO LOS MEDIOS PARA LOGRAR SUBIR ESTE PELDAÑO EN MI VIDA, A MI MADRE QUE SIEMPRE ME DA ÁNIMOS Y CONFIANZA EN MÍ MISMO.

AL ING. MAURICIO CARRILLO POR SU APOYO TOTAL Y SU AMISTAD DESDE LOS INICIOS DE MI CARRERA Y DÁNDOME LA GUÍA EN ESTA ETAPA PARA CULMINARLA CON ÉXITO.

EXPRESAR MIS AGRADECIMIENTOS A TODAS LAS PERSONAS QUE DE ALGUNA U OTRA FORMA FUERON ARTÍFICES EN EL APOYO PARA CULMINAR ESTE PASO EN MI VIDA, GRACIAS TOTALES.

DEDICATORIA.

MI TESIS LA DEDICO CON TODO MI AMOR Y CARIÑO A MI AMADA ESPOSA *GABRIELA GÓMEZ* POR SU SACRIFICIO Y ESFUERZO, POR ESTAR APOYÁNDOME Y CONFIANDO EN MI CAPACIDAD, Y AUNQUE EN OCASIONES NO TODO HA SIDO FÁCIL, SIEMPRE HA ESTADO AHÍ PARA BRINDARME SU AMOR, CARIÑO, ÁNIMOS Y LO PRIMORDIAL QUE HA SIDO PACIENCIA Y COMPRENSIÓN.

A MIS AMADOS HIJOS; *AMELIA DOMÉNICA* LA LUZ DE MI VIDA, MI MUÑEQUITA HERMOSA A LA QUE AMO CON TODO MI SER Y MI *LEONEL BENJAMÍN*, MI SEGUNDA RAZÓN DE SER, A QUIEN AMO COMO A MI VIDA MISMA, ES POR USTEDES QUE NO DESMAYO, SON MI FUENTE DE VIDA Y ALEGRÍA POR QUIENES ESTARÍA DISPUESTO A IR AL FIN DEL MUNDO SI ES NECESARIO.

A MIS *PADRES Y HERMANAS* QUE SIEMPRE HAN ESTADO PREOCUPADOS DE MI BIENESTAR.

A MI *SEGUNDA FAMILIA* QUE LOS TENGO EN UNA MUY ALTA ESTIMA Y RESPETO, *MIS SUEGROS Y A LOS TÍOS DE MI ESPOSA* QUIENES DESINTERESADAMENTE ME HAN ENSEÑADO MUCHAS LECCIONES DE VIDA, SOBRETODDO DE GENEROSIDAD Y COMPRENSIÓN.

A MIS *DOCENTES, COMPAÑEROS Y AMIGOS* PRESENTES Y PASADOS, QUIENES SIN ESPERAR NADA A CAMBIO COMPARTIERON SUS CONOCIMIENTOS, ALEGRÍAS Y TRISTEZAS Y A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUNA U OTRA MANERA ESTUVIERON A MI LADO APOYÁNDOME PARA LOGRAR PLASMAR ESTE SUEÑO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)

TEMA:

ANÁLISIS DEL DISEÑO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE
UNA CUCHILLA DE CORTE, PARA LA OBTENCIÓN DE TIRAS DE CAÑA
GUADUA (BAMBÚ).

AUTOR: *Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda*

DIRECTOR: *Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.*

FECHA: *19 de agosto de 2016*

RESUMEN EJECUTIVO

La investigación se basa en la simulación por el método de los elementos finitos de una cuchilla para obtención de tiras de caña guadua (bambú), mediante el software, ANSYS Workbench LS-DYNA, para garantizar si el diseño de la cuchilla cumple con la característica principal para la que fue diseñada que es la obtención de tiras de caña guadua.

Al realizar el análisis dinámico, para verificar el corte de la cuchilla con respecto a la caña guadua (bambú), se procedió a determinar las propiedades mecánicas de la caña guadua (bambú), con el fin de obtener las características principales de dicho material y de esta manera tener datos confiables para ser ingresados en el software, por otra parte, los datos del material de la cuchilla fueron seleccionados de catálogo, siendo información relevante para la presente investigación.

Se efectuaron las simulaciones estáticas con los dos materiales de la cuchilla seleccionados tomando en cuenta el ángulo de filo de corte, geometrías tanto cóncava como convexa con la finalidad de obtener el modelo más viable, luego se sometió a un análisis dinámico, determinando el mejor diseño con estos parámetros.

Descriptores: Simulación de análisis Estáticos, análisis Dinámico, Caña Guadua, caracterización, Cuchilla, Geometría.

TECHNICAL INIVERSITY OF AMBATO
CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS FACULTY
POSGRADUATE UNIT
MASTER IN MECHANICAL DESIGN (II COHORT)

TOPIC:

DESIGN ANALYSIS BY FINITE ELEMENTS OF A CUTTING BLADE, IN
ORDER TO GET GUADUA CAÑE (BAMBOO) STRIPS.

AUTHOR: *Eng. Wilmo Marlon Vacacela Miranda*

DIRECTOR: *Eng. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.*

DATE: *19th August, 2016.*

EXECUTIVE SUMMARY

The research is based on simulation by the finite element method of a cutting blade for obtain strip of guadua cane (bamboo), through software ANSYS Workbench LS-DYNA, to guarantee if the desing of the cutting blade perform the main features to wich they were made for.

When performing dynamic analysis to verify the cutting blade relative to the guadua cane (bamboo), we proceeded to determine the mechanical properties of the guadua cane (bamboo), in order to obtain the main characteristics of such material and to get trustworthy data to be admitted to the software, moreover, data from the cutting blade material were selected from catalog, being a relevant information in the present research.

Static simulations were conductec with both materials of the selected cut blade taking into account the angle of the cutting edge, concave and convex geometries in order to get the most feasible model, then a dynamic analysis determined the best desing with this parameters.

Key words: static analysis simulation, dinamic analysis, bamboo, characterization, blade geometry.

INTRODUCCIÓN.

Este trabajo de investigación denominado: “Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una cuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)” es de importancia para las pequeñas empresas y artesanos que pueden contar con un referente para obtención de tiras de caña guadua (bambú).

La finalidad de este tipo de análisis es que se tenga la idea clara que, bajo los criterios apropiados y un buen manejo del software especializado de elementos finitos, se puede contar con un gran apoyo al momento de crear un prototipo en este caso de tipo digital mediante el cual, se puede determinar si un tipo de material, ángulo de afilado o geometría es adecuado para cierto trabajo, sin necesidad de construirlo físicamente.

En el Capítulo I, se encuentra el problema con el respectivo planteamiento, y está enfocado a incentivar el interés por los análisis mediante MEF, y se considera los factores que promuevan a crear prototipos digitales a partir de ideas o necesidades.

El Capítulo II, está constituido por el Marco Teórico referente a la investigación, en el cual se describe tipos de geometrías, filos de cuchillas conceptos sobre el MEF, mallado, etc., y se describe las características del bambú, también se ha planteado la hipótesis en la cual se busca determinar si por medio de análisis se puede obtener tiras de caña guadua.

El Capítulo III, está integrado por la metodología con la modalidad de investigación, población, muestra y operacionalización de variables, en la cual se busca mediante la asignación de parámetros tales como: el material, forma geométrica, análisis estático y dinámico, procesar la información sometida a análisis y armar el plan para la interpretación posterior de resultados.

El Capítulo IV, está formado por análisis e interpretación de resultados de la investigación y verificación de la hipótesis, en la cual se procedió a analizar las características mecánicas de la caña guadua y simular estáticamente las cuchillas con la variación de material, filo de cuchilla y forma geométrica para determinar cuál es la más idónea para ser aplicada a esta investigación.

En el Capítulo V, se encuentra las conclusiones y recomendaciones, acotando cual es la forma geométrica de la cuchilla, material y ángulo de filo que mejor se comporta a nuestro estudio así mismo las recomendaciones están muy apegadas a cuestiones de diseño y operacionalidad de análisis del software de Elementos finitos.

La propuesta se encuentra detallada en el Capítulo VI, en la cual se ha planteado una especie de guía de apoyo para futuras investigaciones referentes al MEF, se analiza el tipo de mallado, configuración geométrica del modelo a ser analizado y se muestran resultados a partir de graficas que dan la pauta para el incentivo a nuevos tipos de investigaciones a partir de un prototipado digital.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA

“ANÁLISIS DEL DISEÑO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE UNA CUCHILLA DE CORTE, PARA LA OBTENCIÓN DE TIRAS DE CAÑA GUADUA (BAMBÚ)”.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

A nivel mundial se conoce que el Bambú, más conocida en nuestro medio como Caña Guadua, es utilizada en muchas áreas de relevancia tales como: la medicina, alimentación, construcción, textil, papel, instrumentos musicales, utensilios, biomasa, la cultura asiática ha empleado el bambú en áreas diversas, en esta zona existen empresas de relevancia en cuanto al diseño y manufactura de máquinas y equipos de procesamiento del Bambú para uso industrial, semi-industrial y artesanal, con una gama amplia a escoger en cuanto a calidad, tamaño, costo y precisión, entre las más importantes podemos mencionar; Zhenhuan Machine, Qingdao Guosen Machinery Co., Ltd., Guangzhou Jiuying Food Machinery Ltd., Jinan Guanjiahong Trading Co., Ltd. por mencionar algunas. [1]

En América Latina los países que más se han enfocado en este tipo de maquinarias son Colombia y Cuba, se puede encontrar empresas relacionadas a la elaboración de máquinas para procesamiento del Bambú, existen un sin número de propuestas y estudios de máquinas elaboradas por universidades e institutos, que se han enfocado en el estudio y posterior procesamiento del Bambú, teniendo muy en cuenta que las personas e instituciones inmersas en este campo, son muy cuidadosos en cuanto a la aplicación de la ingeniería en las mismas. [2]

Actualmente en Ecuador la Caña Guadua es uno de los recursos naturales más importantes, existe un mercado muy limitado por no considerarlo nulo, en cuanto a la manufactura de máquinas y herramientas para el proceso del Bambú, existiendo unos pocos estudios por parte de universidades especialmente de la región costa, y las otras que existen en el medio son de fabricación estrictamente artesanal-empírico, sin analizar ningún proceso constructivo o de diseño. [3]

1.2.1 ANÁLISIS CRÍTICO

El presente proyecto está orientado a facilitar la apertura de nuevas fuentes de investigación.

Además, el análisis del diseño propuesto incentivará a los productores y procesadores de Caña Guadua a expandirse en su campo de acción, es decir se pretende elevar el interés de los sectores inmiscuidos en esta área haciéndoles notar la importancia de un elemento de estas características para mejorar la producción.

Se pondrá de manifiesto ciertas consideraciones en cuanto a relaciones de trabajo y funcionamiento del artefacto, orientadas a brindar una herramienta útil para quienes la utilicen y controlen, contando con un alto rango de efectividad en cuanto a los resultados obtenidos.

Permitirá establecer el diseño de una cuchilla capaz de lograr tiras de cañas guaduas para satisfacer la demanda de este tipo de madera, dicha herramienta debe ser capaz de cortar la caña guadua en forma axial paralelo a las fibras, para la obtención de tiras y de esta manera poder contar con la tecnología necesaria para satisfacer la demanda que tienen los artículos obtenidos a partir de este tipo de madera en el país.

1.2.2 PROGNOSIS

El desarrollo de este proyecto investigativo, es incentivar la producción semi-industrial e industrial de la producción de caña guadua (bambú) y promover el uso de sistemas de modelado para el prototipado digital que permitirán a las futuras generaciones contar con un manual de uso y aplicación en el diseño de cuchillas

para corte axial; así como también generar investigaciones en post-grado y temas de diseño y construcción de maquinaria y dispositivos en pregrado.

1.2.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El análisis del diseño de una cuchilla permitirá el procesamiento de la caña guadua para el corte de tiras homogéneas?

1.2.4 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Cuál será la forma de afilado adecuado para obtener tiras de caña guadua?

¿Cuál será la forma geométrica más adecuada para el trabajo propuesto?

¿Cuál será el material más viable para la configuración de la cuchilla?

1.2.5 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.5.1 Delimitación de contenido

El estudio a realizarse está enmarcado dentro del campo de Ingeniería Mecánica, concretamente dentro de las líneas de investigación de la Maestría de Diseño Mecánico a la que tributa el trabajo.

1.2.5.2 Delimitación espacial

La investigación se realizará en los Laboratorios y Talleres de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en la ciudad de Ambato Campus Huachi Chico.

1.2.5.3 Delimitación temporal

La investigación se realizó desde noviembre de 2015 hasta agosto de 2016.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la gente inmiscuida en el tema de la caña guadua no cuentan con una herramienta para la obtención de tiras homogéneas de este material, siendo un proceso que se lo realiza en gran proporción manualmente con la ayuda de machetes

o hachas y es netamente empírico basados en la experiencia y habilidad del zafrero encargado de realizar este trabajo.

Actualmente se sabe que el Ecuador cuenta con el apoyo directo de la regional del Instituto Mundial del Bambú, que brinda apoyo a proyectos relacionados a con esta especie, y que se han canalizado así algunos medios para la asistencia internacional. [4], se sabe que aproximadamente la producción es de 2500 cañas guaduas por cada hectárea de terreno, actualmente no se cuenta con un dato estadístico exacto de la cantidad de área con plantaciones de caña guadua en el País, pero se puede acotar que solo en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas existen unas 7000 hectáreas. [5]

Se ha visto la necesidad de crear un tipo de herramienta capaz de ayudar a los productores de caña guadua a obtener tiras homogéneas de este producto obtenido de la naturaleza, ya que debido a la forma tradicional en la cual se lo realiza se obtiene un vasto desperdicio debido a que los cortes realizados por el zafrero no son homogéneos se deben rectificar de una forma empírica y manual con la ayuda de segadoras o cepillos, lo cual es un desperdicio de recursos.

Se considera un estudio factible de realizarlo; ya que en el país y la región aún no se han realizado análisis ni proposiciones para este tipo de herramientas que sea específico para este sector artesanal y además por estar dentro de la zona productiva 3 específicamente en la provincia de Pastaza, donde se da la mayor demanda de este tipo de herramientas en la cual se concentra la mayor parte de artesanos que trabajan en esta área.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el diseño de una cuchilla por medio del método de los elementos finitos permitirá la obtención de tiras homogéneas de caña guadua.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la forma de afilado adecuado para la obtención de tiras de caña guadua.
- Determinar la forma geométrica de la cuchilla para la obtención de tiras de caña guadua.
- Definir el material más idóneo para la configuración de la cuchilla.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En cuanto a los antecedentes investigativos, relevantes para sustentar el cumplimiento de los objetivos planteados en el capítulo que precede, es necesario dejar el precedente que en la zona tres existe poca investigación que se haya enfocado al procesamiento de la caña guadua, por lo cual es evidente que el presente trabajo investigativo será innovador en este campo.

No obstante, como uno de los objetivos planteados es analizar el diseño para elaborar tiras a partir de la Caña Guadua, es de vital importancia acudir a investigaciones que se hayan centrado en generar procesos similares y adquirir la suficiente información para desarrollar un análisis correcto de la cuchilla.

-En México, diseñaron y simularon con la ayuda de software especializado una máquina cortadora para tiras de otatillo (especie de bambú), este artículo está avalado por la Revista Iberoamericana de Ciencias y en la cual se determinan cálculos estáticos de los componentes de la máquina por el método de los elementos finitos, la simulación en el programa Solid Works les facilitó la comprobación de los resultados de los cálculos y análisis por métodos analíticos de algunas variables fundamentales para el correcto funcionamiento de la máquina como son esfuerzos en elementos, factores de seguridad y desplazamientos para no bloquear el acoplamiento de los engranajes y se observa que los componentes están con un rango de factor de seguridad superior a ocho. [6]

-En Cuba, estudiaron el diseño del caso de un cepillo para el procesamiento del bambú, este artículo tiene el aval de Sistema de Información Científica Redalyc,

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, basándose principalmente en la reconfigurabilidad del mismo, en el cual ponen de manifiesto los requerimientos funcionales para concebirla en su totalidad con una metodología para el desarrollo modular de máquinas herramientas reconfigurables. La metodología proporciona una ayuda para la identificación y evaluación de los módulos reconfigurables de una determinada máquina reconfigurable, a partir del conocimiento de los requerimientos funcionales del constructor de máquinas. [7]

-En Guayaquil, diseñaron una máquina para cepillar y machihembrar madera, este proyecto está refrendado por la Revista Tecnológica ESPOL, en dicho estudio definen la velocidad de corte entre un rango de 10 m/min y la fuerza de corte alrededor de 180 N., para realizar el machihembrado, considerado en corte rotatorio en conclusión ellos calculan que según su diseño, cuentan con una capacidad de 240 tablas por hora de 2,5 m. de longitud, mostrando una gran cantidad de ahorro tanto en espacio y tiempo demostrando también una baja de gastos en proceso de la madera. [8]

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La presente investigación sobre el diseño por MEF de una cuchilla para la obtención de tiras de caña guadua está ubicada dentro del paradigma crítico propositivo; crítico porque conseguirá avances dentro del área de diseño por MEF e innovación para la industria que trabaja con caña guadua en el Ecuador y propositivo por cuanto busca plantear una alternativa de solución a la escasa disponibilidad de este tipo de herramientas en nuestro medio.

2.3 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.3.1 CRITERIOS DE DISEÑO PARA UNA HERRAMIENTA DE CORTE

El diseño de una herramienta, como es una cuchilla, para trabajar sea en materiales metálicos, polímeros o maderas es de gran relevancia el lograr un buen funcionamiento, los aspectos que hay que tomar en cuenta en el diseño de una cuchilla o herramienta en general son: La geometría de forma, el tamaño, el

material, el proceso de fabricación, el tratamiento térmico, condiciones de trabajo y pruebas de funcionalidad. [9]

2.3.2 CUCHILLA DE CORTE PARA MADERA

Es una herramienta utilizada para realizar tareas de corte sea lateral o transversal en piezas de madera y esta operación o actividad mecánica conlleva desprendimiento de viruta, corte, ranurados, canteados, biselados y pulidos, el movimiento es proporcionado en forma alternativa al realizarlo de forma manual y rotatorio al usarse en máquinas herramientas, para el corte se requiere técnica y experiencia tomando en cuenta un exhaustivo cuidado de la cuchilla para que ésta esté siempre bien afilada y en la regulación correcta. [10]

Generalmente en piezas de gran tamaño que se maquinan o cortan en una mesa no se utilizan prensas ya que serían de grandes dimensiones, para esto se recomienda la utilización de bridas, tornillos, tirantes o soportes especiales, diseñados especialmente para un trabajo específico. [11]

En el corte debe verificarse que la herramienta se levante sin rozar la visagra en el retroceso, ya que de no hacerse se corre el riesgo de despostillar o desafilar la herramienta. [11]

El operador debe tener conocimientos en: matemáticas, mantenimiento, metrología, afilado, ajuste, etcétera. [11]

2.3.3 MATERIALES UTILIZADOS PARA HERRAMIENTAS DE CORTE

Básicamente, el corte en una cuchilla genera esfuerzos axiales, angulares y de impacto, es requisito indispensable que la herramienta de corte presente alta dureza, incluso a temperaturas elevadas, una alta resistencia al desgaste. Estas características dependen de los materiales con los que se fabrica la herramienta, los cuales se dividen en varios grupos, pero para el presente estudio, nos hemos enfocado en aceros para trabajo en frío. [12]

2.3.4 ACEROS PARA TRABAJO EN FRÍO

Existe un grupo, que es el de los aceros alto carbono, alto cromo, los cuales bajo la norma AISI se representan bajo la letra D (DIE). Los aceros en este grupo muestran alta resistencia al desgaste, buena profundidad de endurecimiento y bajos cambios dimensionales en el temple. [9]

Dentro de los aceros de alto carbono, alto cromo que se venden en el país se encuentran el D2 y DF2, los cuales cuentan con excelentes características de estabilidad dimensional durante el templado, superior a los aceros de herramientas convencionales. Por esta razón en la elaboración de este trabajo, se seleccionó un acero de temple al aire (acero D2). Este medio de enfriamiento disminuye al mínimo la posibilidad de grietas. [9]

El otro acero seleccionado es el de la serie BOHLER K353 el cual al contener menos carbono y menos cromo que los aceros aleados al 12% Cr. Los volúmenes de carburo son menores lo que conlleva a una mejor distribución, lo que lo vuelve un acero más tenaz que el D2, el menor contenido de carbono conlleva a un mejor acabado superficial y más resistencia a la rotura. [13]

En resumen, los aceros que fueron seleccionados para el presente es análisis fueron el D2 y el BÖHLER K353, mismo que se describe la información referente a estos aceros a continuación.

2.3.4.1 Acero para trabajo en frío: Acero D2

Este acero es más conocido en el mercado como el K110, esta numeración corresponde a la asignación asignada por BÖHLER, es un acero de alto contenido de carbono y sus características principales son la alta resistencia al desgaste, a la compresión, alta dureza superficial después del temple, propiedades de endureciendo total elevadas y una buena estabilidad al temple. [9]

La composición de este acero químicamente hablando se resume a:

Tabla 2.1 Composición química de acero D2

Composición química (valores aproximados en %)					
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1,55	0,30	0,30	11,30	0,75	0,75

(Fuente: BÖHLER)

Se ubica dentro de los Aceros ledeburíticos con un 12% de Cromo en promedio.

Dentro de las aplicaciones, el acero D-2 se recomienda para herramientas que requieren muy alta resistencia al desgaste, combinada con una moderada tenacidad (resistencia al impacto) es de muy alto rendimiento en cuanto a herramientas para trabajo en madera. [14]

En tabla 2.2 se pueden observar las propiedades físicas del acero D2

Tabla 2.2 Propiedades físicas del acero D2

Propiedades físicas ¹⁾

Densidad a20°C7,67kg/dm³

Conductibilidad térmica a20°C23,9W/(m.K)

Calor específico a20°C470J/(kg.K)

Resistencia eléctrica específica a20°C0,65Ohm.mm²/m

Módulo de elasticidad a20°C200 x 10³ ..N/mm²

Dilatación térmica, entre 20°C y ...°C, 10 ⁻⁶ m/(mK)						
100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
11,0	11,4	11,9	12,2	12,7	12,8	12,1

1) valores medidos

(Fuente: BÖHLER)

2.3.4.2 Acero para trabajo en frío: Böhler K353

Es un acero universal para aplicaciones de trabajo en frío, su característica principal es la alta dureza, resistencia al desgaste y una tenacidad excelente, contiene un 8% de Cromo, su fabricación es de manera convencional en combinación con buenas propiedades de mecanizado y estabilidad dimensional alta, es altamente recomendado en serie de producción cortas o medias donde se requiere consistencia fuerte al desgaste y al astillado. [13]

Al ser un acero producido por la empresa BÖHLER, en la Figura 2.1. se muestra el posicionamiento o ubicación de este acero con referencia a otros de norma genéricas.

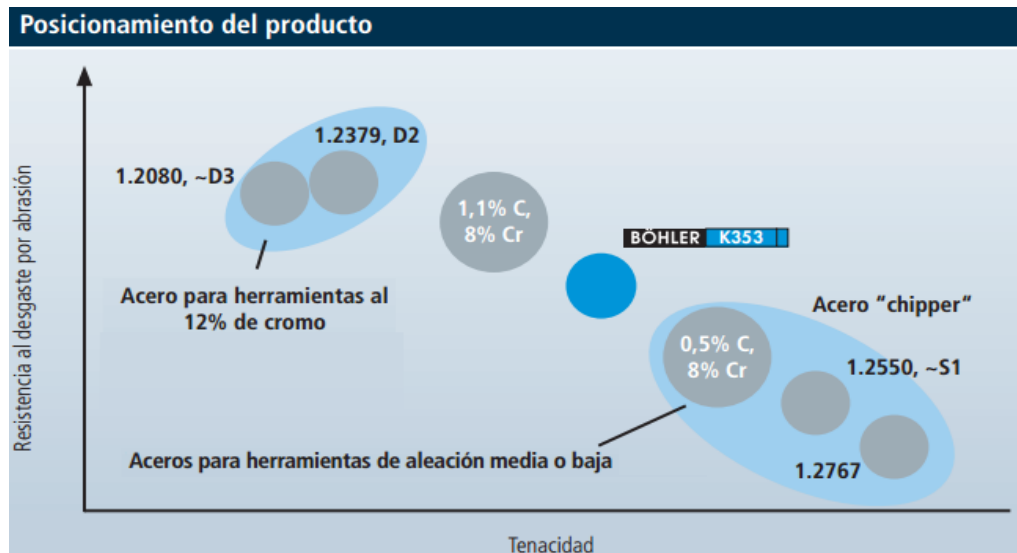


Figura 2.1 Posicionamiento del acero K353 en el mercado. (Fuente: BÖHLER)

La composición de este acero químicamente hablando se resume a:

Tabla 2.3 Composición química de acero K353

Composición química (%)						
C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Al
0,82	0,70	0,40	8,00	1,60	0,60	+

(Fuente: BÖHLER)

Dentro de las aplicaciones, el acero BÖHLER K353 se recomienda para herramientas que requieren muy alta resistencia al desgaste, es de muy alto rendimiento en cuanto a herramientas para trabajo en madera, cuchillas, excelentes propiedades para el corte.

En la tabla 2.4 se describen las propiedades físicas del acero K353.

Tabla 2.4 Propiedades físicas del acero K353

Propiedades físicas	
Módulo de elasticidad a 20 °C	212 x 10 ³ N/mm ²
Densidad a 20 °C	7,70 kg/dm ³
Capacidad térmica a 20 °C	470 J/(kg.K)
Conductividad térmica a 20 °C	21,9 W/(m.K)

Dilatación térmica entre 20 °C y ... °C				
100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
11,0	11,3	11,6	12,0	12,4

(Fuente: BÖHLER)

2.3.5 FORMA GEOMÉTRICA DE LA CUCHILLA

Las cuchillas deben representar alta calidad y precisión de corte. Las características de geometría cóncavas con arco interior son autocentrantes para el material a cortar en el momento de producirse la división. De esta manera, el proceso de corte se estabiliza automáticamente y permite controlar mejor el material y las cuchillas convexas con el filo curvado hacia el exterior, el contorno del filo en la forma del arco se aplica de forma previsible y con una enorme precisión y alivio de tensiones ya que se ejerce un efecto de corte de tijera o cizalla. [15]

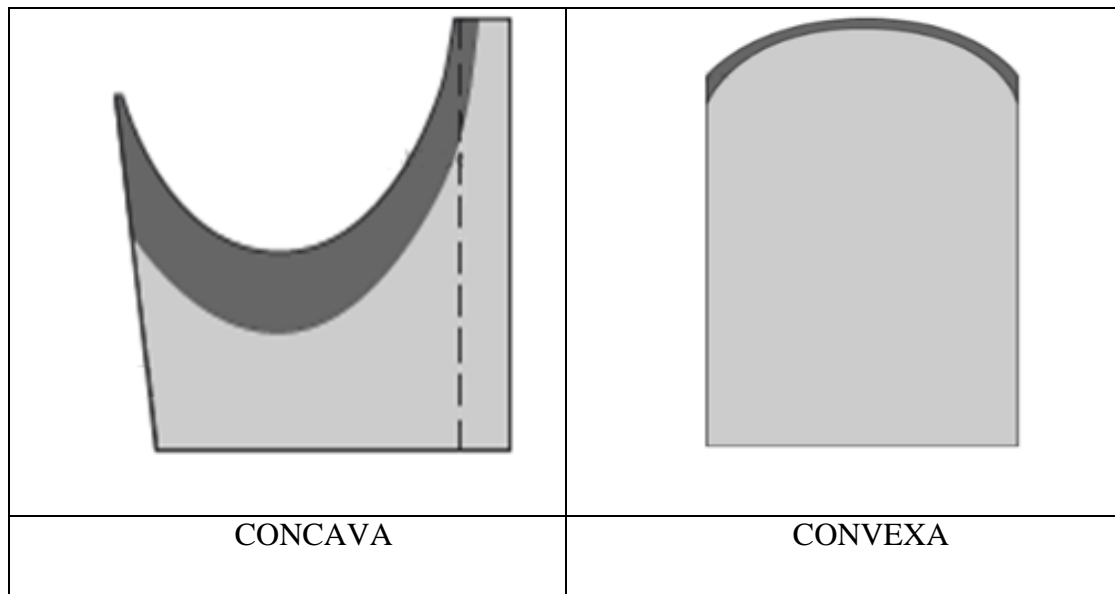


Figura 2.2 Configuración geométrica de la Cuchilla [15]

2.3.6 FORMAS GEOMÉTRICAS DE AFILADO EN CUCHILLAS DE CORTE

Las cuchillas comunes, hojas de acero se fabrican con diferentes ángulos de corte, para corte de madera maciza para cortes paralelos a la fibra se usa el diente con afilado recto, en punta o dentado y ángulo de salida grande. Y para cortes a través de la fibra de afilado inclinado y ángulo de ataque chico, con diente triangular o en punta. [16]

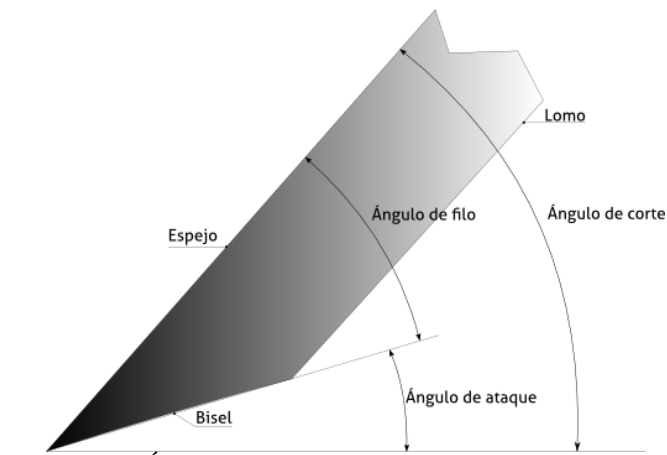


Figura 2.3 Ángulos descriptivos en cuchillas para madera. [17]

Las cuchillas se emplean para el corte de diferentes materiales: metales, plásticos, maderas y sus derivados; por lo que la selección del filo deberá hacerse de acuerdo a las características del material a cortar, y tendrán diferente perfil, inclinación y ángulo de corte, de acuerdo al material para el cual han sido diseñados. Si bien se podrán emplear muchos de ellos para cortar casi cualquier material logrando resultados aceptables, solo utilizando el filo adecuado se obtendrá un buen rendimiento, excelente calidad y aprovechamiento máximo de la vida útil de la herramienta que es el objetivo principal de la presente investigación, determinar la forma óptima del afilado de la cuchilla. [16] [18]

Los tipos de geometría del filo utilizado en cuchillería no son ampliamente publicados por las empresas fabricantes de cuchillas, sin embargo, una compañía hace una pequeña descripción de tres geometrías ampliamente usadas en cuchillería las cuales se muestran en la figura 2.4. [19] [20]

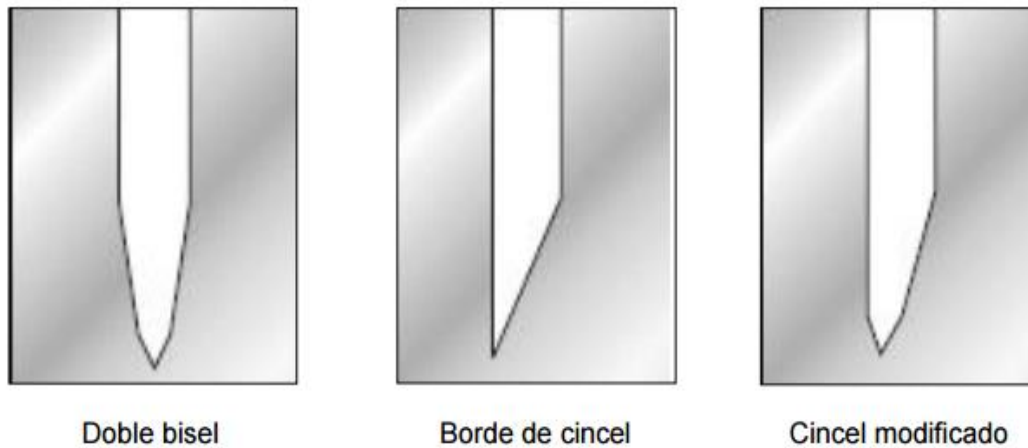


Figura 2.4 Geometrías ampliamente usadas en cuchillería [20]

El perfil más común es de doble bisel que se afila hasta el extremo; después que las fuerzas de corte sean simétricas, este borde minimiza la tendencia a redondearse o deformarse. El borde de cincel se usa cuando el corte debe coincidir con un lado de la cuchilla o cuando se requiere una acción de cizallamiento. El perfil de cincel modificado es similar al borde de cincel, pero con un ángulo secundario en la punta; esta geometría proporciona el afilado del doble bisel, pero con un corte descentrado. [19]

Ángulo de ataque o de desprendimiento de virutas es el ángulo determinado por la cara frontal del diente y la línea de radio del eje, éste ángulo influye en la calidad del corte, en la fuerza de empuje y en la fuerza de corte. Tanto el diámetro de la hoja, como el saliente de dientes por encima de la madera afectarán la incidencia de éste ángulo, produciendo un acabado más o menos liso en la superficie cortada. [16]

Un ángulo positivo o negativo, dependerá del material a cortar y la elección del ángulo de corte adecuado. Para maderas blandas y materiales de mucho desprendimiento de viruta se usan ángulos positivos, reduciéndose para maderas duras y ángulos negativos para cortar materiales compuestos y melamínicos. [16]

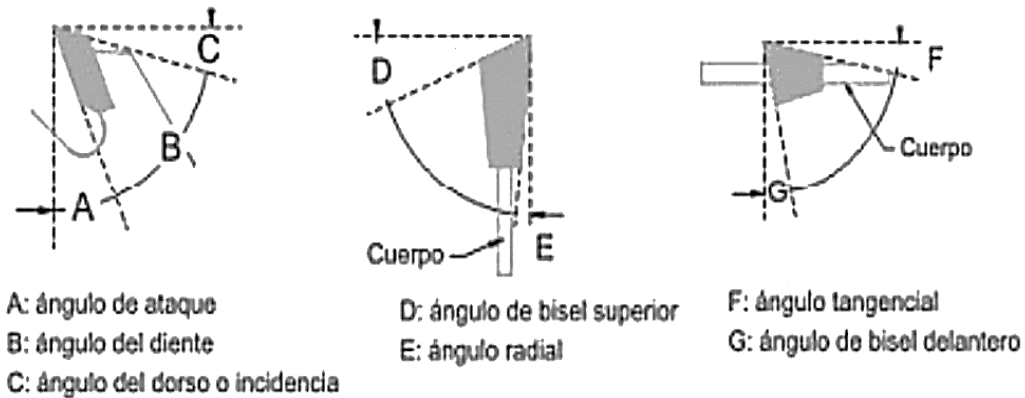


Figura 2.5. Descripción de ángulos de la cuchilla para el corte [16]

2.3.6.1 Durabilidad del filo

La selección y utilización adecuada de la cuchilla, permitirá un trabajo eficiente del filo de la herramienta y la durabilidad de la misma también. Un filo demasiado pronunciado quemará el material y forzará a la herramienta; en las cuchillas HSS el filo debe estar trabado para realizar el trabajo de corte sin fricción, en el caso de las sierras HM se llama tamaño de la distribución, referida a un lado del filo. La distribución es simétrica, de lo contrario se desviaría hacia el lado de mayor distribución. Si la distribución es muy pequeña, la hoja se calienta, pierde rigidez y se desvía; por el contrario, si es demasiado grande corta grueso, dejando la superficie áspera y consumiendo mucha energía. La distribución se controla y corrige durante el afilado. Para maderas blandas la distribución es mayor que para maderas duras; si la madera esta húmeda requerirá mayor distribución que la madera seca y para el corte longitudinal también se emplea una distribución mayor que para el corte transversal. [16] [18]

2.3.7 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Richard Courant desarrolló el Análisis mediante el Método de Elementos Finitos en 1943, cuando utilizó el método de Ritz de análisis numérico y minimización del cálculo vibraciones, para la obtención de soluciones aproximadas a los sistemas de vibración. En 1956, un estudio publicado estableció una definición más extensiva del análisis numérico, centrándose en la “Rigidez y deflexión de estructuras completas”. [21]

Boeing fue quien dio un paso importante en la aplicación y utilización del Método de Elementos Finitos se dio por los años 50, cuando usó elementos triangulares para modelar las alas de los aeroplanos y las fuerzas que estas sufrían. Durante los 60, otros investigadores comenzaron a aplicar el Método de Elementos Finitos a otros problemas ingenieriles como la transferencia de calor o la dinámica de fluidos. [21] [22]

El Análisis por Elementos Finitos a comienzo de los 70 se encontraba limitado a computadoras muy costosas, generalmente propiedad de las industrias aeronáuticas, de automoción, defensa y nucleares. Sin embargo, con el crecimiento experimentado de la potencia de los ordenadores, y la caída de precios, el Análisis por Elementos Finitos ha desarrollado su precisión hasta altos niveles, siendo posible en la actualidad obtener resultados precisos de todo tipo de parámetros gracias a la actividad de las supercomputadoras. [23]

Uno de los retos que debe afrontar el ingeniero en el desarrollo de sus labores es el analizar y calcular soluciones para el diseño de distintos procesos, elementos o sistemas tecnológicos, es decir, la predicción cuantitativa y cualitativa del comportamiento de estos elementos o procesos [23]

Para lograr esto, el ingeniero ha de implantar sus conocimientos de física, química y matemática en un modelo matemático, este modelo no deja de ser un sistema de ecuaciones, cuyas incógnitas representan las magnitudes necesarias para resolver el comportamiento del objeto que se diseña. Por lo que el ingeniero, para conocer el valor de las incógnitas únicamente debe de resolver dicho sistema. [24]

Debido a la dificultad para obtener dichas soluciones, los ingenieros han resuelto históricamente estos sistemas mediante el uso de modelos simplificados basados en resultados experimentales principalmente. Este sistema ha resultado suficientemente preciso para la ingeniería, pero es fácil darse cuenta que presenta muchas limitaciones en cuanto a posibilidades de análisis, limitaciones que se ven incrementadas por las mayores exigencias de la tecnología moderna. [21] [23]

Afortunadamente para el cálculo ingenieril, con la evolución de la electrónica y sus métodos computacionales, han aparecido numerosas herramientas y técnicas numéricas que facilitan el cálculo de estos sistemas de ecuaciones. [24]

Una de estas técnicas numéricas es el método de elementos finitos (MEF).

Este método se ha desarrollado ligado principalmente al cálculo de ingeniería estructural. Antes de la computación electrónica, los métodos de resolución eran iterativos, había que resolverlos manualmente lo que conllevaba un consumo de tiempo y recursos humanos muy elevado. Con la llegada del cálculo por computadora, estas operaciones se han visto reducidas en tiempo increíblemente. [25]

Se utiliza el método de elementos finitos (MEF) para resolver problemas gobernados por un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales. En la solución de un problema a través de FEM, el dominio es discretizado (dividido en partes más pequeñas), a cada uno de los cuales se asigna un perfil de desplazamientos asumido, obteniéndose una ecuación para cada elemento. Juntando todas las ecuaciones se forma la ecuación global para todo el dominio del problema, la cual puede ser resuelta para todo el campo de desplazamientos. [21]

A pesar de poder crear un modelo matemático del sistema que se quiere diseñar, en muchas ocasiones sigue siendo necesaria la creación de prototipos reales del mismo para obtener resultados con mayor grado de exactitud o que implican una gran responsabilidad. [23]

2.3.7.1 Principios básicos y aplicaciones del MEF

En el método de elementos finitos se pretende ir de un medio continuo a una serie de elementos unidos entre sí, los cuales se definirán como nodos. Lo importante en este caso es que los elementos sean lo suficientemente pequeños como para que su aproximación resulte aceptable. [21]

Al aplicar el MEF, lo que se hace es pasar de un sistema de infinitos grados de libertad a un sistema con un número de grados de libertad finitos, cuyo

comportamiento viene definido por un sistema de ecuaciones, las cuales pueden ser lineales o no lineales. [21]

Es necesario distinguir en cualquier sistema a analizar el dominio, que corresponde al espacio geométrico del sistema, las condiciones de contorno que corresponde a las variables conocidas como temperatura, cargas, etc. y las variables que se desean conocer del sistema, es decir las incógnitas. [24]

El principio básico de funcionamiento del MEF es la discretización, este método consiste en dividir el espacio geométrico del sistema en elementos que pueden ser puntos, líneas o superficies según sea lineal, bidimensional o tridimensional. [24] [26]

Una vez discretizado el sistema y aplicadas las condiciones de contorno, se resuelve de forma lineal hasta alcanzar el estado final. Si durante la resolución del sistema aparece alguna ecuación no lineal, esta ha de ser resuelta gradualmente de manera lineal. [26]

El método de elementos finitos, a pesar de tener sus limitaciones, es una herramienta de cálculo altamente potente y es capaz de simular cualquier problema físico. [26]

Las limitaciones que presenta el MEF vienen siendo las que presenta al implementar las condiciones del modelo a calcular. Por lo que muchas veces solo es posible realizar una aproximación del modelo. [24] [26]

2.3.7.2 Problemas no lineales

Como se ha explicado, el método de elementos finitos calcula las incógnitas mediante discretización con ecuaciones lineales. Esta simplificación ayuda a resolver los cálculos, pero se hace evidente que no se adapta a la realidad en cuanto al comportamiento del elemento, ya sea debido al material o a la geometría del mismo, entre otros factores. [21]

Para entender mejor este detalle, solo hace falta fijarse en el comportamiento de cualquier material elástico, ya que su curva tensión – deformación es lineal hasta

alcanzar su límite elástico, una vez alcanzado, la curva pasa a ser no lineal. En la Figura 2.6 se visualiza este fenómeno explicado. [22] [27]

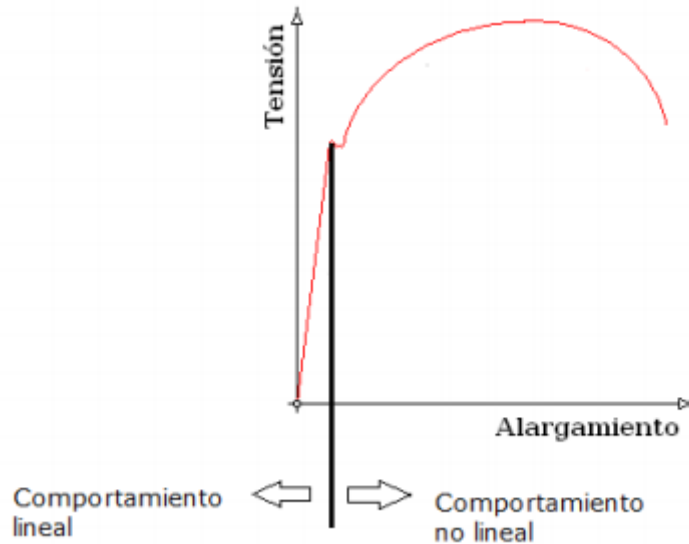


Figura 2.6. Curva tensión – deformación de un material [22]

Es fácil darse cuenta que, en la simulación de un corte axial, existirán multitud de parámetros y elementos que no se comportan de manera lineal durante todo el proceso de cálculo, por lo que es necesario introducir de manera correcta el comportamiento de estos elementos. [22] [27]

Un problema es no-lineal si la matriz de rigidez y el vector de cargas dependen de los desplazamientos. En sólidos y estructuras, la no-linealidad puede ser clasificada como: [22] [28]

-No-linealidad de material, asociada con cambios en las propiedades del material como en la plasticidad. [28]

-No-linealidad geométrico, asociada con cambios en la configuración del componente, como es en grandes deformaciones. [28]

Un análisis no-lineal consiste de las siguientes etapas: [29]

-Desarrollo del modelo, dependiendo de las capacidades y necesidades.

-Formulación de las ecuaciones gobernantes, se profundizará más adelante sobre el tema. -Discretización de las ecuaciones, proceso realizado por computadoras en la actualidad pero que requiere el entendimiento por parte del usuario.

-Solución de las ecuaciones, elección de parámetros decisivos para la solución del modelo. -Interpretación de resultados, criterio para la detección de posibles errores.

2.3.7.3 Coordenadas en elementos finitos: formulación de análisis no lineales

Se definen dos tipos de coordenadas para análisis con elementos finitos. [30] [31]

Figura 2.7:

-Coordenadas espaciales (eulerianas), especifican la ubicación de un punto en el espacio.

-Coordenadas de material (lagrangianas), relacionadas con un punto de material

De lo anterior se deriva la descripción de:

-Mallas eulerianas: aquellas en las que los nodos permanecen fijos en sus posiciones originales.

-Mallas lagrangianas: aquellas en las que los nodos varían en el tiempo, conforme el movimiento de la malla.

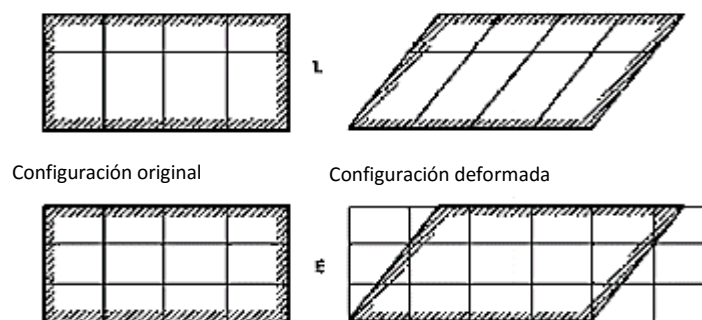


Figura 2.7. Muestra de elementos Lagrangianos (L) y Eulerianos (E), [30]

En mecánica de sólidos las mallas lagrangianas son preferidas por la facilidad de adaptarse a formas complicadas y la habilidad de seguir puntos de material. [30] [31]

Partiendo de lo anteriormente mencionado, se aceptan dos aproximaciones en la formulación de análisis no-lineales [30] [31]:

-Formulaciones en términos de medidas lagrangianas de esfuerzos y deformaciones tomadas respecto de coordenadas lagrangianas, (formulaciones lagrangianas totales).

-Formulaciones en términos de medidas eulerianas de esfuerzos y deformaciones tomadas respecto a coordenadas eulerianas (formulaciones lagrangianas actualizadas).

Ambas formulaciones emplean mallas lagrangianas, La diferencia radica en que la primera formulación refiere los resultados a la configuración original, mientras que la segunda a la configuración actual (deformada).

2.3.7.4 Ecuaciones gobernantes

Las ecuaciones que rigen los fenómenos físicos son las ecuaciones gobernantes. No siempre es posible ni práctico (en términos de tiempo para problemas de ingeniería) obtener soluciones para las ecuaciones gobernantes en su forma algébrica/matricial, llamada formulación fuerte (strong form por su término en inglés) dado el requerimiento de una fuerte continuidad de las variables involucradas. Cualquier función que defina dichas variables debe ser diferenciable más allá del orden de las ecuaciones diferenciales que existen en el sistema de ecuaciones de formulación fuerte. En contraste se tiene una notación de las ecuaciones gobernantes conocida como formulación débil (weak form, por su término en inglés), que es una forma integral de las ecuaciones gobernantes que requiere una continuidad más débil en el campo de las variables. Debido a ello, una formulación obtenida de una “formulación fuerte” produce un sistema de ecuaciones discretizadas que proporciona resultados más exactos, especialmente en problemas de geometría compleja, por lo tanto, la formulación fuerte es la más usada para obtener soluciones aproximadas, siendo MEF un ejemplo típico de uso de éste tipo de formulaciones. Por ello, si el espacio de diseño es correctamente discretizado (tomando en cuenta los diferentes tipos de elementos que se tiene como opción), MEF puede ser

aplicado a problemas prácticos de ingeniería, inclusive con geometrías muy complejas. [24]

En general, las ecuaciones gobernantes consideran [30] [32]:

-Conservación de masa.

-Conservación de momentum (cantidad de movimiento).

-Conservación de energía.

-Una medida de deformación, llamada ecuación desplazamiento-deformación unitaria.

-Una ecuación constitutiva, que describa el comportamiento del material y relacione el esfuerzo con una medida de deformación.

Según reporta la bibliografía, una formulación fuerte de un sistema de ecuaciones diferenciales se puede crear mediante los métodos.

-Principios de energía (Energy principles).

-Método de residuos pesados (Weighted residual methods)

El primero puede catalogarse como una forma especial del principio variacional, usado especialmente para problemas de mecánica de sólidos y estructuras. El método de residuos pesados es una herramienta matemática más general aplicable para resolver cualquier tipo de ecuación diferencial [32]

Fijada una base asociada a una determinada discretización del dominio, como por ejemplo la dada por las funciones $N_i(x)$ la forma débil del problema (cuando la función $a(\cdot, \cdot)$ es bilineal) puede escribirse como una ecuación matricial simple [33]:

$$a(u^h, v^h) = \langle f, v^h \rangle, \forall v^h \in V^h, \Rightarrow \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij}(u^h)_i (v^h)_j = \sum_{j=1}^N (f)_j (v^h)_j$$

Donde N es el número de nodos. Agrupando los términos y teniendo en cuenta que v^h es arbitrario y que por tanto la ecuación anterior debe cumplirse para cualquier valor de dicho vector arbitrario se tiene que [34]:

$$\sum_{j=1}^N \left(\sum_{i=1}^N a_{ij}(u^h)_i - (f)_j \right) (v^h)_j = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^N a_{ij}(u^h)_i - (f)_j = 0 \Rightarrow \mathbf{K}\mathbf{u} - \mathbf{f} = \mathbf{0}$$

Este es la forma común del sistema de ecuaciones de un problema de elementos asociado a una ecuación diferencial lineal, no dependiente del tiempo. Para resolver numéricamente el sistema de ecuaciones, que usualmente consta de miles o incluso centenares de miles de ecuaciones se requieren algoritmos eficientes que optimicen el número de operaciones que debe realizarse y ahorren memoria. [34]

En general las complicaciones computacionales que deben resolverse en la resolución numérica son [35]:

1. El cálculo de la matriz de coeficientes $\mathbf{K} = a_{ij}$, esto generalmente requiere integración numérica aproximada lo cual es una nueva fuente de errores en el cálculo por el MEF.
2. El uso de un método eficiente para resolver el sistema de ecuaciones obtenido. Por ejemplo el método de Cramer es totalmente impracticable para $N \geq 27!$, un ordenador de unos 10 GFlops tardaría más de 2 años en resolver el sistema por dicho método, mientras que si se usa el método de eliminación gaussiana tardaría menos de una diez milésima de segundo. [35]

Para entender la necesidad de la integración numérica necesitamos ver qué forma tiene típicamente la forma débil del problema, expresada en términos de los subdominios o elementos finitos. Esa forma débil involucra integrales de la forma [35]:

$$\int_{\Omega} f d\Omega = \sum_{e=1}^n \int_{\Omega^{(e)}} f d\Omega = \sum_{e=1}^n \int_{\hat{\Omega}} (f \circ F^{(e)}) J_{F^{(e)}} d\hat{\Omega} \approx \sum_{m=1}^{N_{PI}} w_m \hat{f}(\xi_m) J_{F^{(e)}}(\xi_m)$$

Donde:

$\Omega \subset \mathbb{R}^d$ son el dominio sobre el que se plantea el problema.

$\Omega^{(e)}, \widehat{\Omega}$, representan a cada uno de los elementos finitos y al dominio isoperimétrico que da la forma de los elementos finitos.

$f: \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}, f := \widehat{f} \circ F^{(e)}$, representan la función que debe integrarse y su expresión sobre el dominio isoperimétrico.

$F^{(e)}: \widehat{\Omega} \rightarrow \Omega^{(e)}$, la aplicación que relaciona de dominio isoperimétrico con cada elemento finito.

w_m, ξ_m , son los pesos y los puntos de integración usados para integración gaussiana.

n, n_{PI} , son el número total de elementos y el número de puntos de integración por elemento.

2.3.7.5 Mallado del sistema

La asignación del mallado consiste en discretizar o dividir los objetos modelados en pequeños elementos denominados “elementos finitos”, en cada uno de los cuales se realizan los cálculos y la resolución del sistema de ecuaciones que desembocaran en los resultados finales de todo el conjunto, este paso es la base de este método de análisis. [36]

El mallado del modelo es un paso preponderante debido a que este es de vital importancia y relevancia para la obtención de resultados cercanos a la realidad.

Se cuenta con varios tipos de métodos para efectuar la discretización de los objetos en elementos finitos, dependiendo del tipo de modelo con el que se trabaje, sean estos unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales. [37]

Debido al que el Análisis de la cuchilla consiste en objetos sólidos de tres dimensiones, los elementos utilizados para la realización del mallado pueden ser tetraedros, hexaedros, pirámides o prismas. En el presente trabajo se emplearán elementos de tipo tetraédrico, ya que son los más utilizados en análisis de tipo estructural donde no intervienen fluidos. [38]

Al momento de realizar la malla se deben tener en cuenta los detalles geométricos de la estructura modelada, es decir, que tanto influyen estos detalles en la relevancia de la simulación física. El incluir innecesariamente geometrías complejas aumenta de manera considerable la utilización de recursos del computador para obtener una solución adecuada. [39]

Cuando se realiza la división del modelo en elementos finitos es necesario elaborar un balance entre la fidelidad de la solución y los recursos disponibles, ya que un mallado más fino que incluye un mayor número de elementos requiere mayor tiempo de solución y mayores recursos de memoria del computador. [40]

Para asegurar que los resultados obtenidos se apeguen a la realidad se utilizan criterios de convergencia, los mismos que estudian la calidad de los elementos finitos y permiten conocer si el análisis tiende a una correcta solución. [41]

Estos criterios de convergencia son necesarios debido a que, en áreas de alta complejidad geométrica, los elementos pueden distorsionarse y una malla pobre en calidad otorgará resultados igualmente pobres y en algunos casos incluso no llegará a una solución. [42]

Para análisis de tipo estructural que utilizan elementos tetraédricos y cuadrangulares, uno de los criterios de convergencia mayormente utilizados es el de razón de aspecto (aspect ratio) que es una medida de la razón entre el lado mayor y el lado menor de cada elemento considerando la distorsión que ocurre en ciertas zonas del mallado. Idealmente cuando un elemento no presenta distorsión su razón de aspecto es igual a uno, pero cuando el elemento se deforma, el criterio para la convergencia de la solución establece que, para obtener un resultado acorde a la realidad, la razón de aspecto se debe encontrar entre uno y seis. [43]

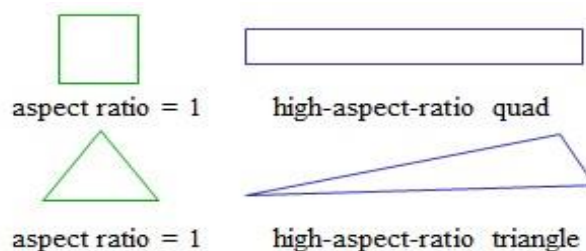


Figura 2.8. Criterio de convergencia (Aspect Ratio) [44]

El valor que se compara para establecer el criterio de convergencia corresponde al promedio del número de elementos de todos los objetos mallados. [45]

En el programa Ansys dentro de la ventana Outline se encuentra la opción Mesh que permite elaborar el mallado del modelo. La ventana inferior de detalles permite realizar cambios en la configuración del mallado según las necesidades del usuario, como el tamaño de los elementos a utilizar en la malla, transiciones en curvas de las geometrías complejas, la relevancia del mallado, refinamientos o métodos específicos para realizar la discretización utilizando un tipo definido de elemento. [43]

También mediante la opción de estadística, el programa permite conocer cómo se encuentra el mallado del sistema, se puede observar el número de nodos y el número de elementos utilizados, además es posible seleccionar un criterio de convergencia para establecer la calidad del mallado realizado. [45]

2.3.8 CAÑA GUADUA (BAMBÚ)

El bambú, comúnmente llamado a todas las plantas arboriformes, con tronco leñoso y forma de caña, viene de la familia de las gramíneas o hiervas, de ahí parten las diferentes subfamilias de bambúes. [46]

Un ejemplar gigante del bambú es la Guadua Angustifolia o Caña Guadua, se la puede reconocer porque nacen varios tallos de color amarillo a verde oscuro, unidos en grupos por rizomas. El rizoma es un tallo subterráneo, generalmente horizontal que, por un lado, echa ramas aéreas verticales, y, por el otro, raíces, es el órgano que fija y soporta a la planta en el suelo, absorbe, almacena y dosifica los líquidos nutrientes al organismo vegetal y es el que actúa como elemento para la propagación asexual del bambú, con anillos o nudos que poseen varias ramitas delgadas, horizontales y con espinas. [46]

Los tallos o también llamados culmos, adquieren su altura máxima después de 6 años, dentro de este tiempo el bambú puede ser utilizado para la elaboración de diferentes artesanías, muebles, viviendas, postes, pisos, ya que tiene características físicas a la de madera sólida [46].

2.3.8.1 Características de la caña guadua

Conocida vulgarmente como caña brava (cuando contiene espinas) o caña mansa (cuando carece de espinas), su nombre científico es “*guadua angustifolia kunth*”, tiene la cualidad de crecer desde el nivel del mar hasta los 2600 metros sobre este y las temperaturas pueden variar desde los 16 y 36 grados centígrados; soporta alta humedad ambiental, vienen dadas en formas: Castilla, Macana y Cebolla y en variedad de colores como la bicolor verde rayada y amarilla o Guadua Negra, la guadua castilla está configurada de diámetros grandes: 180 a 350 mm y se desarrolla en suelos húmedos ricos en nutrientes por su parte la guadua macana es de diámetros pequeños entre 70 a 150 mm; espesor de 12 mm, se desarrolla en suelos con pocos nutrientes con humedad baja y con pendientes pronunciadas, la guadua cebolla cuenta con diámetros pequeños y uniformes en la línea de 100 mm y un espesor de 10 mm, se desarrolla en suelos ricos en nutrientes con alta humedad y pendientes bajas. [47] [48]

La Guadua prefiere su crecimiento en suelos francos con ph neutros o que sean ligeramente ácidos, en general es cilíndrica hueca, con entrenudos que en la base son cortos y a medida que crece se van alargando. En cada nudo existe una doble raya blanca que sirve para identificar a las guaduas de otro tipo de bambú, sus raíces son paquimorfias con la presencia de yemas, las mismas que una vez que la planta alcanza su longitud total se activan y dan origen a nuevos brotes o plántulas, es un importante fijador de dióxido de carbono (CO₂), su madera no libera a la atmósfera el gas retenido después de ser transformada en elemento o ser usada en construcción, sino que éste queda fijo en las obras realizadas con ella, es el vegetal de más rápido crecimiento en el mundo llegando en una etapa a crecer hasta 20 cm diarios, produce más biomasa que cualquier madera tropical, y de mejor calidad, en condiciones ideales se podría llegar anualmente a 50 Toneladas por hectárea, se la puede cosechar en 4 años, se la siembra una sola vez, y produce brotes indefinidamente, mejorando su calidad con el tiempo, con ayuda de imágenes satelitales se sabe que una de las especies de guadua de la Amazonía es el organismo viviente más grande del mundo, por su inmenso sistema de raíces subterráneas a causa de esto retiene más humedad que cualquier vegetal; en épocas

húmedas almacena agua dentro de los canutos, esta absorción también controla las inundaciones, y en época seca dosifica el agua a las raíces reteniendo la humedad en los suelos. [48]

A la descripción anterior se suma que la *Guadua Angustifolia* posee propiedades estructurales sobresalientes, que no sólo superan a las de la mayoría de las maderas sino que además pueden ser comparadas con las del acero y algunas fibras de alta tecnología, según estudios realizados por Gnanaharan y su grupo de investigación: El Módulo de Ruptura (MOR) de un segmento largo varía de 54.5 a 81.7 y el módulo de elasticidad (MOE) varía de 13.793 a 23.006 N/mm², [48] cuando la fuerza se aplica en el nudo los MOE y de MOR son más altos que cuando se aplican en el entrenudo, el alto porcentaje de fibras longitudinales son las que aportan una mayor resistencia a la tracción; en el caso de la caña guadua, ésta es mayor que la de la madera mientras que a la compresión perpendicular la fibra es muy pobre por carecer de fibras radiales o ser hueco, la enorme capacidad de la guadua para soportar alto esfuerzo de compresión, flexión y tracción, así como, otras cualidades físicas, la hacen óptima para reemplazar estructuras de metal y de maderas en vías de extinción, se usará a partir del cuarto año de madurez ya que se dice que está lista para su uso en la construcción, en cada nudo existe un tabique o septo transversal que, a la vez que le da mayor rigidez y elasticidad, evita su ruptura al curvarse [49]. Por eso es apropiada para estructuras antisísmicas y los entrenudos se aplastan ante fuertes compresiones puntales, por lo que las compresiones no deben ejercerse en el entrenudo sin antes haber rellenado dicho entrenudo con un cilindro de madera; con un trozo de guadua de menor diámetro o con una mezcla licuada de cemento, arena y agua, sin embargo una de sus desventajas es que la resistencia a fuerzas perpendiculares a las fibras (cortante) es muy baja, lo que significa que tiene tendencia de rajarse fácilmente en el sentido paralelo a las fibras, la construcción de guadua, necesita una protección por diseño que asegure que este material no reciba directamente ni humedad, ni rayones directos del sol, se cree que es débil frente al fuego, sin embargo, existe un estudio realizado en Italia, el mismo que afirma que la corteza del bambú tiene un alto contenido de silicio lo que le daría propiedades de resistencia al fuego “Las primeras pruebas sobre su resistencia al fuego remontan a los años 80 del siglo pasado y fueron realizadas por el Institut

für leichte Flächentragwerke de la Universidad de Stuttgart – Alemania donde se certificó que el bambú es un material combustible retardante de la llama. En España cumple con las normas del nuevo CTE (Código Técnico de la Edificación) sus certificados de reacción al fuego según la norma UNE EN 13501 lo clasifican con categoría Cfl-S1 y por lo tanto como material apto incluso para edificios públicos.”, todavía no se ha establecido una técnica confiable de inmunización contra hongos y su comportamiento puede variar mucho con respecto a la especie, al sitio donde crece, a la edad, al contenido de humedad y a la parte del culmo o de la sección que se utilice es un excelente absorbedor de sonidos y olores y cuanta con estupendas características estéticas pero se necesita un buen mantenimiento para su durabilidad. [47]

2.4 HIPÓTESIS

El análisis del diseño de una cuchilla por el método de los elementos finitos, permitirá obtener tiras homogéneas de caña guadua.

2.5 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una cuchilla de corte para caña guadua.

2.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Obtención de tiras de caña guadua.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

3.1.1 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación contendrá una modalidad de nivel de campo exploratorio y científica; esta modalidad toma contacto en forma directa con la realidad, para obtener información de acuerdo al objetivo del proyecto.

La modalidad de la investigación documental bibliográfica tiene como propósito detectar, ampliar y profundizar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en artículos científicos, libros, revistas especializadas e internet.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 DE CAMPO

Se utiliza para identificar los factores principales y sus características que influyen en el fenómeno que se estudia, así como su interrelación. Se aplica para identificar las etapas de diseño de la cuchilla para obtener tiras de bambú, estableciendo la relación entre ellas y así definir el método para el diseño de una cuchilla para la obtención de tiras de caña guadua (bambú).

3.2.2 BIBLIOGRÁFICO

La recolección de información es uno de los procesos más importante y complejos ya que podemos recurrir a fuentes tales como libros, tesis, artículos, internet no solamente para la investigación de las propiedades de diseño de una cuchilla para

procesar la caña Guadua sino también para comparar datos y ampliar los conocimientos.

3.2.3 EXPERIMENTAL

Se crea un modelo científico como instrumento de la investigación de carácter material o teórico, el cual se utiliza para hacer una reproducción simplificada de la realidad; este cumple una función investigativa, ya que permite descubrir y estudiar nuevas relaciones y cualidades del objeto de estudio. Se aplica al modelar el proceso de diseño de una cuchilla para la obtención de tiras de la caña guadua, permitiendo de predecir los axiomas y las reglas de diseño para generar la geometría de este tipo de herramientas, observando si será adecuado o no.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 EXPLORATORIA

En este proyecto se pretende analizar técnicas que están revolucionando el diseño mecánico a nivel mundial, debido a las nuevas aplicaciones y procedimientos, pero que por su costo son poco utilizadas a nivel industrial en el Ecuador, por ende es significativo determinar la forma de reducir costos. El Método de Elementos Finitos se lo utiliza en el diseño experimental para verificar cuanta efectividad va a tener el elemento creado.

3.3.2 DESCRIPTIVO

Así mismo como el estudio es en su mayor parte de laboratorio, se debe describir el procedimiento correcto para realizar los ensayos para la obtención de resultados confiables, los cuales se efectuaron para el caso de la caracterización de la caña guadua en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, y los análisis y cálculos necesarios para interpretar la distribución de colores que indican los esfuerzos en la cuchilla se corroboraron a través del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero para verificar la relación que existe entre estos valores y

los esfuerzos obtenidos por el método de elementos finitos a través del software ANSYS Professional NLS: ANSYS LS-DYNA HPC-8.

3.3.3 ASOCIACIÓN DE VARIABLES

En este proyecto será de vital importancia el asociar las variables, ya que de esta manera se podrá determinar si en realidad la implementación del análisis del comportamiento mecánico de la herramienta motivo de estudio en realidad contribuye en la determinación de la posibilidad de utilización de los mismos.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN

La población para esta investigación es:

Probetas elaboradas a partir de Caña Guadua (Bambú), obtenidas o cosechadas de sectores cercanos a la Ciudad del Puyo en la Provincia de Pastaza, donde se da la mayor producción de esta especie en esta zona, se caracterizaron de acuerdo a normas (ASTM D 143 – 94) y se analizaron en cada máquina correspondiente al ensayo, en la Universidad Técnica de Ambato.

3.4.2 MUESTRA

En nuestro caso la muestra es:

Probetas con un mínimo de cinco por tipo de ensayo y bajo lo establecido en la Norma ASTM D 143–94 y la D 143–83, correspondientes a ensayos en madera, en función de la configuración y fracción volumétrica del material, mediante caracterización de las probetas, para luego del análisis correspondiente determinar que material de la cuchilla será el más óptimo de acuerdo a sus de propiedades mecánicas. [50]

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

-Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una cuchilla de corte para caña guadua.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Cuchilla de Corte.- Herramienta utilizada para realizar tareas de corte sea lateral o transversal en piezas de madera, el corte es un trabajo del cual requiere técnica y experiencia tomando en cuenta un cuidado exhaustivo de la cuchilla para que esta esté bien afilada y en la regulación correcta.</p> <p>Elementos Finitos.- FEA, siglas en inglés de (Finite Element Analysis) es una técnica de simulación por computador usada en ingeniería, usa una técnica numérica llamada método de los Elementos finitos (FEM), Existen muchos paquetes de software tanto libres como no libres, El desarrollo de elementos finitos en estructuras y elementos mecánicos suele basarse en análisis mecánicos, como el principio de los trabajos virtuales.</p>	Corte	Material de la Cuchilla	Acero AISI D2 Acero BÖHLER K353	Bibliografía/Documental Fichas Técnicas
	Forma Geométrica de la cuchilla en el afilado	Que forma debe tener la cuchilla	Recta Sesgo	Bibliografía/Documental Fichas Técnicas
	Análisis mecánico mediante simulación.	Análisis estático	Esfuerzos máximos Esfuerzo equivalente Deformaciones Factor de Seguridad	Obtenidos mediante análisis de elementos finitos a travez del Software ANSYS LS-DYNA
		Análisis Dinámico	Velocidad de Corte 1 mm/s	Simulación de eventos con Software ANSYS LS-DYNA

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Obtención de tiras de caña guadua.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Caña guadua.-</p> <p>La guadua, más conocida como "caña guadua", "caña brava", "caña macho" o simplemente como "caña", reconocible por la banda blanca alrededor del nudo y sus espinas en las ramas, pertenece a la numerosa familia de los "bambúes" existentes en la naturaleza, la especie más común en el Ecuador es la Guadua Angustifolia.</p>	<p>Dureza de la caña guadua</p> <p>Resistencia de la caña guadua</p>	<p>Cuál es la Dureza de la Caña Guadua?</p> <p>Cuál es la resistencia de la caña guadua?</p>	<p>Entre 4,2 a 3,4 Brinell</p> <p>Tensión para la rotura de 190 a 240 MPa</p> <p>Compresión –Resistencia de 14 a 20 MPa</p>	<p>Probetas Durómetro Bibliografía/Documental Fichas Técnicas Norma ASTM D 143-94</p> <p>Probetas Máquina Universal Máquina de Compresión Bibliografía/Documental Fichas Técnicas Norma ASTM D 143-94 Norma ASTM D 143-83</p>

3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para el desarrollo del presente trabajo investigativo se realizaron estudios de tipo bibliográfico y experimental. Las técnicas de investigación fueron de observación directa utilizando un cuaderno de notas con una metodología estructurada, recolección de información de libros e internet.

3.6.1 OBSERVACIÓN

Para lo cual se toma notas de todo lo que se considera necesario en un cuaderno, para describir los hechos de significación especial, que ayuda a registrar incidentes hasta tener una base informativa suficiente; se utiliza un cuaderno de notas para describir todo lo observado, además se anota fechas, cantidades y expresiones que se escuchan.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.7.1 PLAN DE PROCESAMIENTO

En el procesamiento de la información se planificó lo siguiente:

Empezamos a recolectar la información necesaria partiendo del apoyo bibliográfico en cuanto a todo lo relacionado con los tipos de cuchillas empleadas en el área objeto de estudio siguiendo la siguiente secuencia:

- Revisión bibliográfica acerca de los equipos y materiales para realizar los ensayos.
- Determinación del factor y el orden de las configuraciones de cuchillas más significativas.
- Fabricación de las probetas. Determinación de los esfuerzos en la probeta.
- Modelación virtual de la cuchilla. Análisis de los esfuerzos por el método de elementos finitos.

3.7.2 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el análisis e interpretación de resultados se planificó lo siguiente:

-Establecer las diferencias entre las variaciones del material respecto a las formas de la cuchilla por medio del Análisis de Elementos Finitos.

-Determinar cuál es el material más idóneo por medio del método de elementos finitos, considerando los diferentes tipos de análisis.

-Relacionar los resultados con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.

-Comprobación de hipótesis. Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CAÑA GUADUA

El diagrama 4.1 de flujo muestra el proceso de obtención de resultados, adaptado al estudio del comportamiento mecánico de la Caña Guadua analizada, su caracterización a pruebas de tracción, compresión, dureza e impacto, mediante el cual se obtuvo datos para el análisis por el Método de Elementos Finitos para la obtención de tiras.



Diagrama 4.1 Proceso de obtención de resultados del comportamiento mecánico de la Caña Guadua
(Fuente: Autor)

4.1.1.1 Ensayos de tracción

Los Ensayos de tracción se efectuaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se ensayaron siete probetas sin nudo y siete con nudo, y dichas probetas fueron elaboradas bajo norma ASTM D-143.

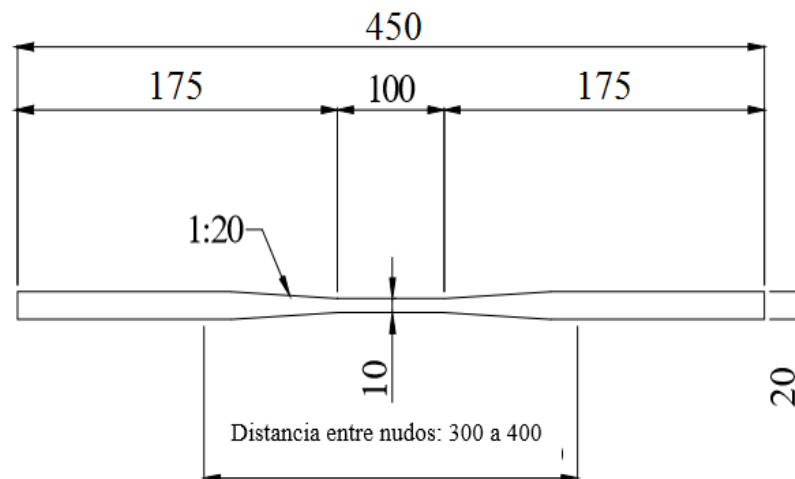


Figura 4.1 Modelo de Probeta para ensayo de tracción paralelo a la fibra (Fuente: ASTM D 143)



Figura 4.2 Probetas lisas para ser sometidas a ensayo de tracción (Fuente: Autor)



Figura 4.3 Probetas con nudo intermedio para ser sometidas a ensayo de tracción (Fuente: Autor)

Los ensayos se llevaron a cabo en la máquina universal marca: Controls, de procedencia italiana, modelo: C08207CZ, producida en el año 2014 con una capacidad de carga máxima de 2000 KN.



Figura 4.4 Máquina de tracción FICM (Fuente: Autor)

Para todos los ensayos de tracción se realizó el mismo procedimiento el cual se describe a continuación:

- Encendido de la máquina.
- Verificación de Software de análisis de datos.
- Montaje de mordazas adecuadas.
- Montaje de probeta en la máquina.
- Verificación de temple de la probeta adecuado.
- Ingreso de datos en la interfaz del programa
 - * Datos informativos
 - * Peso del espécimen
 - * Longitud total del espécimen
 - * Longitud inicial
 - * Área del espécimen
- Encerado del equipo
- Inicio de ensayo mediante botón de inicio (“play”).

- Obtención de resultados.
- Descarga de resultados.



Figura 4.5 Probeta montada para el Análisis (Fuente: Autor)

En la figura 4.6 se puede observar la interfaz del software de la máquina en donde se ingresan los datos para la obtención de resultados y a través de estos obtener las curvas de esfuerzo deformación.

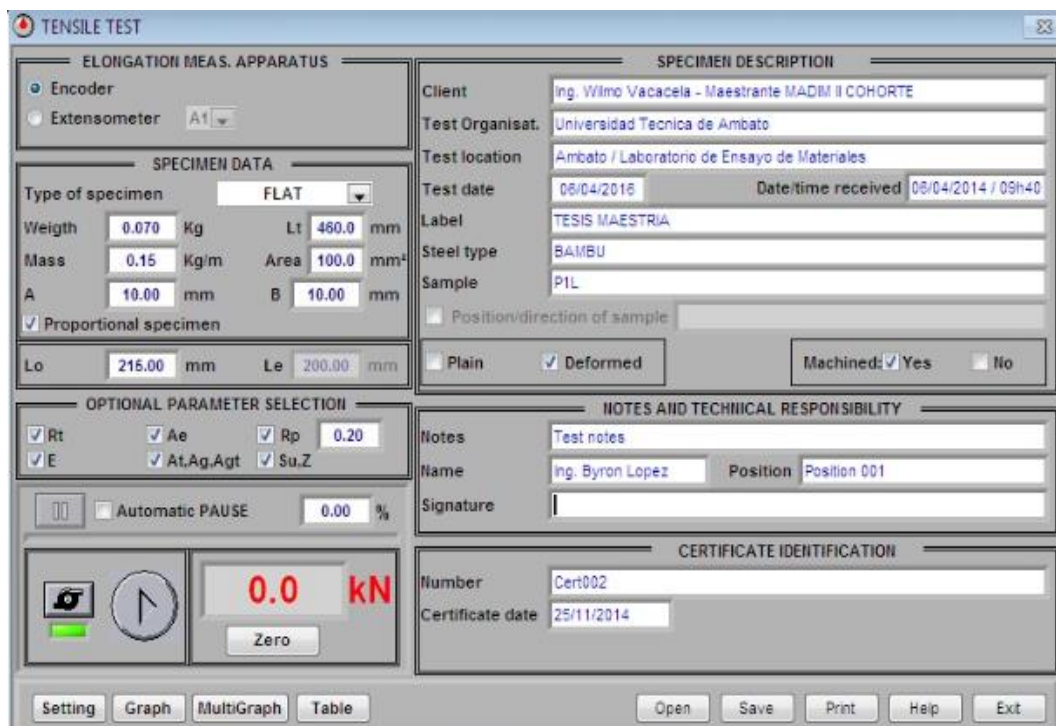


Figura 4.6 Interfaz de software para ingreso de datos (Fuente: Autor)

4.1.1.2 Datos obtenidos mediante ensayo de tracción en las probetas de caña guadua sin nudo

Una vez realizados los ensayos de tracción se obtiene los siguientes datos los cuales el esfuerzo σ es arrojado propiamente por la máquina y para el caso de la deformación


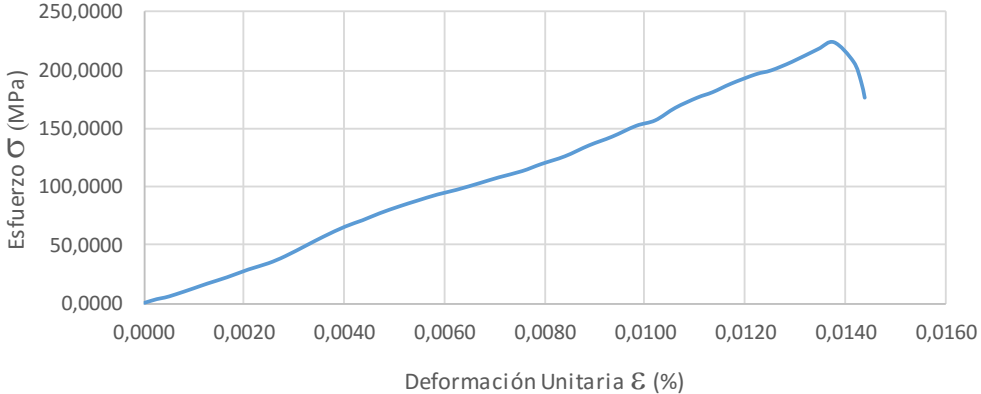
unitaria ϵ , se ha utilizado la siguiente fórmula: $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$

TABLA 4.1 Resultados de Ensayo de tracción en Probetas sin nudo

ENSAYO DE TRACCIÓN EN PROBETAS SIN NUDO														
Anexos E (1-7)														
# Datos	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Probeta 4		Probeta 5		Probeta 6		Probeta 7	
	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)
	σ	ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	3,3430	0,0003	2,6744	0,0002	3,3430	0,0003	2,6744	0,0005	4,0116	0,0003	4,0116	0,0002	3,3430	0,0003
3	4,6802	0,0004	4,6802	0,0002	6,6860	0,0005	4,6802	0,0008	9,3604	0,0005	8,0232	0,0003	4,6802	0,0004
4	7,3546	0,0006	6,6860	0,0003	10,0290	0,0008	7,3546	0,0014	12,7034	0,0006	12,0348	0,0005	6,6860	0,0006
5	12,7034	0,0010	8,6918	0,0004	12,7034	0,0011	12,0348	0,0022	17,3836	0,0009	14,0406	0,0007	9,3604	0,0008
6	16,7150	0,0013	11,3662	0,0006	15,3778	0,0016	15,3778	0,0027	19,3894	0,0012	16,0464	0,0009	12,7034	0,0011
7	22,0638	0,0017	13,3720	0,0007	18,0522	0,0020	18,0522	0,0032	23,4010	0,0017	19,3894	0,0012	15,3778	0,0014
8	28,7498	0,0021	16,0464	0,0009	21,3952	0,0025	21,3952	0,0037	26,7440	0,0022	24,0696	0,0016	20,7266	0,0018
9	34,0986	0,0025	19,3894	0,0011	24,0696	0,0030	26,0754	0,0043	30,7556	0,0028	30,0870	0,0022	27,4126	0,0024
10	40,1160	0,0028	22,7324	0,0013	28,0812	0,0034	31,4242	0,0050	34,0986	0,0034	34,7672	0,0026	31,4242	0,0027
11	49,4764	0,0033	24,7382	0,0014	31,4242	0,0039	38,1102	0,0059	38,1102	0,0041	38,7788	0,0030	34,7672	0,0030
12	56,8310	0,0036	26,7440	0,0016	34,0986	0,0042	43,4590	0,0065	43,4590	0,0050	43,4590	0,0034	39,4474	0,0035
13	65,5228	0,0040	31,4242	0,0018	37,4416	0,0047	46,8020	0,0069	48,1392	0,0056	51,4822	0,0041	43,4590	0,0039
14	70,8716	0,0044	36,7730	0,0022	42,1218	0,0052	51,4822	0,0074	55,4938	0,0065	58,8368	0,0048	47,4706	0,0044
15	76,8890	0,0047	42,1218	0,0025	47,4706	0,0057	58,1682	0,0081	60,1740	0,0072	64,8542	0,0054	50,8136	0,0047
16	82,9064	0,0051	47,4706	0,0028	52,1508	0,0063	64,8542	0,0087	66,8600	0,0080	71,5402	0,0059	54,1566	0,0051
17	87,5866	0,0055	59,5054	0,0035	57,4996	0,0068	72,2088	0,0095	80,2320	0,0093	78,8948	0,0066	59,5054	0,0056
18	92,9354	0,0059	68,1972	0,0041	62,1798	0,0074	78,8948	0,0102	88,9238	0,0099	85,5808	0,0072	63,5170	0,0060
19	96,9470	0,0063	75,5518	0,0047	66,8600	0,0079	84,9122	0,0108	98,2842	0,0107	94,2726	0,0078	69,5344	0,0066
20	102,9644	0,0067	79,5634	0,0050	70,8716	0,0083	92,9354	0,0114	106,3074	0,0113	102,2958	0,0084	77,5576	0,0073
21	107,6446	0,0071	86,2494	0,0055	76,2204	0,0088	102,9644	0,0122	113,6620	0,0119	110,9876	0,0090	85,5808	0,0079
22	112,9934	0,0076	93,6040	0,0059	82,9064	0,0093	109,6504	0,0126	120,3480	0,0124	124,3596	0,0099	93,6040	0,0085
23	119,0108	0,0079	101,6272	0,0065	84,9122	0,0099	120,3480	0,0133	129,0398	0,0130	138,4002	0,0107	99,6214	0,0089
24	125,6968	0,0084	108,9818	0,0069	90,9296	0,0103	129,0398	0,0139	137,7316	0,0135	147,7606	0,0112	104,3016	0,0094
25	135,0572	0,0089	117,0050	0,0075	98,9528	0,0108	137,0630	0,0145	145,0862	0,0141	161,1326	0,0119	111,6562	0,0099
26	142,4118	0,0094	124,3596	0,0078	106,3074	0,0113	147,0920	0,0152	154,4466	0,0146	173,8360	0,0125	118,3422	0,0104
27	151,7722	0,0098	133,7200	0,0083	115,6678	0,0118	157,7896	0,0157	167,8186	0,0154	186,5394	0,0131	124,3596	0,0111
28	156,4524	0,0102	143,0804	0,0087	123,0224	0,0122	161,1326	0,0161	171,1616	0,0159	195,2312	0,0135	128,3712	0,0117
29	167,1500	0,0106	151,1036	0,0091	129,7084	0,0126	169,8244	0,0166	188,5452	0,0168	207,9346	0,0140	136,3944	0,0121
30	175,8418	0,0111	159,7954	0,0095	139,7374	0,0133	177,8476	0,0171	200,5800	0,0175	217,9636	0,0145	143,0804	0,0125
31	180,5220	0,0114	167,8186	0,0098	147,7606	0,0141	186,5394	0,0176	208,6032	0,0180	223,9810	0,0149	154,4466	0,0131
32	187,8766	0,0117	174,5046	0,0102	156,4524	0,0146	194,5626	0,0182	217,9636	0,0185	234,0100	0,0153	165,8128	0,0137
33	195,8998	0,0122	181,1906	0,0105	157,7896	0,0150	203,9230	0,0186	225,3182	0,0189	242,7018	0,0158	175,1732	0,0142
34	199,2428	0,0125	188,5452	0,0108	167,8186	0,0156	210,6090	0,0190	236,0158	0,0196	248,0506	0,0162	185,2022	0,0146
35	206,5974	0,0130	194,5626	0,0112	173,8360	0,0162	216,6264	0,0195	245,3762	0,0203	254,0680	0,0165	194,5626	0,0151
36	217,2950	0,0135	202,5858	0,0115	175,1732	0,0166	223,3124	0,0199	226,6554	0,0208	258,7482	0,0172	202,5858	0,0154
37	223,3124	0,0138	211,2776	0,0119	177,1790	0,0171	228,6612	0,0204	225,9868	0,0212	239,3588	0,0177	214,6206	0,0160
38	206,5974	0,0142	221,9752	0,0124	159,7954	0,0176	232,6728	0,0210	215,9578	0,0217	236,0158	0,0182	221,9752	0,0164
39	189,8824	0,0143	221,3066	0,0127	139,0688	0,0178	229,9984	0,0217	215,2892	0,0219	235,3472	0,0183	226,6554	0,0167
40	175,8418	0,0144	167,8186	0,0129	128,3712	0,0178	219,9694	0,0225	204,5916	0,0220	215,2892	0,0184	231,3356	0,0172

Fuente: (Autor)

4.1.1.3 Ensayo de tracción de las probetas de caña guadua sin nudo

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE) 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Probeta N° :	1 (Sin Nudo)	Espécimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron López
RESULTADOS DEL ENSAYO:			
Curva Esfuerzo - Deformación Caña Guadua probeta # 1 / Sin nudo			
			
RESULTADOS REGISTRADOS			
Carga Máxima:	22,33 KN	Longitud inicial:	215,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	218,098 mm
RESULTADOS CALCULADOS			
Resistencia a la tracción (Sut):	223,31 MPa	Módulo de Elasticidad:	15238,98 MPa
% de elongación:	1,44%		



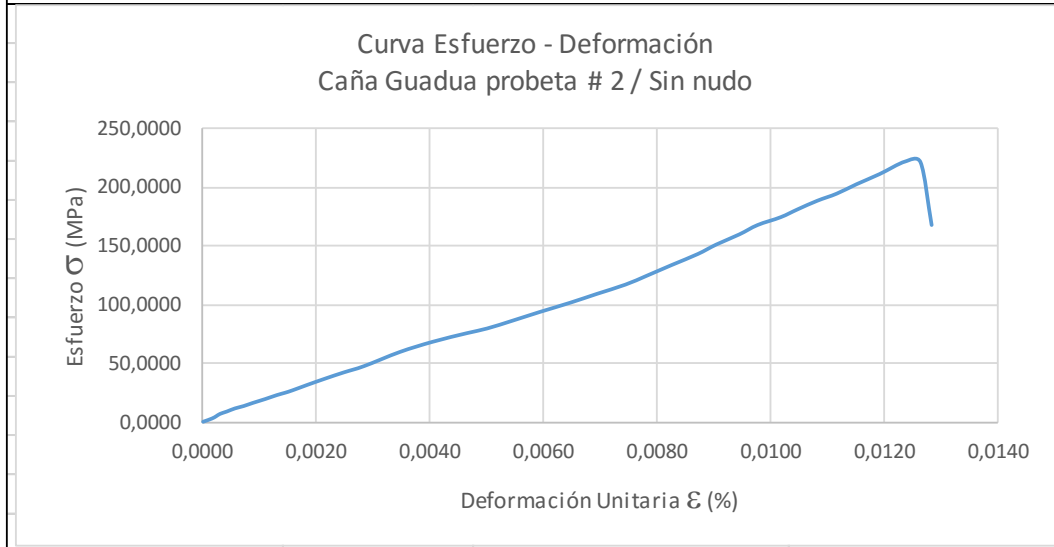
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	2 (Sin Nudo)	Especimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	22,19 KN	Longitud inicial:	235,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	238,022 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	221,97 MPa	Módulo de Elasticidad	16683,28 MPa
% de elongación:	1,29%		



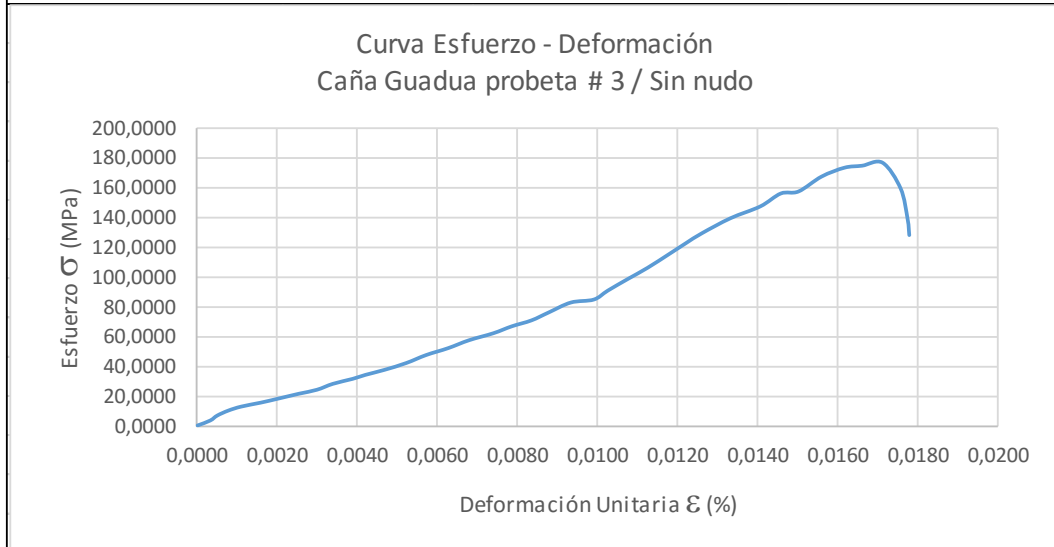
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	3 (Sin Nudo)	Especimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	17,71 KN	Longitud inicial:	195,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	198,470 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	179,18 MPa	Módulo de Elasticidad:	9404,85 MPa
% de elongación:	1,78%		



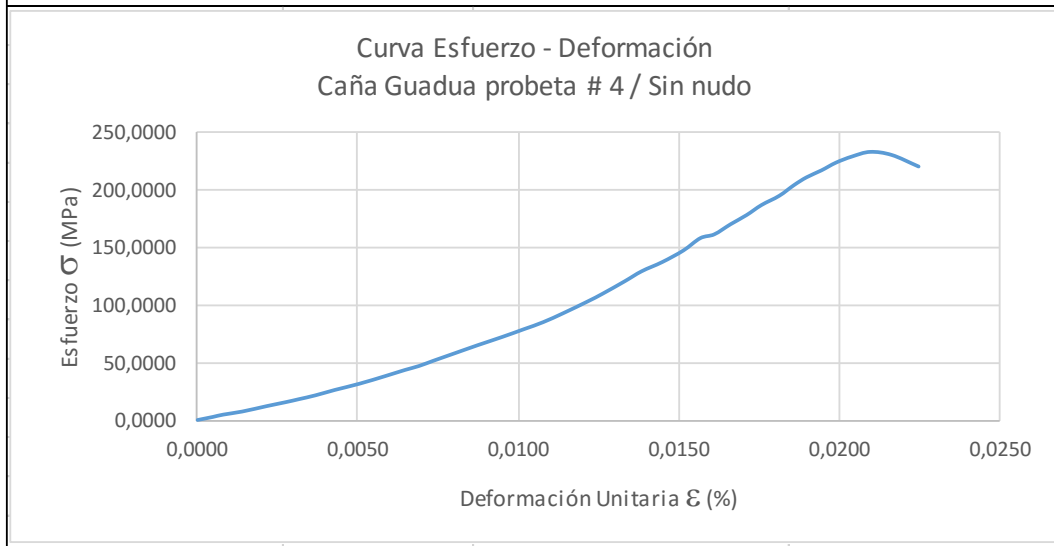
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	4 (Sin Nudo)	Especimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	23,46 KN	Longitud inicial:	155,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	158,525 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	229,99 MPa	Módulo de Elasticidad:	9524,25 MPa
% de elongación:	2,27%		



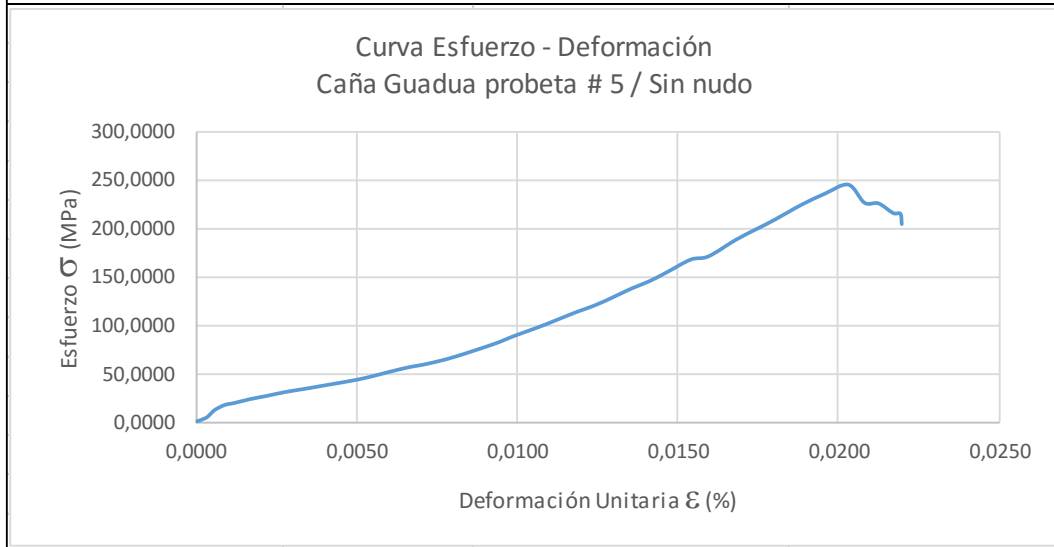
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	5 (Sin Nudo)	Especímen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	24,53 KN	Longitud inicial:	188,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	192,128 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	245,37 MPa	Módulo de Elasticidad:	10504,41 MPa
% de elongación:	2,20%		



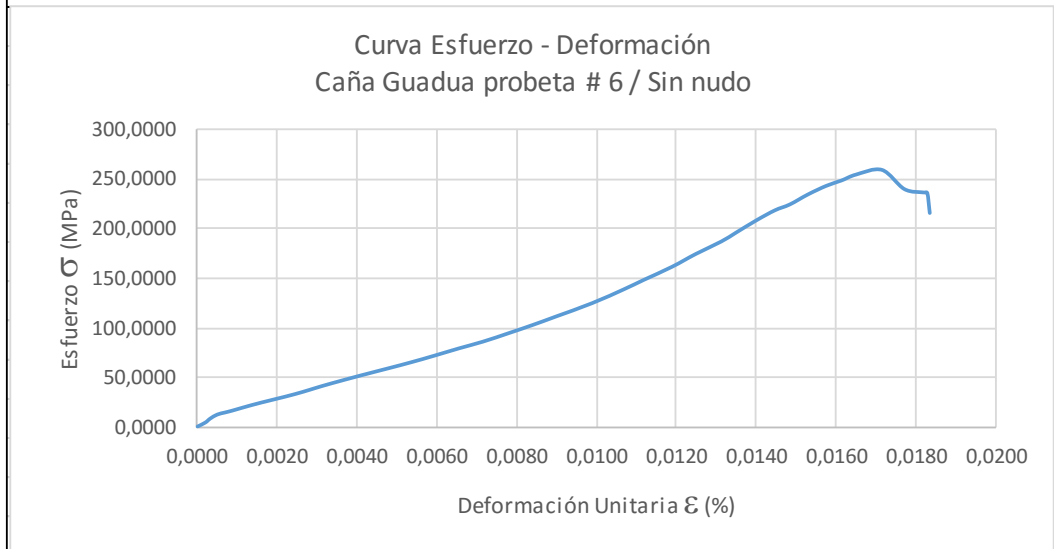
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	6 (Sin Nudo)	Espécimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	25,87 KN	Longitud inicial:	195,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	198,582 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	258,75 MPa	Módulo de Elasticidad:	13802,43 MPa
% de elongación:	1,84%		



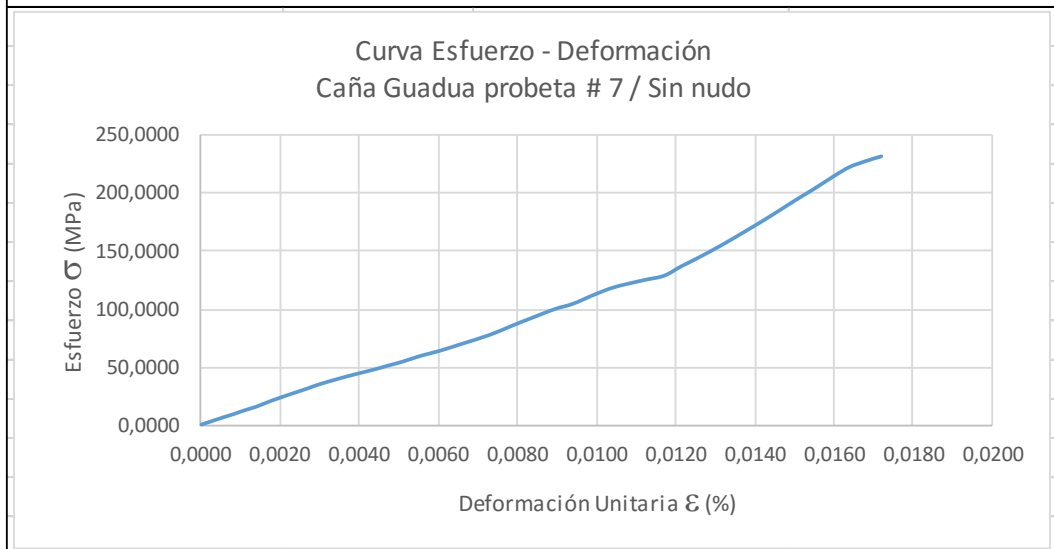
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	7 (Sin Nudo)	Espécimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	23,13 KN	Longitud inicial:	200,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	203,454 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	231,34 MPa	Módulo de Elasticidad:	11983,38 MPa
% de elongación:	1,73%		

4.1.1.4 Datos obtenidos mediante ensayo de tracción en las probetas de caña guadua con nudo



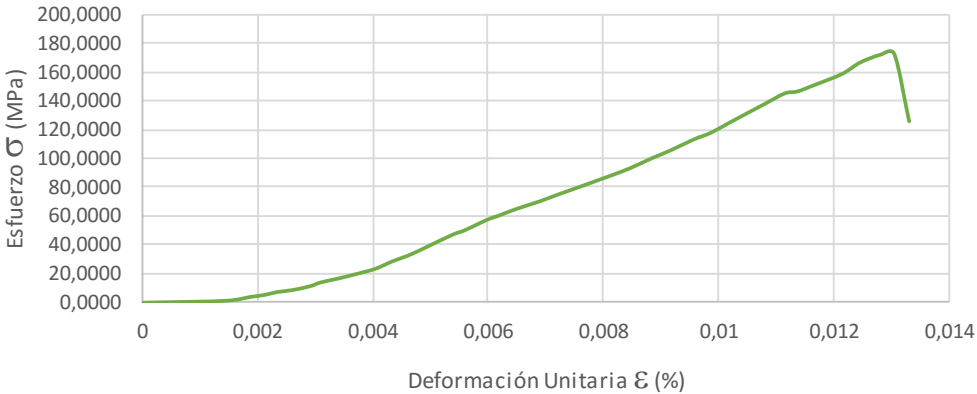
Una vez realizados los ensayos de tracción se obtiene los siguientes datos los cuales el esfuerzo σ es arrojado propiamente por la máquina y para el caso de la deformación unitaria ϵ , se ha utilizado la siguiente fórmula: $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$

TABLA 4.2 Resultados de Ensayo de tracción en Probetas con nudo

ENSAYO DE TRACCIÓN EN PROBETAS CON NUDO														
Anexos E (8-14)														
# Datos	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Probeta 4		Probeta 5		Probeta 6		Probeta 7	
	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)
	σ	ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	1,3372	0,00144	2,0058	0,0002	2,0058	0,0002	2,0058	0,0002	3,3430	0,0002	2,6744	0,0001	10,0290	0,0002
3	4,0116	0,00186	6,6860	0,0004	4,0116	0,0003	3,3430	0,0003	5,3488	0,0003	5,3488	0,0002	13,3720	0,0003
4	5,3488	0,0021	8,6918	0,0004	5,3488	0,0004	4,6802	0,0004	8,0232	0,0004	7,3546	0,0002	14,0406	0,0003
5	7,3546	0,00232	10,6976	0,0005	7,3546	0,0005	5,3488	0,0006	11,3662	0,0006	9,3604	0,0003	16,7150	0,0004
6	8,6918	0,00258	12,7034	0,0006	9,3604	0,0007	6,6860	0,0007	12,7034	0,0007	12,0348	0,0004	19,3894	0,0004
7	11,3662	0,00289	14,7092	0,0007	10,0290	0,0008	8,0232	0,0008	14,7092	0,0009	14,0406	0,0005	22,0638	0,0005
8	14,0406	0,00308	16,0464	0,0008	12,0348	0,0010	8,6918	0,0010	16,0464	0,0011	16,0464	0,0007	23,4010	0,0006
9	16,7150	0,00338	18,0522	0,0010	13,3720	0,0012	10,0290	0,0012	18,0522	0,0014	18,0522	0,0008	24,7382	0,0006
10	19,3894	0,00365	20,0580	0,0013	14,7092	0,0013	12,0348	0,0014	20,7266	0,0019	20,0580	0,0010	26,7440	0,0007
11	23,4010	0,00402	20,7266	0,0015	15,3778	0,0015	14,0406	0,0016	21,3952	0,0025	22,7324	0,0012	28,0812	0,0007
12	28,7498	0,00433	23,4010	0,0019	18,7208	0,0020	15,3778	0,0020	19,3894	0,0028	25,4068	0,0017	31,4242	0,0009
13	32,0928	0,00456	24,7382	0,0021	20,7266	0,0024	16,7150	0,0022	25,4068	0,0036	27,4126	0,0020	33,4300	0,0010
14	36,1044	0,00479	28,0812	0,0024	21,3952	0,0026	18,0522	0,0025	26,0754	0,0040	30,0870	0,0025	36,1044	0,0011
15	46,8020	0,00535	30,7556	0,0028	22,7324	0,0029	21,3952	0,0029	34,0986	0,0044	33,4300	0,0029	38,7788	0,0012
16	50,1450	0,00558	35,4358	0,0034	24,0696	0,0031	22,7324	0,0033	38,7788	0,0047	40,1160	0,0035	41,4532	0,0013
17	57,4996	0,00597	39,4474	0,0040	23,4010	0,0034	26,7440	0,0037	46,8020	0,0052	44,1276	0,0038	44,7962	0,0015
18	60,1740	0,00616	42,1218	0,0043	26,0754	0,0036	29,4184	0,0041	51,4822	0,0059	50,1450	0,0042	46,1334	0,0017
19	64,8542	0,00647	47,4706	0,0049	29,4184	0,0040	32,0928	0,0044	56,8310	0,0066	55,4938	0,0046	49,4764	0,0019
20	70,2030	0,00688	52,1508	0,0053	38,7788	0,0047	35,4358	0,0046	65,5228	0,0070	62,1798	0,0052	50,8136	0,0020
21	74,2146	0,00715	56,8310	0,0058	44,1276	0,0051	36,7730	0,0049	71,5402	0,0074	66,1914	0,0055	54,8252	0,0024
22	82,9064	0,00776	60,1740	0,0061	48,8078	0,0054	40,7846	0,0051	76,2204	0,0076	68,8658	0,0058	59,5054	0,0027
23	86,2494	0,00799	64,8542	0,0066	52,1508	0,0057	44,1276	0,0054	79,5634	0,0082	71,5402	0,0060	60,1740	0,0028
24	90,9296	0,00831	68,1972	0,0070	57,4996	0,0061	46,1334	0,0058	87,5866	0,0085	76,2204	0,0064	62,8484	0,0030
25	94,9412	0,00855	72,8774	0,0074	60,1740	0,0063	49,4764	0,0060	92,9354	0,0089	78,2262	0,0066	68,1972	0,0034
26	100,2900	0,00884	76,8890	0,0079	64,1856	0,0067	52,1508	0,0063	98,2842	0,0092	80,9006	0,0068	74,2146	0,0039
27	105,6388	0,00916	82,9064	0,0085	66,8600	0,0069	56,1624	0,0066	104,3016	0,0095	86,2494	0,0072	78,8948	0,0043
28	112,9934	0,00955	88,2552	0,0090	72,2088	0,0074	58,1682	0,0070	110,3190	0,0101	90,2610	0,0075	82,2378	0,0045
29	117,6736	0,00985	92,2668	0,0094	74,8832	0,0077	60,8426	0,0072	117,0050	0,0106	94,2726	0,0077	86,9180	0,0049
30	123,6910	0,01013	96,2784	0,0097	80,2320	0,0082	66,1914	0,0074	121,0166	0,0109	96,2784	0,0079	91,5982	0,0053
31	129,7084	0,01041	104,9702	0,0104	84,2436	0,0085	70,8716	0,0079	131,0456	0,0112	100,9586	0,0082	94,2726	0,0055
32	137,7316	0,01079	111,6562	0,0110	89,5924	0,0088	73,5460	0,0083	138,4002	0,0115	108,3132	0,0086	96,9470	0,0057
33	145,0862	0,01114	117,6736	0,0113	92,9354	0,0091	76,8890	0,0085	145,0862	0,0119	113,6620	0,0089	101,6272	0,0060
34	146,4234	0,01136	125,6968	0,0121	96,2784	0,0093	80,2320	0,0088	149,0978	0,0122	118,3422	0,0092	108,9818	0,0065
35	151,1036	0,01167	130,3770	0,0124	100,2900	0,0096	83,5750	0,0090	149,7664	0,0126	124,3596	0,0095	112,3248	0,0068
36	158,4582	0,01213	136,3944	0,0128	119,6794	0,0107	88,2552	0,0093	156,4524	0,0130	130,3770	0,0098	120,3480	0,0073
37	166,4814	0,01245	147,0920	0,0136	117,6736	0,0110	92,9354	0,0096	167,8186	0,0134	138,4002	0,0101	122,3538	0,0074
38	171,8302	0,0128	156,4524	0,0141	128,3712	0,0113	97,6156	0,0099	168,4872	0,0136	111,6562	0,0103	123,0224	0,0075
39	172,4988	0,01304	113,6620	0,0143	129,0398	0,0115	52,8194	0,0102	151,1036	0,0137	92,9354	0,0103	125,6968	0,0076
40	125,6968	0,01330	103,6330	0,0144	77,5576	0,0116	46,1334	0,0105	132,3828	0,0137	83,5750	0,0104	86,2494	0,0077

(Fuente: Autor)

4.1.1.5 Ensayo de tracción de las probetas de caña guadua sin nudo

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE) 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Probeta N° :	1 (Con Nudo)	Espécimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez
RESULTADOS DEL ENSAYO:			
Curva Esfuerzo - Deformación Caña Guadua probeta # 1 / con nudo			
			
RESULTADOS REGISTRADOS			
Carga Máxima:	17,51 KN	Longitud inicial:	200,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	202,659 mm
RESULTADOS CALCULADOS			
Resistencia a la tracción (Sut):	175,50 MPa	Módulo de Elasticidad:	10757,35 MPa
% de elongación:	1,33%		



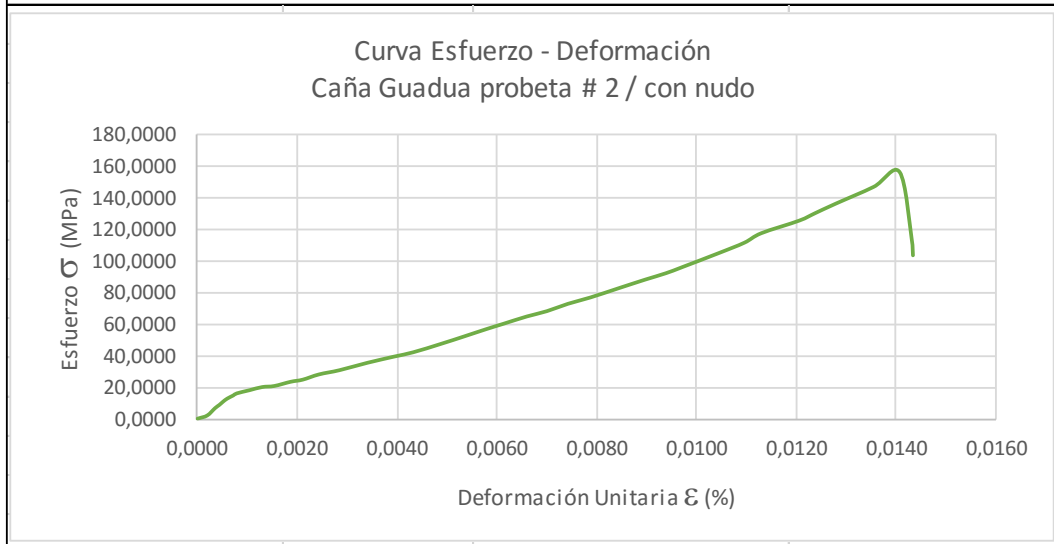
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	2 (Con Nudo)	Especimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	15,71 KN	Longitud inicial:	165,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	167,368 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	157,12 MPa	Módulo de Elasticidad:	10154,14 MPa
% de elongación:	1,44%		



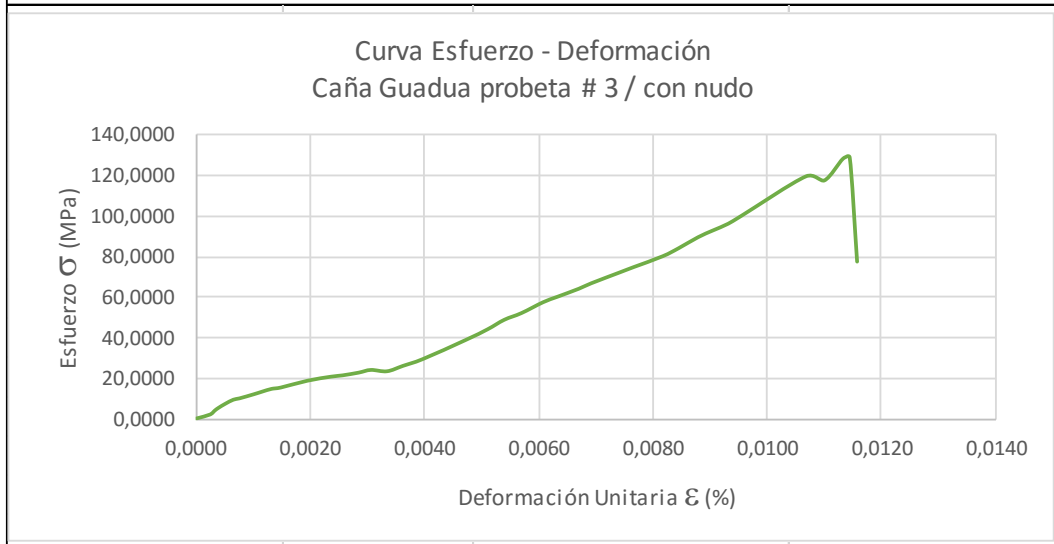
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	3 (Con Nudo)	Espécimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	12,90 KN	Longitud inicial:	185,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	187,144 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	129,04 MPa	Módulo de Elasticidad:	9716,28 MPa
% de elongación:	1,16%		



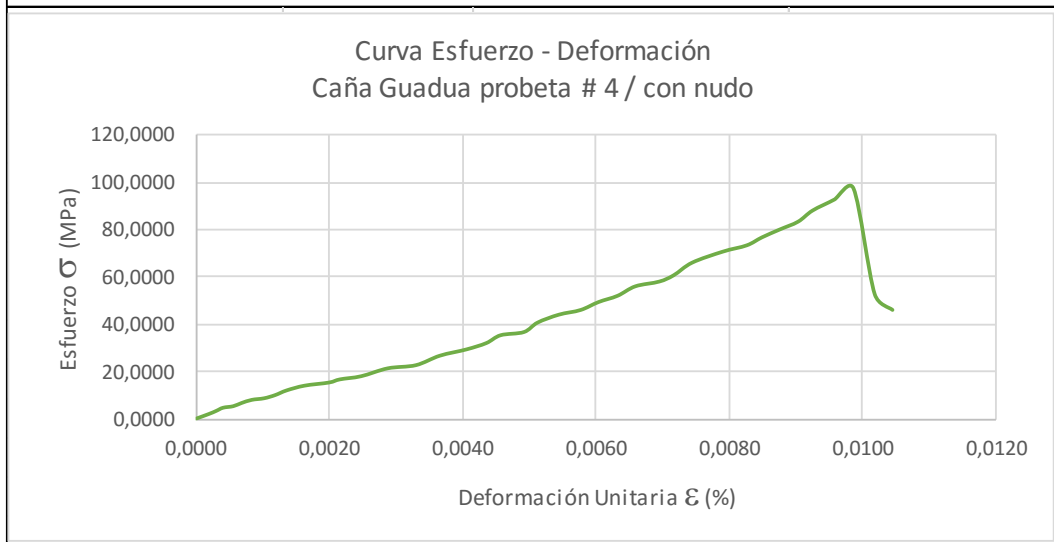
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	4 (Con Nudo)	Especimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	9,89 KN	Longitud inicial:	195,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	197,042 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	98,95 MPa	Módulo de Elasticidad:	8188,75 MPa
% de elongación:	1,05%		



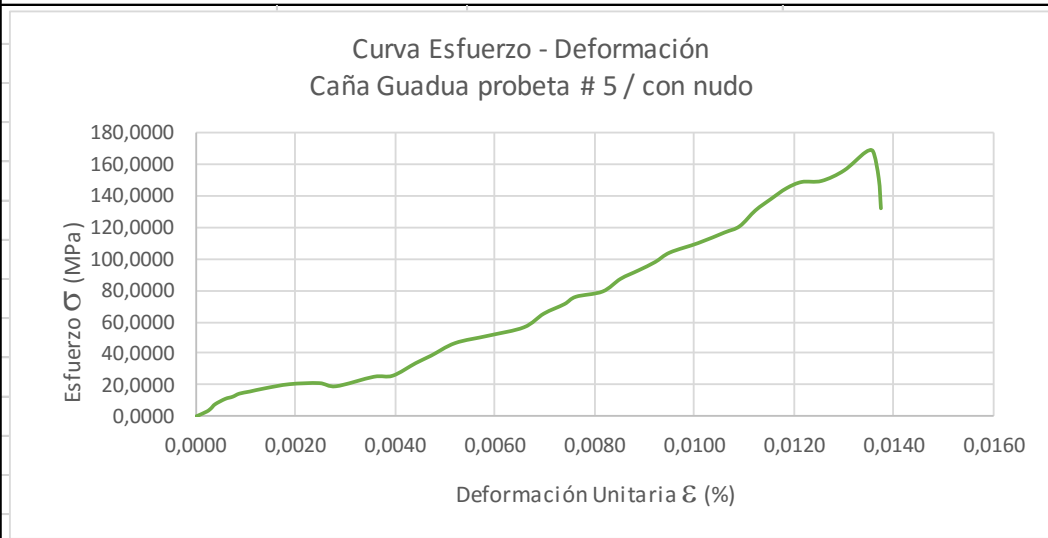
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	5 (Con Nudo)	Espécimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	17,12 KN	Longitud inicial:	190,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	192,612 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	171,16 MPa	Módulo de Elasticidad:	10825,42 MPa
% de elongación:	1,12%		



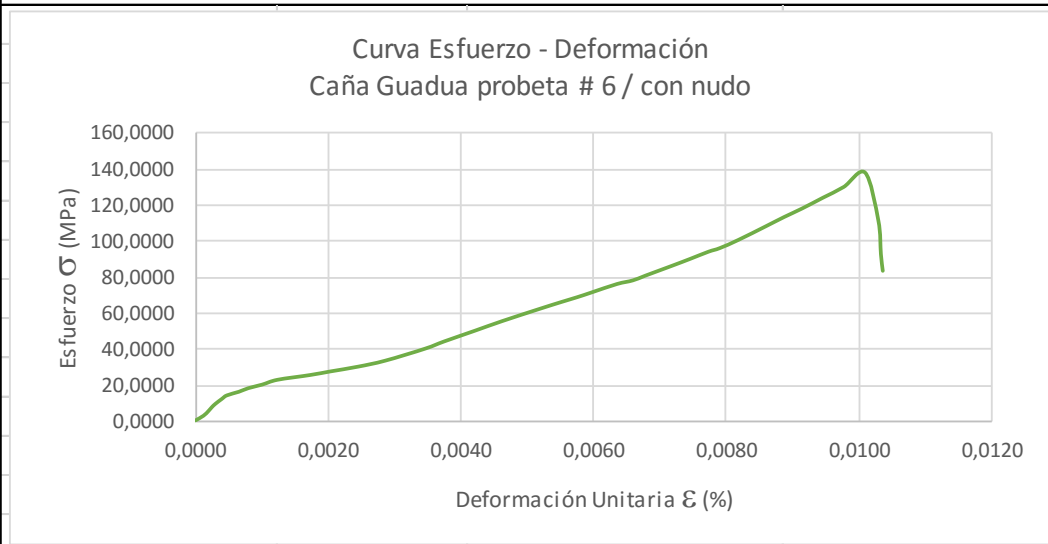
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	6 (Con Nudo)	Espécimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	13,90 KN	Longitud inicial:	210,000 mm
Área Inicial:	100 mm ²	Longitud final:	212,178 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	139,07 MPa	Módulo de Elasticidad:	12240,44 MPa
% de elongación:	1,04%		



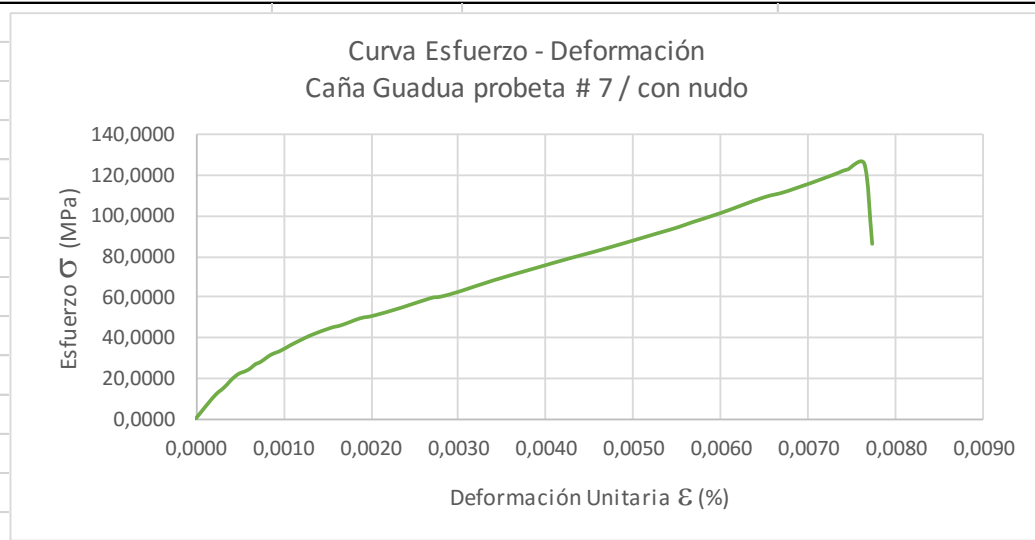
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N° :	7 (Con Nudo)	Espécimen:	Caña Guadua
Norma Aplicable:	ASTM D-143		
Lugar de Ensayo:	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución:	06/04/2016	Realizado por:	Ing. Wilmo Vacacela
		Revisado por:	Ing. Byron Lopez

RESULTADOS DEL ENSAYO:



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	12,57 Mpa	Longitud inicial:	180,000 mm
Área Inicial:	100,00 mm ²	Longitud final:	183,053 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut):	125,69 MPa	Módulo de Elasticidad:	19482,05 MPa
% de elongación:	1,70%		

4.1.2 ENSAYOS DE COMPRESIÓN

Los Ensayos de compresión se efectuaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se ensayaron siete probetas sin nudo y siete con nudo bajo norma ASTM D 143-94.



Figura 4.7 Probetas lisas para ser sometidas a ensayo de compresión. (Fuente: Autor)

Los ensayos se llevaron a cabo en la máquina de compresión marca: Controls, de procedencia italiana, de número de Serie: C78Z00, producida en el año 2014 con una capacidad de carga máxima de 5000 KN.



Figura 4.8 Máquina de compresión FICM (Fuente: Autor)

Para todos los ensayos de tracción se realizó el procedimiento el cual se describe a continuación:

- Encendido de la máquina.
- Verificación de Software de análisis de datos.
- Montaje de probeta en la máquina.
- Ingreso de datos en la interfaz del programa
 - *Datos informativos
 - *Longitud total del espécimen
 - *Diámetro del cilindro
- Encerado del equipo
- Inicio de ensayo mediante botón de inicio (play).
- Obtención de resultados.
- Descarga de resultados.



Figura 4.9 Figura montada para el Análisis (Fuente: Autor)

En la figura 4.10 se puede observar la interfaz del software de la máquina en donde se ingresan los datos para la obtención de resultados y a través de estos obtener las curvas de esfuerzo deformación.

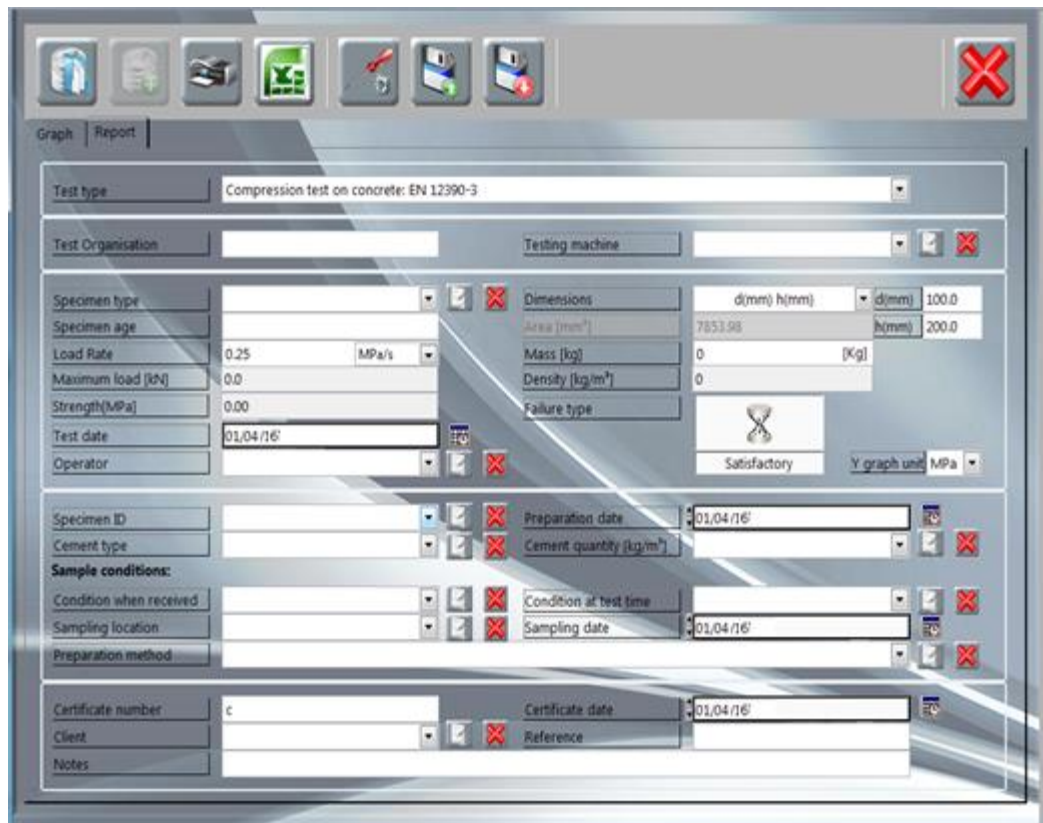


Figura 4.10 Interfaz de software para ingreso de datos (Fuente: Autor)

4.1.2.1 Datos obtenidos mediante ensayo de compresión en cilindros de caña guadua sin nudo

Tabla 4.3 Resultados de ensayo de compresión en probetas sin nudo bajo norma ASTM D-143

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE CAÑA GUADUA (SIN NUDO).				
PROBETA No.	DÍAMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA (KN)	ESFUERZO (MPa)
1	115,00	10386,89	150,50	14,49
2	87,00	5944,68	109,90	18,49
3	110,00	9503,32	156,60	16,48
4	104,00	8494,87	145,10	17,08
5	96,50	7313,82	114,15	15,61
6	105,00	8659,01	139,20	16,08
7	91,50	6575,55	117,25	17,83

Fuente: Autor

4.1.2.2 Resultados de esfuerzos de las probetas sin nudos sometidos a compresión

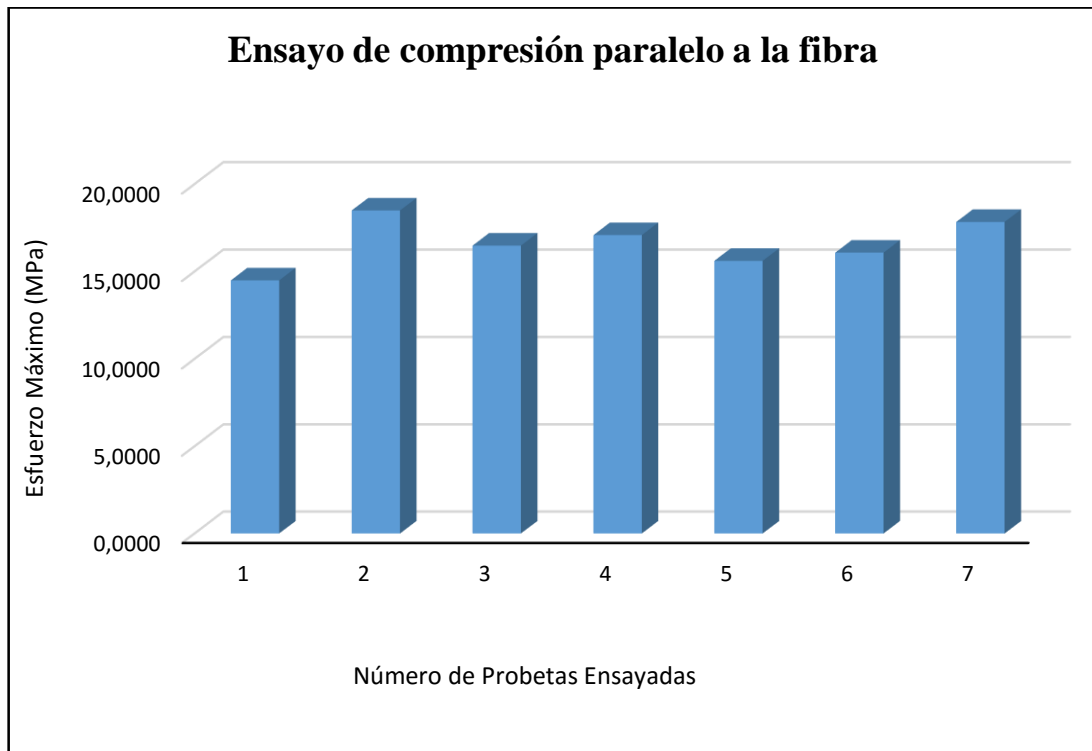


Figura 4.11 Ensayos de compresión en probetas sin nudo paralelo a la fibra (Fuente: Autor)

4.1.2.3 Datos obtenidos mediante ensayo de compresión en cilindros de caña guadua con nudo

Tabla 4.4 Resultados de ensayo de compresión en probetas sin nudo bajo norma ASTM D-143

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE CAÑA GUADUA (CON NUDO).				
PROBETA	DÍAMETRO	ÁREA	CARGA	ESFUERZO
No.	(mm)	(mm ²)	(KN)	(MPa)
1	97,00	7389,81	141,60	19,16
2	100,00	7853,98	136,10	17,33
3	108,00	9160,88	152,40	16,64
4	113,80	10171,25	164,80	16,20
5	90,50	6432,61	126,20	19,62
6	102,10	8187,31	140,80	17,20
7	107,18	9022,30	144,90	16,06

Fuente: Autor

4.1.2.4 Resultados de esfuerzos de las probetas sin nudos sometidos a compresión

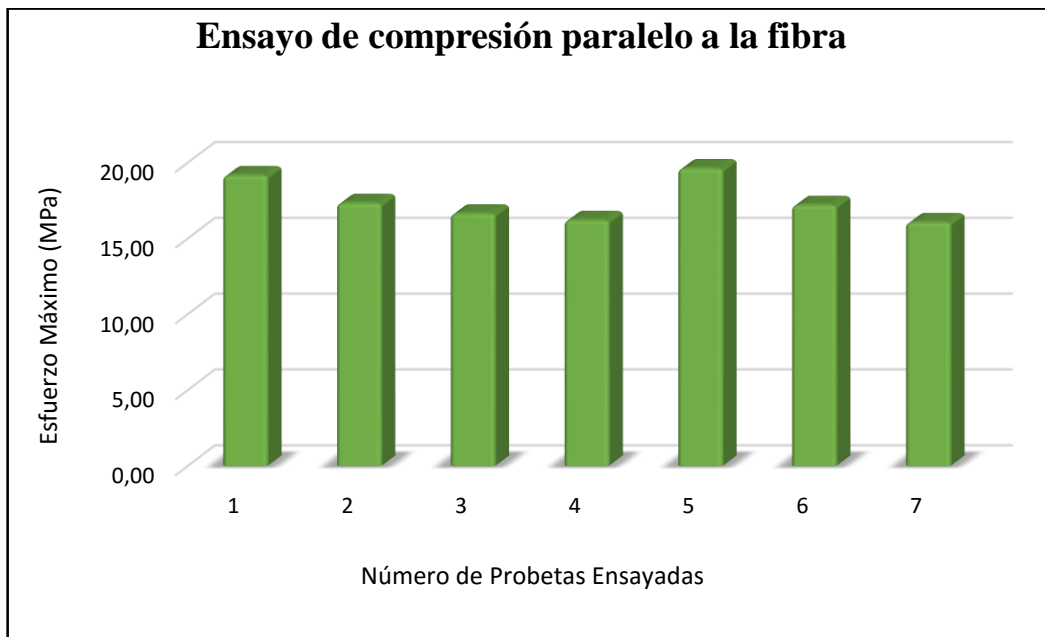


Figura 4.12 Ensayos de compresión en probetas con nudo paralelo a la fibra (Fuente: Autor)

4.1.3 ENSAYOS DE DUREZA

Para determinar la dureza Brinell, en este material, los ensayos de dureza se efectuaron en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, bajo norma ASTM D 143-83, se realizaron 7 mediciones en puntos lisos de la caña guadua y 7 mediciones en puntos nodales.

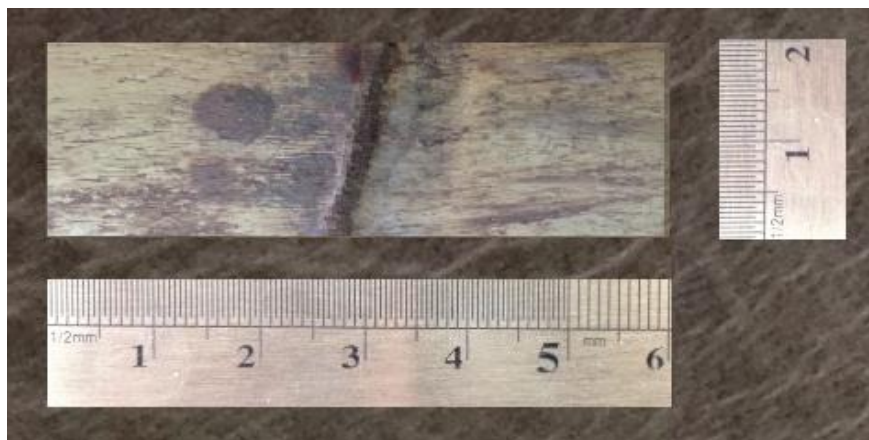


Figura 4.13 Probetas de análisis para ensayo de dureza. (Fuente: Autor)

Los ensayos se llevaron a cabo en el Durómetro Marca: Winex, de procedencia Sudcoreana, Modelo: HBRV-185.5, producida en el año 2008.



Figura 4.14 Máquina de compresión FICM (Fuente: Autor)



Para la toma de puntos en el ensayo de dureza Brinell, para todos los ensayos se realizó el mismo procedimiento el cual se describe a continuación:

- Encendido de la máquina.
- Colocación de la bola de acero de diámetro 5 mm
- Montaje de probeta en la máquina.
- Calibración de la fuerza a utilizarse
- Encerado del equipo
- Inicio de ensayo mediante aplicación de la fuerza.
- Obtención de resultados.





Figura 4.15 Probeta montada en máquina de ensayo de dureza (Fuente: Autor)

4.1.3.1 Datos obtenidos mediante ensayo de dureza de caña guadua sin nudo

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)			
ENSAYO DE DUREZA EN SUPERFICIE SIN NUDOS			
Probeta N° :	01 a 07	Espécimen:	Caña Guadua
Ensayo realizado de acuerdo a especificaciones del Equipo y norma ASTM D 143-83			
Lugar de Ensayo	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución	19/04/2016	Realizado por:	Egdo. Gabriel Mazon
		Revisado por:	Ing. Wilmo Vacacela
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
MÉTODO:	BRINELL		
TIPO DE PENETRADOR:	IDENTADOR 5 mm		
CARGA APLICADA:	306.5 N (31,25 Kgf)		
TIEMPO DE PRESIÓN :	30 Seg.		
RESULTADOS REGISTRADOS			
N° ENSAYO	DIAMETRO DE IMPRESIÓN	DUREZA BRINELL	
1	2,7	5,03	
2	2,6	5,46	
3	2,8	4,64	
4	2,9	4,29	
5	2,6	5,46	
6	2,7	5,03	
7	2,8	4,64	
PROMEDIO DE DUREZA BRINELL			4,94

4.1.3.2 Datos obtenidos mediante ensayo de dureza de caña guadua en el nudo

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECANICA MAESTRIA EN DISEÑO MECANICO (II COHORTE) 			
ENSAYO DE DUREZA EN SUPERFICIE EN LOS NUDOS			
Probeta N° :	08 a 14	Espécimen:	Caña Guadua
Ensayo realizado de acuerdo a especificaciones del Equipo y norma ASTM D 143-83			
Lugar de Ensayo	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)		
Fecha de Ejecución	19/04/2016	Realizado por:	Egdo. Gabriel Mazon
		Revisado por:	Ing. Wilmo Vacacela
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
MÉTODO:	BRINELL		
TIPO DE PENETRADOR:	IDENTADOR 5 mm		
CARGA APLICADA:	306.5 N (31,25 Kgf)		
TIEMPO DE PRESIÓN :	30 Seg.		
RESULTADOS REGISTRADOS			
N° ENSAYO	DIAMETRO DE IMPRESIÓN	DUREZA BRINELL	
1	2,9	4,29	
2	2,6	5,46	
3	2,5	5,94	
4	2,6	5,46	
5	2,8	4,64	
6	2,6	5,46	
7	2,8	4,64	
PROMEDIO DE DUREZA BRINELL			5,13

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LA CUCHILLA

En este ítem se analizaron los diseños estáticos de las cuchillas con diferente material y diferente ángulo de corte, para determinar cuál es la mejor variable y llegar a determinar un mejor material y ángulo de corte, considerando que los aspectos que se deben tomar en cuenta en el diseño de una cuchilla o herramienta en general son: La geometría de forma, el tamaño, el material, condiciones de trabajo y pruebas de funcionalidad mismas que se realizaran en el Software para FEM.

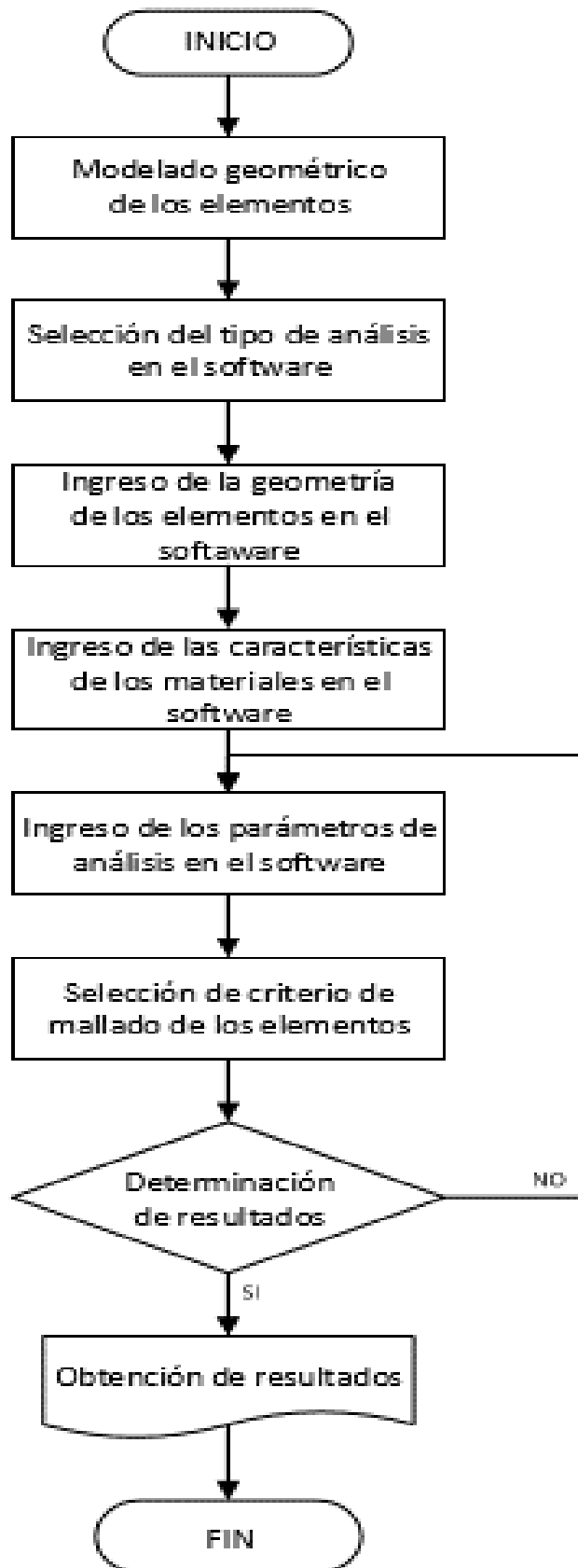


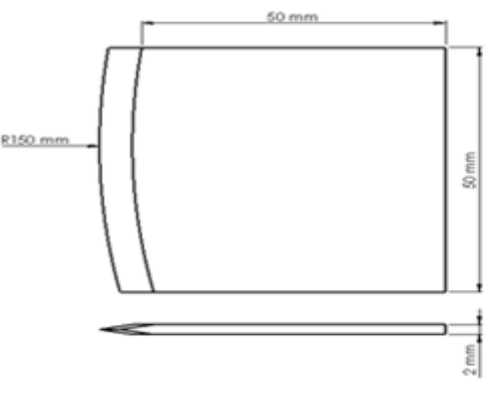
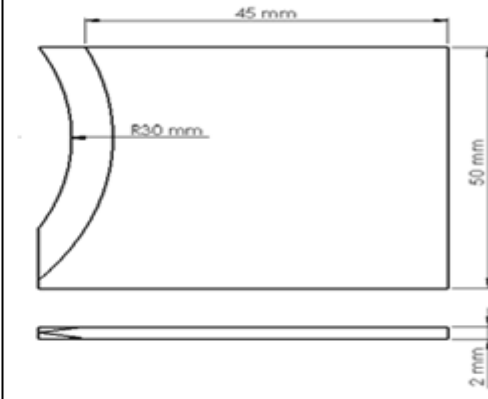
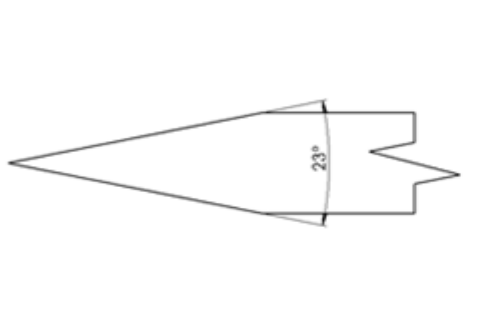
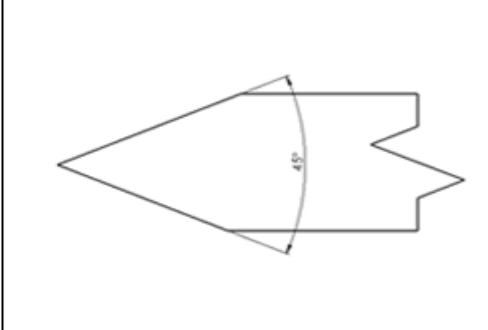


Diagrama 4.2 Proceso de obtención de resultados de análisis mediante MEF. (Fuente: Autor)



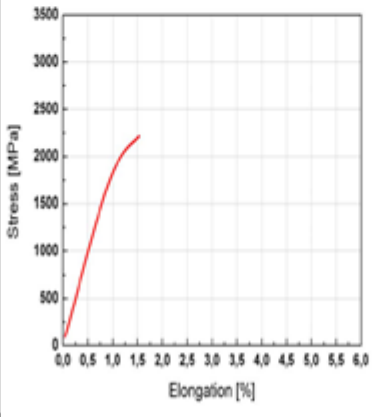
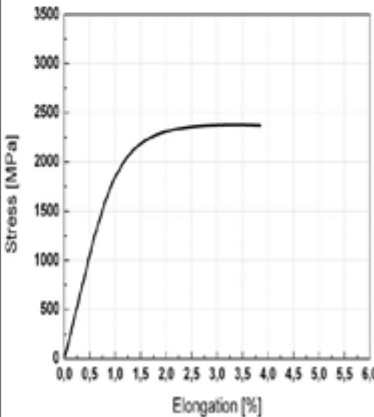
4.2.1 MODELOS A CONSIDERARSE PARA LA DETERMINACION DE LA CUCHILLA DE CORTE

Las cuchillas deben representar alta calidad y precisión de corte. Las características de geometría cóncavos con arco interior son autocentrantes para el material a cortar en el momento de producirse la división. De esta manera, el proceso de corte se estabiliza automáticamente y permite controlar mejor el material y las cuchillas convexas con el filo curvado hacia el exterior, el contorno del filo en la forma del arco se aplica de forma previsible y con una enorme precisión y alivio de tensiones ya que se ejerce un efecto de corte de tijera o cizalla. [15]

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE) 	
ELABORADO POR: Ing. Wilmo Vacacela Miranda	
ACEROS ESCOGIDOS PARA EL ANALISIS DE LA CUCHILLA	
BÖHLER K110	BÖHLER K353
CONFIGURACIONES SELECCIONADA PARA LA CUCHILLA	
CONVEXO	CÓNCAVO
	
ÁNGULO DE FILO SELECCIONADOS PARA LA CUCHILLA	
ÁNGULO RECTO A 23°	ÁNGULO RECTO A 45°
	

4.2.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE CADA MATERIAL INGRESADO EN EL SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS

A continuación, se enumeran los datos que ingresan al Software para el análisis estático respectivamente.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECANICA MAESTRIA EN DISEÑO MECANICO (II COHORTE) 		
ELABORADO POR: Ing. Wilmo Vacacela Miranda		
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS PARA HERRAMIENTAS		
TIPO DE ACERO	BOHLER K110	BOHLER K353
DENSIDAD:	7,67 Kg/dm ³	7,70 Kg/dm ³
CONDICIONES DE TRABAJO		
RANGO DE DUREZA	57 - 59 HRC	57 - 59 HRC
TEMPERATURA DE TEMPLE	1070 °C	1030 °C
EN TRACCIÓN		
Módulo de elasticidad	200000 Mpa	212000 Mpa
Límite de elasticidad	1999 Mpa	1975 Mpa
Resistencia a la tracción	2204 Mpa	2375 Mpa
Elongación	1,54%	3,75%
Curva Esfuerzo - Deformación		
EN COMPRESIÓN		
Límite de elasticidad	2270 Mpa	2310 Mpa

4.2.3 ANÁLISIS DE DISEÑO ESTÁTICO DE LAS DIFERENTES TIPOS DE MATERIAL Y ÁNGULO DE FILO

Para el siguiente análisis se asignó correspondientemente para cada cuchilla el material, el ángulo de filo para cada caso, cabe mencionar que para todos los casos se tomó el mallado con centro de relevancia fino y una suavidad media.

4.2.3.1 mallado en las cuchillas

Para todos los análisis estáticos se utilizó el mismo mallado el cual se tomó una suavidad de tipo media y un centro de relevancia fino.

4.2.3.2 Calidad del mallado (discretización)

Para la determinación de un mallado de calidad, se ha tomado las características descritas en el CAPÍTULO II. Mediante esta discretización de calidad de malla podemos observar que para las configuraciones de filo de sesgo de 23° y 45° se ha conformado la discretización por hexaedros y nudos, así como para los de filo recto se ha conformado de tetraedros mostrándose una malla de calidad considerablemente alta.

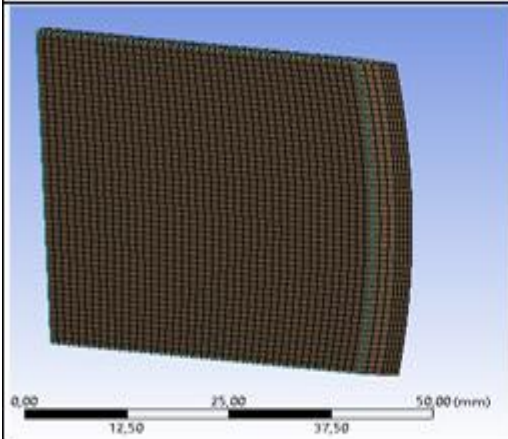


ELABORADO POR: Ing. Wilmo Vacacela Miranda

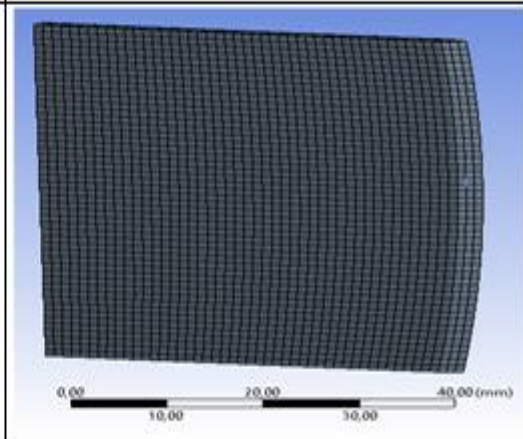
MALLADO EN LAS CUCHILLAS

CONVEXO

FILO RECTO A 23°

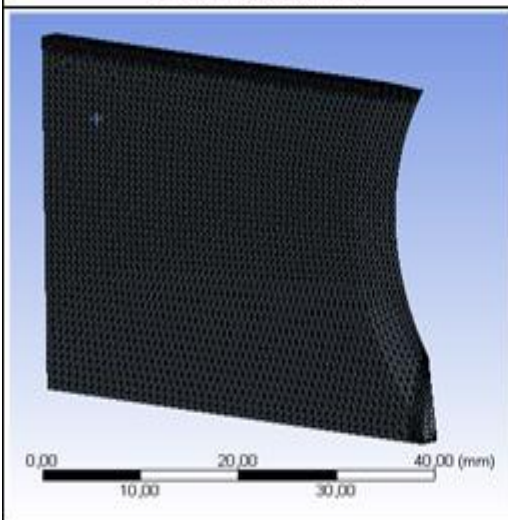


FILO RECTO A 45°

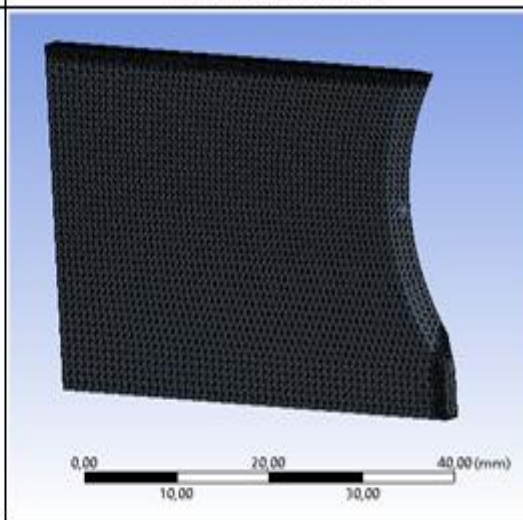


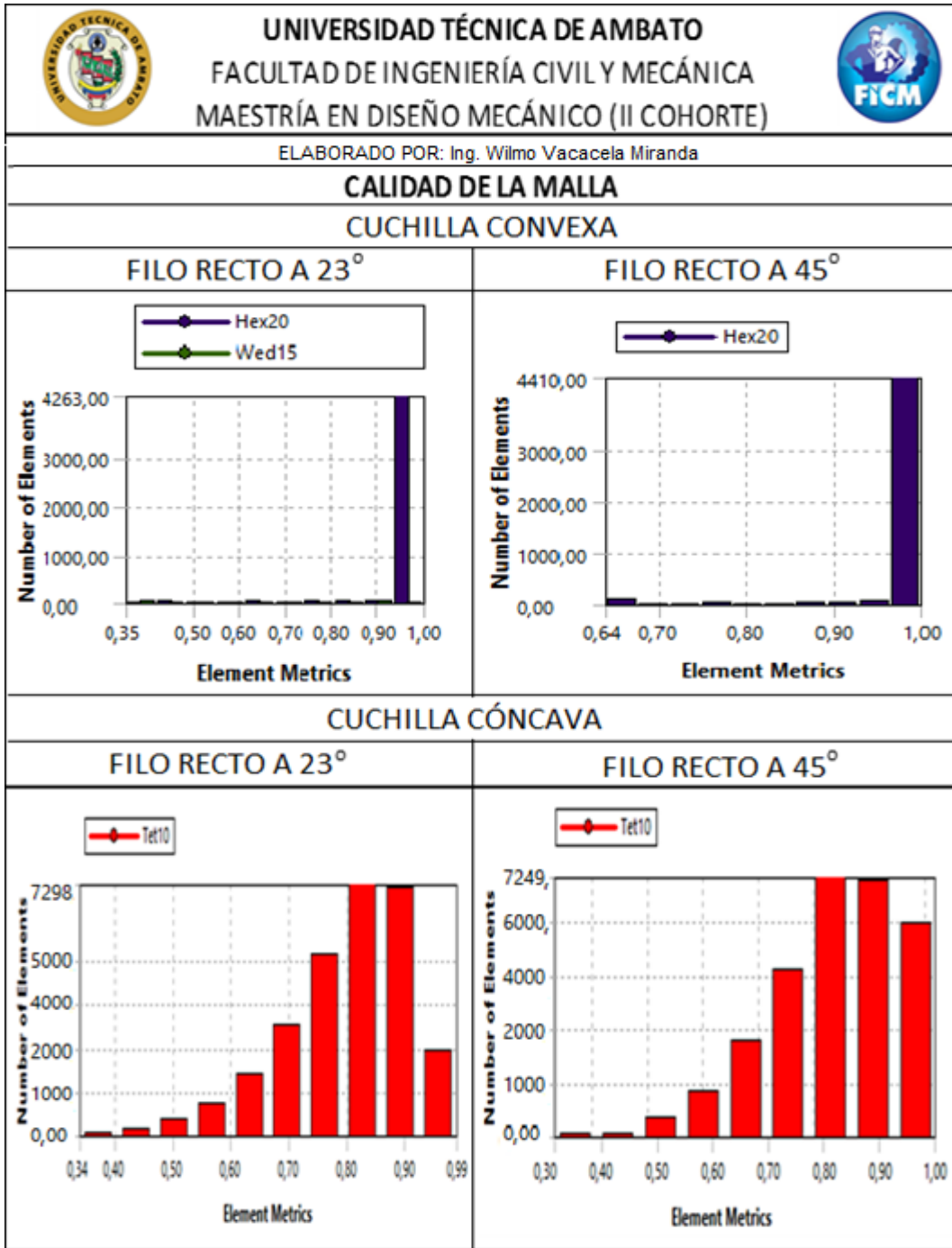
CONCAVO

FILO RECTO A 23°



FILO RECTO A 45°

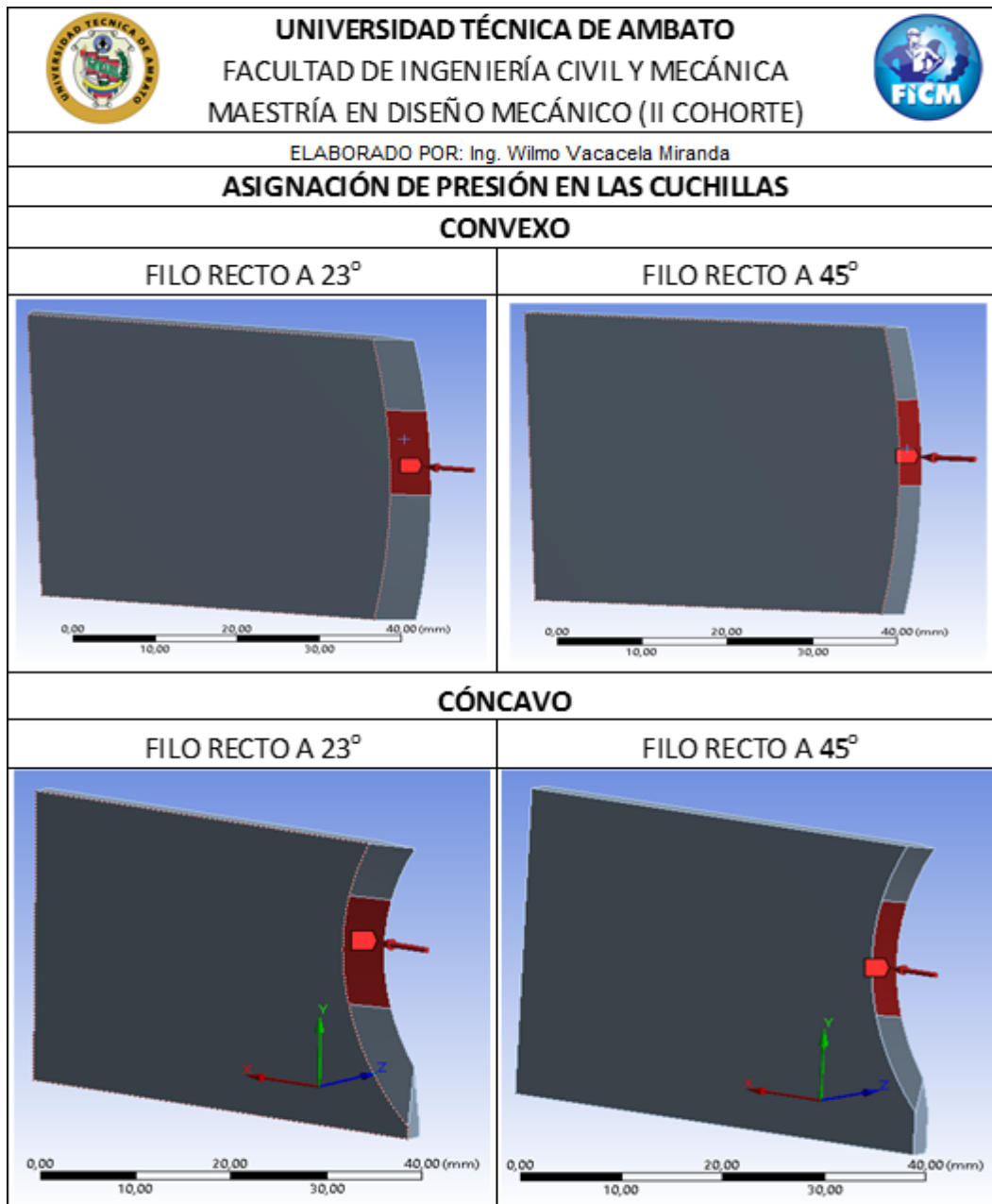




4.2.3.2 Presión aplicada en las cuchillas

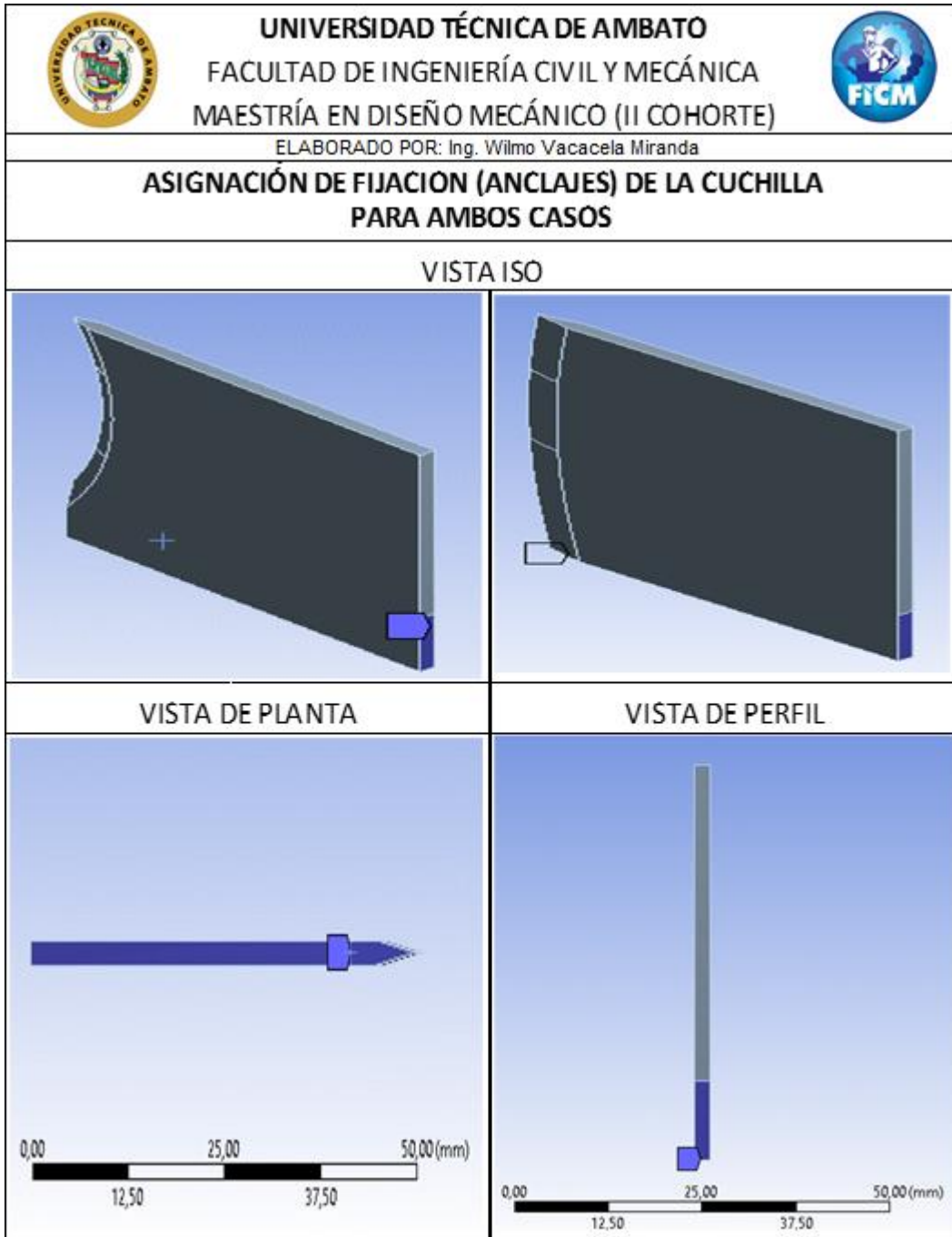
Para este análisis se ha aplicado la misma presión para los diferentes filos de cuchilla con el distinto material, el dato de presión que se ha considerado para someter a análisis a las cuchillas fue de 19,64 MPa., obtenido a partir del ensayo de compresión fue tomado el valor más alto por cuestiones de seguridad ya que de

esta manera se determina que la cuchilla puede someterse al más alto rango de esfuerzo y trabajo.



4.2.3.3 Sujeción de la cuchilla (anclajes)

Para el análisis estático por medio del método de elementos finitos, se asignaron los anclajes de tipo rígido para tres puntos de sujeción de la cuchilla tal y como se puede ver en a continuación.



4.2.4 CASO 1.- Material: Acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 23°

A continuación, se analizó los parámetros de esfuerzos equivalentes, esfuerzos máximos, deformación total y factor de seguridad para las cuchillas considerando la forma, los ángulos de afilado y los materiales que se consideraron para el siguiente estudio.

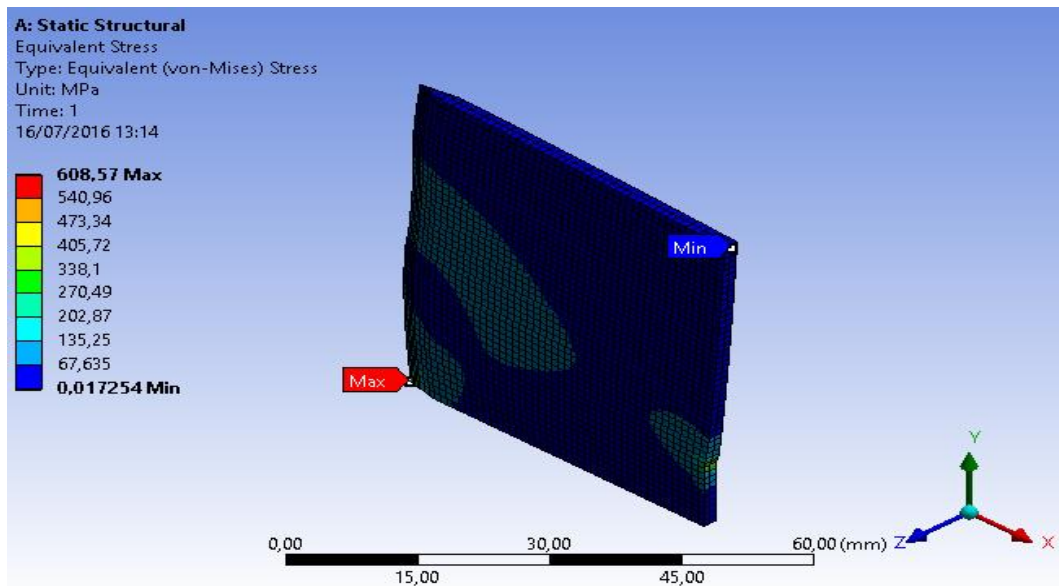


Figura 4.16 Esfuerzo equivalente acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 23°
 (Fuente: Autor)

En la Figura 4.16 se observa que el esfuerzo equivalente es de 608,57 MPa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

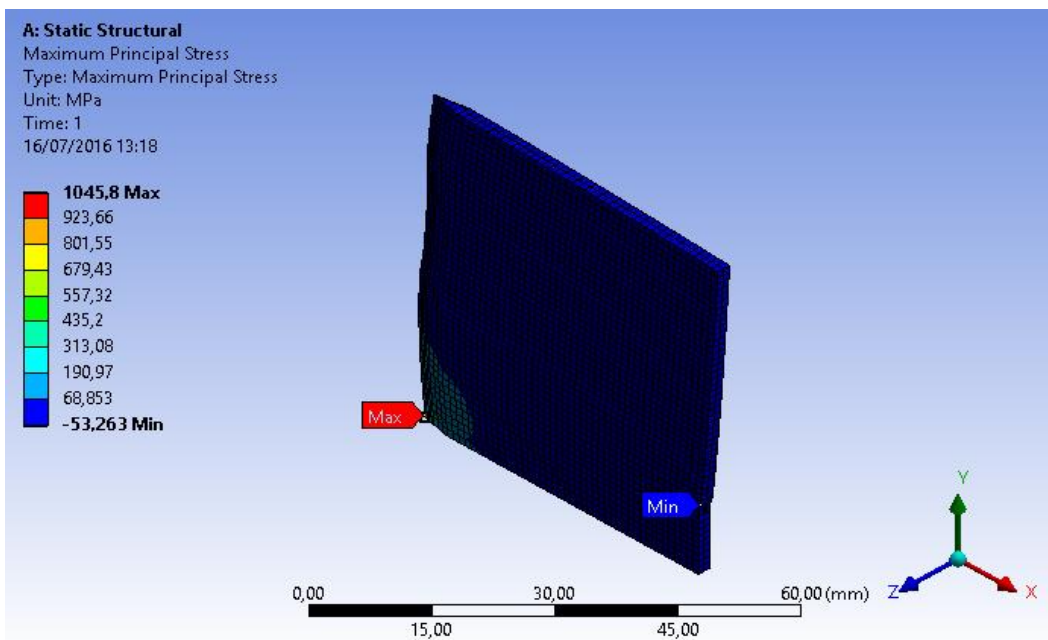


Figura 4.17 Esfuerzo máximo acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 23°
 (Fuente: Autor)

En la Figura 4.17 se observa que el esfuerzo máximo es de 1045,8 MPa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

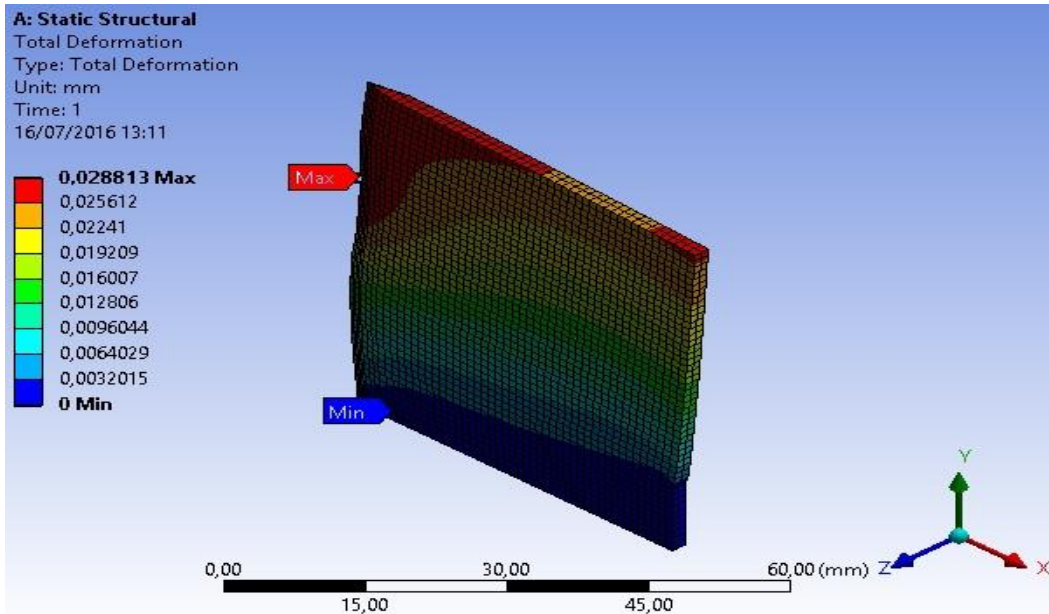


Figura 4.18 Deformación total acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 23°
 (Fuente: Autor)

En la Figura 4.18 se observa que la deformación total es de 0,029 mm. debiendo dejar claro que la deformación máxima de la misma es un equivalente al 3% de deformación sobre cada milímetro lineal de la cuchilla.

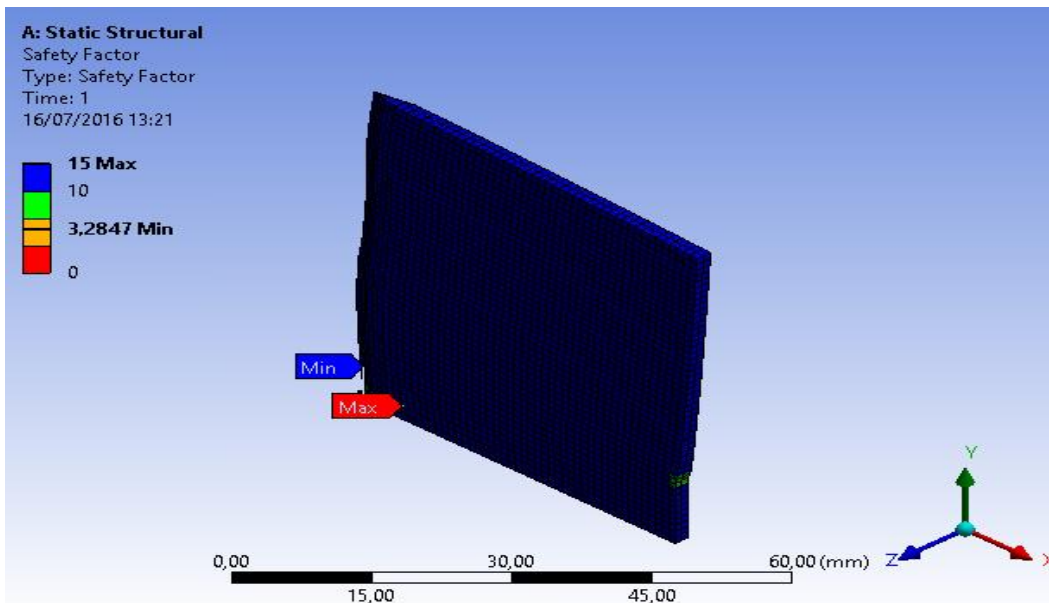


Figura 4.19 Factor de seguridad acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 23°
 (Fuente: Autor)

En la Figura 4.19 se observa que el factor de seguridad es de 3,28 pudiéndose acotar que por razones de seguridad y debido a que es una herramienta de corte se consideraran los valores del factor de seguridad más altos.

4.2.5 CASO 2.- Material: Acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 45°

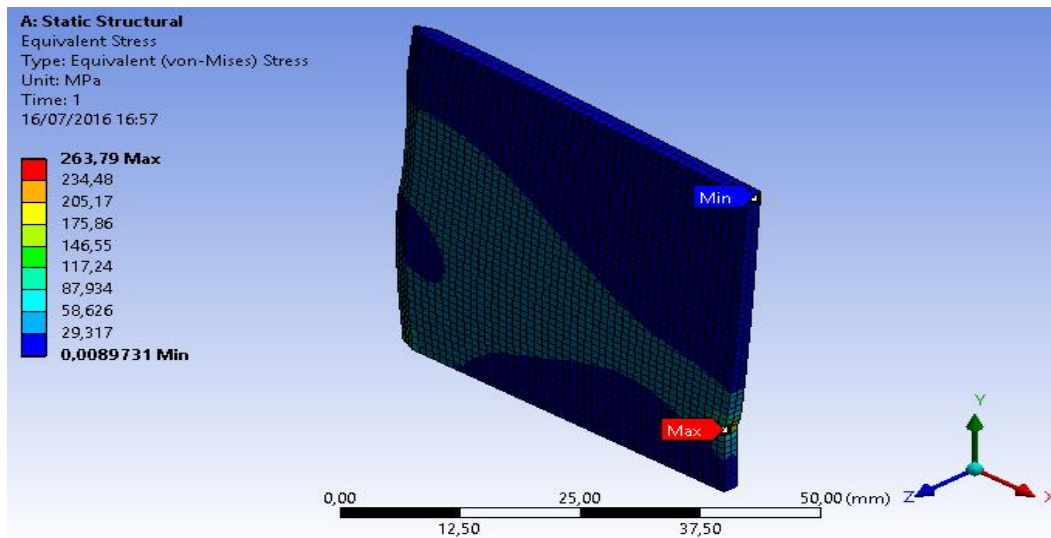


Figura 4.20 Esfuerzo equivalente acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.20 se observa que el esfuerzo equivalente es de 263,79 Mpa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

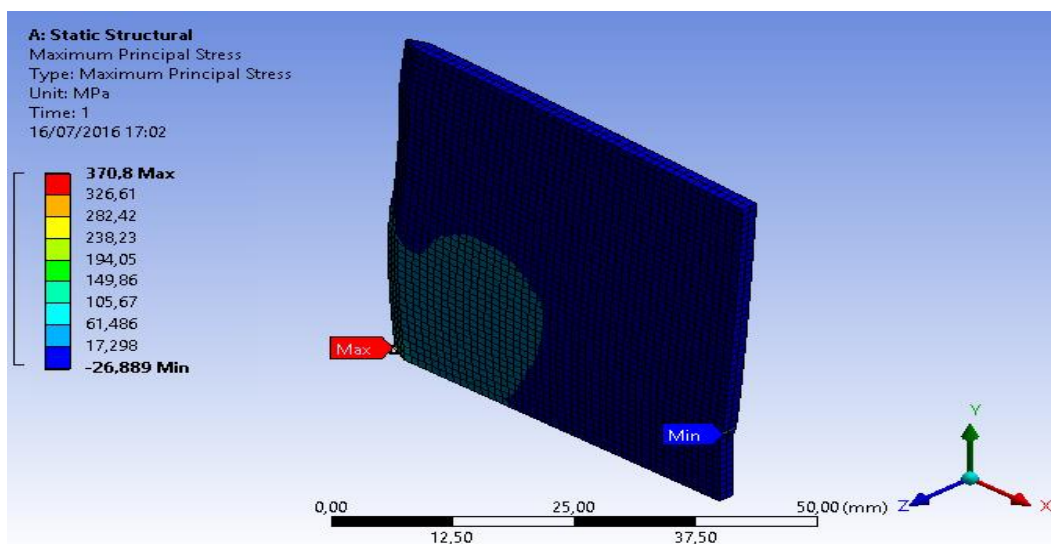


Figura 4.21 Esfuerzo máximo acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.21 se observa que el esfuerzo máximo es de 370,8 Mpa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

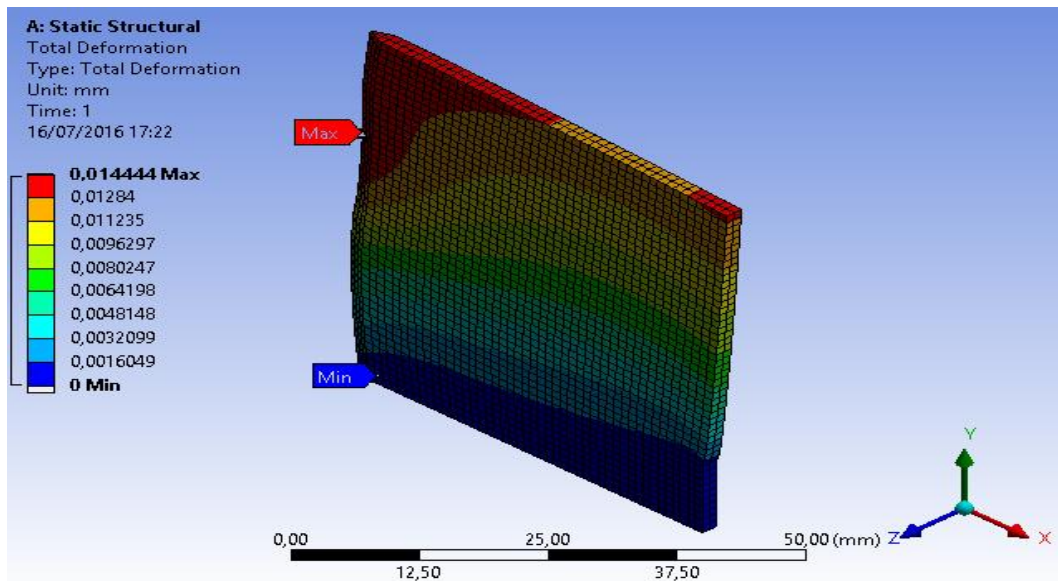


Figura 4.22 Deformación total acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.22 se observa que la deformación total es de 0,014 mm. debiendo dejar claro que la deformación máxima de la misma es un equivalente al 1,4% de deformación sobre cada milímetro lineal de la cuchilla.

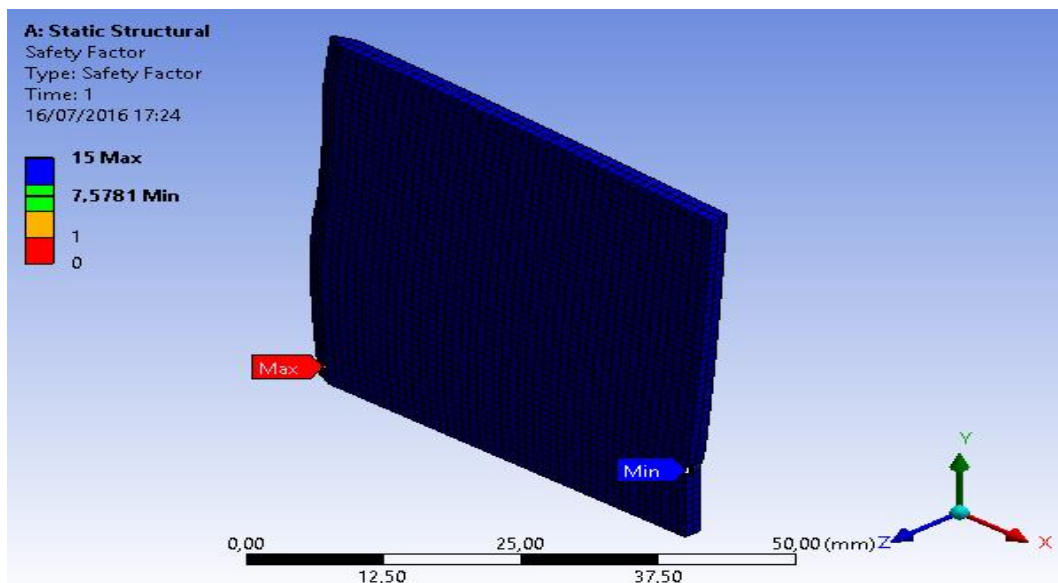


Figura 4.23 Factor de seguridad acero Böhler K110 – Diseño convexo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.23 se observa que el factor de seguridad es de 7,57 siendo más elevado que el caso anterior, lo que es un parámetro favorable para los efectos de análisis a los cuales estamos sometiendo a la cuchilla.

4.2.6 CASO 3. Material: Acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 23°

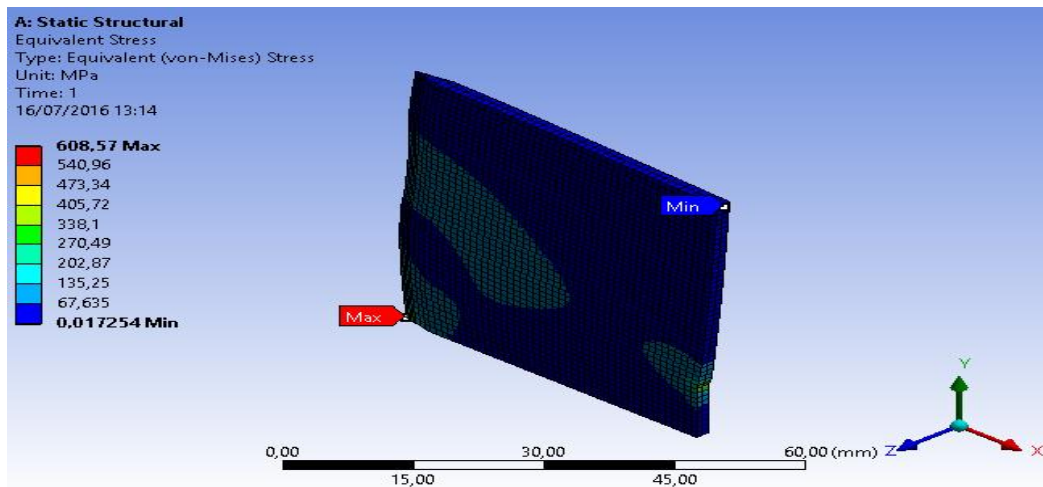


Figura 4.24 Esfuerzo equivalente acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 23°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.24 se observa que el esfuerzo equivalente es de 608,57 MPa, lo cual se puede apreciar que es idéntico al esfuerzo del caso 1, se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

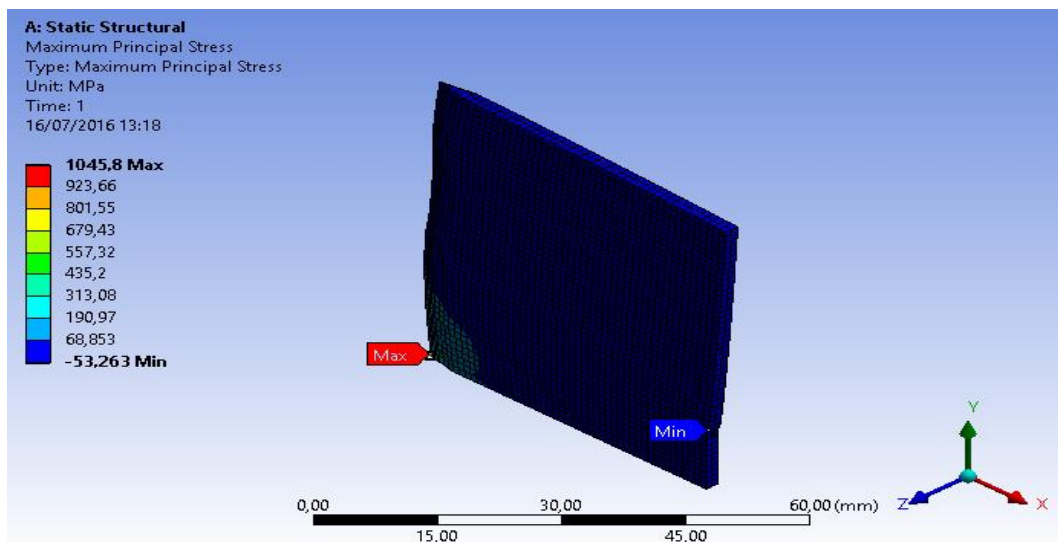


Figura 4.25 Esfuerzo máximo acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 23°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.25 se observa que el esfuerzo máximo es de 1045,8 MPa, idéntico al resultado del caso 1, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

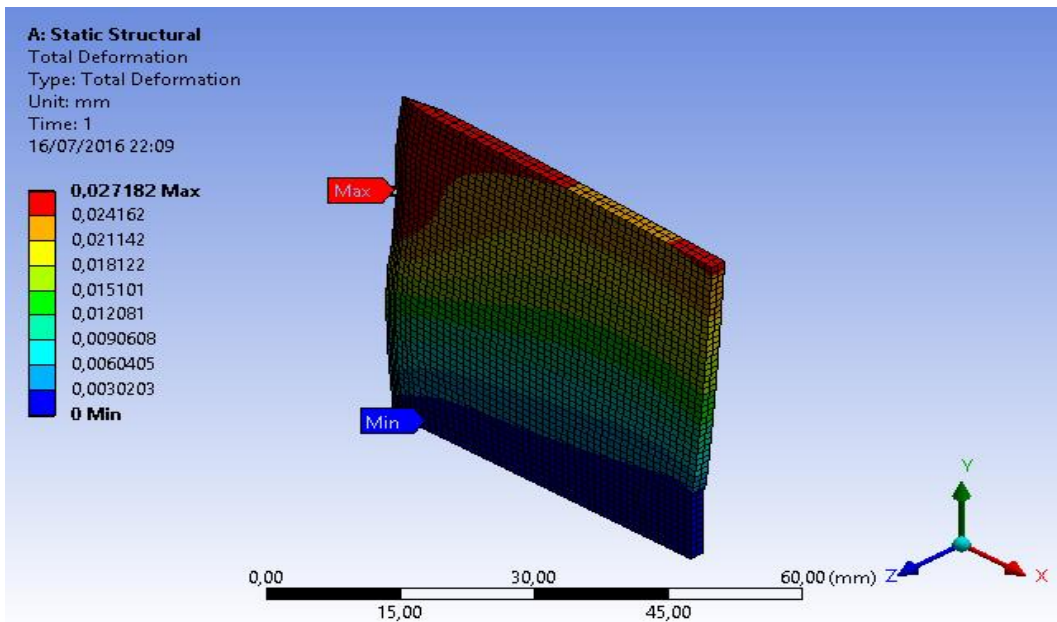


Figura 4.26 Deformación total acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 23°.
(Fuente: Autor)

En la Figura 4.26 se observa que la deformación total es de 0,027 mm., debiendo dejar claro que la deformación máxima de la misma es un equivalente al 2,7% de deformación sobre cada milímetro lineal de la cuchilla.

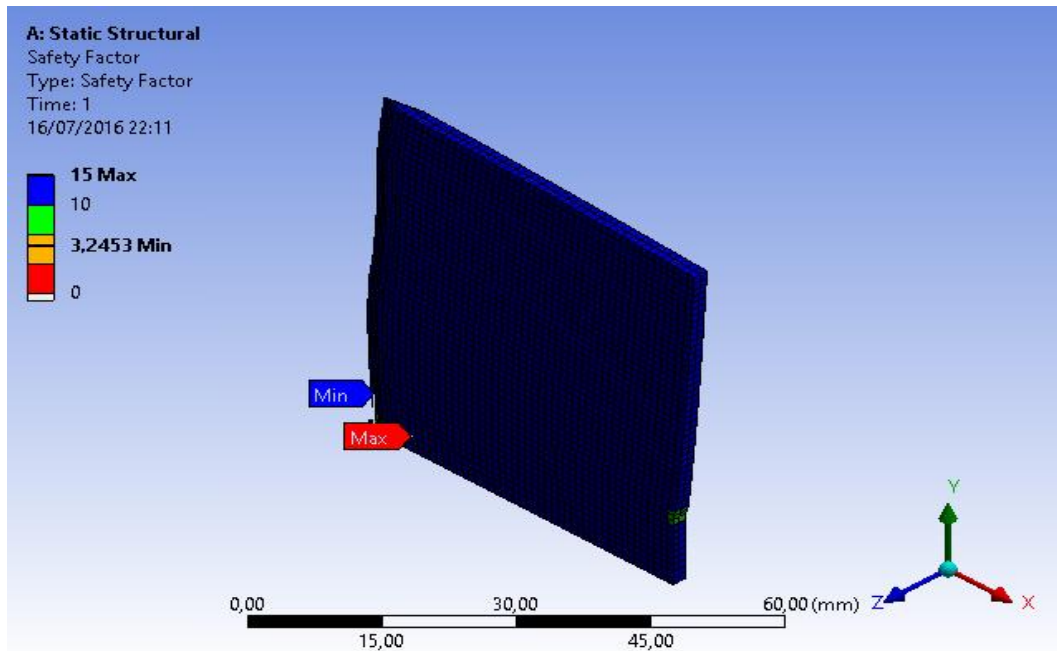


Figura 4.27 Factor de seguridad acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 23°.
(Fuente: Autor)

En la Figura 4.27 se observa que el factor de seguridad es de 3.25 siendo muy similar al caso 1, de igual manera será considerada para el análisis.

4.2.7 CASO 4.- Material: Acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 45°

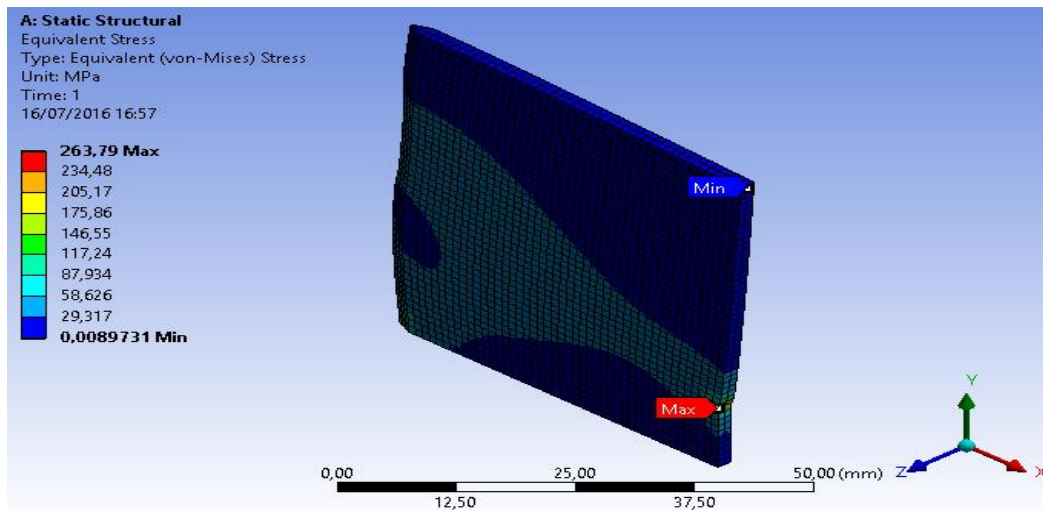


Figura 4.28 Esfuerzo equivalente acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.28 se observa que el esfuerzo equivalente es de 263,79 MPa, lo cual se puede apreciar que es idéntica al caso 2, se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

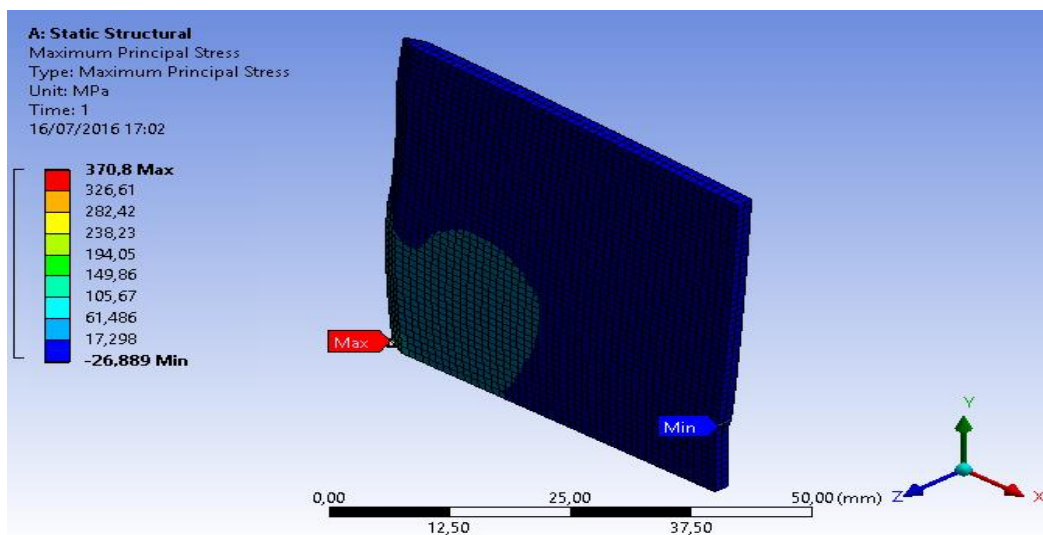


Figura 4.29 Esfuerzo máximo acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.29 se observa que el esfuerzo máximo es de 370,8 MPa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

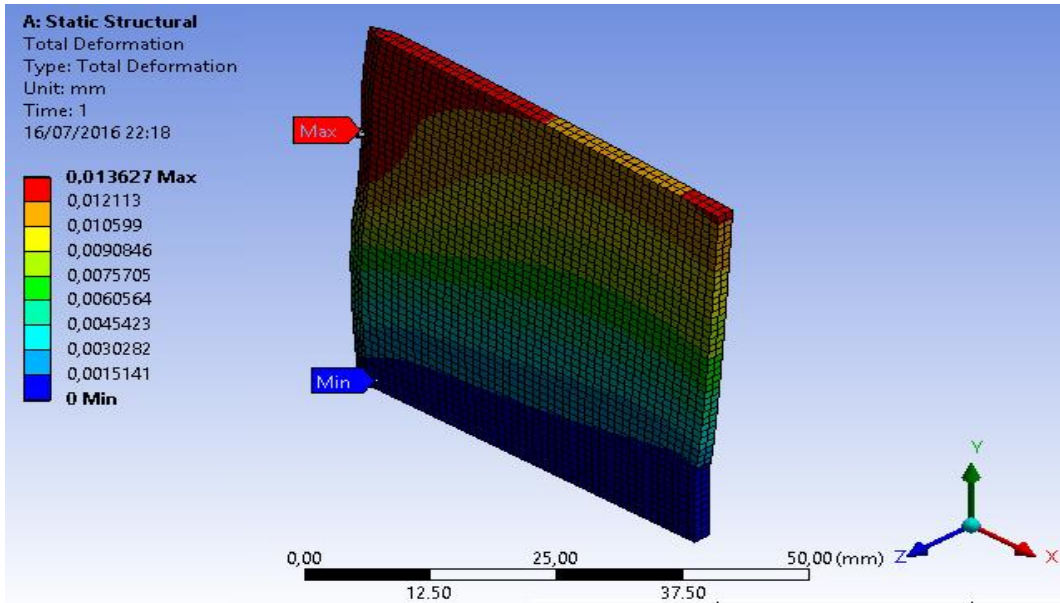


Figura 4.30. Deformación total acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 45°.
 (Fuente: Autor)

En la Figura 4.30 se observa que la deformación total es de 0,01 mm, debiendo dejar claro que la deformación máxima de la misma es un equivalente al 1% de deformación sobre cada milímetro lineal de la cuchilla.

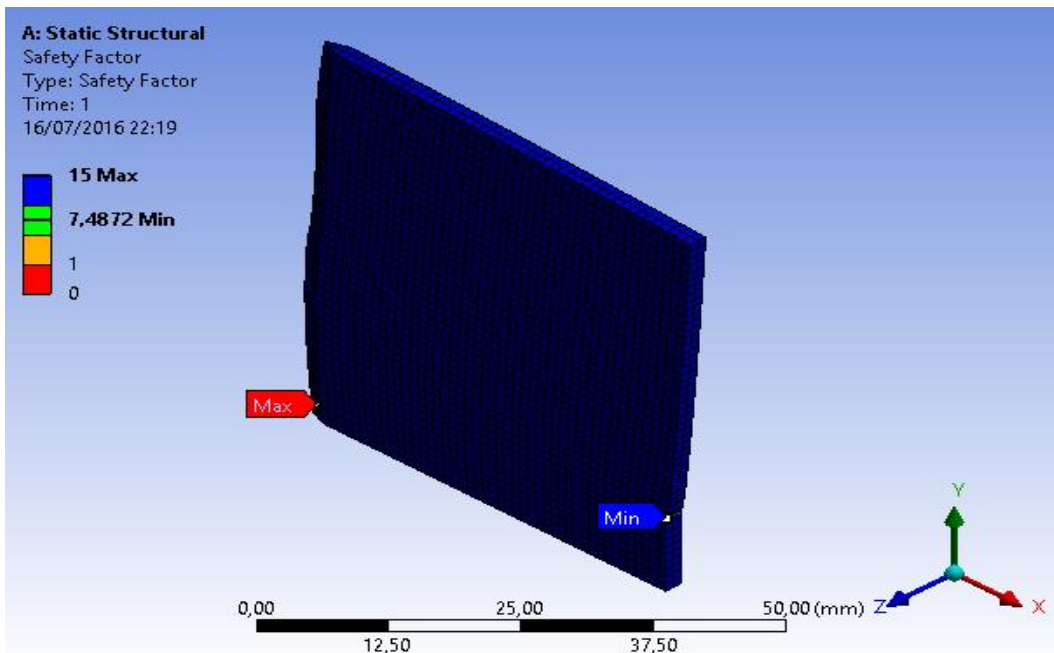


Figura 4.31 Factor de seguridad acero Böhler K353 – Diseño convexo con afilado recto a 45°.
 (Fuente: Autor)

En la Figura 4.31 se observa que el factor de seguridad es de 7,48 siendo una clara opción y muy aceptable índice.

4.2.8 CASO 5.- Material: Acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°

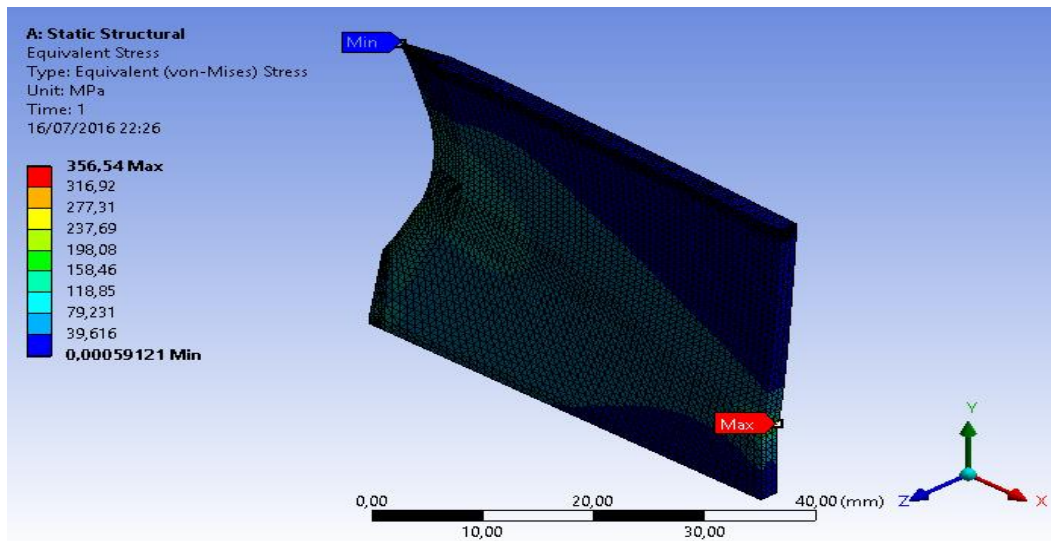


Figura 4.32 Esfuerzo equivalente acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.32 se observa que el esfuerzo equivalente es de 356,54 MPa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

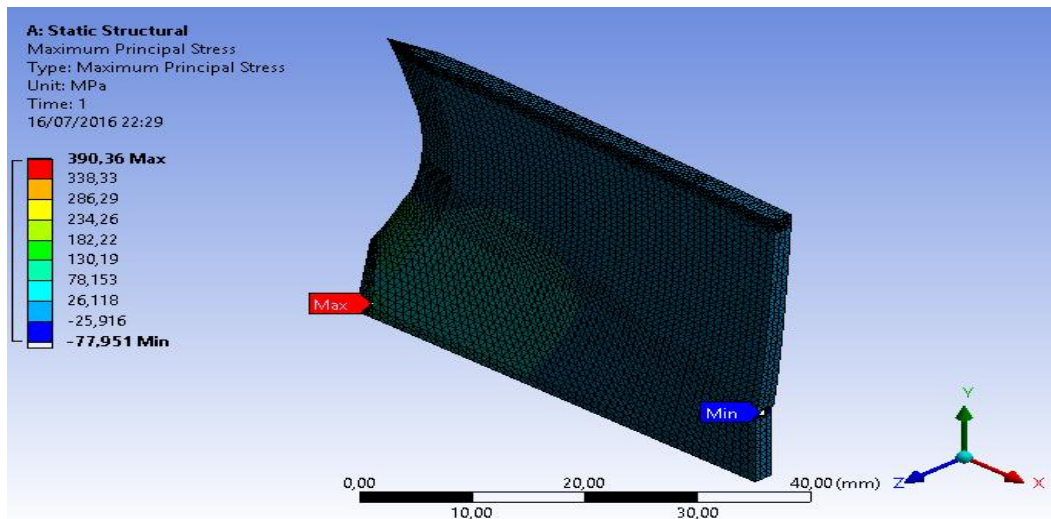


Figura 4.33. Esfuerzo máximo acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.33 se observa que el esfuerzo máximo es de 390,36 MPa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

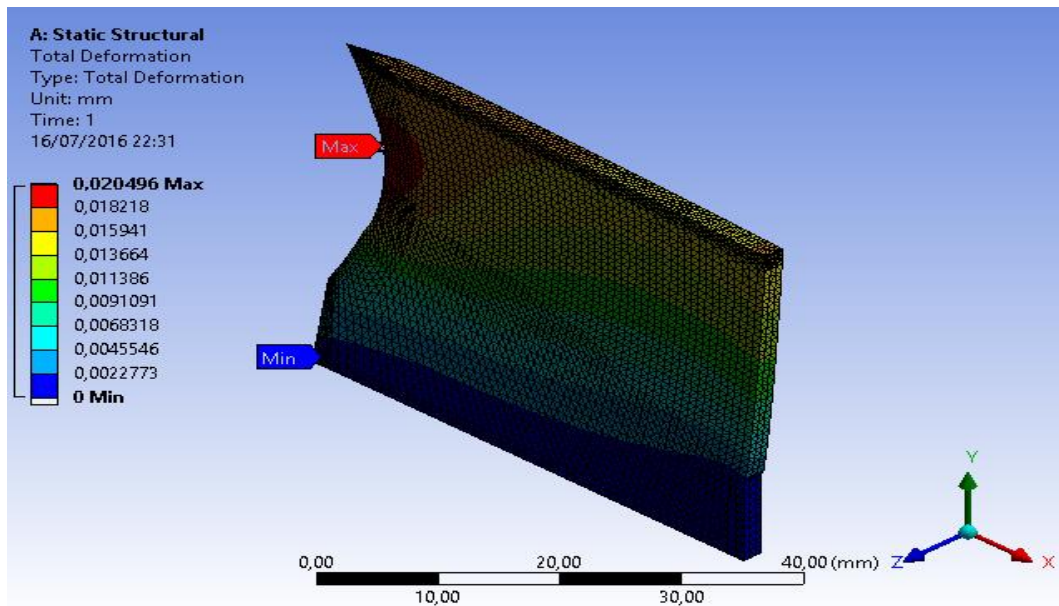


Figura 4.34. Deformación total acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.34 se observa que la deformación total es de 0,02 mm., debiendo dejar claro que la deformación máxima de la misma es un equivalente al 2% de deformación sobre cada milímetro lineal de la cuchilla.

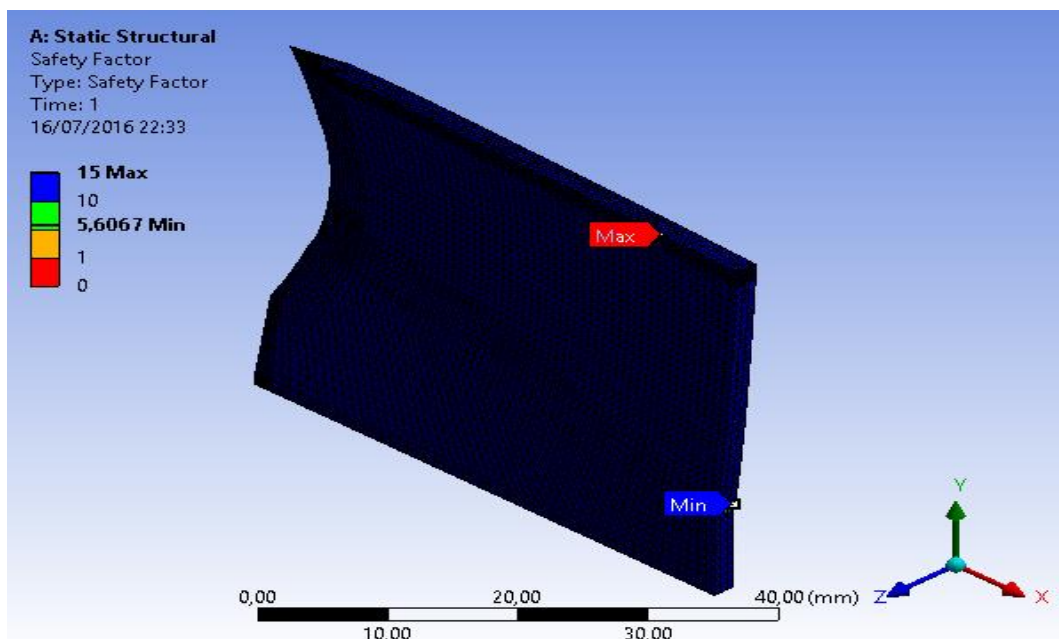


Figura 4.35 Factor de seguridad acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.35 se observa que el factor de seguridad es de 5,61 siendo un buen índice par el análisis.

4.2.9 CASO 6.- Material: Acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°

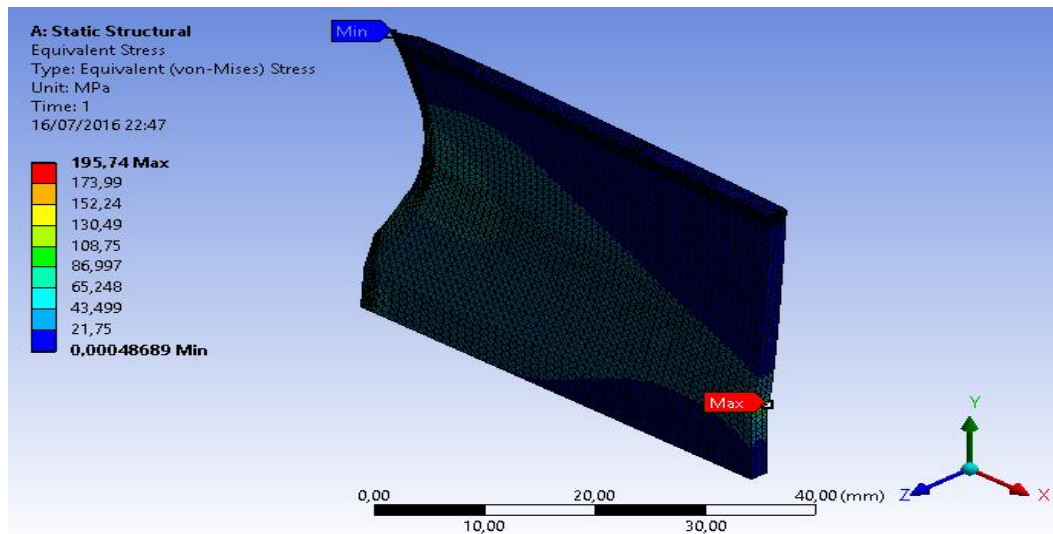


Figura 4.36 Esfuerzo equivalente acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.36 se observa que el esfuerzo equivalente es de 195,74 MPa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

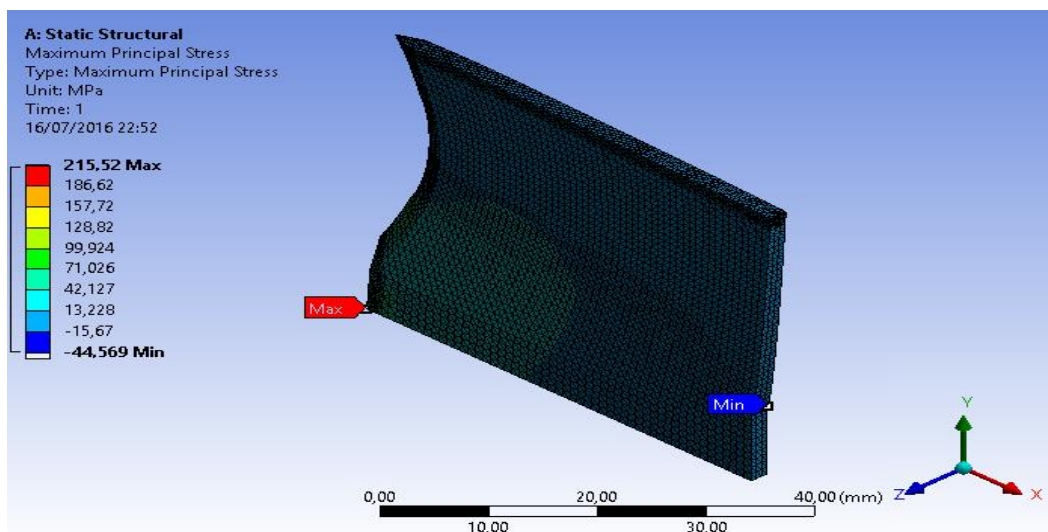


Figura 4.37 Esfuerzo máximo acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.37 se observa que el esfuerzo máximo es de 215,52 MPa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

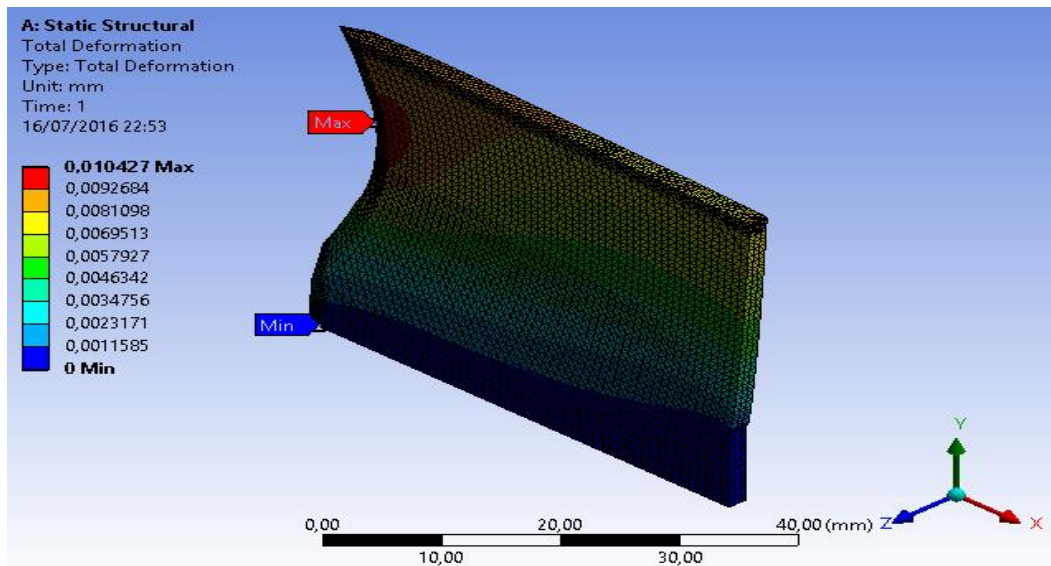


Figura 4.38 Deformación total acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.38 se observa que la deformación total es de 0,01 mm, debiendo dejar claro que la deformación máxima de la misma es un equivalente al 1% de deformación sobre cada milímetro lineal de la cuchilla.

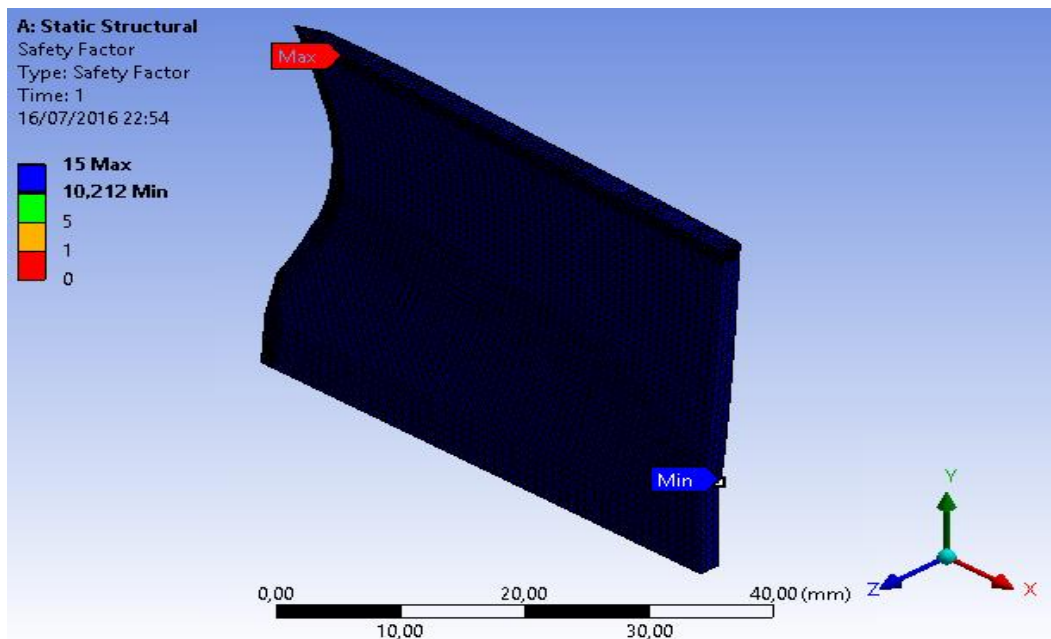


Figura 4.39 Factor de seguridad acero Böhler K110 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.39 se observa que el factor de seguridad es de 10,21 siendo un excelente índice para el análisis.

4.2.10 CASO 7.- Material: Acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°

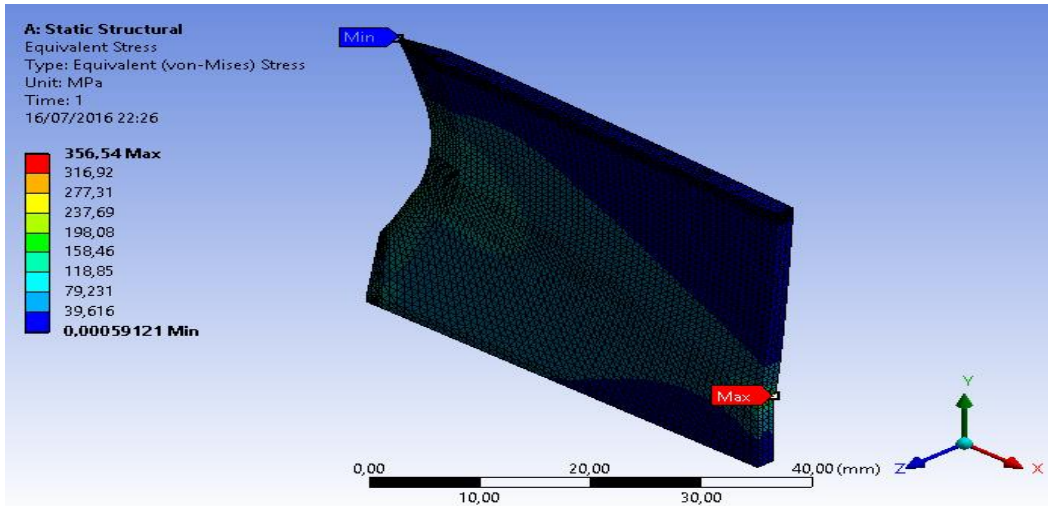


Figura 4.40 Esfuerzo equivalente acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.40 se observa que el esfuerzo equivalente es de 356,54 MPa, lo cual se puede apreciar que es idéntico al esfuerzo equivalente del caso 5, y se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

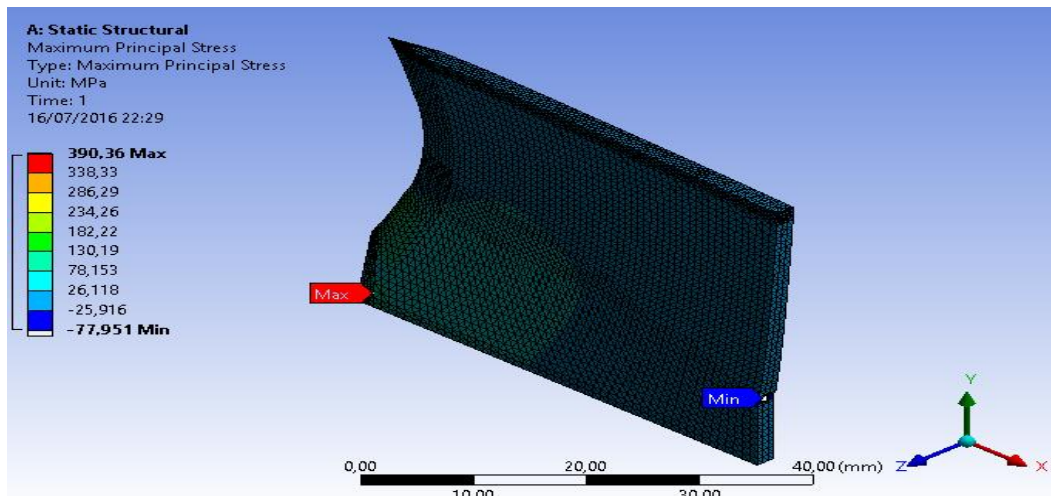


Figura 4.41 Esfuerzo máximo acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.41 se observa que el esfuerzo máximo es de 390,36 MPa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

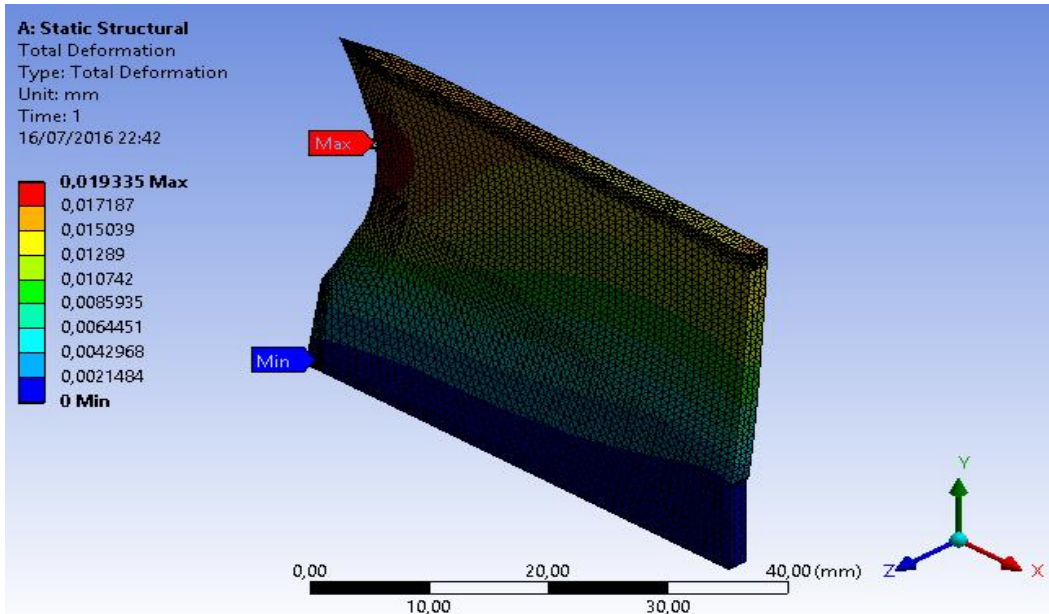


Figura 4.42 Deformación total acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.42 se observa que la deformación total es de 0,019 mm, debiendo dejar claro que la deformación máxima de la misma es un equivalente al 1,9% de deformación sobre cada milímetro lineal de la cuchilla.

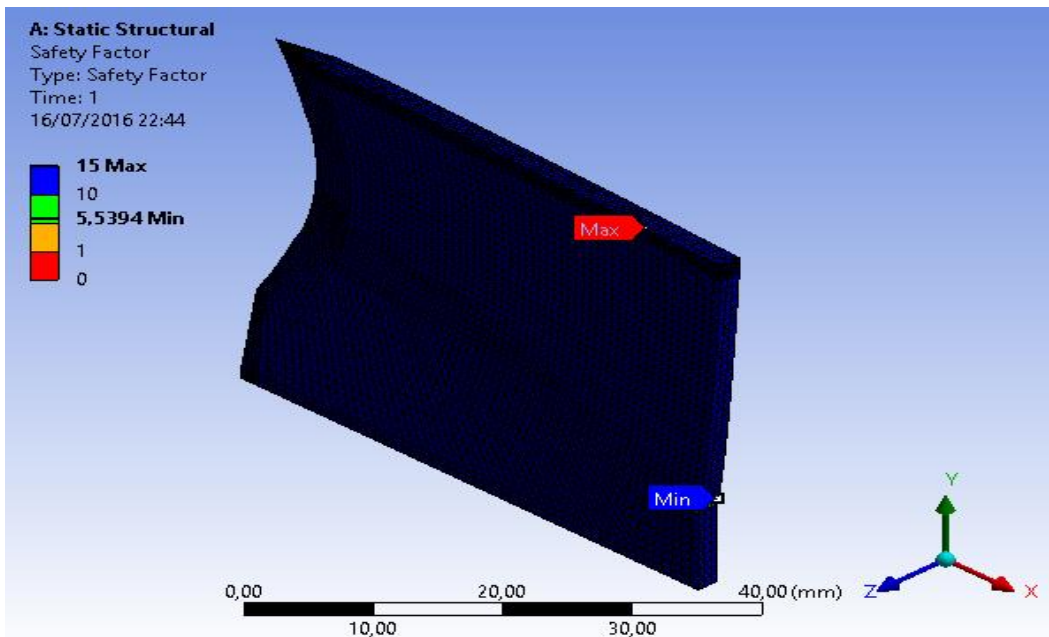


Figura 4.43 Factor de seguridad acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 23°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.43 se observa que el factor de seguridad es de 5,53 teniendo un buen índice para la selección de esta afilado y tipo de material.

4.2.11 CASO 8. Material: Acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°

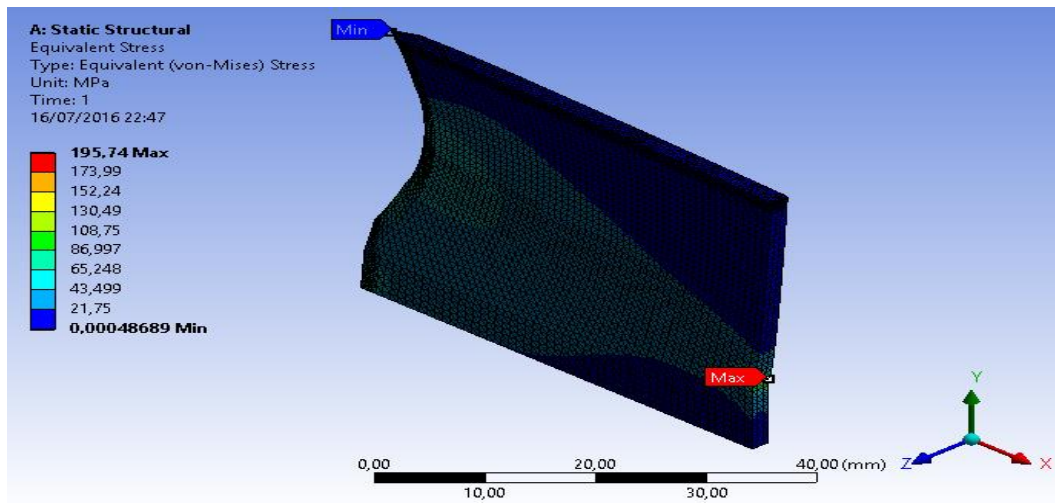


Figura 4.44 Esfuerzo equivalente acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.44 se observa que el esfuerzo equivalente es de 195,74 MPa, lo cual se puede apreciar que es idéntico al esfuerzo equivalente del caso 6, y se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

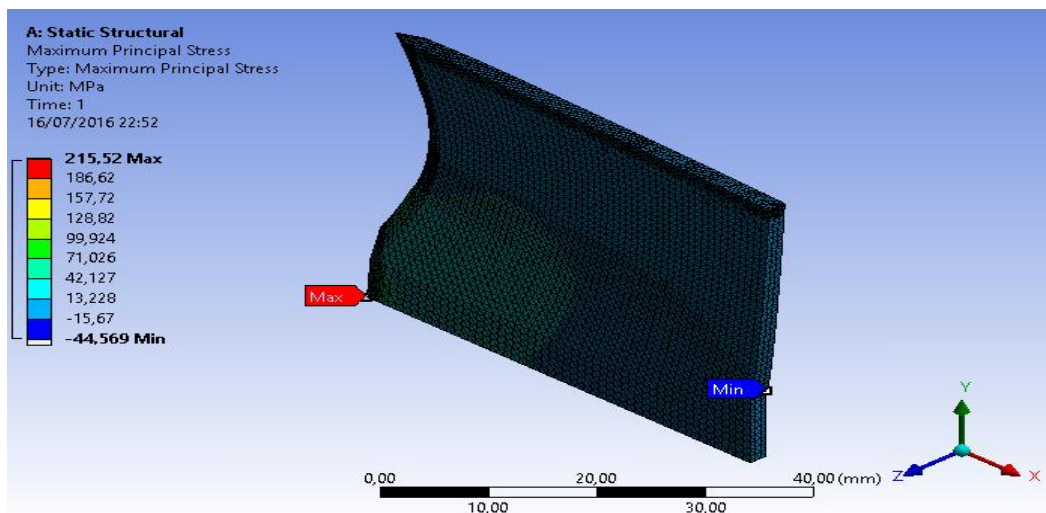


Figura 4.45 Esfuerzo máximo acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°. (Fuente: Autor)

En la Figura 4.45 se observa que el esfuerzo máximo es de 215,52 Mpa, lo cual se encuentra dentro de un parámetro válido y está apto para vencer la resistencia de la caña guadua que es de 19.11 MPa.

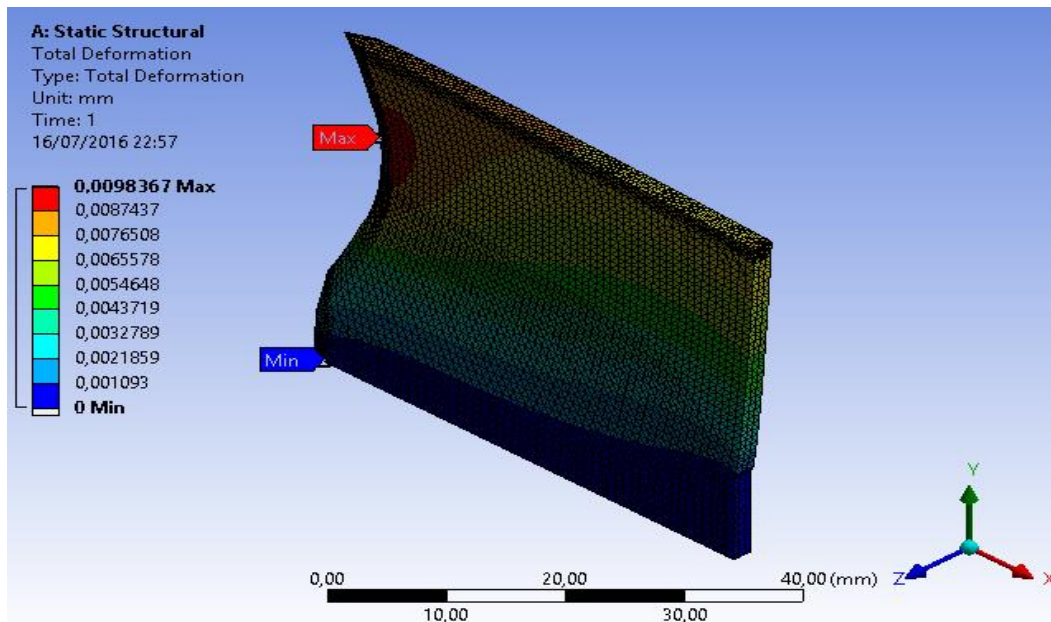


Figura 4.46 Deformación total acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°.
 (Fuente: Autor)

En la Figura 4.46 se observa que la deformación total es de 0,0098 mm, debiendo dejar claro que la deformación máxima de la misma es un equivalente al 0,98% de deformación sobre cada milímetro lineal de la cuchilla.

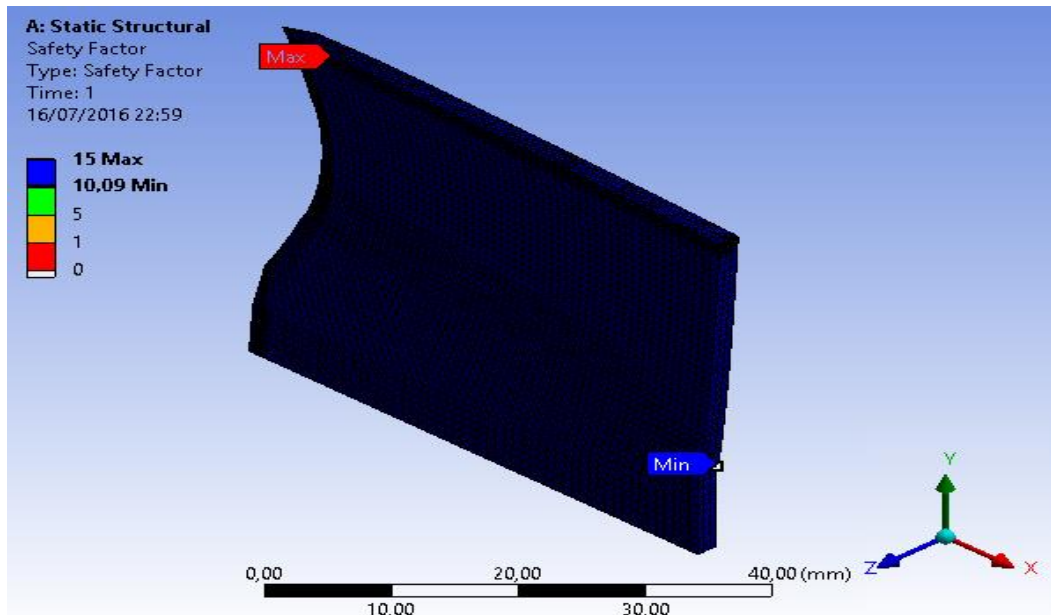


Figura 4.47 Factor de seguridad acero Böhler K353 – Diseño cóncavo con afilado recto a 45°.
 (Fuente: Autor)

En la Figura 4.47 se observa que el factor de seguridad es de 10,09 siendo un excelente índice para el análisis de la cuchilla.

4.2.12 CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS A PARTIR DEL ANÁLISIS ESTÁTICO DE LAS CUCHILLAS ANALIZADAS POR ELEMENTOS FINITOS

		ACERO BOHLER K110			
		CONVEXO		CÓNCAVO	
		ÁNGULOS DE AFILADO			
		23°	45°	23°	45°
Esfuerzo Equivalente σ_{var} (MPa)		608,57	263,79	356,54	195,74
Esfuerzo Máximo σ_{max} (MPa)		1045,8	370,8	390,36	215,52
Deformación Total ϵ (mm)		0,029	0,014	0,020	0,01
Factor de Seguridad F_S		3,28	7,580	5,610	10,21
		ACERO BOHLER K353			
		CONVEXO		CÓNCAVO	
		ÁNGULOS DE AFILADO			
		23°	45°	23°	45°
Esfuerzo Equivalente σ_{var} (MPa)		608,57	263,79	356,54	195,74
Esfuerzo Máximo σ_{max} (MPa)		1045,8	370,8	390,36	215,52
Deformación Total ϵ (mm)		0,027	0,013	0,019	0,009
Factor de Seguridad F_S		3,25	7,490	5,540	10,090

Una vez analizados los resultados del análisis estático de cada cuchilla se procedió a analizar dinámicamente todos los tipos de cuchilla estudiados para luego de este análisis proceder a la selección del mejor diseño de acuerdo a los resultados arrojados del análisis dinámico con respecto a la cala guadua.

4.2.13 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DINÁMICOS DE LA HERRAMIENTA DE CORTE CONSIDERANDO ESFUERZOS Y FACTOR DE SEGURIDAD

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir de los análisis dinámicos tanto en la cuchilla cóncava y convexa con los ángulos de 23° y 45°.

4.2.13.1 Esfuerzos equivalente permisibles

A continuación, se procedió a graficar el esfuerzo equivalente y comparándolos dentro de una misma gráfica para poder tener un mejor discernimiento de este comportamiento.

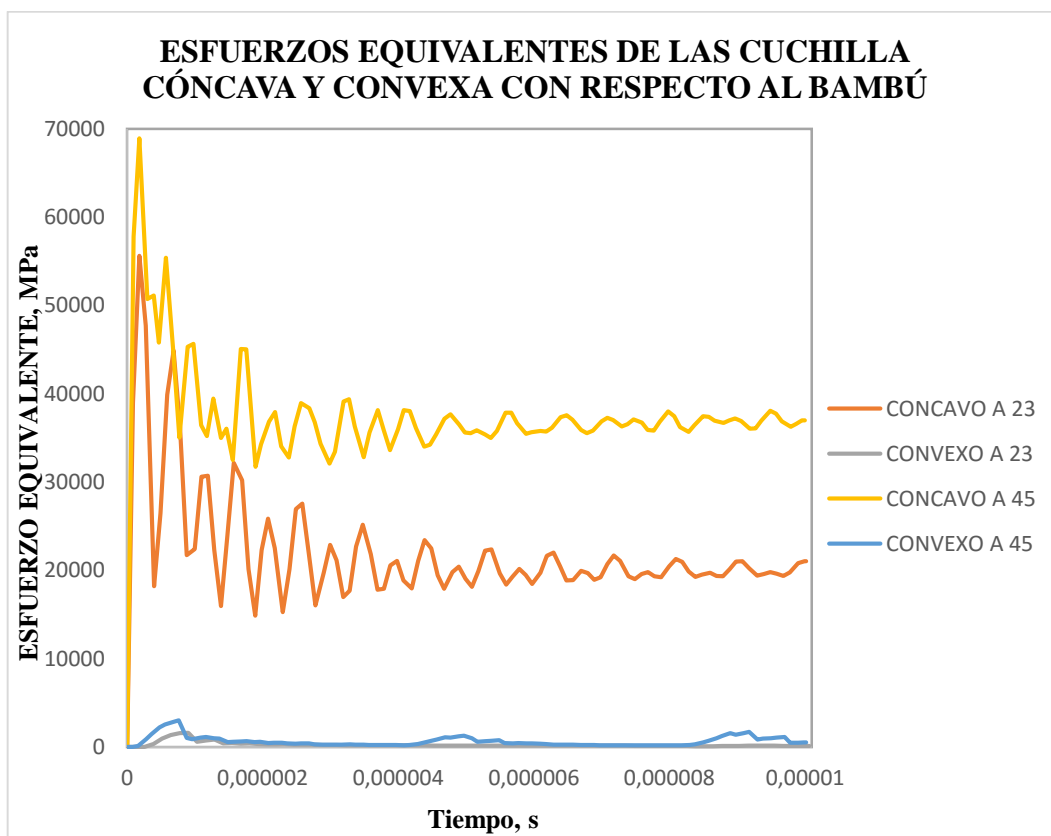


Figura 4.48 Esfuerzos equivalentes de las cuchillas cóncava y convexa con respecto al bambú
(Fuente: Autor)

Tal como se puede apreciar en la Figura 4.48 los esfuerzos equivalentes para cada una de las cuchillas, es notorio que para la cuchilla cóncava a 45° el esfuerzo es muy alto con un valor de 68912 MPa, y apreciándose una pequeña disminución en de 23° siendo este valor de 55598 MPa, al observar las curvas obtenidas a partir de las cuchillas convexas observamos que para la de 45° se obtiene un esfuerzo de 3007,7 MPa no muy arriba de la de 23° que es de 1598 MPa, las curvas de las cuchillas convexas muy similares entre sí, ratificándose el criterio de selección de esta cuchilla debido a que es la que menor esfuerzo sufre.

4.2.13.2 Factor de seguridad

A continuación, se procedió a elaborar una dispersión de puntos para visualizar dentro de la gráfica la diferencia del factor de seguridad existentes entre cada uno de los diseños de la cuchilla.

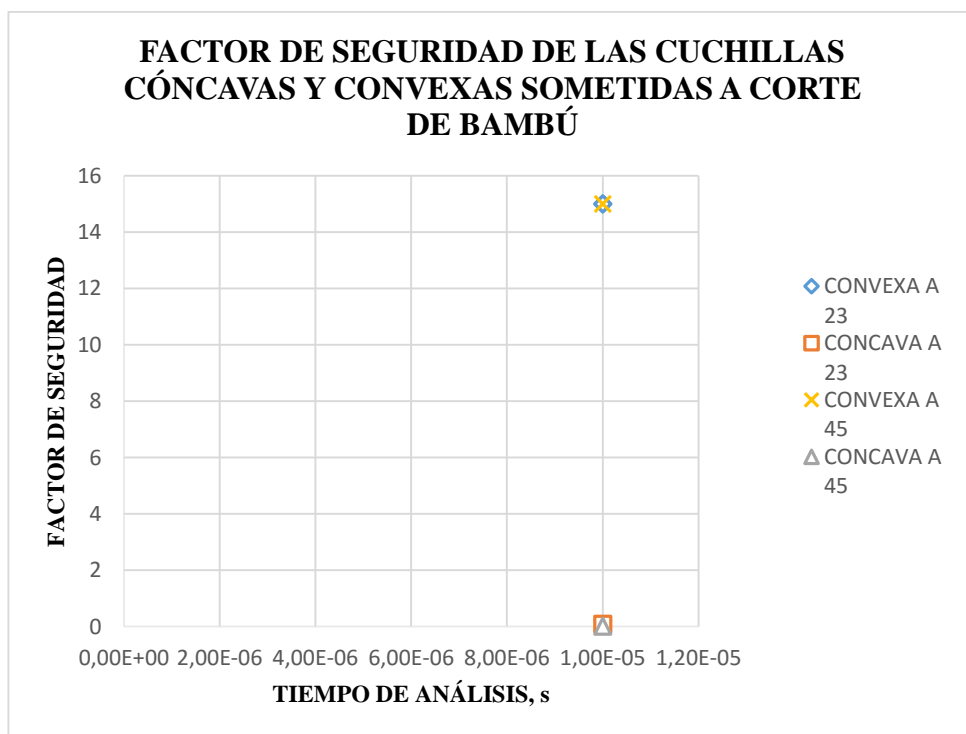


Figura 4.49 Factor de seguridad de las cuchillas cóncavas y convexas sometidas a corte
(Fuente: Autor)

Como se puede observar en la figura 4.49 el factor de seguridad para las dos cuchillas convexas es de 15, pudiéndose distinguir claramente con las cuchillas cóncavas las cuales tienen un valor de factor de seguridad menor a 1 razón por la cual quedan descartadas ya que no llegan al valor de 1, lo cual es el valor mínimo de requerimiento en mecánica, quedando nuevamente ratificado el modelo convexo para el diseño final de la cuchilla.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

El corte, o mecanizado, proceso que se muestra en la figura 4.50 donde una herramienta, de un ángulo de ataque (definida como las agujas del reloj positivo), es impulsado a una velocidad constante, V , para eliminar una capa de espesor h y la anchura b de una pieza de trabajo o espécimen. En general, existe un espacio libre ángulo en la superficie inferior de la herramienta para reducir la fricción. Más bien combinaciones complejas de comportamiento pueden ocurrir, dependiendo en los valores de h , α y la tensión de fluencia del material, lo que conlleva a una deformación plástica de la sección h y por lo tanto se enrolla esta capa de espesor del material a eliminarse. Para pequeños valores de ángulo de ataque, el proceso de plegado es sustituido por cizallamiento en el área h y la punta de la herramienta hace contacto con la punta de la grieta como se muestra en la figura 4.51. [51] [52]

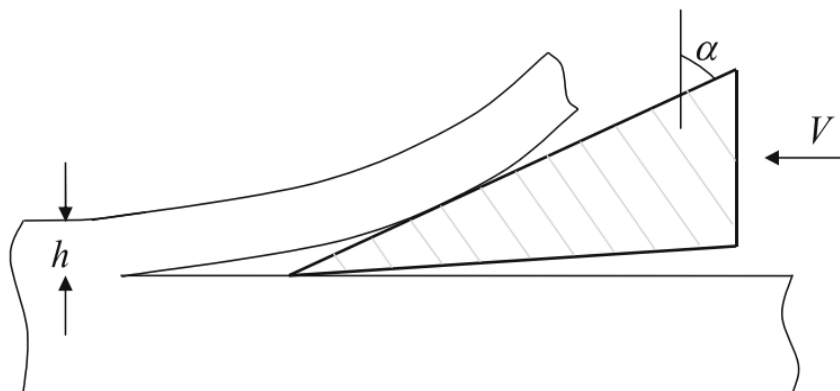


Figura 4.50 El corte y proceso de mecanizado. La herramienta tiene un rastrillo ángulo A y es accionado a velocidad constante, V , la eliminación de un espesor h de la pieza de trabajo. [51]

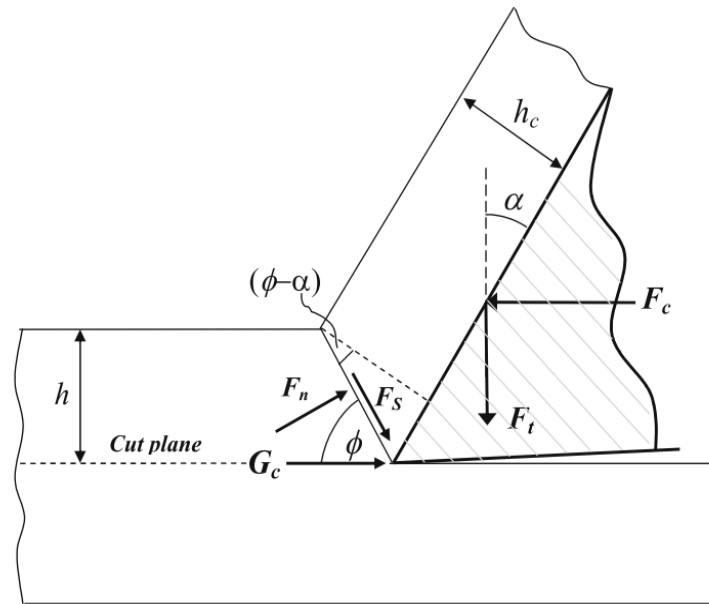


Figura 4.51 Resistencia al corte cizalla. Las fuerzas F_c y F_t son aquellas que actúan en la capa de espesor debido al contacto con la herramienta y F_n y F_s son los que actúan en el plano de la cizalla. (Tener en cuenta que como en este caso la punta de la herramienta hace contacto con la punta de la grieta, G_c resiste F_c y también que $h_c > h$). [51]

Para la verificación de la hipótesis se ha tomado como referencia el comportamiento de corte axial en una película de Polyester 9757, según documento elaborado por Millar et al. [53] presentado en la conferencia de fractura en Italia, en el cual presentan los datos obtenidos a partir de un análisis práctico-experimental que fue realizado por el corte de una afilada cuchilla de afeitarse aplicada directamente a la parte alta de la muestra de espesor t , ancho sin tensión h y la longitud l en condiciones de cizallamiento puro, mientras que la hoja de afeitarse se mueve a una velocidad constante verticalmente desde el inicio hacia el otro extremo de la muestra, la fuerza de reacción sobre la hoja es medida utilizando una célula de carga piezoeléctrica, la configuración experimental se muestra esquemáticamente en la figura 4.52 La hoja de afeitarse el material es de acero inoxidable con un radio de punta de 2 micras. [51]

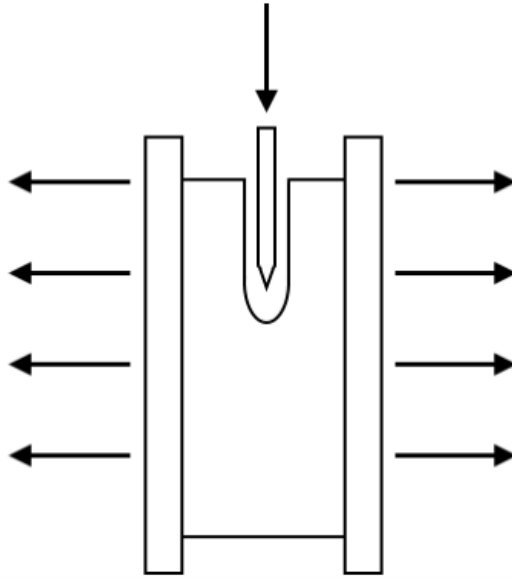


Figura 4.52 Diagrama esquemático de corte en la película extendida de polímero por una hoja de afeitador. [51]

En el caso de la presente investigación se procedió a obtener datos a partir de la simulación mediante el software ANSYS, en el cual se utilizó la cuchilla convexa con filo recto a 23° de acero K110, misma que actúa en forma perpendicular sobre la caña guadua, de igual manera se mueve a una velocidad constante y los datos que se obtuvieron fueron los que arrojó el software de elementos finitos ANSYS.

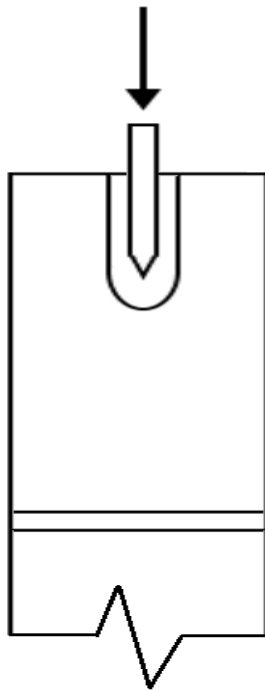


Figura 4.53 Diagrama esquemático de corte en la caña guadua por la cuchilla objeto de este estudio. (Fuente: Autor)

A partir del análisis práctico-experimental al que fue sometido la película de poliéster se obtuvieron datos mediante los cuales se adquirió una curva característica de comportamiento específica, que muestra un pico elevado al momento del primer contacto del corte tendiendo a estabilizarse más adelante, como podemos observar en la figura 4.54

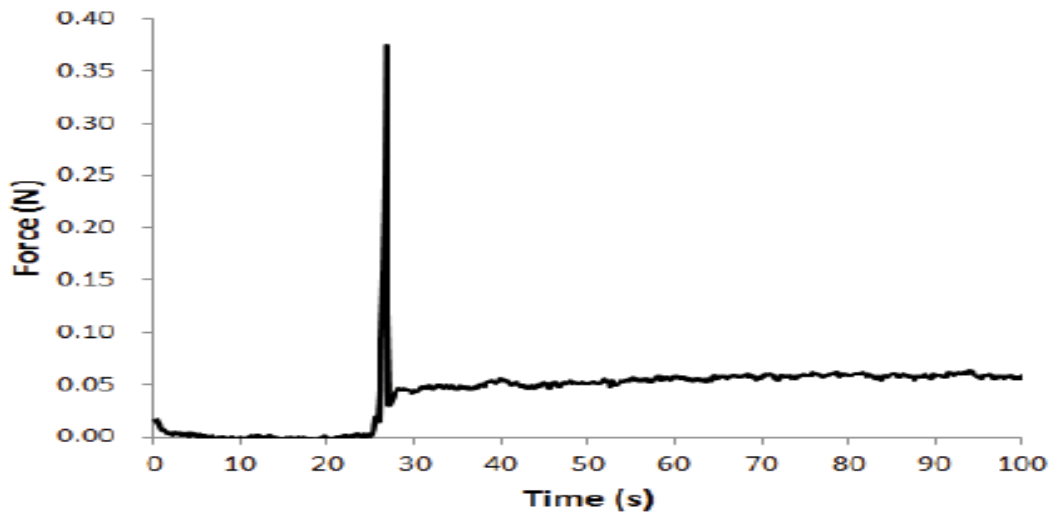


Figura 4.54 Resultados carga de corte en la película de poliéster. [53]

Así también a partir de la simulación del corte mediante el software de elementos finitos ANSYS, se obtuvo datos mediante los cuales arrojó una curva característica como se puede ver en la figura 4.55 similar a la que podemos observar en la figura 4.54, obteniendo así un comportamiento análogo.

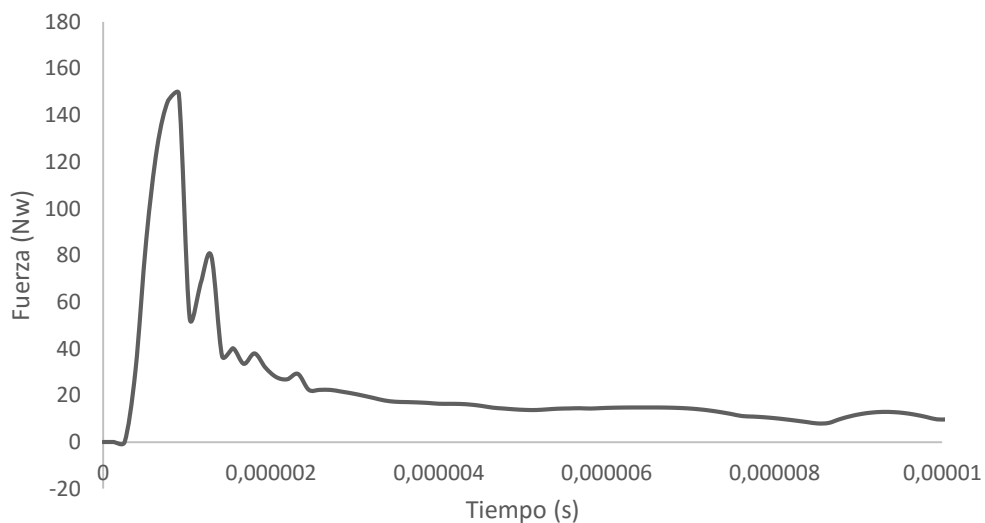


Figura 4.55 Resultados carga de corte de la caña guadua. (Fuente: Autor)

Podemos observar la similitud de comportamiento en las curvas mostradas en la figura 4.55 y la figura 4.54, esta última según el artículo antes mencionado [53], es una curva característica de un corte lineal, y considerando que el análisis de la presente investigación está enfocado a un corte de características similares se acota que es una hipótesis válida, ya que demuestra que en efecto si corta y se obtendrán tiras a partir de la caña guadua (bambú).

Estadísticamente considerando el pico máximo de las gráficas 4.54 y 4.55 contrastando con la diferencia de un punto promedio de la recta donde se puede apreciar una armonía luego del pico más alto, y aplicando leyes básicas matemáticas tal como una regla simple de tres obtenemos que:

Tabla 4.5 Comparación porcentual entre pico máximo y punto promedio de la recta de armonía luego del pico de corte más alta.

	Gráfica 4.55	% equivalencia	Gráfica 4.54	% equivalencia
Pico Máximo	149,25	100	0,37	100
Punto promedio	16,73	11,21	0,05	13,51

(Fuente: Autor)

Como se puede observar en la tabla 4.5 el porcentaje de la tabla respecto a los puntos promedios es muy similar, considerando los valores de acuerdo a los parámetros de cada curva ya que solo existe una diferencia aproximada de dos puntos entre dichos valores, entonces se puede concluir que por la similitud porcentualmente hablando entre las 2 curvas de las gráficas 4.54 y 4.55 se obtiene como resultado el que si cumple con la principal función el cual es cortar en línea recta la caña guadua, dejando claro que lo que estamos contrastando es una similitud en el tipo de corte mas no enfocándonos en tipo de material a ser cortado o herramienta utilizada para el mismo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que la mejor forma geométrica de la cuchilla a partir del análisis elaborado por MEF, es un diseño convexo ya que se apreció que los esfuerzos en la misma están en un rango entre los 1500 a 3000 MPa, en tanto que con la configuración cóncava estos valores se disparan entre los 54000 a 70000 MPa por lo que esta última se descartó.
- La mejor configuración para obtener un corte uniforme fue el afilado recto a un ángulo de 23° ya que fue el que mostro un menor desplazamiento y mostro un factor de seguridad mayor, comprendido en un rango superior a 14, para este tipo de herramientas en por las características de trabajo al que estará sometido.
- El material idóneo para la fabricación de la cuchilla es el acero K110, este fue el seleccionado debido a la facilidad con el cual se lo puede encontrar en el mercado y económicamente hablando es muy accesible ya que el costo está enmarcado en un rango entre los 15 a 20 USD x Kilo, es de fácil maquinado debido a que el porcentaje de carbono presente en el mismo es de un porcentaje de 1.55.
- Se obtienen tiras homogéneas de caña guadua, debido a que dada la comparación entre los resultados obtenidos en la investigación se consigue una curva muy similar hablando estadísticamente con respecto al corte de

la película de poliéster misma que tiene similitud de parámetros ya que en este último se utilizó una cuchilla de afeitar para lograr dicho objetivo.

5.2 RECOMENDACIONES

- El diseño con referencia a la geometría de la cuchilla debe ser elaborado detalladamente para garantizar de esta manera que al momento de obtener los resultados sean lo más precisos y cercanos a la realidad.
- Debido a que es un modelado en el cual no se presentarán muchos desplazamientos es idóneo que el mallado sea de una calidad buena sin exagerar o querer rayar en la perfección, ya que esto generara gastos operacionales computacionales innecesarios.
- Al realizar el análisis por el método de elementos finitos, es un parámetro importante a considerar las limitaciones que pudieran existir (tipo de hardware, memoria RAM y peso de modelo), un modelo demasiado pesado o extenso, va a tomar más tiempo según el detalle del mismo.
- Al momento de ingresar los datos del material (caña guadua) en el software se debe cuidar los parametros al maximo ya que de esto depende que al momemnto de simular el corte este se aproxime a la realidad, ya que errores en el momento del ingreso de los parametros desencadenan en gastos inecesarios de tiempo ya que el software simplemente no ejecuta la operación deseada.
- Por cuestiones de mantenimiento y preservación de la cuchilla, es viable una vez construida, luego de obtener las medidas requeridas se realice un tratamiento de pavonado para evitar la corrosión de la misma.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

“ANÁLISIS DEL DISEÑO DINÁMICO DE UNA CUCHILLA DE CORTE PARA LA OBTENCIÓN DE TIRAS DE CAÑA GUADUA (BAMBÚ), ASISTIDO POR SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS ANSYS LS – DYNA”.

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Una vez realizado los análisis de caracterización de la caña guadua (bambú) y recopilados todos los datos relativos a los materiales para la cuchilla y determinando la forma geométrica, filo y material más adecuado en base a lo propuesto y efectuado el respectivo análisis estático del comportamiento mecánico de la cuchilla para cortar tiras de caña guadua (Bambú), mediante el método de elementos finitos, se ha determinado que la cuchilla será analizada con material acero AISI D2 y ángulo recto a 23°.

Constituye un buen aporte para el sector semi-industrial y artesanal que están inmiscuidos en el área de construcción y elaboración de artículos a partir de la caña guadua, el poder contar con un referente en cuanto a una herramienta que les puede ser de gran utilidad a la hora de obtener tiras de caña guadua, teniendo en cuenta que el prototipo analizado diseñado por el método de los elementos finitos nos arrojará datos muy aproximados a la realidad, siempre considerando que el mallado de los elementos analizados sea en un porcentaje muy aceptable y de esta manera obtener un buen prototipo digital de herramienta y servir para investigaciones futuras en cuanto a posibles mejoras en el diseño en sí de la cuchilla, diseños de herramientas para sujeción, aplicación de la cuchilla y adaptación, construcción de máquinas que engloben todo un funcionamiento mecánico, eléctrico, neumático que permita una nueva manera de procesar la caña guadua.

Los ensayos de la caña guadua que se ocuparon para el análisis mediante MEF de la cuchilla se realizó en el laboratorio de resistencia de materiales y de metalografía de la UTA de igual manera serán utilizado en el desarrollo de la propuesta.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Se ha realizado proyectos de investigación sobre máquinas y herramientas para la obtención de tirillas de caña guadua únicamente dirigidos a la comprobación de la estructura y en su gran mayoría utilizando las sierras existentes en el mercado.

En la 21va conferencia en fracturas en Italia. concibieron una investigación de la resistencia al corte en películas de polímero estiradas, en la cual determinaron la fuerza y potencia necesaria para realizar el corte axial de las películas poliméricas, determinado gráficas en las cuales se puede apreciar el comportamiento de corte lineal a partir de datos característicos del material (películas de poliéster 9757 – 9730 – 9733 – 9736), demostrado que tanto los métodos de prueba miden las propiedades de tenacidad de fractura similares para los tres laminados de poliéster que fueron considerados para la investigación, [53]

Según un artículo científico concebido por investigadores en Londres, un método de prueba de corte fue desarrollado para los polímeros, a partir de los datos de corte. El esquema experimental requiere la medición de fuerzas por un corte de ancho b , tanto en la dirección de corte, Profundidades de corte se variaron de 0,025 mm a 0,25 mm y el ángulo de la herramienta rastrillo se varió de 20° a 30°. El corte se llevó a cabo a una velocidad de 10 mm/s. los valores de la resistencia a la fractura y resistencia a la deformación se determinaron para los polímeros según la prueba estándar para la comparación con los valores obtenido a partir del corte. [51]

6.3 JUSTIFICACIÓN

El Análisis del diseño dinámico de la cuchilla para obtener tiras de caña guadua con la asistencia del software ANSYS LS-DYNA es un aporte importante para futuros diseños y reinenciones en cuanto a los prototipados digitales se refiere, ya que como es de dominio ingenieril, el construir un prototipo de alguna máquina o herramienta generan gastos económicos y en muchas ocasiones de tiempo, la

importancia de este análisis es también el hecho que puede servir como una guía para futuros trabajos de prototipado digital, ayudando de esta manera a ahorrar tiempo y dinero y lo más importante la canalización de recursos de importancia.

Por medio del análisis del diseño dinámico de la cuchilla para corte de tiras de caña guadua con asistencia del software ANSYS LS-DYNA se tendrá una herramienta e información de primera mano de la resistencia de la cuchilla para cortar caña guadua lo que repercute en forma directa en el impulso a la investigación y más conocimiento en el área de inmersión del prototipado digital, y de igual manera la información proporcionada impulsará nuevas vías de forma de herramientas de corte en proyectos futuros y trabajos de investigación futuros..

La industria inmiscuida en el campo de trabajo con caña guadua podrá contar con otra opción para el corte de la misma, lo cual es el enfoque principal de este análisis.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 GENERAL

-Analizar el diseño dinámico de una cuchilla de corte para la obtención de tiras de caña guadua (bambú), asistido por software de elementos finitos ANSYS LS - DYNA.

6.4.2 ESPECÍFICOS

-Determinar un tipo de malla que relacione en armonía la cuchilla para corte con la caña guadua

-Proponer un patrón descriptivo para análisis dinámicos en el software ANSYS LS-DYNA.

-Analizar mediante simulación, el comportamiento de la cuchilla de corte en relación con la resistencia de la caña guadua.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El análisis del diseño dinámico de la cuchilla para la obtención de tiras de caña guadua por el método de los elementos finitos es factible, ya que se cuenta con la tecnología, y el recuso humano, así mismo se tiene los datos necesarios de los materiales a ser analizados para generar una cuchilla a manera de prototipo digital.

El Software de CAD y CAE será alquilado al GAD Provincial de Tungurahua a través del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, en lo concerniente al desarrollo del diseño, calculo y simulación dinámica de la cuchilla al cortar la caña guadua.

El costo del análisis del diseño de la cuchilla es manejable ya que se requiere el tiempo, conocimientos del investigador, manuales de programas CAD Y CAE y datos bibliográficos mismos que se desglosan a continuación.

Tabla 6.1 Rubro de gasto de materiales.

Denominación	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Caña Guadua (9 m. de Longitud)	5	12,00	60,00
Computador i7 de 8 núcleos	1	1650,00	1650,00
Ensayo de tracción	14	6,50	91,00
Ensayo de compresión	14	6,50	91,00
Pruebas de dureza	14	3,75	52,50
Bibliografía	6	45,00	270,00
Pago por uso de licencia de software	1	154,72	154,72
TOTAL			2369,22

(Fuente: Autor)

Tabla 6.2 Rubro de gasto recurso humano

Denominación	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Entrenamiento en uso de software	1	550,00	550,00
Preparación de probetas de caña guadua	28	4,00	112,00
TOTAL			662,00

(Fuente: Autor)

Tabla 6.3 Rubro de gasto recursos varios

Denominación	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Resma de papel A4	5	6,00	30,00
Impresiones	1400	0,15	210,00
Copias	400	0,03	12,00
Anillados	6	3,00	18,00
Empastado	1	16,00	16,00
CD entrega final	3	2,00	6,00
Horas de Internet	300	0,70	210,00
Transporte	1	180,00	180,00
TOTAL			682,00

(Fuente: Autor)

Tabla 6.4 Costo total de rubros.

Denominación	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Rubro de gasto de materiales	1	2369,22	2369,22
Rubro de gasto recurso humano	1	662,00	662,00
Rubro de gasto recursos varios	1	682,00	682,00
TOTAL			3713,22

(Fuente: Autor)

6.6 FUNDAMENTACIÓN

La presente propuesta se basa en la información recolectada y presentada en el capítulo II que corresponde al marco teórico, donde se presentan los factores y características básicas para el diseño de una cuchilla para cortar caña guadua.

El análisis de la cuchilla para la obtención de tiras de caña guadua en su accionar estará sometida a cargas que se pueden considerar uniformes una vez vencida la presión de la caña guadua.

Debido a esta razón el tipo de análisis dinámico más adecuado para el análisis de una cuchilla es un análisis explícito. Es necesario también, conocer el comportamiento de la cuchilla para una correcta selección del material y geometría de la cuchilla esto fue elaborado en el capítulo IV mediante análisis estático-mecánico que permita determinar el comportamiento. Para lo cual se tomó en cuenta la presión a vencer en este caso el de la caña guadua, este estado de carga se establece mediante un análisis estático estructural.

6.6.1 ANÁLISIS DE FUERZA Y POTENCIA NECESARIA PARA EL CORTE.

Es importante estimar la fuerza de corte porque esta determina cuanta presión debe considerarse dependiendo el material con respecto al grosor del mismo. [54]

Fuerza de Corte; F_c

$$F_c = S \cdot t \cdot L \quad (1)$$

Donde:

S = Resistencia al corte del material, MPa ó lb/pulg²

t = Espesor del material, mm ó pulg

L = Longitud del borde de corte, mm ó pulg.

Para calcular S se considera un factor de 0.7 definiéndose como:

$$S = 0.7 \cdot Ts \quad (2)$$

Donde:

Ts = Resistencia última a la tensión, MPa

Entonces tenemos que:

$$F_c = (0.7 \cdot Ts) \cdot t \cdot L \quad (3)$$

$$F_c = (0.7 \cdot 190 \text{ Mpa}) \cdot 0.6 \text{ mm} \cdot 1.87 \text{ mm}$$

$$F_c = 149,23 \text{ Nw}$$

Potencia de corte, P_c :

$$P_c = F_c \cdot v \quad (4)$$

$$P_c = 149.23 \text{ Nw} \cdot 0.001 \text{ m/s}$$

$$P_c = 0.15 \text{ J/s}$$

$$P_c = 0.15 \text{ W.}$$

6.6.2 CONFIGURACIÓN DE MODELADO PARA EL ANÁLISIS

El software Ansys está conformado por dos plataformas de trabajo, el Mechanical APDL o Ansys clásico y el Workbench. La presente investigación se llevó a cabo bajo la plataforma Workbench, ya que es un ambiente que proporciona una mejor visualización y brinda al usuario un manejo más amigable y una mejor comprensión sobre el problema a tratar. [55]

Dentro de la plataforma de Workbench existen dos ambientes de trabajo: [55]

- “Design Modeler”

- “Mechanical”

El “Design Modeler” permite al usuario crear la geometría del modelo o a su vez importarlo desde otro programa CAD y realizar modificaciones en caso de ser necesarias. Para ingresar en este ambiente se selecciona la opción “Geometry” en el módulo de trabajo. [56]

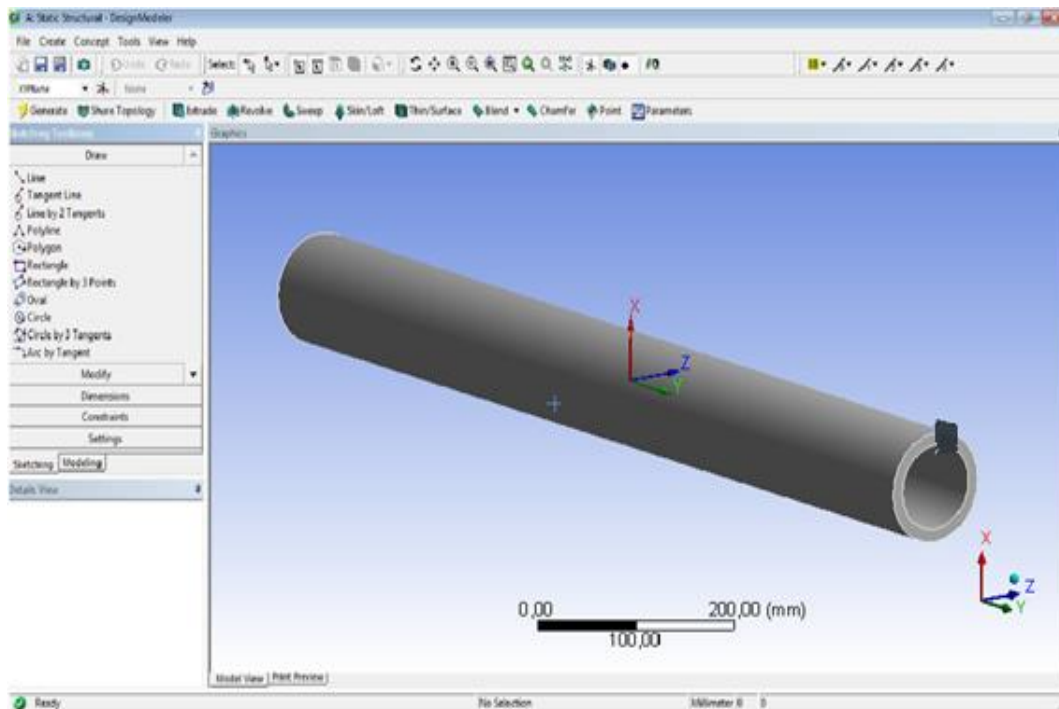


Figura 6.1 Cuchilla y caña guadua, (Fuente: Autor)

6.6.3 PREPROCESO

Como parte del análisis por elementos finitos, el paso del pre proceso es el más fundamental. Consiste en definir por completo el modelo a estudiar. Si la definición del problema está errónea o mal planteada los resultados que se obtendrán al final del análisis serán igualmente falsos. [57]

En el pre-proceso se deben definir las siguientes características del modelo: [57]

- Dominio geométrico del problema (Geometría)
- Propiedades de material en los diferentes elementos.
- Definición de conexiones entre elementos
- Mallado del sistema
- Condiciones de borde y estado de carga del sistema.

6.6.4 DOMINIO GEOMÉTRICO

Para modelar los dos componentes a formar parte del sistema para el análisis para cortar caña guadua se utilizó un software de diseño en tres dimensiones. Este programa permite nos permitió dibujar de una manera adecuada, fácil y rápida las geometrías. [58]

El sistema para ser sometido al análisis está conformado de dos partes principales (cuchilla y Caña Guadua) las mismas que luego serán ensambladas para conformar el sistema total, para la caña guadua se tomó una distancia entre nodos de aproximadamente 400 mm. lo que equivale un promedio dándonos un total de 2400 mm. de longitud total de la caña guadua, cabe mencionar que este es con fines de análisis ya que técnicamente al momento de analizar mediante el software solo se evalúa una parte o una fracción ya que si se evaluara toda la longitud desembocaría en un gasto innecesario de recursos computacionales e incluso al colapso del sistema.

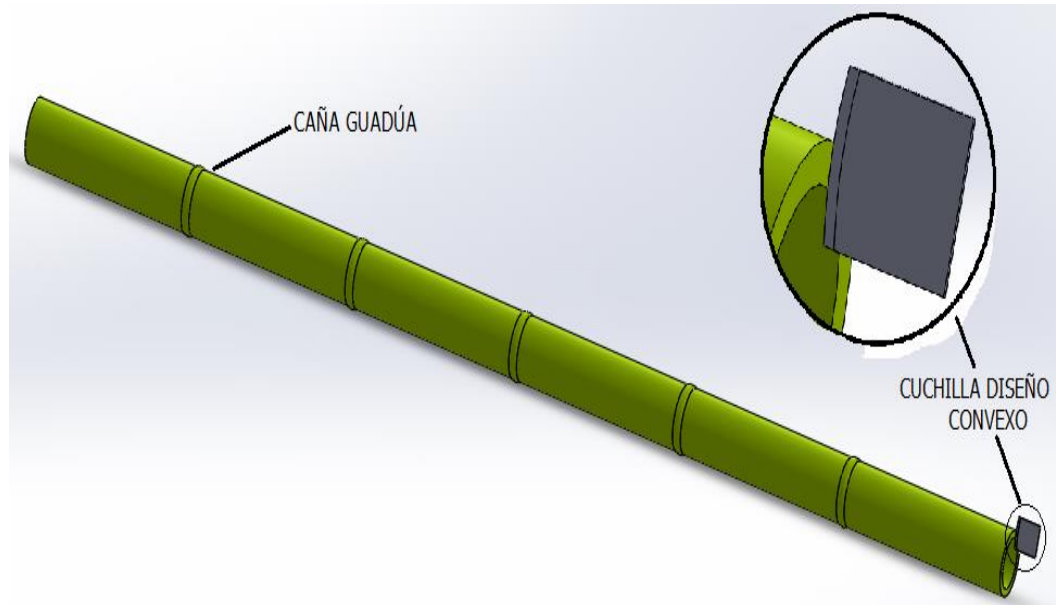


Figura 6.2 Cuchilla diseño convexo y caña guadua modelados, (Fuente: Autor)

6.6.5 MATERIALES

Los elementos que serán parte del estudio dinámico una cuchilla para obtención de tiras de caña guadua, para las propiedades a ser ingresadas en el software de FEM en relación a la caña guadua, en el capítulo IV, se procedió a obtener todos los datos de esta a partir de la caracterización de la misma y de parte del Acero AISI D2 el cual fue el seleccionado para nuestro estudio todos los datos fueron obteniendo del catálogo de BOHLER K110.

El acero para trabajo en frío que se utiliza para los componentes es el acero AISI D2 que tiene las siguientes propiedades:

Tabla 6.5 Propiedades del acero AISI D2

Acero AISI D2	
Propiedad	Valor
Densidad	7670 kg/m ³
Módulo de elasticidad	200 GPa
Coefficiente de Poisson	0.35
Límite de elasticidad	1999 MPa
Resistencia última a la tracción	2204 MPa
Dureza	57 - 59 HB

Fuente: BOHLER – Catálogo K110

Para la caña guadua se utilizaron los datos que se obtuvieron luego de la caracterización del material, cuyas propiedades son:

Tabla 6.6 Propiedades de la caña guadua

Bambú (Caña Guadua)	
Propiedad	Valor
Densidad	800 kg/m ³
Módulo de elasticidad	15,88 GPa
Coefficiente de Poisson	0,45
Límite de fluencia	82,77 MPa
Resistencia última a la tracción	151,71 MPa
Dureza	4,8 HB

Fuente: GPE INEN 042

Para definir los materiales a utilizar en los diferentes elementos en el software Ansys se utiliza la celda Engineering Data dentro del módulo de estudio, en la cual se procede a seleccionar los materiales deseados de la biblioteca del programa. En el caso de que no exista el cual es este caso, se puede crear un nuevo material ingresando las propiedades necesarias para definirlo.

A	
1	Static Structural
2	Engineering Data ✓
3	Geometry ✓
4	Model ✓
5	Setup ✓
6	Solution ✓
7	Results ✓

Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data	Source		Description
2	Material			
3	ACERO K110 TEMPLADO	<input type="checkbox"/>		Datos del material obtenidos del catalogo BOHLER K110
4	ACERO K353 TEMPLADO	<input type="checkbox"/>		Datos del material obtenidos del catalogo BOHLER K353
5	CAÑA GUADUA	<input type="checkbox"/>		Datos obtenidos por Caracterizacion del Material
6	Structural Steel	<input type="checkbox"/>		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: ACERO K110 TEMPLADO

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Density	7760	kg m...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
4	Derive from	Youn...			
5	Young's Modulus	2E+05	MPa		<input type="checkbox"/>
6	Poisson's Ratio	0,35			<input type="checkbox"/>
7	Bulk Modulus	2,2222E+11	Pa		<input type="checkbox"/>
8	Shear Modulus	7,4074E+10	Pa		<input type="checkbox"/>
9	Field Variables				
10	Temperature	Yes			
11	Shear Angle	No			
12	Degradation Factor	No			
13	Uniaxial Tension Test Data	Tabular		<input type="checkbox"/>	
14	Has Lateral Strain	No			
15	Scale	1			<input type="checkbox"/>
16	Offset	0	Pa		<input type="checkbox"/>
17	Tensile Yield Strength	1999	MPa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	Compressive Yield Strength	2270	MPa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	Tensile Ultimate Strength	2204	MPa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 6.3 Definición de materiales en Ansys (Fuente: Autor)

Ya definidos e ingresados todos los parámetros de cada material a utilizarse se procede a asignarlos a cada elemento. Para ello, dentro del ambiente “Mechanical”, en la ventana “Outline” se selecciona la opción “Geometry”, donde se encuentran detalladas todas las partes que componen el modelo. Al escoger un elemento específico, en la ventana de detalles es posible asignar el material deseado al mismo, como se observa en la figura 6.4

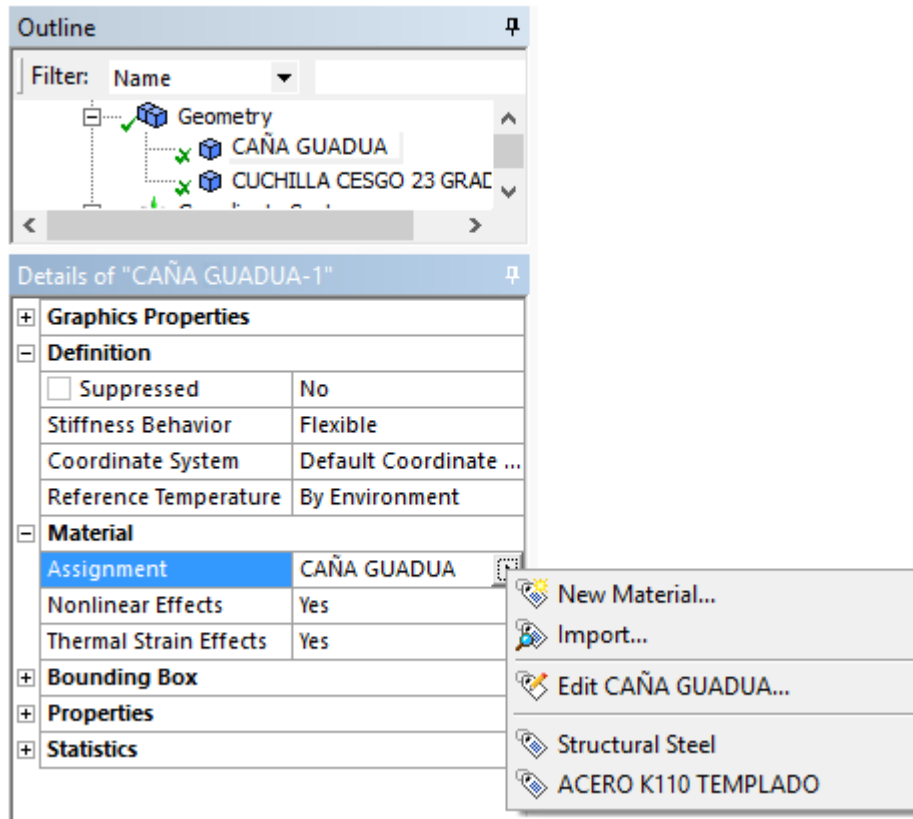


Figura 6.4 Asignación de materiales en Ansys. (Fuente: Autor)

6.6.6 CONEXIONES

Debido a que el sistema a analizar está conformado únicamente por 2 piezas para cada análisis, el tipo de conexión adecuado entre las mismas partes que interactúan, y para que una vez realizado el mallado, los nodos entre cada elemento sean compatibles entre sí y la transmisión de fuerzas sea posible para el desarrollo correcto del análisis. [59]

Las regiones de contacto definen como los elementos interactúan entre ellos.

Al importar un ensamblaje desde un programa CAD el software ANSYS detecta automáticamente las zonas de contacto basándose en la proximidad, posición y forma entre las superficies o elementos, sin embargo, es recomendable verificar que estas zonas de contacto y en caso de ser necesario modificarlas, para de esta manera lograr la interacción correcta entre los elementos sometidos al análisis. [59]

6.6.7 ESQUEMAS INICIALES DE PROCESO PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO EN ANSYS LS-DYNA

A continuación, se muestra el proceso de ingreso de datos y parámetros para el análisis en el software cabe recalcar que para todos los análisis estos pasos son los mismos en tal virtud este será mencionado solo en este ITEM.

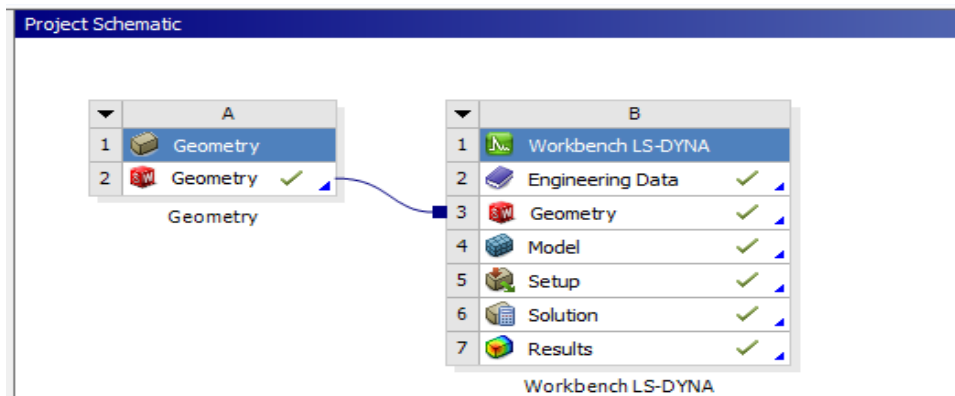


Figura 6.5 Esquema inicial del proyecto (Fuente: Autor)

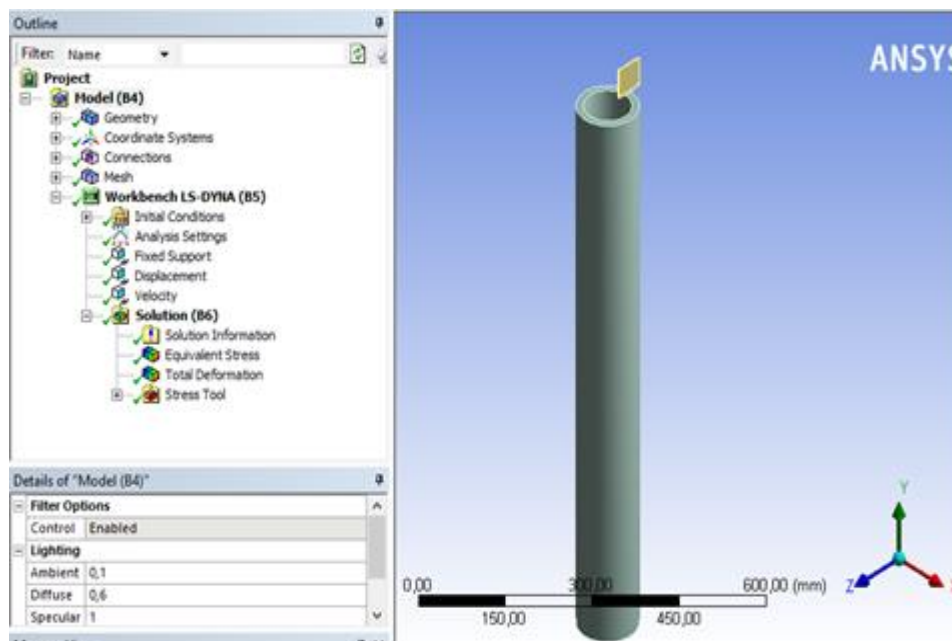


Figura 6.6 Esquema de interfaz inicial del proyecto (Fuente: Autor)

6.6.8 MALLADO DEL SISTEMA

El criterio de mallado se lo describe en su totalidad en el Capítulo II, en tal virtud en la figura 6.7 se puede observar el mallado del sistema.

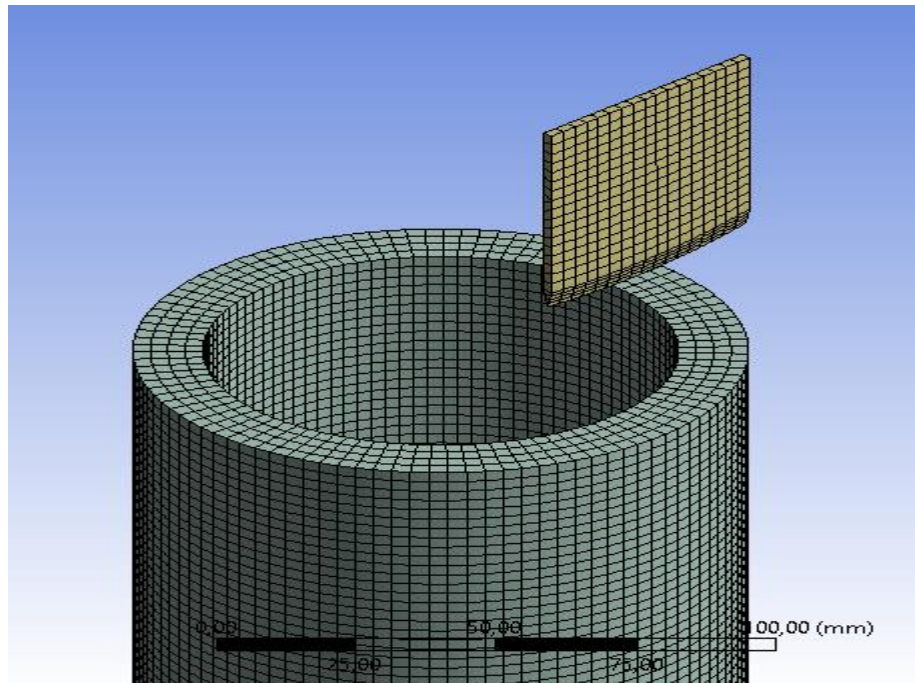


Figura 6.7 Mallado de los elementos en interacción (Fuente: Autor)

Como se puede observar en la figura 6.7 el mallado obtenido es muy armónico y estos datos se pueden corroborar con las tendencias de calidad de elementos de malla y la relación de aspecto.

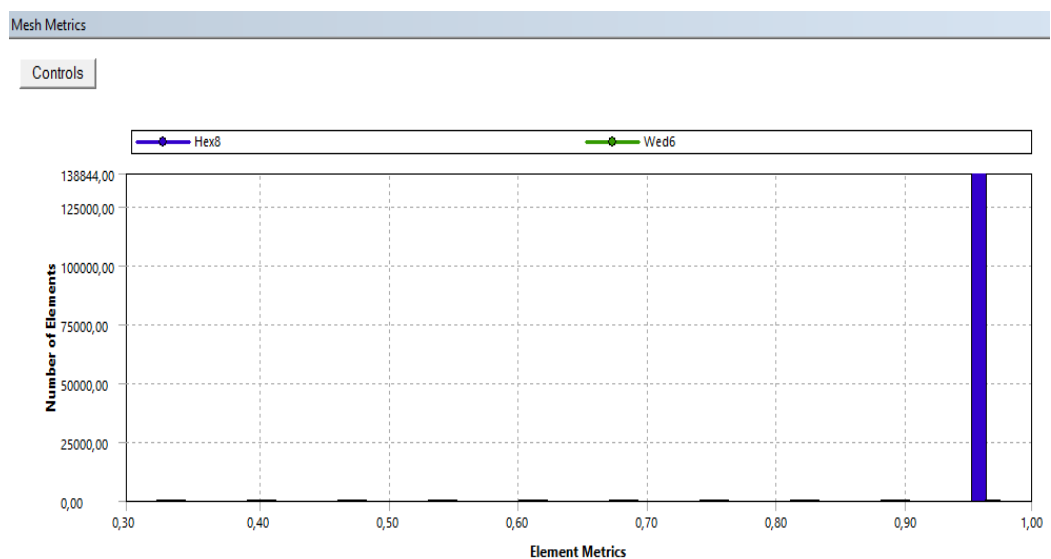


Figura 6.8 Calidad de elementos en la malla (Elements quality) (Fuente: Autor)

Como se puede observar en la figura 6.8 la calidad de elementos en la malla tiene una excelente proyección a la tendencia de uno, este indicador es de vital importancia al momento de obtener los resultados del análisis de la cuchilla respecto al corte de la caña guadua.

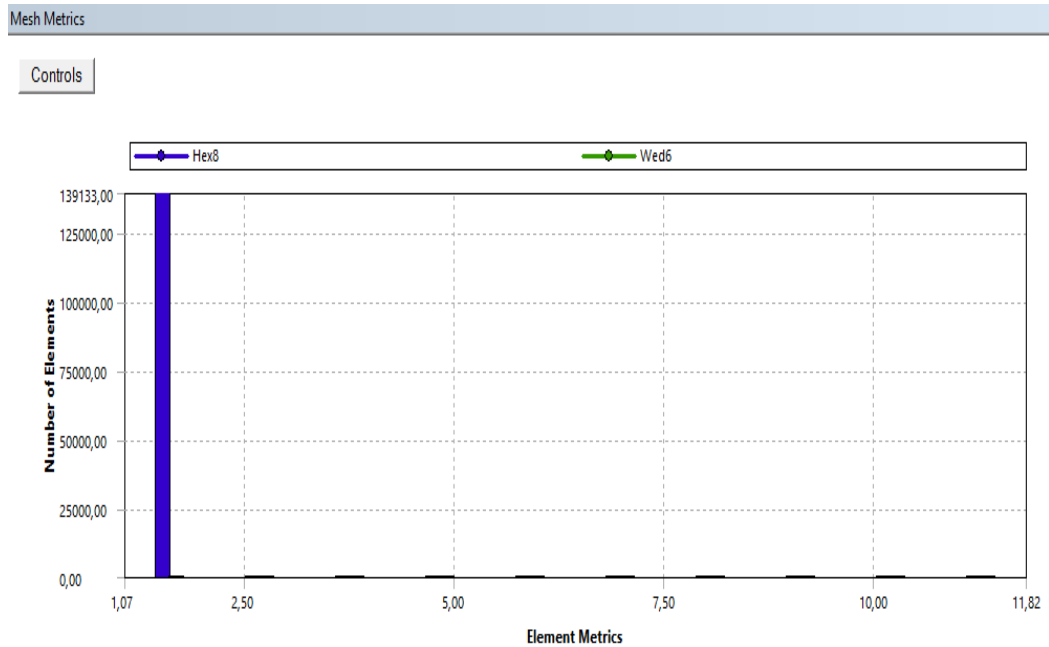


Figura 6.9 Relación de aspecto (Aspect Ratio) (Fuente: Autor)

De la misma manera en la figura 6.9 la relación de aspecto es de igual manera con tendencia a uno, lo cual nos afirma que los datos serán muy convincentes al momento del análisis.

6.7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DINÁMICO DE CUCHILLA CONVEXA, MATERIAL AISI D2 (BOHLER K110), CON FILO RECTO A 23°

Para este análisis se ha aplicado un desplazamiento de 100 mm. que es lo necesario para demostrar que la cuchilla rompe la resistencia de la caña guadua, a la misma se aplicó una velocidad de 1 mm/s.

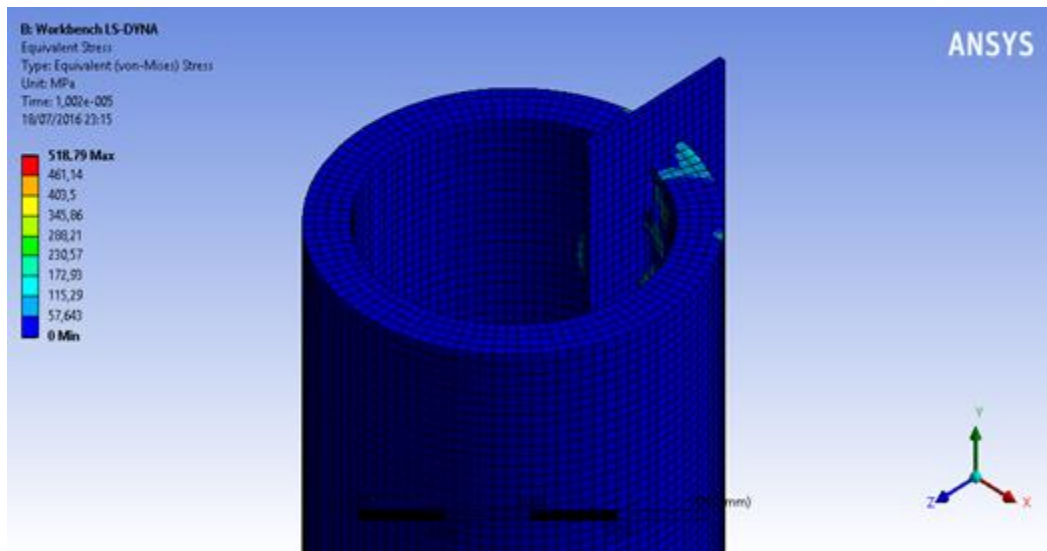


Figura 6.10 Esfuerzo Equivalente, (Fuente: Autor)

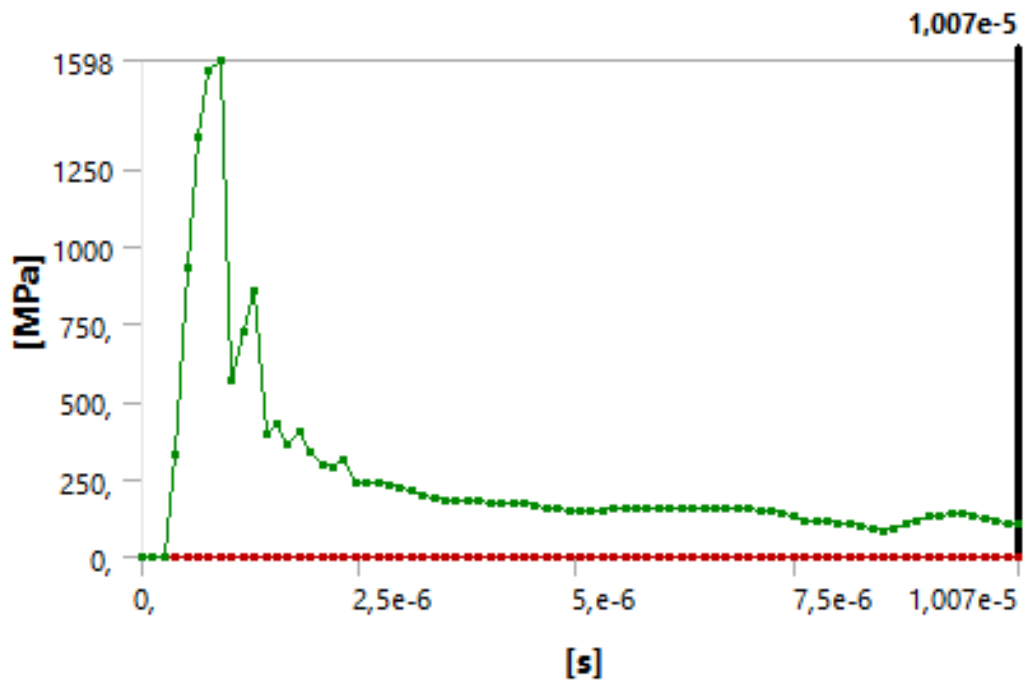


Figura 6.11 Gráfica del esfuerzo equivalente (Fuente: Autor)

Como se puede apreciar en la figura 6.11 el pico mayor en los 1598 MPa representa el esfuerzo mayor que efectúa la cuchilla para vencer a la caña guadua, y luego se puede apreciar cómo se forma la constante de corte una vez adentro la cuchilla, sondea una oscilación de esfuerzo equivalente entre un rango de 100 y 150 MPa.

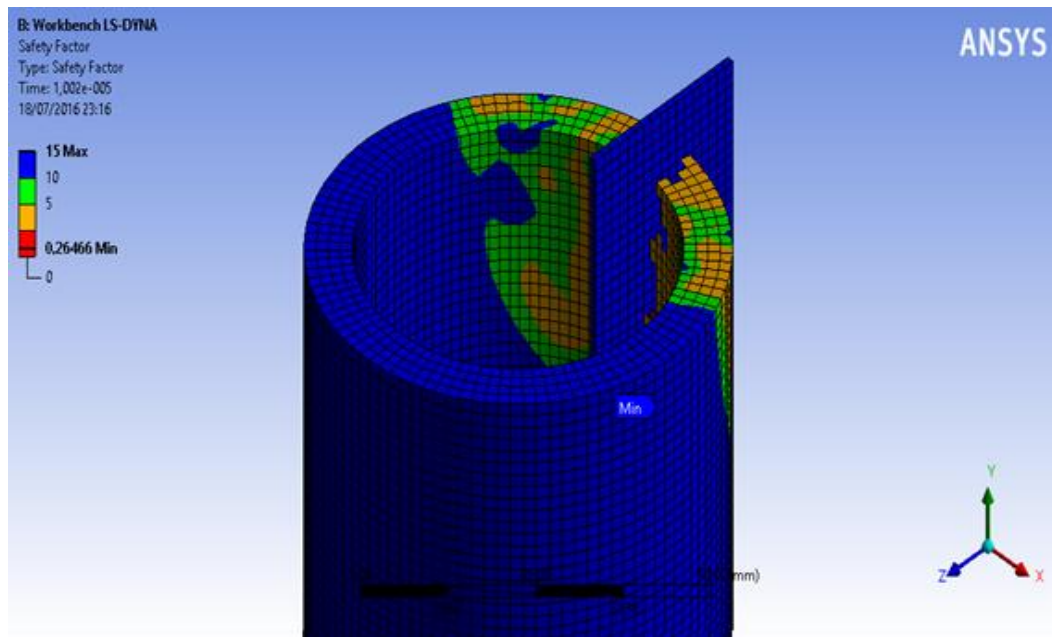


Figura 6.12. Factor de Seguridad, (Fuente: Autor)

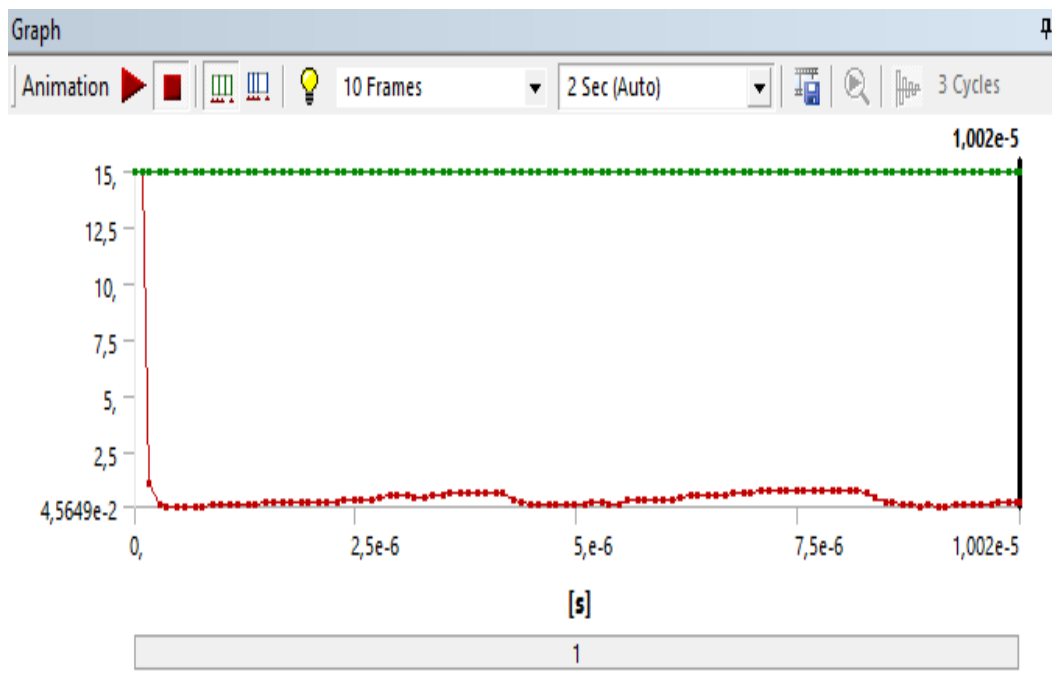


Figura 6.12 Gráfica del Factor de seguridad (Fuente: Autor)

Tal como se observa en la figura 6.12 el factor de seguridad tiene un valor de 15 constante en la cuchilla en tal virtud se coteja el hecho de que la cuchilla es funcional y tiene un diseño seguro sin riesgo de que colapse pudiendo de esta manera ocasionar algún daño al operador o usuario de la misma.

6.8 LICENCIAMIENTO Y RESPALDO DE LOS ANÁLISIS

Para la ejecución de este proyecto, fue necesario contar con el apoyo del H. Consejo provincial de Tungurahua a través del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero (CFPMCT), ya que ellos al contar con el licenciamiento total del software ANSYS LS-DYNA, y encontrarse legalmente en capacidad de brindar servicio externo a un valor de aplicación, fueron quienes avalaron y certificaron el uso de una licencia válida para el presente proyecto investigativo (ANEXO B)

6.9 DETERMINACIÓN DE LA APLICACIÓN

Una vez realizados todos los análisis con el software de elementos finitos, se procedió a fabricar la cuchilla con el material, ángulo de filo y geometría seleccionada, para validar todo lo descrito y expuesto en el proyecto, en tal virtud se obtuvo una herramienta robusta no muy tosca y agradable a la vista. (ANEXO D).

6.10 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Una vez concluido la presente investigación, la mismo que fue realizado en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero (CFPMCT), se sugiere tomar en cuenta la presente investigación de la conformación de una cuchilla para obtención de tiras de caña guadua (bambú), en investigaciones futuras de post-grado como pregrado enfocadas a diseñar , analizar y/o acondicionar un mecanismo para la operatividad de la cuchilla ya que se puede abrir una gama de diseños y modelos para máquinas mismas que pueden ser manuales, mecánicas y automatizadas.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Malo González, *Artesanías, lo útil y lo bello*, Cuenca, Azuay: Gráficas Hernández, 2008.
- [2] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *El Desarrollo Económico del Ecuador*, Quito, Pichincha: Editogran S.A., 2013.
- [3] RITFA (Red Iberoamericana de Innovación y transferencia de tecnología para el fortalecimiento artesanal), *Estado del Arte del Sector Artesanal en Latinoamérica*, Barranquilla: Universidad Simón Bolívar, 2015.
- [4] H. Canelos, «Bambú, un cultivo que se extiende,» *LA HORA*, 31 julio 2003.
- [5] Ecuador Forestal, «Una apuesta por el Bambú,» 30 septiembre 2010. [En línea]. Available: www.ecuadorforestal.org/actualidad-forestal/una-apuesta-a-favor-del-bambu/.
- [6] O. Hernandez Alvarado, L. E. Ramos Velasco y C. Chávez Olivares, «Diseño y simulación de máquina cortadora para tiras de otatillo (*Rhipidocladum racemiflorum*),» *Revista Iberoamericana de Ciencias*, vol. 2, nº 2, pp. 151-161, 2015.
- [7] R. Pérez Rodríguez, J. L. Sánchez Aguilera, A. Molina Gutiérrez y C. Rodríguez González, «Diseño de máquinas herramienta reconfigurables: caso de un cepillo para el procesamiento del bambú.,» *Ciencias Holguín*, vol. XVI, nº 1, pp. 1-12, 2010.
- [8] T. Pazmiño y M. Helguero, «Diseño de una maquina para cepillar y machihembrar madera,» *Revista Tecnológica ESPOL*, pp. 1-9, 2009.
- [9] B. J. Flores Rodríguez, *Diseño de una herramienta: Cuchilla para trabajo en frío*, San Nicolas de los Garza, Nuevo León: Universidad Autonoma de Nuevo León, 1999.
- [10] A. Fritz Durán, *La Construcción de Viviendas en Madera*, Santiago: Corporación Chilena de la Madera, 2007.
- [11] J. P. Pérez Alfonso, «Máquina cepilladora,» Instituto Universitario de Tecnología, Maracaibo, 2002.
- [12] A. Fixe, *Apunte Mecánica I*, Venado Tuerto, Santa Fe: E.E.T.P (Escuela de Educación Técnica Profesional), 2016.
- [13] BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG, *BÖHLER K353, Aceros para trabajo en frío*, Kapfenberg, 2010.

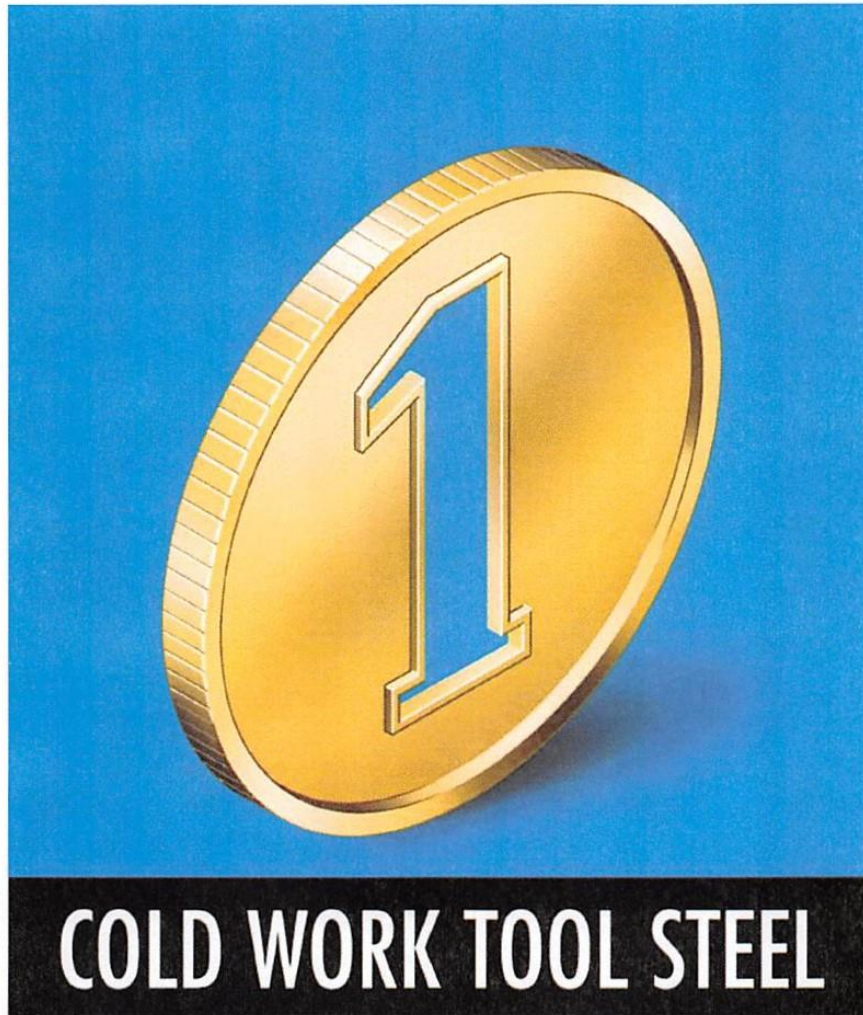
- [14] BÖHLER EDELSTAHL GMBH & Co KG, *BÖHLER K110: Acero para trabajar en frío*, Kapfenberg, 2009.
- [15] LUTZ BLADES CORP., «www.lutz-blades.com,» 2006/2016. [En línea]. Available: www.lutz-blades.com/es/productos/cuchillas-segun-forma/cuchillas-concavas.html. [Último acceso: 10 Abril 2016].
- [16] W. Nutsch, *Tecnología de la madera y del mueble*, Barcelona: EDITORIAL REVERTÉ S.A., 2005.
- [17] F. Fernández Escudero, *Apuntes de tecnología de la madera, carpintería y ebanistería*, Madrid: Instituto de Formación Profesional Virgen de la Paloma, 2016.
- [18] H. Calleros y E. Serrano, *Guía de Apoyo Curricular para Tecnología de la Madera y Taller de Carpintería*, Montevideo: Consejo de Educación Técnico Profesional - UTU, 2013.
- [19] L. M. León Sevilla, *Optimización de parámetros en la fabricación de cuchillas trozadoras para la cosecha de caña de azúcar*, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [20] CADENCE - SPECIALTY BLADES, INC., «www.cadenceinc.com/,» 1985/2016. [En línea]. Available: <http://cadenceinc.com/products/specialty-blades-catalog/>.
- [21] C. H. Arroba Arroba, *Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia*, Ambato: Universidad Tecnica de Ambato, 2013.
- [22] J. T. Celigüeta Lizarza , *Método de los Elementos Finitos*, San Sebastian: UNICOPIA C.B. , 2008.
- [23] O. C. Zienkiewicz y R. L. Taylor, *El Metodo de los Elementos Finitos*, Barcelona: McGraw-Hill, 2007.
- [24] G. R. Liu y S. S. Quek, *The Finite Element Method: A Practical Course*, Burlington: Elsevier Science Ltd., 2003.
- [25] A. Morris, *A Practical Guide to Reliable Finite Element Modelling*, West sussex: Jonh Wiley & Sons Ltd., 2008.
- [26] H. Animas Rivera, *Evaluación del Empleo del Modo de Vibrar como Indicador de la Condición Estructural de Edificios Históricos*, Aguas Calientes: Universidad Autonoma de Aguas Calientes, 2015.

- [27] R. D. Cook, D. S. Malkus, M. E. Plesha y R. J. Witt, *Concepts and Applications of Finite Elements Analysis*, Madison: John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [28] S. R. Wu y W. Qiu, «Nonlinear transient dynamic analysis by explicit finite element with iterative consistent mass matrix,» *COMMUNICATIONS IN NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING*, 2008.
- [29] H. -S. Kim, G. Ben y N. Sugimoto, «Comparison of Experimental Results with FEM for Impact Response Behavior of CFRP Tubes and CFRP/Al Hybrid Beams for Absorbing Impact Energy in Full-lap and Side Collisions of Automobiles,» *Report of the Research Institute of Industrial Technology, Nihon University*, nº 90, p. 14, 2007.
- [30] T. Belytschko, W. Kam Liu, B. Moran y K. I. Elkhodary, *Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures*, West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- [31] E. L. Fasanella y K. E. Jackson, *Best Practices for Crash Modeling and Simulation*, Hampton: NASA, 2002.
- [32] M. Timmel, S. Kolling, P. Osterrieder y P. A. Du Bois, *A finite element model for impact simulation with laminated glass*, Marschnerstr: International Journal of Impact Engineering, 2007.
- [33] G. Jiménez Arranz, *Estudio y diseño de sistemas para el acondicionamiento acústico*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- [34] F. Usón Faci, *Estudio por elementos finitos de un puente de carretera*, Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2010.
- [35] E. Alberdi Celaya, *Métodos numéricos para ecuaciones diferenciales rígidas. Aplicación a la semidiscretización del Método de Elementos Finitos*, Bilbao: Universidad del País Vasco, sf.
- [36] J. Moreno Garrido, *Desarrollo y Optimización de un Generador de Mallas Superficiales y/o Volumétricas para Aplicaciones de Simulación Electromagnética*, Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá, 2013.
- [37] M. d. I. L. Perez Rea, J. Horta Rangel, C. S. López Cajún, T. López Lara, J. B. Hernández Zaragoza y V. M. Castaño, «Modelo híbrido de percolación y elemento finito para el análisis micromecánico de suelos,» *Revista mexicana de ciencias geológicas*, vol. 26, nº 2, pp. 335-346, 2009.
- [38] M. V. Hormaza, E. Amezua, R. Avilés y A. Hernández, «Un método de regularización de mallas de elementos finitos en modelos tridimensionales sólidos,» *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 11, nº 3, pp. 401-421, 1995.

- [39] J. García Alba , *Estudio de chorros turbulentos con modelos CFD: aplicación en el diseño de emisarios submarinos*, Santander: Universidad de Cantabria , 2011.
- [40] M. Valera Martín, *Modelado y análisis de un sistema de sujeción: aplicación a una pinza expansible*, Leganés: Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [41] F. Gabaldón Castillo, *METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS. Preproceso y Postproceso de Resultados*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2007.
- [42] V. Fares, E. Martel y R. Lorefice, «Instrumentacion de refinamiento adaptativo de mallas en modelos para analisis por el metodo de los elementos finitos,» *Mecánica Computacional* , vol. XXV, pp. 1205-1224, 2006.
- [43] A. S. Marcial Rodriguez y D. F. Rosero Flores, *Análisis mediante elementos finitos del sistema de. suspensión de un automóvil liviano*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2012.
- [44] ANSYS, Inc., «ANSYS Meshing Application Introduction,» 28 Abril 2009. [En línea]. Available: www.racfd.com/mesh/AM_12_Chapter%202.ppt. [Último acceso: 10 Diciembre 2015].
- [45] L. Rodríguez Ojeda, *Análisis Numerico Básico*, Guayaquil: Escuela Superior Polirécnica del Litoral, 2011.
- [46] J. V. Briseño-Ruiz , G. d. S. Herrera Zamarrón y H. E. Júnez Ferreira, «Método para el diseño óptimo de redes de monitoreo de los niveles del agua subterránea,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. II, n° 4, pp. 77-96, 2011.
- [47] E. C. Guanoquiza Enríquez, *Proyecto de Factibilidad para la Creación de una Empresa Productora y Comercializadora de Pisos de Bambú en la Ciudad de Quito.*, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2012.
- [48] A. Baño Nieva y A. Vigil-Escalera del Pozo, *Guía de construcción sostenible*, Alcalá: Ministerio de Medio Ambiente, 2005.
- [49] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Guia de Practica Ecuatoriana: 042:1976 - Bambú Caña Guadua Recomendaciones para el Uso en la Construcción*, Quito: INEN, 1976.
- [50] V. Rea Lozano, *Uso de la Caña Guadua como Material de Construcción: Evaluación Medioambiental Frente a Sistemas Constructivos Tradicionales*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2012.

- [51] J. G. Paredes Salinas, *Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas en Guardachoques para Buses.*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2012.
- [52] Y. Patel, B. Blackman y J. Williams, «Determining fracture toughness from cutting tests on polymers,» *Engineering Fracture Mechanics*, n° 76, p. 2711–2730, 2009.
- [53] M. E. Merchant, «Mechanics of the Metal Cutting Process. I. Orthogonal Cutting and a Type 2 Chip,» *Journal of Applied Physics*, vol. 16, n° 5, pp. 267-275, 1945.
- [54] T. M. Millar, Y. Patel, H. Wang, L. Chang, D. S. Balint y G. Williams, «An investigation of cutting resistance in stretched polymer film,» *Procedia Structural Integrity*, vol. 2, pp. 190-196, 2016.
- [55] M. P. Groover, *Fundamentos de Manufactura Moderna - Materiales, Procesos y Sistemas*, Bethlehem: Prentice-Hall Inc. A Simon & Schuster Company, 1997.
- [56] EEES, ENGINEERING SIMULATION SCIENTIFIC SOFTWARE, «CATÁLOGO DE FORMACIÓN,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.esss.com>.
- [57] F. A. Sanginés Lezama, *Diseño de un aerogenerador de eje vertical de baja potencia*, Mexico, D.F.: Instituto Politécnico Nacional, 2011.
- [58] R. Medina, M. Salas, R. Luco y V. Bertram, «Análisis de estructuras navales mediante el método de elementos finitos,» *Revistas electrónicas UACH*, vol. 2, n° 1, pp. 27-36, 2005.
- [59] E. D. Ramírez Gallo, «Simulación y análisis del comportamiento de un componente elastomérico de un sistema técnico, usando el método de los elementos finitos,» *Cuadernos de Investigación*, pp. 101-109, 2009.

ANEXO A.
CATÁLOGOS BÖHLER ACERO
K110 Y K353



This data sheet contains the main mechanical and physical material properties of selected Böhler cold work tool steels in the heat treated condition

BÖHLER

Cold Work Steels

Information

The data contained in this brochure shall not be binding and shall in case of a contract conclusion, not be regarded as warranted. These data shall merely constitute average values that can vary depending on the ingot size and the position of the sample within the ingot.

BÖHLER

Cold Work Steels

Nominal composition of the investigated materials:

Steel grade	C	Cr	Mo	V	Si	Mn	W	Co	others
BÖHLER K110	1,55	11,30	0,75	0,75	0,30	0,30	-	-	-
BÖHLER K353	0,82	8,00	1,60	0,60	0,70	0,40	-	-	+ Al
BÖHLER K340 ISODUR®	1,10	8,30	2,10	0,50	0,90	0,40	-	-	+Al, +Nb
BÖHLER K360 ISODUR®	1,25	8,75	2,70	1,18	0,90	0,35	-	-	+Al, +Nb
BÖHLER K190 MICROCLEAN®	2,30	12,50	1,10	4,00	0,60	0,30	-	-	-
BÖHLER K890 MICROCLEAN®	0,85	4,35	2,80	2,10	0,55	0,40	2,55	4,50	-
BÖHLER K390 MICROCLEAN®	2,55	4,15	3,75	9,00	0,55	0,40	1,00	2,00	-

BÖHLER

Cold Work Steels

Carbide content:

Steel grade	MC [Vol-%]	M ₆ C [Vol-%]	M ₇ C ₃ [Vol-%]
BÖHLER K110	-	-	15
BÖHLER K353	0,4	-	3
BÖHLER K340 ISODUR®	0,5	-	8
BÖHLER K360 ISODUR®	3	-	11
BÖHLER K190 MICROCLEAN®	2	-	20
BÖHLER K890 MICROCLEAN®	3	3	-
BÖHLER K390 MICROCLEAN®	17	-	-



BÖHLER K110



1. Chemical analysis and general information

This data only applies for the conventional produced grade K110

Steel grade	C	Cr	Mo	V	Si	Mn
BÖHLER K110	1,55	11,30	0,75	0,75	0,30	0,30

(in wt - %)

Condition 1:

Heat treatment: Austenitising: 1070°C

Tempering: 3 x 1 h on tempering temperature

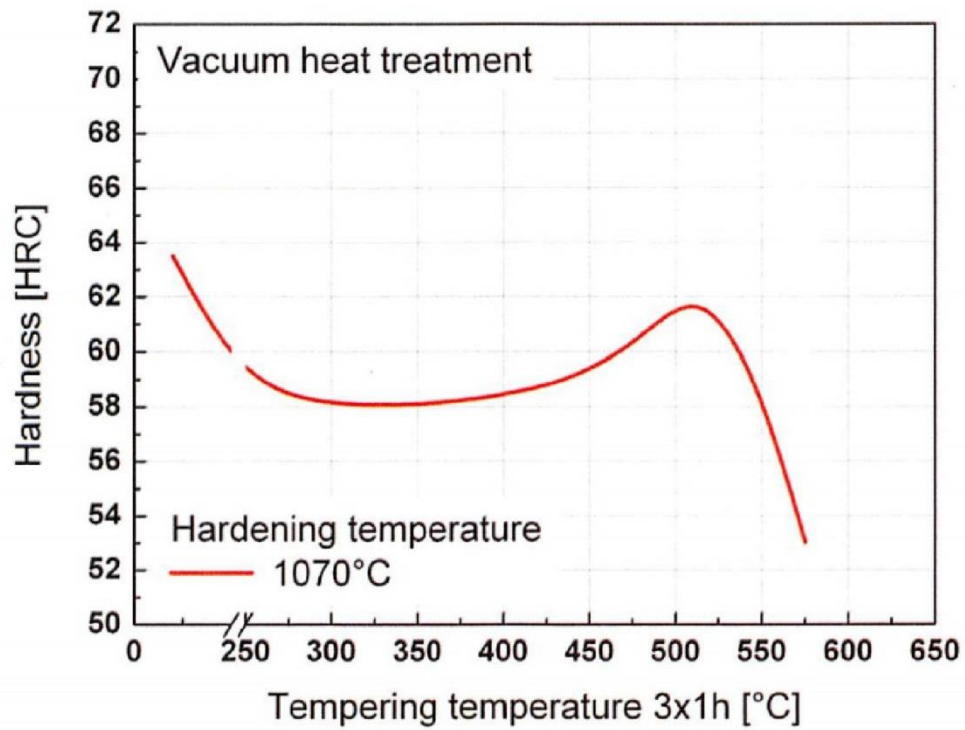
Hardness range: 57-59 HRC



BÖHLER K110

BÖHLER
EDELSTAHL

2. Hardening curve





BÖHLER K110

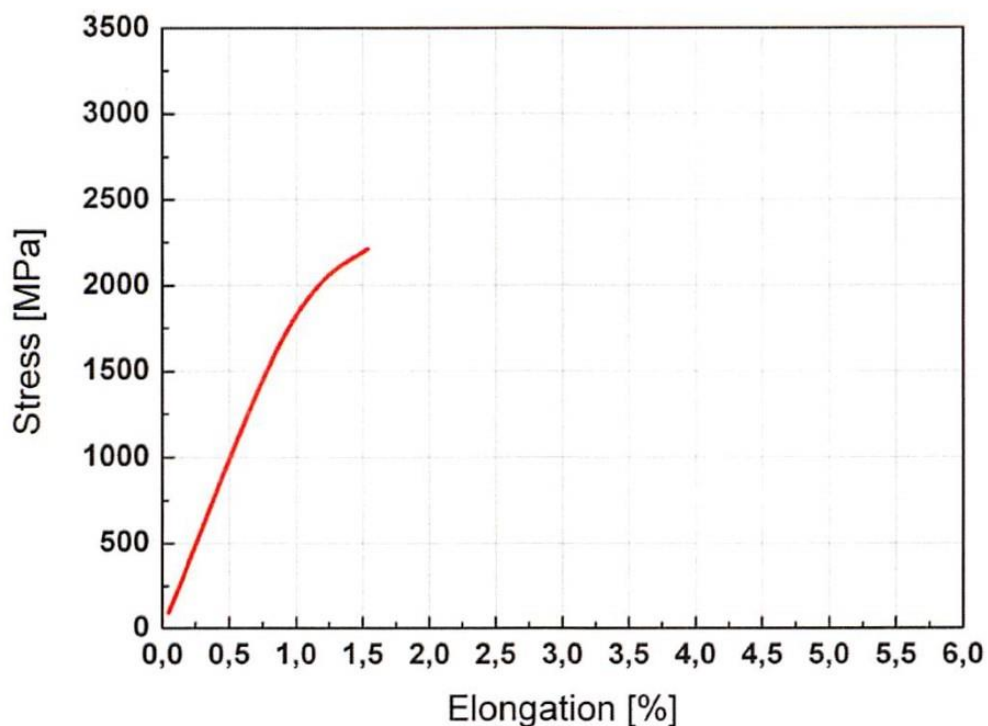


3. Mechanical properties

3.1. Tensile test at room temperature

Condition 1: Hardness range: 57-59 HRC
Hardening temperature: 1070°C
Tempering: 3 x 1 h on tempering temperature

Yield strength $R_{p0,2}$ [MPa]	Tensile strength R_m [MPa]	Elongation at fracture [%]
1999	2204	1,54





BÖHLER K110

BÖHLER
EDELSTAHL

3.2. Compression test at room temperature

Condition 1:

Hardness range: 57-59 HRC

Yield strength $R_{p0,2}$ <i>[MPa]</i>
2270

3.3. Fracture toughness

K_{IC} <i>[MPa*m^{1/2}]</i>
14,8



4. Physical properties

T [°C]	Dyn.E- Modulus [GPa]	Density [kg/m³]	Specific heat capacity [J/(g*K)]
20	199,2	7665	0,470
100	194,7	7645	0,494
200	189,0	7618	0,534
300	183,1	7589	0,570
400	175,9	7560	0,607
500	168,8	7527	0,658
600	161,2	7496	0,733
700	153,4	7478	0,837

T [°C]	Thermal conductivity [W/(m*K)]	Thermal expansion coefficient [10⁻⁶ m/(m*K)]	Thermal diffusivity [mm²/s]
20	23,9	-	6,63
100	24,9	11,00	6,58
200	26,3	11,45	6,44
300	26,8	11,85	6,17
400	27,1	12,18	5,84
500	27,1	12,69	5,40
600	27,3	12,76	4,89
700	25,6	12,15	4,03



BÖHLER K353

BÖHLER
EDELSTAHL

1. Chemical analysis and general information

This data only applies for the conventional produced grade K353

Steel grade	C	Cr	Mo	V	Si	Mn	others
BÖHLER K353	0,82	8,00	1,60	0,60	0,70	0,40	+Al

(in wt - %)

Condition 1:

Heat treatment: Austenitising: 1030°C
Tempering: 3 x 1 h on tempering temperature
Hardness range: 57-59 HRC

Condition 2:

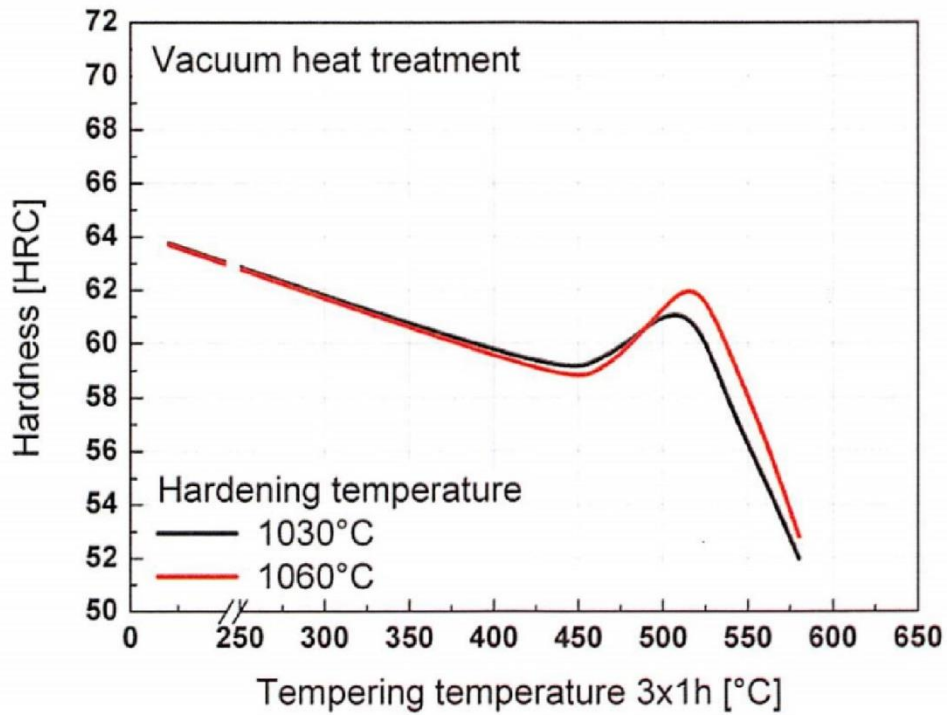
Heat treatment: Austenitising: 1060°C
Tempering: 3 x 1 h on tempering temperature
Hardness range: 60-62 HRC



BÖHLER K353

BÖHLER
EDELSTAHL

2. Hardening curve





BÖHLER K353

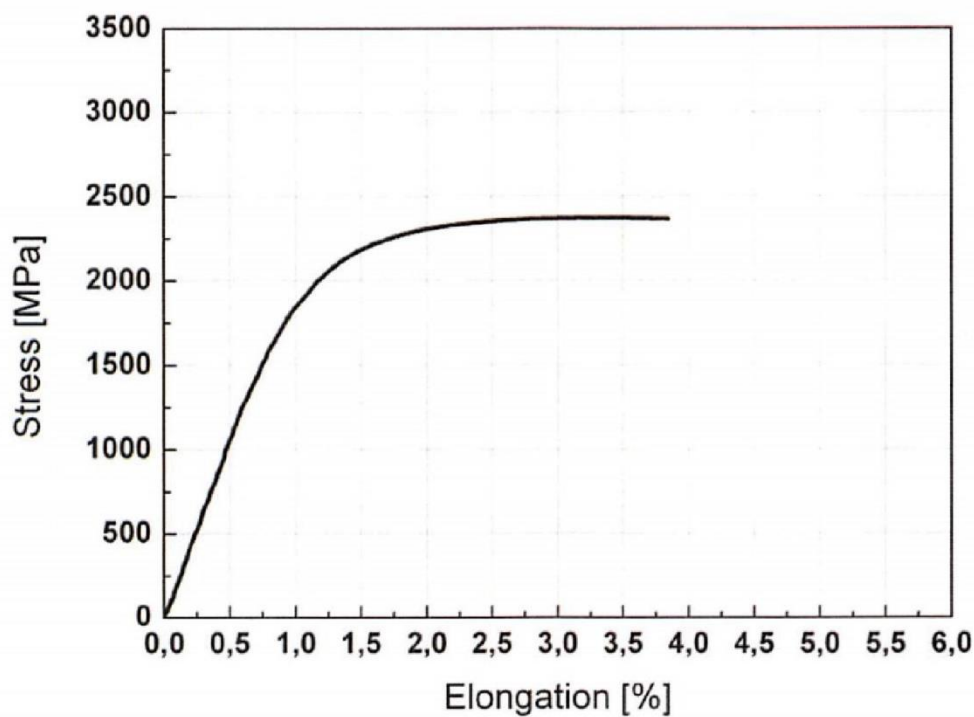
BÖHLER
EDELSTAHL

3. Mechanical properties

3.1. Tensile test at room temperature

Condition 1: Hardness range: 57-59 HRC
Hardening temperature: 1030°C
Tempering: 3 x 1 h on tempering temperature

Yield strength $R_{p0,2}$ [MPa]	Tensile strength R_m [MPa]	Elongation at fracture [%]
1975	2375	3,85



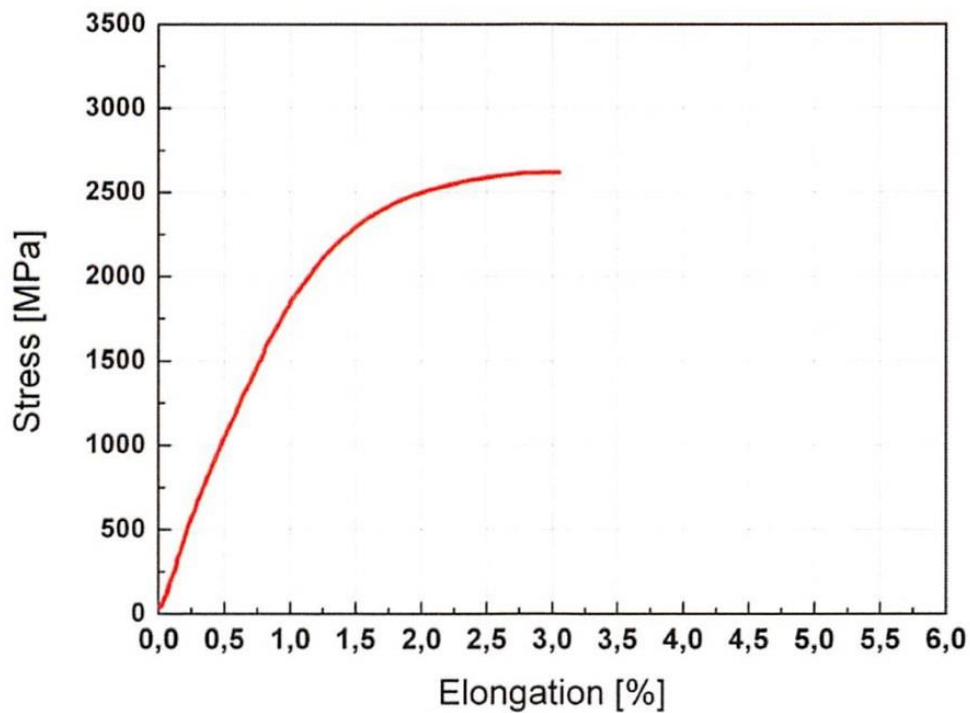


BÖHLER K353



Condition 2: Hardness range: 60-62 HRC
Hardening temperature: 1060°C
Tempering: 3 x 1 h on tempering temperature

Yield strength $R_{p0,2}$ [MPa]	Tensile strength R_m [MPa]	Elongation at fracture [%]
2058	2625	3,05





BÖHLER K353



3.2. Compression test at room temperature

Condition 1:
Hardness range: 57-59 HRC

Condition 2:
Hardness range: 60-62 HRC

Yield strength $R_{p0,2}$ <i>[MPa]</i>
2310

Yield strength $R_{p0,2}$ <i>[MPa]</i>
2528

3.3. Fracture toughness

K_{IC} <i>[MPa*m^{1/2}]</i>
17,8



BÖHLER K353

BÖHLER
EDELSTAHL

4. Physical properties

T [°C]	Dyn.E- Modulus [GPa]	Density [kg/m³]	Specific heat capacity [J/(g*K)]
20	211,8	7698	0,470
100	207,5	7678	0,492
200	201,5	7651	0,530
300	194,7	7623	0,562
400	187,1	7594	0,601
500	178,2	7562	0,662
600	169,3	7529	0,749
700	158,0	7513	0,905

T [°C]	Thermal conductivity [W/(m*K)]	Thermal expansion coefficient [10⁻⁶ m/(m*K)]	Thermal diffusivity [mm²/s]
20	21,9	-	6,06
100	23,5	11,00	6,21
200	24,9	11,26	6,15
300	25,5	11,60	5,97
400	26,0	11,97	5,69
500	26,1	12,37	5,21
600	26,7	12,81	4,74
700	26,9	11,98	3,96

ANEXO B.

Documentación habilitante de
licenciamiento del software
y validación de datos



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Cdla. Universitaria (Huachi) / Telf: (03) 2841-144 / Telefax: (03) 2841-062/ Casilla 334/ Email:
ficm@uta.edu.ec
Ambato – Ecuador

Ambato, 26 de julio de 2016
FICM-D-878-16

Ingeniero
Jorge Sánchez
DIRECTOR
DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN
HONORABLE GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA
Presente

De mi consideración:

Con un cordial y atento saludo, por medio de la presente, me dirijo a usted para informarle que el Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda, Con C.I. 180249546-3, Maestrante del programa: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte), se encuentra realizando su trabajo de investigación previo a la obtención del Grado académico de Magister bajo el tema "Análisis del diseño por el método de los elementos finitos de una cuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (Bambú)"; por lo que solicito a usted muy comedidamente de ser posible se le de las facilidades necesarias al maestrante para que pueda realizar los análisis estáticos y dinámicos sobre dicha investigación, con la asistencia del programa de elementos finitos ANSYS, en virtud que ustedes cuentan con la licencia de dicho software a través del "Centro de Fomento Carrocero Metalmecánico del Consejo Provincial", con el propósito de tener los datos necesarios y validados para su trabajo final de graduación y obtener su grado académico.

Por la gentil atención, que sabrá dar al presente reitero mi agradecimiento.

Atentamente,

M.Sc. Ing. Francisco Pazmiño Gavilanes.
DECANO



FPG.





PROFORMA SERVICIOS DEL CENTRO DE
FOMENTO PRODUCTIVO METALMECANICO CARROCERO



N°0000031

1. DATOS GENERALES DEL CLIENTE

DETALLE:	SIMULACION UTILIZANDO SOFTWARE ANSYS
MATERIAL:	NA
CONTACTO:	Ing. Wilmo Vacacela
NOMBRE/RAZON SOCIAL:	Wilmo Marlon Vacacela Miranda
C.I o RUC:	1802495463
DIRECCIÓN:	Ave. Rodrigo Pachano 16-134 y Manzanas
EMAIL:	wm.vacacela@uta.edu.ec
TELÉFONO:	992733054
FECHA:	5 de Agosto de 2016

2. SERVICIOS

		DESCRIPCION	CANTIDAD cc	COSTO UNITARIO \$/cc	COSTO TOTAL
PAGO POR SERVICIOS	IMPRESIÓN			\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
	DISEÑO			\$ -	\$ -
	OTROS	SIMULACION UTILIZANDO SOFTWARE ANSYS	1	\$ 100,00	\$ 100,00
TIEMPO ADICIONAL		2	\$ 17,86	\$ 35,72	
				SUBTOTAL	\$ 135,72
				IVA 14%	\$ 19,00
				TOTAL	\$ 154,72

Nota. El costo base independientemente de la complejidad de la simulación es \$100 USD. Este valor incluye el informe de resultados y cinco (5) horas de trabajo. En caso de que se supere las cinco (5) horas de trabajo el precio de la hora adicional es \$17,86 USD

OPCIONES PARA CANCELAR:

1.- Pago mediante depósito en efectivo o cheque a la cuenta del Banco Pacifico No. 2933098 del H. Gobierno Provincial de Tungurahua .

Este documento será anulado en caso de presentar tachones, borrones, valores sobre marcados, entre otros.

Aprobado por: **ALVARO CORRAL**

Firma:

Supervisor I+D+i CFPMC



BANCO DEL PACÍFICO

COMPROBANTE DE TRANSACCION

BANCO DEL PACIFICO	
Cta.No. 0002933098 BCE CCU H. GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA	
DEPOSITO CORRIENTE Cod.:	EFFECTIVO 154.72
DOLAR AMERICANO Pap: 0169242075 14:51:03	CH. ESTE BANCO
2016-08-05 AMBATO-MALL DE LOS ANDES	CH. RCOS. LOCAL
Caja:00002 GCARRILL REF:4248620 Normal.	TOTAL 154.72

* Este comprobante de transacción no es negociable, ni transferible, ni puede ser objeto de ningún tipo de comercialización o negociación por parte de su tenedor *



R.U.C.: 1860000130001

FACTURA

No.: 001-002-000001283

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN:

0808201601186000013000120010020000012831802495415

FECHA Y HORA DE AUTORIZACION:

2016-08-08T09:31:52-05:00

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

Contribuyente Especial No.: 4519

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

H GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA

H GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA

Dirección BOLIVAR 491 Y CASTILLO

Matriz:

Dirección BOLIVAR 491 Y CASTILLO

Sucursal:



CLAVE DE ACCESO: 0808201601186000013000120010020000012831802495415

Razón Social / Nombres y Apellidos: WILMO MARLON VACACELA MIRANDA

Dirección comprador: AV. RODRIGO PACHANO 16-134 Y MANZANAS

Fecha Emisión: 08/08/2016

RUC / CI: 1802495463

Guía Remisión:

Código Principal	Cantidad Descripción	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0018	1.0000 SERVICIOS DEL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECANICO CARROCERO DETALLE DEL SERVICIO: SIMULACION UTILIZANDO SOFTWARE ANSYS	135.7200	0.0000	135.72

SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	135.72
DESCUENTO	0.00
SUBTOTAL 0%	0.00
SUBTOTAL No objeto de IVA	0.00
SUBTOTAL Exento de IVA	0.00
SUBTOTAL 14%	135.72
IVA 14%	19.00
VALOR TOTAL	154.72

Información Adicional

cliDireccion AV. RODRIGO PACHANO 16-134 Y MANZANAS
cliMail xm.vacacela@uta.edu.ec
cliCiudad AMBATO



ENSAYO DE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

1. Objetivo

Verificar las propiedades mecánicas de una cuchilla tipo cuña, variando su forma geométrica y su tipo de material.

1.1 Objetivos Específicos.

- Determinar los esfuerzos máximos y deformaciones máximas para cuchillas convexo tipo cuña, con material Acero K110 con ángulo de ataque 23 y 45 grados.
- Determinar los esfuerzos máximos y deformaciones máximas para cuchillas convexo tipo cuña, con material Acero K353 con ángulo de ataque 23 y 45 grados.
- Determinar los esfuerzos máximos y deformaciones máximas para cuchillas cóncavo tipo cuña, con material Acero K110 con ángulo de ataque 23 y 45 grados.
- Determinar los esfuerzos máximos y deformaciones máximas para cuchillas cóncavo tipo cuña, con material Acero K353 con ángulo de ataque 23 y 45 grados.
- Determinar los esfuerzos y deformaciones máximas para un ensayo convexo dinámico.

2. Antecedentes

Por medio del oficio FICM-D-878-16 con fecha 26 de julio de 2016, el M.Sc. Ing. Francisco Pazmiño Gavilanes Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato – UTA, solicita se de las facilidades al Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda, con C.I. 180249546-3 para realizar los análisis estáticos y dinámicos de su tema de tesis “**Análisis del Diseño por el método de elementos finitos de una cuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (Bambú)**”, para obtener el grado Académico – Magister en Diseño Mecánico.

3. Alcance

Aplica a todos los ensayos y simulaciones de una cuchilla tipo cuña, variando sus forma geométrica y tipo de material realizados en el Centro de fomento Productivo Carrocero Metalmecánico en el área de CAD- CAM y CAE.



4. Definiciones

- **CAD-CAM:** Laboratorio de diseño y manufactura asistida por computadora.
- **CAE:** Laboratorio de Ingeniería asistida por computador.

5. Normativa aplicable

No se aplica ninguna normativa. Los datos experimentales son del cliente: Ing. Wilmo Vacacela

6. Identificación del Método de ensayo

Nombre del método: Ensayo de Simulación de esfuerzos mediante elementos finitos

Tipo de método: Experimental

7. Materiales de Referencia

- Acero K110
- Acero K353

8. Descripción

Se realiza el ensayo simulado de una cuchilla tipo cuña sometida a esfuerzos por corte a la cual se cambia el ángulo de ataque para verificar su comportamiento bajo los estados de tensión.

Se realiza el ensayo dinámico de la cuchilla cortando caña Guadua con un desplazamiento de la cuchilla de 300mm.

9. Análisis e interpretación de resultados.

Se analizará los resultados de los ensayos preliminares del material K110 y K353 utilizados en la cuchilla, datos que serán utilizados en Ansys Ls-Dyna para la simulación.

Se graficarán los resultados y se sacará las conclusiones pertinentes para el análisis e interpretación de los resultados.

9.1 Ensayo De Tensión De Cuchilla

La cuchilla tiene las siguientes dimensiones:

- 52mm de longitud
- 50 mm de ancho
- 2mm de espesor

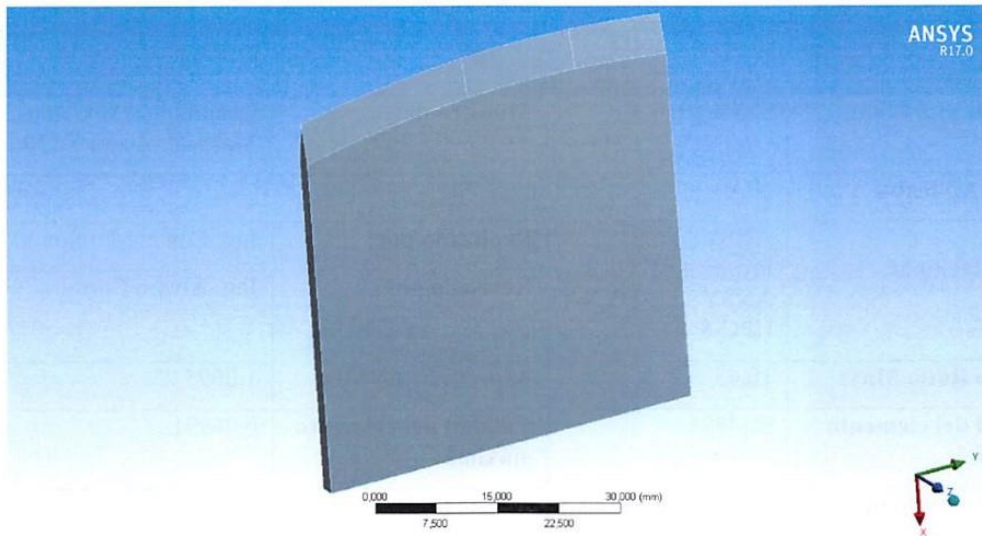


Figura 1: Dimensiones de la cuchilla para ensayo

9.2 Simulaciones De Ensayos

Los análisis de las simulaciones incluyen:

Para los análisis estáticos:

- Esfuerzo máximo
- Esfuerzo equivalente
- Deformación total y
- Factor de seguridad

Para el análisis dinámico:

- Esfuerzo máximo
- Esfuerzo equivalente
- Deformación total y
- Factor de seguridad

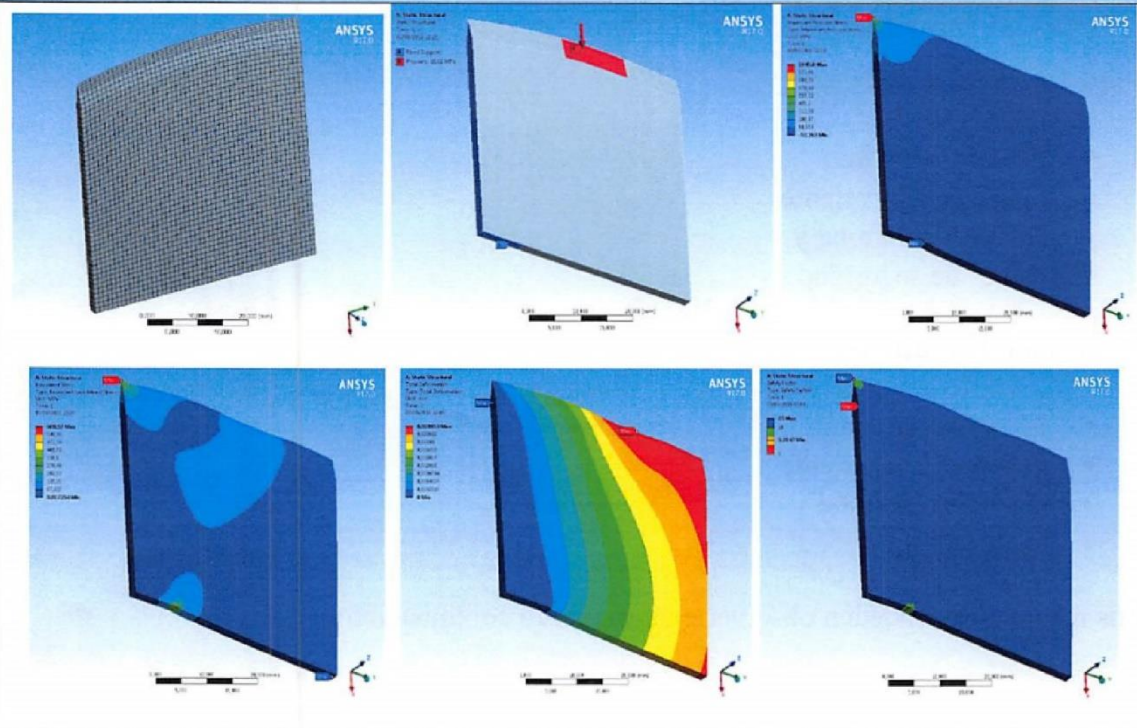
Los resultados se pueden observar en las tablas a continuación:



TABLA 1. SIMULACIÓN DEL ENSAYO PARA CUCHILLA CONVEXO TIPO CUÑA, CON MATERIAL ACERO K110 CON ANGULO DE ATAQUE DE 23 GRADOS

Fecha de ejecución	03/08/2016	Muestra de:	Cuchilla 52x50x2mm Material: Acero K110
Norma Aplicable	N/A		
Paquete Computacional:	ANSYS Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Edwin Morejón S.
		Revisado por:	Ing. Alvaro Corral.
Aspecto Ratio Max:	10,45	Aspecto Ratio Min:	1,0095
Calidad del elemento mínimo:	0,34894	Calidad del elemento máximo:	0,99991
Cantidad de Nodos:	26255	Cantidad de elementos:	4606
Tiempo de procesamiento	8,344 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO



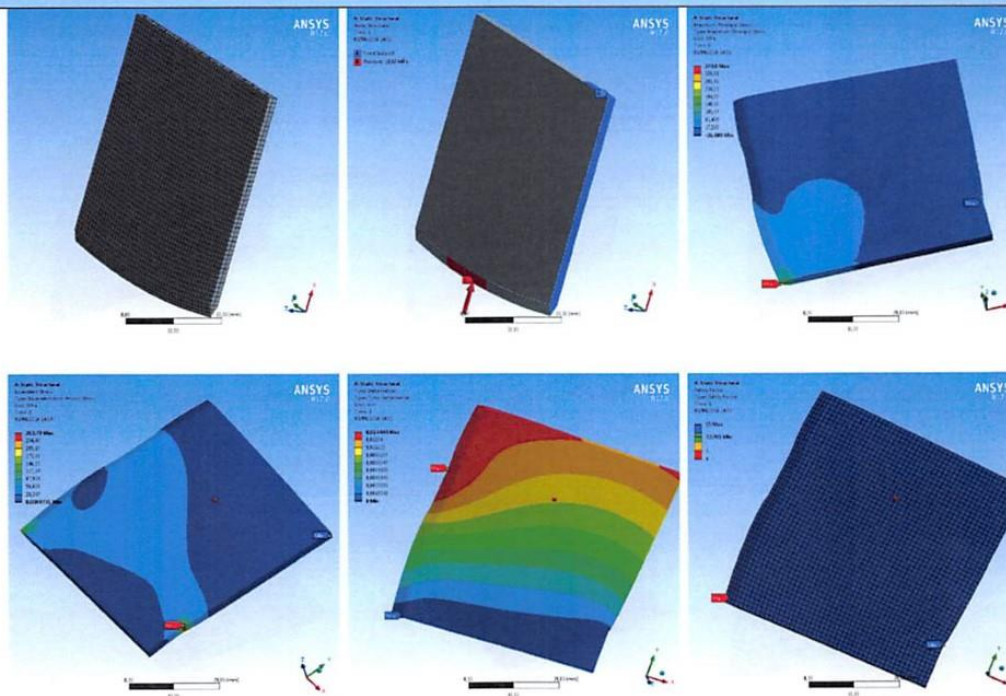
Carga mínima:	0Mpa	Carga Máxima:	19,62 Mpa
Esfuerzo Máximo:	1045,8 Mpa	Esfuerzo Mínimo:	-53,263 Mpa
Esfuerzo Eq. Máximo	608.57 Mpa	Esfuerzo Eq. Mínimo	0,017254 Mpa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación ultima:	9,389 mm
Factor de Seg. Mínimo:	3.28	Factor de Seg. Máximo:	15



TABLA2. SIMULACIÓN DEL ENSAYO PARA CUCHILLA CONVEXO TIPO CUÑA, CON MATERIAL ACERO K110 CON ANGULO DE ATAQUE DE 45 GRADOS

Fecha de ejecución	03/08/2016	Muestra de:	Cuchilla 52x50x2mm Material: Acero K110
Norma Aplicable	N/A		
Paquete Computacional:	ANSYS Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Edwin Morejón S.
		Revisado por:	Ing. Alvaro Corral S.
Aspecto Ratio Max:	2,9142	Aspecto Ratio Min:	1,0143
Calidad del elemento mínimo:	0,63764	Calidad del elemento máximo:	0,99972
Cantidad de Nodos:	26305	Cantidad de elementos:	4655
Tiempo de procesamiento	8,1 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO



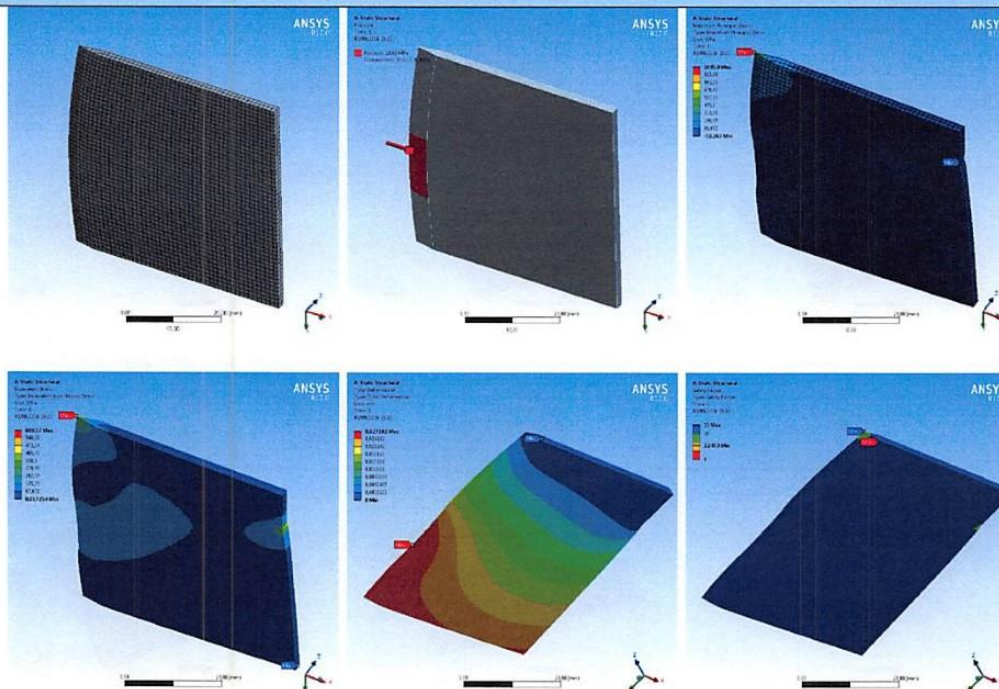
Carga mínima:	0Mpa	Carga Máxima:	19,62 Mpa
Esfuerzo Máximo:	370,8 Mpa	Esfuerzo Mínimo:	-26,889 Mpa
Esfuerzo Eq. Máximo	263,79 Mpa	Esfuerzo Eq. Mínimo	0,0089731 Mpa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación ultima:	0,01444 mm
Factor de Seg. Mínimo:	7,57	Factor de Seg. Máximo:	15



TABLA 3. SIMULACIÓN DEL ENSAYO PARA CUCHILLA CONVEXO TIPO CUÑA, CON MATERIAL ACERO K353 CON ANGULO DE ATAQUE DE 23 GRADOS

Fecha de ejecución	03/08/2016	Muestra de:	Cuchilla 52x50x2mm Material: Acero K353
Norma Aplicable	N/A		
Paquete Computacional:	ANSYS Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Edwin Morejón S.
		Revisado por:	Ing. Alvaro Corral
Aspecto Ratio Max:	10,454	Aspecto Ratio Min:	1,0095
Calidad del elemento mínimo:	0,34894	Calidad del elemento máximo:	0,99991
Cantidad de Nodos:	26255	Cantidad de elementos:	4606
Tiempo de procesamiento	8,23 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO



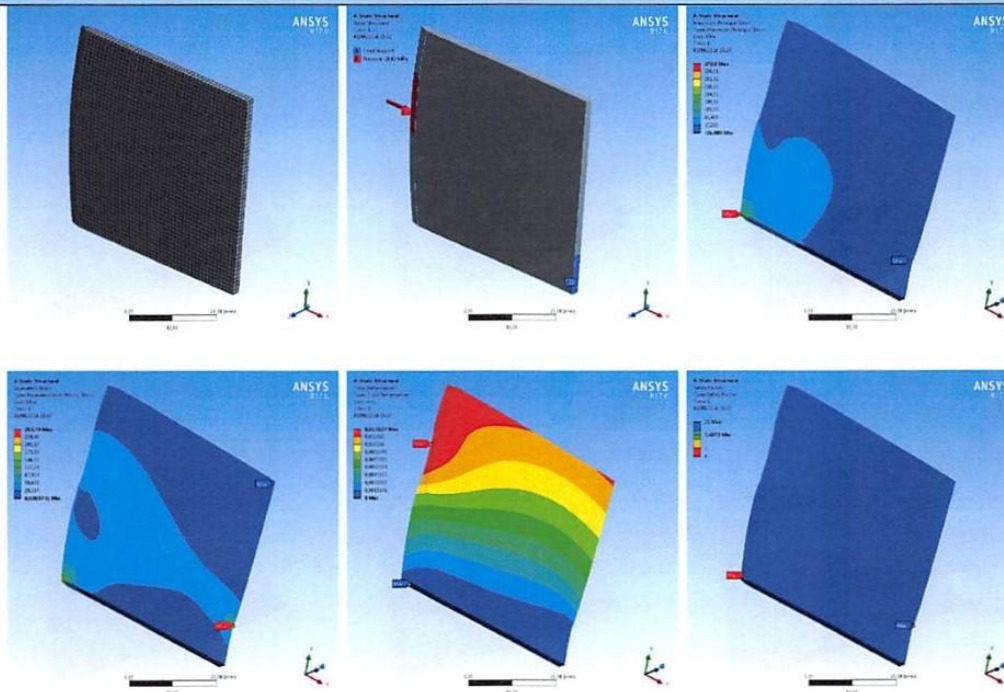
Carga mínima:	0Mpa	Carga Máxima:	19,62 Mpa
Esfuerzo Máximo:	1045,8 Mpa	Esfuerzo Mínimo:	-53,263 Mpa
Esfuerzo Eq. Máximo	608,57 Mpa	Esfuerzo Eq. Mínimo	0,017254 Mpa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación ultima:	0,027182 mm
Factor de Seg. Mínimo:	3,2453	Factor de Seg. Máximo:	15



TABLA 4. SIMULACIÓN DEL ENSAYO PARA CUCHILLA CONVEXO TIPO CUÑA, CON MATERIAL ACERO K353 CON ANGULO DE ATAQUE DE 45 GRADOS

Fecha de ejecución	03/08/2016	Muestra de:	Cuchilla 52x50x2mm Material: Acero K353
Norma Aplicable	N/A		
Paquete Computacional:	ANSYS Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Edwin Morejón S.
		Revisado por:	Ing. Alvaro Corral.
Aspecto Ratio Max:	2,9142	Aspecto Ratio Min:	1,0143
Calidad del elemento mínimo:	0,63764	Calidad del elemento máximo:	0,99972
Cantidad de Nodos:	26305	Cantidad de elementos:	4655
Tiempo de procesamiento	8,15 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO



Carga mínima:	0Mpa	Carga Máxima:	19,62 Mpa
Esfuerzo Máximo:	370,8 Mpa	Esfuerzo Mínimo:	-26,889 Mpa
Esfuerzo Eq. Máximo	263,79 Mpa	Esfuerzo Eq. Mínimo	0,00897 Mpa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación ultima:	0,0136 mm
Factor de Seg. Mínimo:	7,4872	Factor de Seg. Máximo:	15

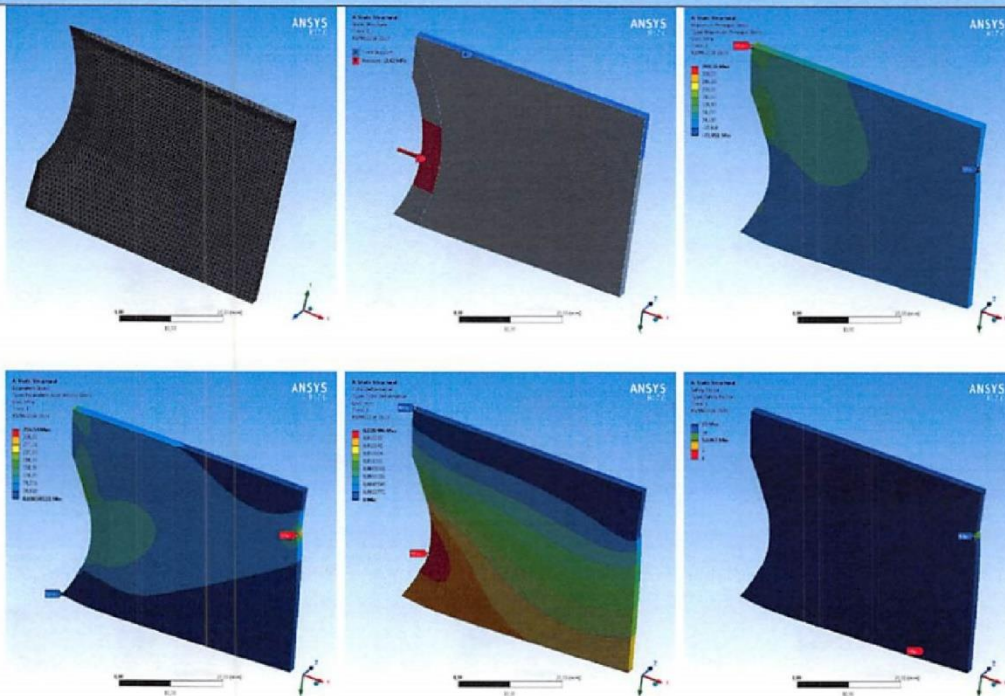




TABLA 5. SIMULACIÓN DEL ENSAYO PARA CUCHILLA CÓNCAVO TIPO CUÑA, CON MATERIAL ACERO K110 CON ANGULO DE ATAQUE DE 23 GRADOS

Fecha de ejecución	03/08/2016	Muestra de:	Cuchilla 52x50x2mm Material: Acero K110
Norma Aplicable	N/A		
Paquete Computacional:	ANSYS Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Edwin Morejón S.
		Revisado por:	Ing. Alvaro Corral
Aspecto Ratio Max:	16,156	Aspecto Ratio Min:	1,1914
Calidad del elemento mínimo:	0,11937	Calidad del elemento máximo:	0,99399
Cantidad de Nodos:	52302	Cantidad de elementos:	29504
Tiempo de procesamiento	20,12 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO



Carga mínima:	0Mpa	Carga Máxima:	19,62 Mpa
Esfuerzo Máximo:	390,36 Mpa	Esfuerzo Mínimo:	-77,951 Mpa
Esfuerzo Eq. Máximo	356,54 Mpa	Esfuerzo Eq. Mínimo	0,00059121 Mpa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación ultima:	0,020496 mm
Factor de Seg. Mínimo:	5,6	Factor de Seg. Máximo:	15

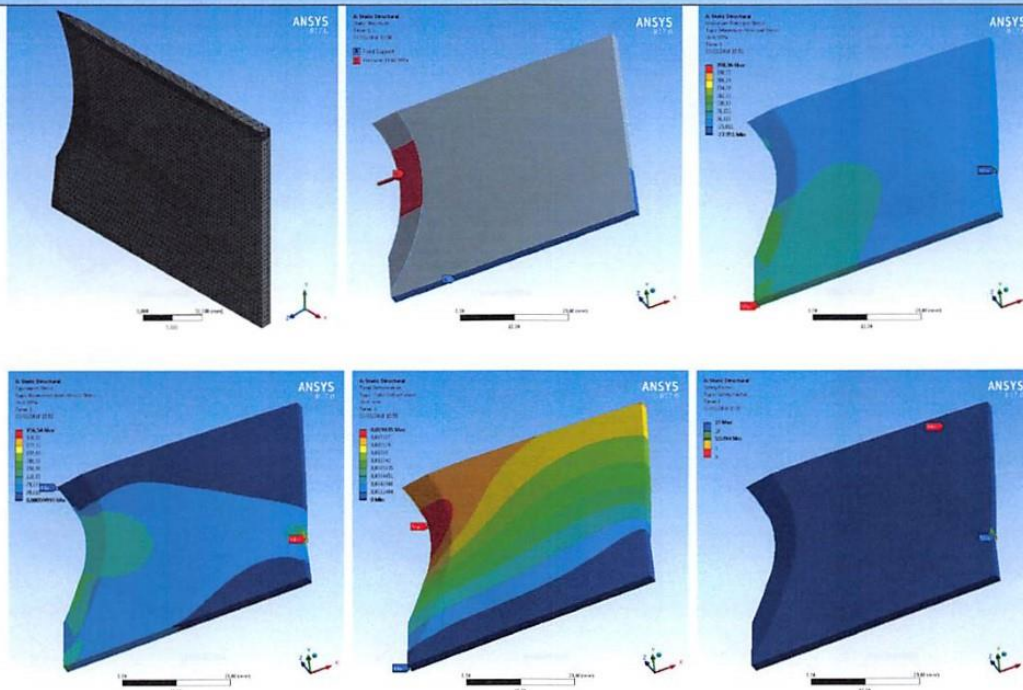




TABLA 6. SIMULACIÓN DEL ENSAYO PARA CUCHILLA CÓNCAVO TIPO CUÑA, CON MATERIAL ACERO K353 CON ANGULO DE ATAQUE DE 23 GRADOS

Fecha de ejecución	03/08/2016	Muestra de:	Cuchilla 52x50x2mm Material: Acero K353
Norma Aplicable	N/A		
Paquete Computacional:	ANSYS Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Edwin Morejón S.
		Revisado por:	Ing. Alvaro Corral.
Aspecto Ratio Max:	16,156	Aspecto Ratio Min:	1,1914
Calidad del elemento mínimo:	0,11937	Calidad del elemento máximo:	0,99399
Cantidad de Nodos:	52302	Cantidad de elementos:	29504
Tiempo de procesamiento	20,12 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO



Carga mínima:	0Mpa	Carga Máxima:	19,62 Mpa
Esfuerzo Máximo:	390,36 Mpa	Esfuerzo Mínimo:	-77,951 Mpa
Esfuerzo Eq. Máximo:	356,54 Mpa	Esfuerzo Eq. Mínimo:	0,00059993 Mpa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación ultima:	0,0193 mm
Factor de Seg. Mínimo:	5,53	Factor de Seg. Máximo:	15

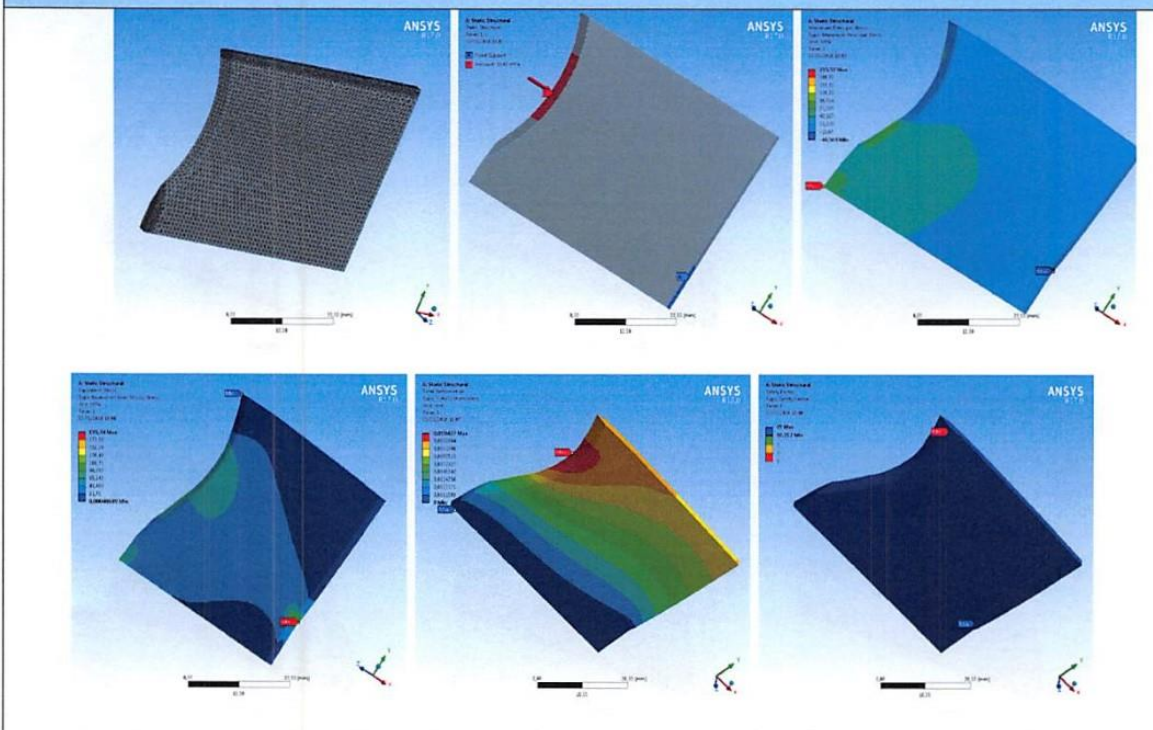




TABLA 7. SIMULACIÓN DEL ENSAYO PARA CUCHILLA CÓNCAVO TIPO CUÑA, CON MATERIAL ACERO K110 CON ANGULO DE ATAQUE DE 45 GRADOS

Fecha de ejecución	03/08/2016	Muestra de:	Cuchilla 52x50x2mm Material: Acero K110
Norma Aplicable	N/A		
Paquete Computacional:	ANSYS Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Edwin Morejón S.
		Revisado por:	Ing. Alvaro Corral.
Aspecto Ratio Max:	16,532	Aspecto Ratio Min:	1,1766
Calidad del elemento mínimo:	0,13471	Calidad del elemento máximo:	0,999
Cantidad de Nodos:	52004	Cantidad de elementos:	29367
Tiempo de procesamiento	13,96 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO



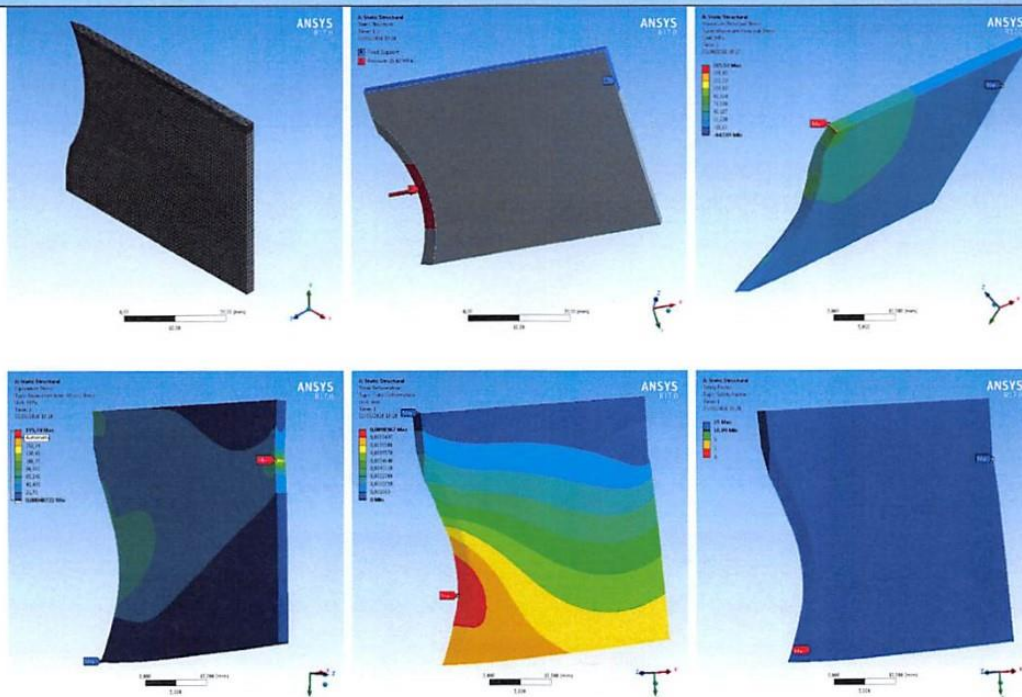
Carga mínima:	0Mpa	Carga Máxima:	19,62 Mpa
Esfuerzo Máximo:	215,52 Mpa	Esfuerzo Mínimo:	-44,569 Mpa
Esfuerzo Eq. Máximo:	195,74 Mpa	Esfuerzo Eq. Mínimo:	0,00048689 Mpa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación ultima:	0,0104 mm
Factor de Seg. Mínimo:	10,212	Factor de Seg. Máximo:	15



TABLA 8. SIMULACIÓN DEL ENSAYO PARA CUCHILLA CÓNCAVO TIPO CUÑA, CON MATERIAL ACERO K353 CON ANGULO DE ATAQUE DE 45 GRADOS

Fecha de ejecución	03/08/2016	Muestra de:	Cuchilla 52x50x2mm Material: Acero K353
Norma Aplicable	N/A		
Paquete Computacional:	ANSYS Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Edwin Morejón S.
		Revisado por:	Ing. Alvaro Corral
Aspecto Ratio Max:	16,532	Aspecto Ratio Min:	1,1766
Calidad del elemento mínimo:	0,13471	Calidad del elemento máximo:	0,999
Cantidad de Nodos:	52004	Cantidad de elementos:	29367
Tiempo de procesamiento	13,96 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO



Carga mínima:	0Mpa	Carga Máxima:	19,62 Mpa
Esfuerzo Máximo:	215,52 Mpa	Esfuerzo Mínimo:	-44,569 Mpa
Esfuerzo Eq. Máximo	195,74 Mpa	Esfuerzo Eq. Mínimo	0,00048722 Mpa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación ultima:	0,00983 mm
Factor de Seg. Mínimo:	10,09	Factor de Seg. Máximo:	15



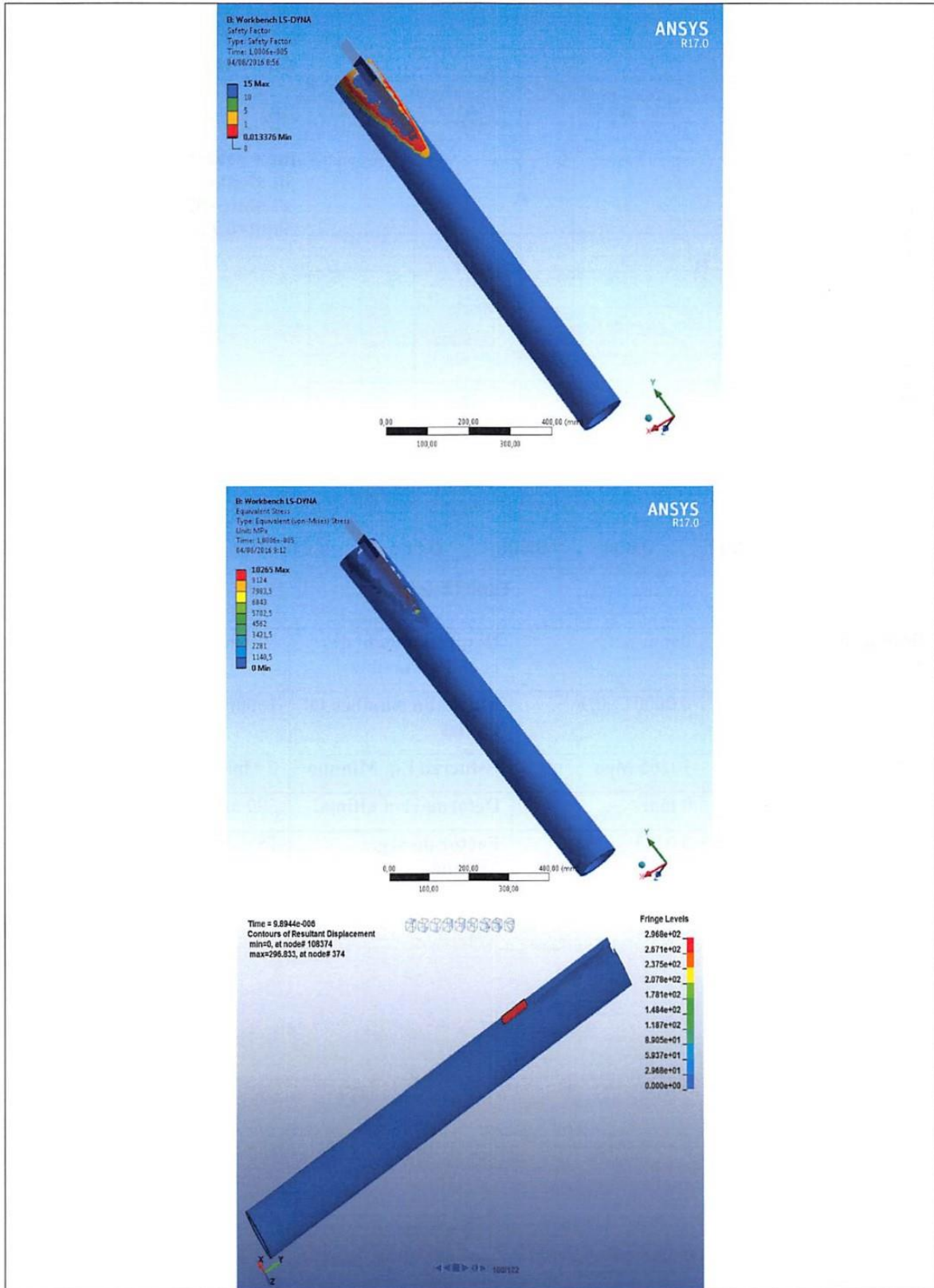


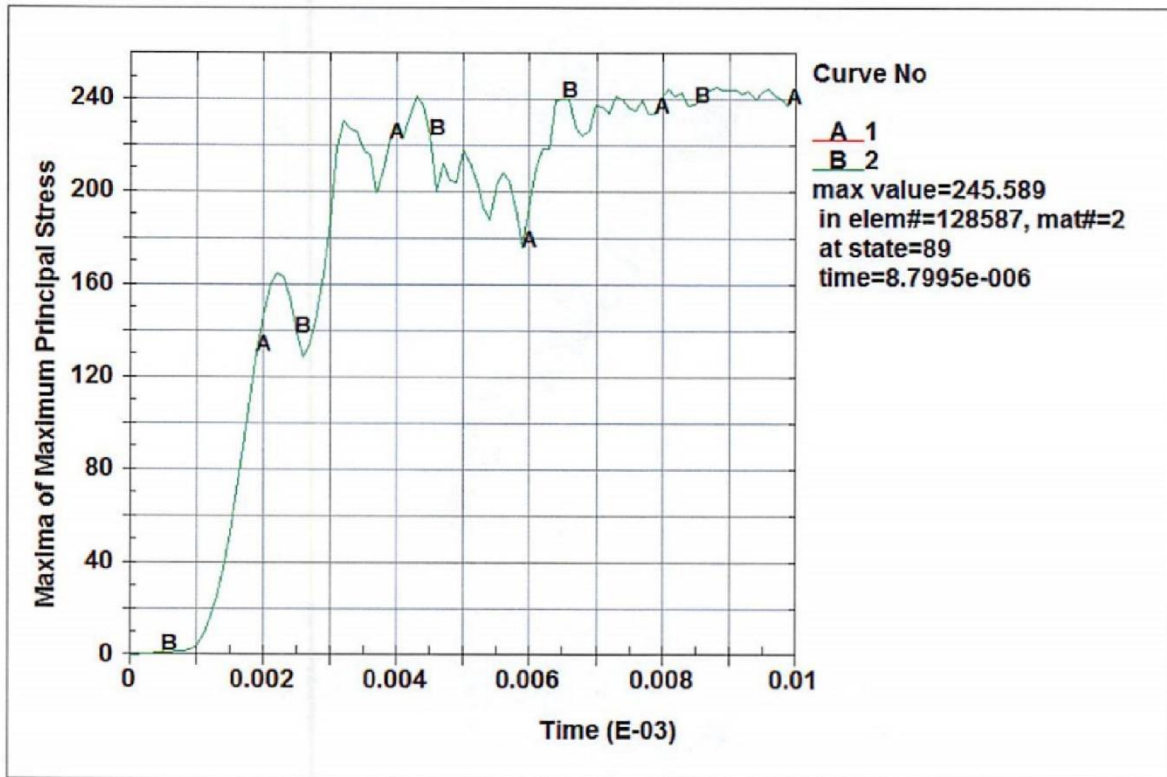
TABLA 9. SIMULACIÓN DEL ENSAYO DINAMICO PARA CUCHILLA CONVEXA TIPO CUÑA, CON MATERIAL ACERO K110 CON ANGULO DE ATAQUE DE 23 GRADOS PARA CORTAR CAÑA GUADUA

Fecha de ejecución	03/08/2016	Muestra de:	Cuchilla 52x50x2mm Material: Acero K110 y caña guadua
Norma Aplicable	N/A		
Paquete Computacional:	ANSYS Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Edwin Morejón S.
		Revisado por:	Ing. Alvaro Corral.
Aspecto Ratio Max:	83,154	Aspecto Ratio Min:	1,0663
Calidad del elemento mínimo:	5,0467e-002	Calidad del elemento máximo:	0,99768
Cantidad de Nodos:	175042	Cantidad de elementos:	139337
Tiempo de procesamiento	2 minutos y 57 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO







Desplazamiento de cuchilla mínimo:	0 mm	Desplazamiento de cuchilla Máxima:	300 mm
End Time / Time Step Safety Factor	0,00001 / 0,9	Maximun Number Of Cycles	10000000
Esfuerzo Eq. Máximo	10265 Mpa	Esfuerzo Eq. Mínimo	0 Mpa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación ultima:	300 mm
Factor de Seg. Mínimo:	0,0133	Factor de Seg. Máximo:	15

10. Conclusiones

Se obtuvo resultados de esfuerzos y deformaciones con las diferentes configuraciones geométricas (cóncava y convexa 23 - 45°) y los diferentes tipos de material K110, K353. En la geometría la cuchilla de forma cóncava presenta menores esfuerzos.

Por otro lado, el factor de seguridad para las dos cuchillas es aceptable y está dentro de los parámetros válidos de diseño.

En la simulación del ensayo para cuchilla convexa tipo cuña, con material acero K110, con ángulo de ataque de 23° para cortar caña guadua, se obtuvo un esfuerzo equivalente máximo de 10.265 Mpa y la cuchilla no presenta ningún esfuerzo considerable

11. Licencia

A continuación se muestra las especificaciones generales del equipamiento implementado en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H. Gobierno Provincial de Tungurahua:

Tipo de Software

CAE (ANSYS – LS DYNA) – Licencia Software de Ingeniería Asistida por Computadora.

Especificaciones:

=====

DISPLAY THE LICENSE STATUS:

ANSYS Licensing Interconnect path = 2325@FEA1-PC;2325@172.16.2.35

ANSYS FLEXlm license path = 1055@FEA1-PC;1055@172.16.2.35

***** Note: Due to a FLEXlm limitation, all tasks may not be found *****

***** LICENSE SERVER STATUS: 1055@FEA1-PC *****

lmutil - Copyright (c) 1989-2014 Flexera Software LLC. All Rights Reserved.

Flexible License Manager status on Wed 2/3/2016 10:36

[Detecting lmgrd processes...]

License server status: 1055@FEA1-PC

License file(s) on FEA1-PC: C:\Program Files\ANSYS Inc\Shared Files\Licensing\license_files\ansyslmd.lic:

FEA1-PC: license server UP (MASTER) v11.12.1

Vendor daemon status (on FEA1-PC):

ansyslmd: UP v11.12.1

Feature usage info:

Users of prfnls: (Total of 1 license issued; Total of 0 licenses in use)

Users of a_spaceclaim_dirmod: (Total of 1 license issued; Total of 0 licenses in use)

Users of anshpc: (Total of 4 licenses issued; Total of 0 licenses in use)

Users of dysmp: (Total of 8 licenses issued; Total of 0 licenses in use)

Users of dyna: (Total of 1 license issued; Total of 0 licenses in use)

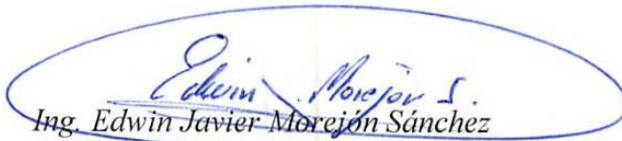


***** LICENSE SERVER STATUS: 1055@172.16.2.35 *****

Imutil - Copyright (c) 1989-2014 Flexera Software LLC. All Rights Reserved.

Flexible License Manager status on Wed 2/3/2016 10:36

Elaborado Por:



Ing. Edwin Javier Morejón Sánchez

Analista Técnico en Diseño y simulación Estructural

Centro de Fomento Productivo Metal-mecánico Carrocero

H. Gobierno Provincial de Tungurahua

Revisado Por:



Ing. Alvaro Corral

Supervisor de Investigación Desarrollo e Investigación

Centro de Fomento Productivo Metal-mecánico Carrocero

H. Gobierno Provincial de Tungurahua



Ambato, 8 de Agosto de 2016

No. Factura: 001-002-1283

ANEXO C.

NORMA ASTM D 143



Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000)^{ε1}

Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber¹

This standard is issued under the fixed designation D 143; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

^{ε1} **NOTE**—Keywords were added in April 2000.

INTRODUCTION

The need to classify wood species by evaluating the physical and mechanical properties of small clear specimens has always existed. Because of the great variety of species, variability of the material, continually changing conditions of supply, many factors affecting test results, and ease of comparing variables, the need will undoubtedly continue to exist.

In the preparation of these methods for testing small clear specimens, consideration was given both to the desirability of adopting methods that would yield results comparable to those already available and to the possibility of embodying such improvements as experience has shown desirable. In view of the many thousands of tests made under a single comprehensive plan by the U.S. Forest Service, the former Forest Products Laboratories of Canada (now Forintek Canada Corp.), and other similar organizations, the methods naturally conform closely to the methods used by these institutions. These methods are the outgrowth of a study of both American and European experience and methods. The general adoption of these methods will tend toward a world-wide unification of results, permitting an interchange and correlation of data, and establishing the basis for a cumulative body of fundamental information on the timber species of the world.

Descriptions of some of the strength tests refer to primary methods and secondary methods. Primary methods provide for specimens of 2 by 2-in. (50 by 50-mm) cross-section. This size of specimen has been extensively used for the evaluation of various mechanical and physical properties of different species of wood, and a large number of data based on this primary method have been obtained and published.

The 2 by 2-in. (50 by 50-mm) size has the advantage in that it embraces a number of growth rings, is less influenced by earlywood and latewood differences than smaller size specimens, and is large enough to represent a considerable portion of the sampled material. It is advisable to use primary method specimens wherever possible. There are circumstances, however, when it is difficult or impossible to obtain clear specimens of 2 by 2-in. cross section having the required 30 in. (760 mm) length for static bending tests. With the increasing incidence of smaller second growth trees, and the desirability in certain situations to evaluate a material which is too small to provide a 2 by 2-in. cross-section, a secondary method which utilizes a 1 by 1-in. (25 by 25-mm) cross section has been included. This cross section is established for compression parallel to grain and static bending tests, while the 2 by 2-in. cross-section is retained for impact bending, compression perpendicular to grain, hardness, shear parallel to grain, cleavage, and tension perpendicular to grain. Toughness and tension parallel to grain are special tests using specimens of smaller cross section.

The user is cautioned that test results between two different sizes of specimens are not necessarily directly comparable. Guidance on the effect of specimen size on a property being evaluated is beyond the scope of these methods, and should be sought elsewhere.

Where the application, measurement, or recording of load and deflection can be accomplished using electronic equipment and computerized apparatus, such devices are encouraged, providing they do not lower the standard of accuracy and reliability available with basic mechanical equipment.

1. Scope

1.1 These methods cover the determination of various strength and related properties of wood by testing small clear specimens.

1.1.1 These methods represent procedures for evaluating the different mechanical and physical properties, controlling factors such as specimen size, moisture content, temperature, and rate of loading.

1.1.2 Sampling and collection of material is discussed in Practice D 5536. Sample data, computation sheets, and cards have been incorporated, which were of assistance to the investigator in systematizing records.

1.1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI values are given in parentheses and are provided for information only. When a weight is prescribed, the basic inch-pound unit of weight (lbf) and the basic SI unit of mass (Kg) are cited.

1.2 The procedures for the various tests appear in the following order:

	Sections
Photographs of Specimens	5
Control of Moisture Content and Temperature	6
Record of Heartwood and Sapwood	7
Static Bending	8
Compression Parallel to Grain	9
Impact Bending	10
Toughness	11
Compression Perpendicular to Grain	12
Hardness	13
Shear Parallel to Grain	14
Cleavage	15
Tension Parallel to Grain	16
Tension Perpendicular to Grain	17
Nail Withdrawal	18
Specific Gravity and Shrinkage in Volume	19
Radial and Tangential Shrinkage	20
Moisture Determination	21
Permissible Variations	22
Calibration	23

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

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*
 D 198 Methods for Static Tests of Timbers in Structural Sizes²
 D 2395 Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials²
 D 3043 Methods of Testing Structural Panels in Flexure²
 D 3500 Test Method for Structural Panels in Tension²
 D 4442 Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials²

¹ These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D7 on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee D07.01 on Fundamental Test Methods and Properties.

Current edition approved May 15, 1994. Published July 1994. Originally published as D 143 – 22 T. Last previous edition D 143 – 83.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.10.

D 4761 Test Method for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material²

D 5536 Practice for Sampling the Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

3. Summary of Methods

3.1 The mechanical tests are static bending, compression parallel to grain, impact bending toughness, compression perpendicular to grain, hardness, shear parallel to grain (Note 1), cleavage, tension parallel to grain, tension-perpendicular-to-grain, and nail-withdrawal tests. These tests may be made on both green and air-dry material as specified in these methods. In addition, methods for evaluating such physical properties as specific gravity, shrinkage in volume, radial shrinkage, and tangential shrinkage are presented.

NOTE 1—The test for shearing strength perpendicular to the grain (sometimes termed “vertical shear”) is not included as one of the principal mechanical tests since in such a test the strength is limited by the shearing resistance parallel to the grain.

4. Significance and Use

4.1 These methods cover tests on small clear specimens of wood that are made to provide the following:

4.1.1 Data for comparing the mechanical properties of various species.

4.1.2 Data for the establishment of correct strength functions, which in conjunction with results of tests of timbers in structural sizes (see Methods D 198 and Test Method D 4761), afford a basis for establishing allowable stresses, and

4.1.3 Data to determine the influence on the mechanical properties of such factors as density, locality of growth, position in cross section, height of timber in the tree, change of properties with seasoning or treatment with chemicals, and change from sapwood to heartwood.

5. Photographs of Specimens

5.1 Four of the static bending specimens from each species shall be selected for photographing, as follows: two average growth, one fast growth, and one slow growth. These specimens shall be photographed in cross section and on the radial and tangential surfaces. Fig. 1 is a typical photograph of a cross section of 2 by 2-in. (50 by 50-mm) test specimens, and Fig. 2 is the tangential surface of such specimens.

6. Control of Moisture Content and Temperature

6.1 In recognition of the significant influence of temperature and moisture content on the strength of wood, it is highly desirable that these factors be controlled to ensure comparable test results.

6.2 *Control of Moisture Content*—Specimens for the test in the air-dry condition shall be dried to approximately constant weight before test. Should any changes in moisture content occur during final preparation of specimens, the specimens shall be reconditioned to constant weight before test. Tests shall be carried out in such manner that large changes in

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

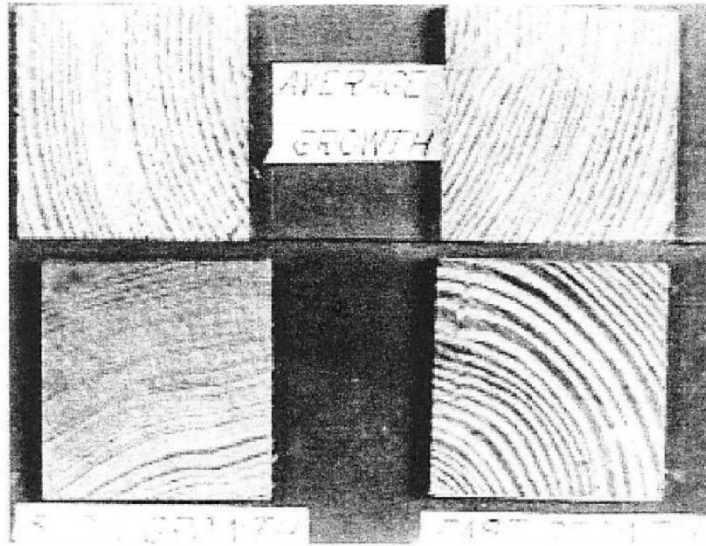


FIG. 1 Cross Sections of Bending Specimens Showing Different Rates of Growth of Longleaf Pine (2 by 2-in. (50 by 50-mm) Specimens)

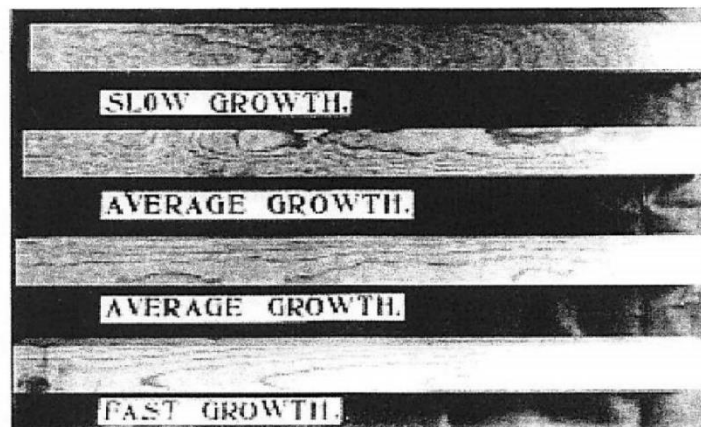


FIG. 2 Tangential Surfaces of Bending Specimens of Different Rates of Growth of Jeffrey Pine 2 by 2-in. (50 by 50 by 760-mm) Specimens

moisture content will not occur. To prevent such changes, it is desirable that the testing room and rooms for preparation of test specimens have some means of humidity control.

6.3 *Control of Temperature*—Temperature and relative humidity together affect wood strength by fixing its equilibrium moisture content. The mechanical properties of wood are also affected by temperature alone. When tested, the specimens shall be at a temperature of $68 \pm 6^\circ\text{F}$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$). The temperature at the time of test shall in all instances be recorded as a specific part of the test record.

7. Record of Heartwood and Sapwood

7.1 *Proportion of Sapwood*—The estimated proportion of sapwood present should be recorded for each test specimen.

8. Static Bending

8.1 *Size of Specimens*—The static bending tests shall be made on 2 by 2 by 30 in. (50 by 50 by 760 mm) primary

method specimens or 1 by 1 by 16 in. (25 by 25 by 410 mm) secondary method specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

8.2 *Loading Span and Supports*—Use center loading and a span length of 28 in. (710 mm) for the primary method and 14 in. (360 mm) for the secondary method. These spans were established in order to maintain a minimum span-to-depth ratio of 14. Both supporting knife edges shall be provided with bearing plates and rollers of such thickness that the distance from the point of support to the central plane is not greater than the depth of the specimen (Fig. 3). The knife edges shall be adjustable laterally to permit adjustment for slight twist in the specimen (Note 2).

NOTE 2—Details of laterally adjustable supports may be found in Fig. 1 of Methods D 3043.

8.3 *Bearing Block*—A bearing block of the form and size of that shown in Fig. 4 shall be used for applying the load for

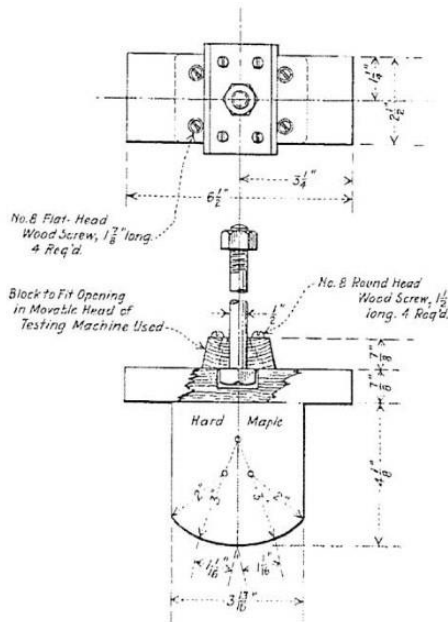


FIG. 4 Details of Bearing Block for Static Bending Tests

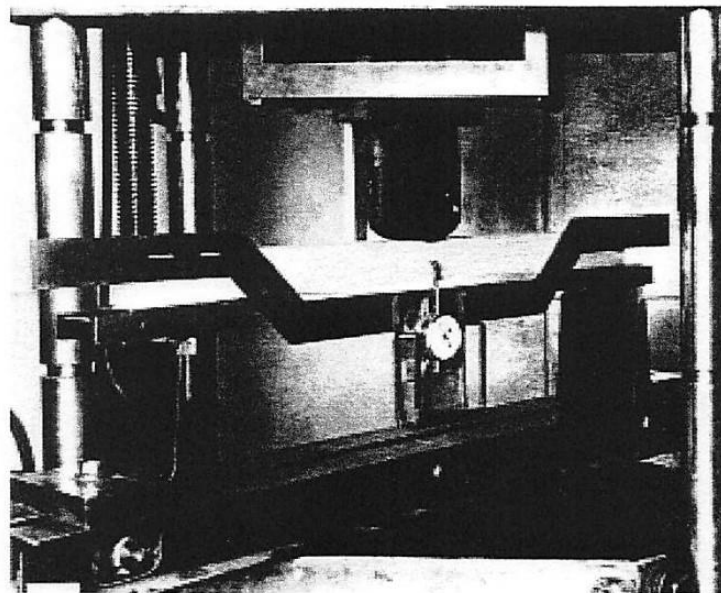


FIG. 3 Static Bending Test Assembly Showing Method of Load Application, Specimen Supported on Rollers and Laterally Adjustable Knife Edges, and Method of Measuring Deflection at Neutral Axis by Means of Yoke and Dial Attachment (Adjustable scale mounted on loading head is used to measure increments of deformation beyond the dial capacity.)

primary method specimens. A block having a radius of 1½ in. (38 mm) for a chord length of not less than 2 in. (50 mm) shall be used for secondary method specimens.

8.4 *Placement of Growth Rings*—The specimen shall be placed so that the load will be applied through the bearing block to the tangential surface nearest the pith.

8.5 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable

crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3). for primary method specimens, and at a rate of 0.05 in. (1.3 mm)/min for secondary method specimens.

8.6 *Load-Deflection Curves:*

8.6.1 Load-deflection curves shall be recorded to or beyond the maximum load for all static bending tests. The curves shall be continued to a 6 in. (150 mm) deflection, or until the specimen fails to support a load of 200 lbf (890 N) for primary method specimens and to a 3 in. (76 mm) deflection or until the specimen fails to support a load of 50 lbf (220 N) for secondary method specimens.

8.6.2 Deflections of the neutral plane at the center of the length shall be taken with respect to points in the neutral plane above the supports. Alternatively, deflection may be taken relative to the tension surface at midspan. However, take care to ensure that vertical displacements which may occur at the reactions are accounted for.

8.6.3 Within the proportional limit, deflection readings shall be taken to 0.001 in. (0.02 mm). After the proportional limit is reached, less refinement is necessary in observing deflections, but it is convenient to read them by means of the dial gage (Fig. 3) until it reaches the limit of its capacity, normally approxi-

mately 1 in. (25 mm). Where deflections beyond 1 in. are encountered, the deflections may be measured by means of the scale mounted on the loading head (Fig. 3) and a wire mounted at the neutral axis of the specimen of the side opposite the yoke. Deflections are read to the nearest 0.01 in. (0.2 mm) at 0.10 in. (2.5 mm) intervals and also after abrupt changes in load.

ASPM D 143 - 94 (2000)^{e1}

8.6.4 The load and deflection of first failure, the maximum load, and points of sudden change shall be read and shown on the curve sheet (Note 3) although they may not occur at one of the regular load or deflection increments.

the failure develops (Fig. 6). The fractured surfaces may be roughly divided into "brash" and "fibrous", the term "brash" indicating abrupt failure and "fibrous" indicating a fracture showing splinters.

NOTE 3—See Fig. 5 for a sample static bending data sheet form.

8.8 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be

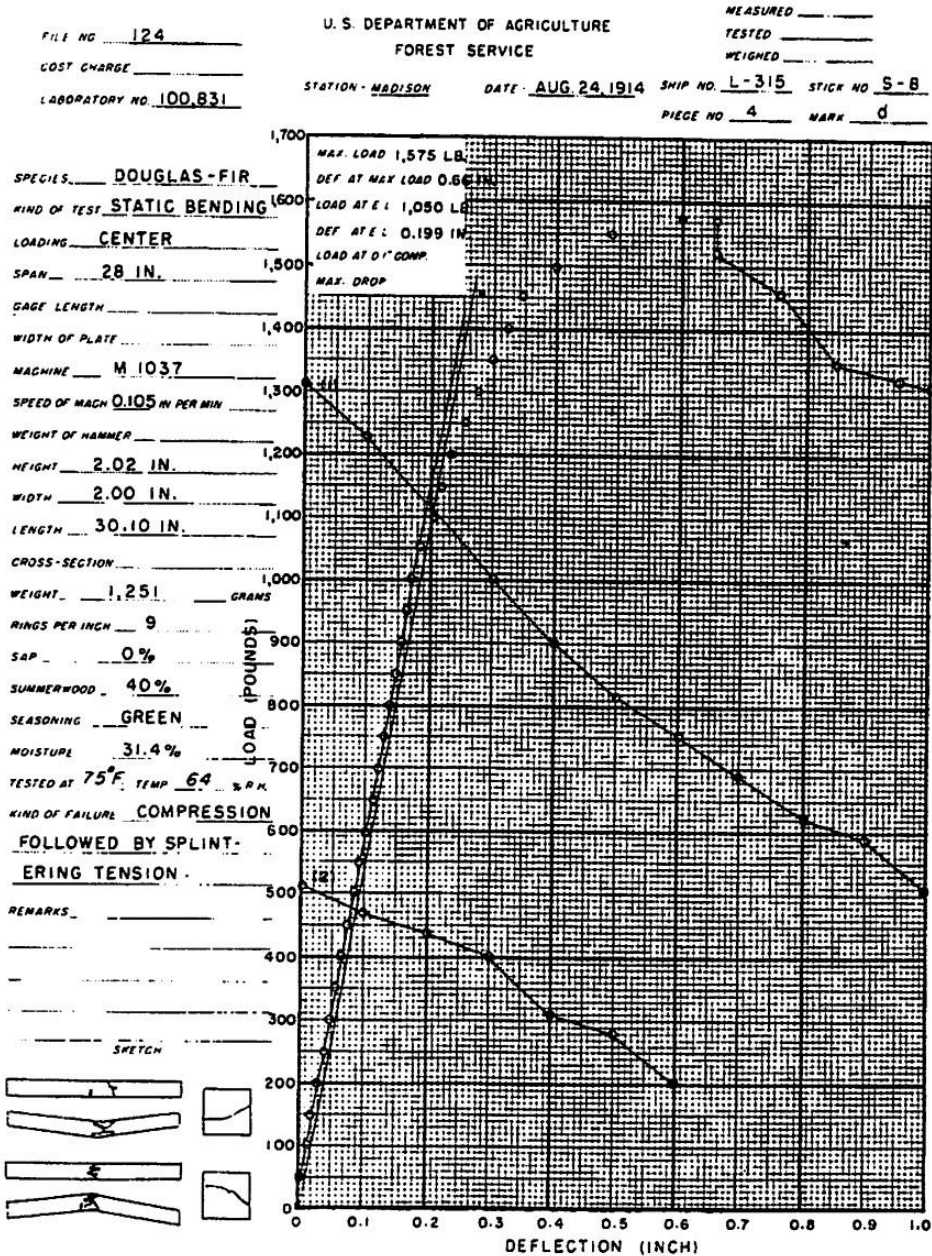
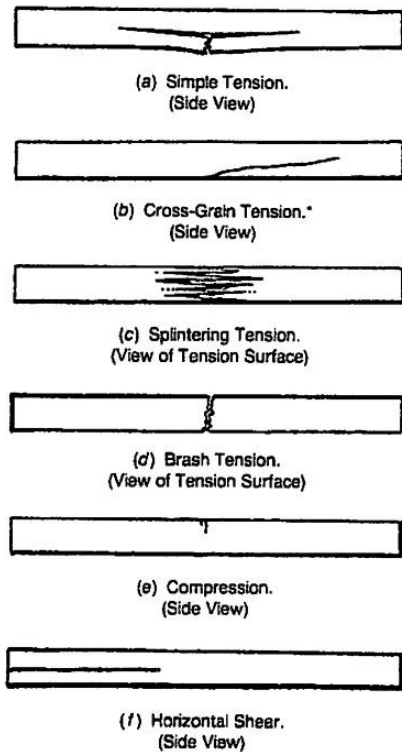


FIG. 5 Sample Data Sheet for Static Bending Test

8.7 *Description of Static Bending Failures*—Static bending (flexural) failures shall be classified in accordance with the appearance of the fractured surface and the manner in which

weighed immediately before test, and after the test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut from the specimen near the point of failure. (see 21.1 and 22.1).



NOTE 1—The term “cross grain” shall be considered to include all deviations of grain from the direction of the longitudinal axis or longitudinal edges of the specimen. It should be noted that spiral grain may be present even to a serious extent without being evident from a casual observation.

NOTE 2—The presence of cross grain have a slope that deviates more than 1 in 20 from the longitudinal edges of the specimen shall be cause for culling the test.

FIG. 6 Types of Failures in Static Bending

9. Compression Parallel to Grain

9.1 *Size of Specimens*—The compression-parallel-to-grain tests shall be made on 2 by 2 by 8 in. (50 by 50 by 200 mm) primary method specimens, or 1 by 1 by 4 in. (25 by 25 by 100 mm) secondary method specimens. The actual cross-sectional dimensions and the length shall be measured (see 22.2).

9.2 *End Surfaces Parallel*—Special care shall be used in preparing the compression-parallel-to-grain test specimens to ensure that the end grain surfaces will be parallel to each other and at right angles to the longitudinal axis. At least one platen of the testing machine shall be equipped with a spherical bearing to obtain uniform distribution of load over the ends of the specimen.

9.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.003 in./in. (mm/mm) of nominal specimen length/min (see 22.3).

9.4 Load-Compression Curves:

9.4.1 Load-compression curves shall be taken over a central gage length not exceeding 6 in. (150 mm) for primary method specimens, and 2 in. (50 mm) for secondary method speci-

mens. Load-compression readings shall be continued until the proportional limit is well passed, as indicated by the curve (Note 4).

NOTE 4—See Fig. 7 for a sample compression-parallel-to-grain data sheet form.

9.4.2 Deformations shall be read to 0.0001 in. (0.002 mm).

9.4.3 Figs. 8 and 9 illustrate two types of compressometers that have been found satisfactory for wood testing. Similar apparatus is available for measurements of compression over a 2 in. (50 mm) gage length.

9.5 *Position of Test Failures*—In order to obtain satisfactory and uniform results, it is necessary that the failures be made to develop in the body of the specimen. With specimens of uniform cross section, this result can best be obtained when the ends are at a very slightly lower moisture content than the body. With green material, it will usually suffice to close-pile the specimens, cover the body with a damp cloth, and expose the ends for a short time. For dry material, it may sometimes be advisable to pile the specimens in a similar manner and place them in a desiccator, should the failures in test indicate that a slight end-drying is necessary.

9.6 *Descriptions of Compression Failures*—Compression failures shall be classified in accordance with the appearance of the fractured surface (Fig. 10). In case two or more kinds of failures develop, all shall be described in the order of their occurrence; for example, shearing followed by brooming. The failure shall also be sketched in its proper position on the data sheet.

9.7 *Weight and Moisture Content*—See 8.8.

9.8 *Ring and Latewood Measurement*—When practicable, the number of rings per inch (average ring width in millimetres) and the proportion of summerwood shall be measured over a representative inch (centimetre) of cross section of the test specimen. In determining the proportion of summerwood, it is essential that the end surface be prepared so as to permit accurate latewood measurement. When the fibers are broomed over at the ends from sawing, a light sanding, planing, or similar treatment of the ends is recommended.

10. Impact Bending

10.1 *Size of Specimens*—The impact bending tests shall be made on 2 by 2 by 30 in. (50 by 50 by 760 mm) specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

10.2 *Loading and Span*—Use center loading and a span length of 28 in. (710 mm).

10.3 *Bearing Block*—A metal tup of curvature corresponding to the bearing block shown in Fig. 4 shall be used in applying the load.

10.4 *Placement of Growth Rings*—The specimen shall be placed so that the load will be applied through the bearing block to the tangential surface nearest the pith.

10.5 *Procedure*—Make the tests by increment drops in a Hatt-Turner or similar impact machine (see Fig. 11). The first drop shall be 1 in. (25 mm), after which increase the drops by 1 in. increments until a height of 10 in. (250 mm) is reached. Then use a 2 in. (50 mm) increment until complete failure occurs or a 6 in. (150 mm) deflection is reached.

ASTM D 143 - 94 (2000) e1

FILE NO. 124
 COST CHARGE _____
 LABORATORY NO. B71.902

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE

MEASURED _____
 TESTED _____
 WEIGHED _____

STATION MADISON DATE NOV. 5, 1943 SHIP NO. 1590 STICK NO. S-5
 PIECE NO. 5 MARK d

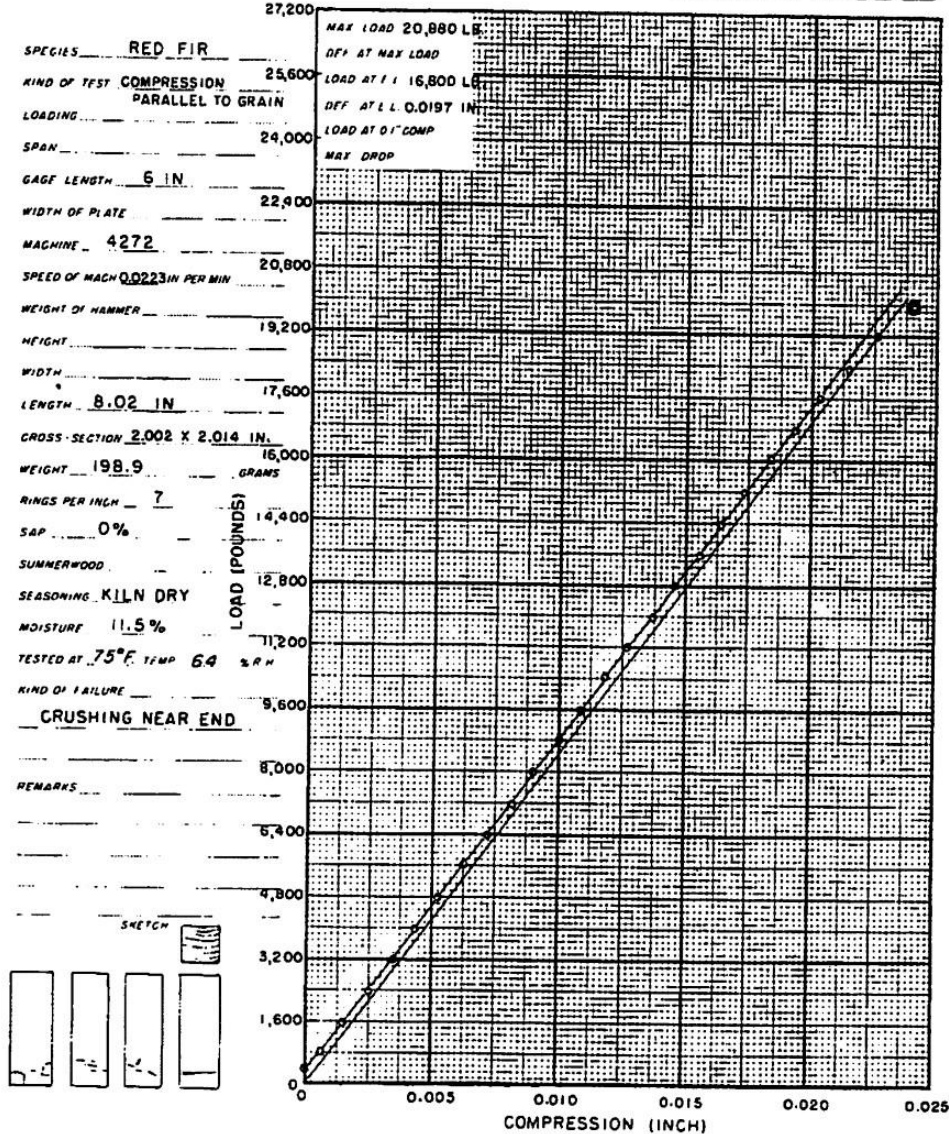


FIG. 7 Sample Data Sheet for Compression-Parallel-to-Grain Test

10.6 *Weight of Hammer*—A 50 lbf (22.5 kg) hammer shall be used when, with drops up to the capacity of the machine (about 68 in. (1.7 m) for the small Hatt-Turner impact machine), it is practically certain that complete failure or a 6 in. (150 mm) deflection will result for all specimens of a species. For all other cases, a 100 lbf (45 kg) hammer shall be used.

10.7 *Deflection Records*—When desired, graphical drum records (Note 5) giving the deflection for each drop and the set, if any, shall be made until the first failure occurs. This record will also afford data from which the exact height of drop can be scaled for at least the first four falls.

NOTE 5—See Fig. 12 for a sample drum record.

10.8 *Drop Causing Failure*—The height of drop causing either complete failure or a 6 in. (150 mm) deflection shall be observed for each specimen.

10.9 *Description of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 6) and described in accordance with the directions for static bending in 8.7.

NOTE 6—See Fig. 13 for a sample impact bending data sheet form. Fig. 14 shows a sample data and computation card.

10.10 *Weight and Moisture Content*—See 8.8.

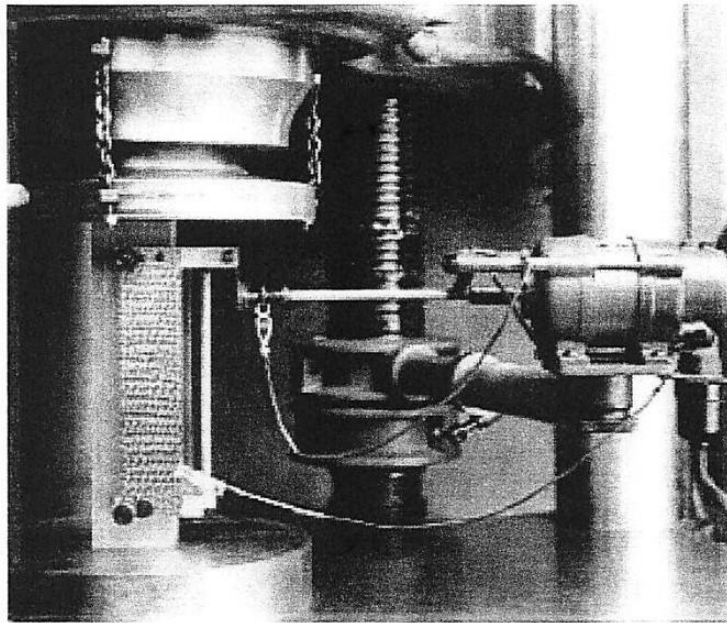


FIG. 8 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Using an Automatic Type of Compressometer to Measure Deformations (The wire in the lower right-hand corner connects the compressometer with the recording unit.)

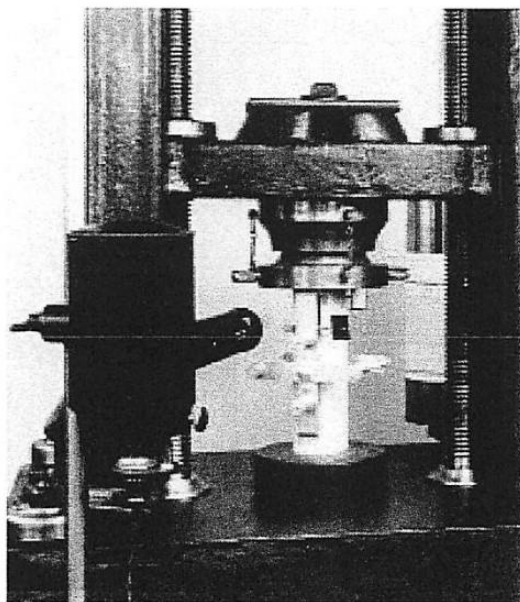


FIG. 9 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Measuring Deformations by Means of Roller-Type Compressometer

11. Toughness

11.1 A single-blow impact test on a small specimen is recognized as a valuable and desirable test. Several types of machines such as the Toughness, Izod and Amsler have been used, but insufficient information is available to decide whether one procedure is superior to another, or whether the results by the different methods can be directly correlated. If the Toughness machine is used, the following procedure has been found

satisfactory. To aid in standardization and to facilitate comparisons, the size of the toughness specimen has been made equal to that accepted internationally.

11.2 *Size of Specimen*—The toughness tests shall be made on 0.79 by 0.79 by 11 in. (20 by 20 by 280 mm) specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

11.3 *Loading and Span*—Center loading and a span length of 9.47 in. (240 mm) shall be used. The load shall be applied to a radial or tangential surface on alternate specimens.

11.4 *Bearing Block*—An aluminum tup (Fig. 15) having a radius of $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) shall be used in applying the load.

11.5 *Apparatus and Procedure*—Make the tests in a pendulum type toughness machine (Note 7) (See Fig. 15). Adjust the machine before test so that the pendulum hangs vertically, and adjust it to compensate for friction. Adjust the cable so that the load is applied to the specimen when the pendulum swings to 15° from the vertical, so as to produce complete failure by the time the downward swing is completed. Choose the weight position and initial angle (30° , 45° , or 60°) of the pendulum, so that complete failure of the specimen is obtained on one drop. Most satisfactory results are obtained when the difference between the initial and final angle is at least 10° .

NOTE 7—Many pendulum-type toughness machines are based on a design developed and used at the USDA Forest Products Laboratory in Madison, Wisconsin.

11.6 *Calculation*—The initial and final angle shall be read to the nearest 0.1° by means of the vernier (Fig. 15) attached to the machine (Note 8).

NOTE 8—See Fig. 16 for sample data and computation sheet for the toughness test.

The toughness shall then be calculated as follows:

$$T = wL(\cos A_2 - \cos A_1) \quad (1)$$

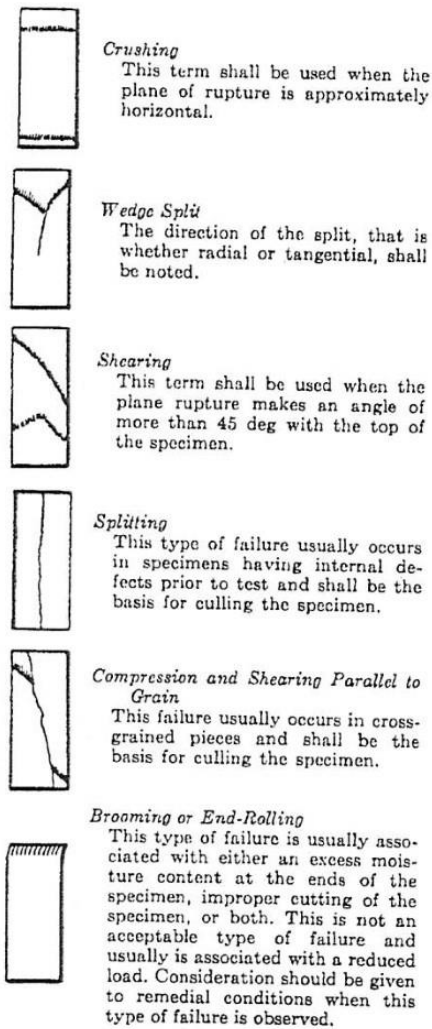


FIG. 10 Types of Failures in Compression

where:

- T = toughness (work per specimen, in. · lbf (Nm),
- w = weight of pendulum, lbf (N).
- L = distance from center of the supporting axis to center of gravity of the pendulum, in. (m).
- A_1 = initial angle (Note 9), degrees, and
- A_2 = final angle the pendulum makes with the vertical after failure of the test specimen, degrees.

NOTE 9—Since friction is compensated for in the machine adjustment, the initial angle may be regarded as exactly 30, 45, or 60°, as the case may be.

11.7 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before test, and after test a moisture section approximately 2 in. (50 mm) in length shall be cut from the specimen near the failure (see 21.1 and 22.1).

12. Compression Perpendicular to Grain

12.1 *Size of Specimens*—The compression-perpendicular-to-grain tests shall be made on 2 by 2 by 6 in. (50 by 50 by 150 mm) specimens. The actual height, width, and length shall be measured (see 22.2).

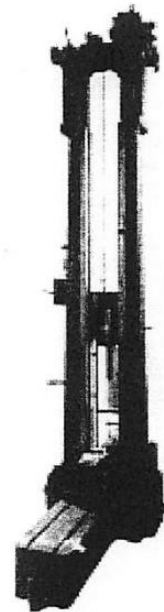


FIG. 11 Hatt-Turner Impact Machine, Illustrating Method of Conducting Impact Bending Test

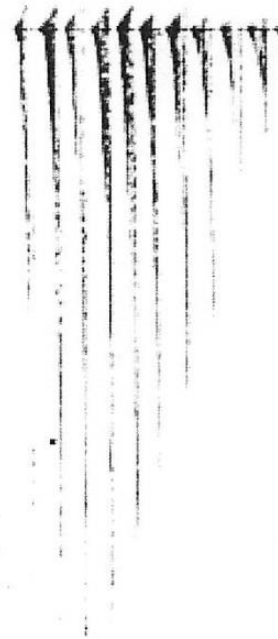


FIG. 12 Sample Drum Record of Impact Bending Test

12.2 *Loading*—The load shall be applied through a metal bearing plate 2 in. (50 mm) in width, placed across the upper surface of the specimen at equal distances from the ends and at right angles to the length (Fig. 17). The actual width of the bearing plate shall be measured (see 22.2).

ASPM D 143 - 94 (2000)^{e1}

FILE NO. 124
 COST CHARGE _____
 LABORATORY NO. 101151

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE

STATION MADISON DATE AUG 26, 1914 SHIP NO. L-315 STICK NO. E-12
 MEASURED _____ TESTED _____ WEIGHED _____
 PIECE NO. _____ MARK C

SPECIES DOUGLAS-FIR
 KIND OF TEST IMPACT BENDING
 LOADING CENTER
 SPAN 28 IN.
 GAGE LENGTH _____
 WIDTH OF PLATE _____
 MACHINE HATT-TURNER
 SPEED OF MACH _____ IN PER MIN.
 WEIGHT OF HAMMER 50 LB.
 HEIGHT 2.00 IN.
 WIDTH 2.00 IN.
 LENGTH 29.94 IN.
 CROSS-SECTION _____
 WEIGHT 1,370 GRAMS
 RINGS PER INCH 8
 SAP 100 %
 SUMMERWOOD 30 %
 SEASONING GREEN
 MOISTURE 61.4 %
 TESTED AT 75° F TEMP 64 % RH
 KIND OF FAILURE COMPRESSION
FOLLOWED BY SPLINTERING
 TENSION _____
 REMARKS _____

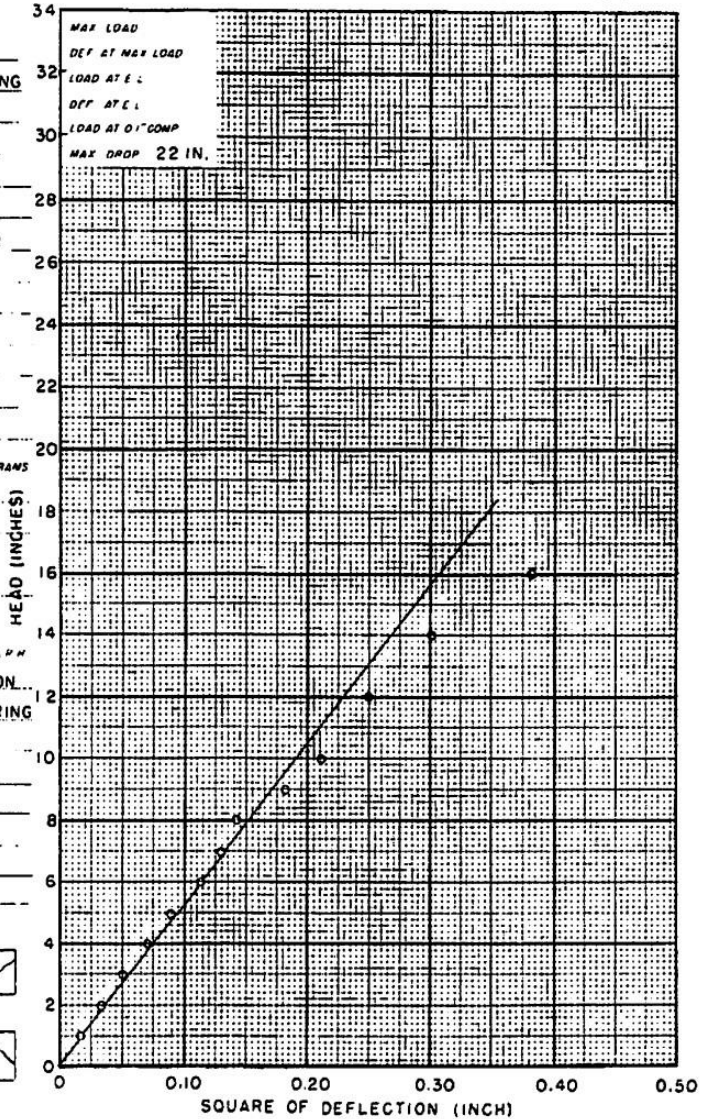
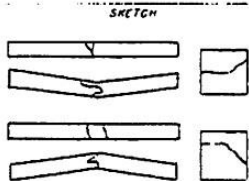


FIG. 13 Sample Data Sheet for Impact Bending Test

12.3 *Placement of Growth Rings*—The specimens shall be placed so that the load will be applied through the bearing plate to a radial surface.

12.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.012 in. (0.305 mm)/min (see 22.3).

12.5 *Load-Compression Curves:*

12.5.1 *Load-compression curves* (Note 10) shall be taken for all specimens up to 0.1 in. (2.5 mm) compression, after which the test shall be discontinued. Compression shall be measured between the loading surfaces.

NOTE 10—See Fig. 18 for a sample compression-perpendicular-to-grain data sheet form.

12.5.2 *Deflection readings* shall be taken to 0.0001 in. (0.002 mm).

12.6 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before test, and after test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut adjacent to the part under load (see 21.1 and 22.1).

IMPACT BENDING

L-315 (Mat. No.) E-12 (Spec. No.) Station **MADISON** Date **Aug. 20, 1914** 101151 (Lab. No.)
 (Spec. No.) (Mark)

Species **Douglas Fir** Grade **Clear** Seasoning **Green** (Project No.)

Rings **8** Sap **100** % Summerwood **30** % Moisture **61.4** %

Hammer **50** lbs. Span **28.0** in. Length **29.94** in. Height **2.00** in. Width **2.00** in. Weight **1370** g.

Drop No.	Drop	Defl.	Dev't	Str.	Drop No.	Drop	Defl.	Dev't	Str.	Sp. Gr. (air test)
1	1.0	0.15	0.017		11	12.0	0.50	0.250		0.698
2	2.0	0.18	0.032		12	14.0	0.55	0.302		0.432
3	3.0	0.22	0.046		13	16.0	0.62	0.368		P. S. at E. L., 10.610
4	4.0	0.26	0.068		14	18.0	0.67	0.593		M. of E., 1776
5	5.0	0.30	0.090		15					E. Test., 3.51
6	6.0	0.34	0.116		16					Max. Drop, 22 in.
7	7.0	0.36	0.130		17					S., 0.010
8	8.0	0.38	0.144		18					H, 7.88
9	9.0	0.43	0.185		19					Δ, 0.39
10	10.0	0.46	0.212		20					

Failure: Compression Followed by Splintering Tension.

FIG. 14 Sample Data and Computation Card for Impact Bending Test

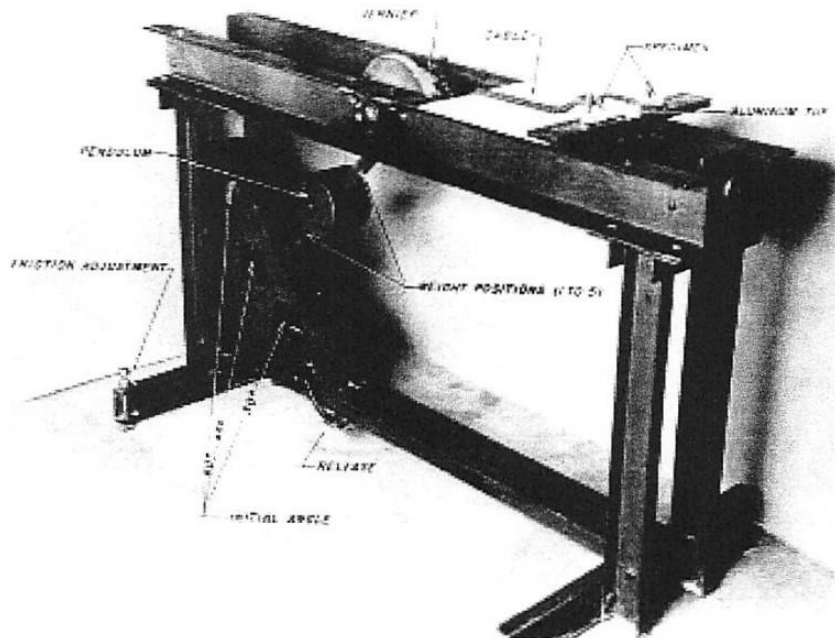


FIG. 15 Toughness Test Assembly

13. Hardness

13.1 *Size of Specimens*—The hardness tests shall be made on 2 by 2 by 6 in. (50 by 50 by 150 mm) specimens. The actual cross-sectional dimensions and length shall be measured (see 22.2).

13.2 *Procedure*—Use the modified ball test with a “ball” 0.444 in. (11.3 mm) in diameter for determining hardness (Fig. 19). The projected area of the ball on the test specimen is 1 cm². Record the load at which the ball has penetrated to one half its diameter, as determined by an electric circuit indicator or by the tightening of the collar against the specimen.

13.3 *Number of Penetrations*—Two penetrations shall be made on a tangential surface, two on a radial surface, and one

on each end. The choice between the two radial and between the two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. The penetrations shall be far enough from the edge to prevent splitting or chipping (Note 11).

NOTE 11—See Fig. 20 for a sample data and computation sheet for hardness test.

13.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.25 in. (6 mm/min) (see 22.3).

ASTM D 143 - 94 (2000)^{e1}

TOUGHNESS

STICK NO.	LAB NO.	DIMENSIONS L' x H' x B'	WEIGHT GM	MOIST %	SP GR	POSITION OF			INITIAL ANGLE D	FINAL ANGLE D	TOUGHNESS PNEU. FOUND	REMARKS	
						RINGS W		HEIGHT					
						RAD.	TANG.						
									3	45			
22E-3-D-1	785A	11.02 X 7.94 X .797	53.80	32.0	.357					32	30	143.8	
	2786A	11.02 X 7.89 X .790	52.54	31.8	.354					31	56	149.7	
22E-5-C-1	787A	11.02 X 7.92 X .793	53.56	35.7	.347					33	10	136.8	
	2788A	11.02 X 7.94 X .793	53.00	39.6	.333					34	4	127.6	

* "RAD." LOAD APPLIED TO RADIAL FACE. "TANG." LOAD APPLIED TO TANGENTIAL FACE.

FIG. 16 Sample Data and Computation Sheet for Toughness Test

13.5 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before the test, and after the test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut (see 21.1 and 22.1).

14. Shear Parallel to Grain

14.1 This section describes one method of making the shear-parallel-to-grain test that has been extensively used and found satisfactory.

14.2 *Size of Specimens*—The shear-parallel-to-grain tests shall be made on a 2 by 2 by 2-1/2 in. (50 by 50 by 63 mm) specimens notched in accordance with Fig. 21 to produce failure on a 2 by 2 in. (50 by 50 mm) surface. The actual dimensions of the shearing surface shall be measured (see 22.2).

14.3 *Procedure*—Use a shear tool similar to that illustrated in Fig. 22, providing a 1/8 in. (3 mm) offset between the inner edge of the supporting surface and the plane of the adjacent edge of the loading surface. Apply the load to and support the

specimen on end-grain surfaces. Take care in placing the specimen in the shear tool to see that the crossbar is adjusted, so that the edges of the specimen are vertical and the end rests evenly on the support over the contact area. Observe the maximum load only.

14.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.024 in. (0.6 mm)/min (see 22.3).

14.5 *Test Failures*—The failure shall be sketched on the datasheet (Note 12). In all cases where the failure at the base of the specimen extends back onto the supporting surface, the test shall be culled.

NOTE 12—See Fig. 23 for a sample data and computation sheet for the tangential-shear-parallel-to-grain test.

14.6 *Moisture Content*—The portion of the test piece that is sheared off shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

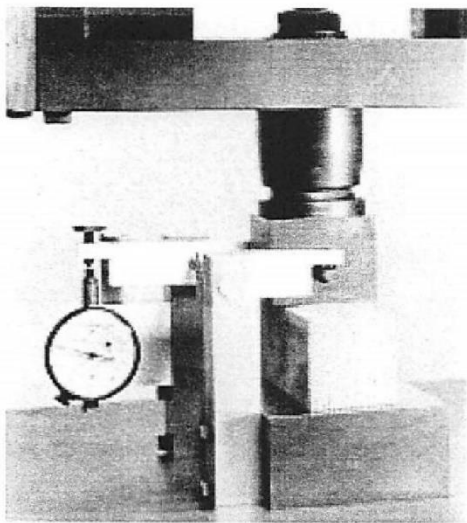


FIG. 17 Compression-Perpendicular-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application and Measurement of Deformation by Means of Averaging-Type Compressometer

15. Cleavage

15.1 *Size of Specimens*—The cleavage tests shall be made on specimens of the form and size in accordance with Fig. 24. The actual width and length at minimum section shall be measured (see 22.2).

15.2 *Procedure*—The specimens shall be held during test in grips as shown in Figs. 25 and 26. Observe the maximum load only.

15.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3).

15.4 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 13).

NOTE 13—See Fig. 27 for a sample data and computation sheet for the cleavage test.

15.5 *Moisture Content*—One of the pieces remaining after failure, or a section split along the surface of failure, shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

16. Tension Parallel to Grain

16.1 One method of determining the tension-parallel-to-grain strength of wood is given in the following procedure.

16.2 *Size of Specimens*—The tension-parallel-to-grain tests shall be made on specimens of the size and shape in accordance with Fig. 28. The specimen shall be so oriented that the direction of the annual rings at the critical section on the ends of the specimens, shall be perpendicular to the greater cross-sectional dimension. The actual cross-sectional dimensions at minimum section shall be measured (see 22.2).

16.3 Procedure:

16.3.1 Fasten the specimen in special grips (Fig. 29). Deformation shall be measured over a 2 in. (50 mm) central gage length on all specimens. Take load-extension readings until the proportional limit is passed.

16.3.2 Read deformations to 0.0001 in. (0.002 mm).

16.3.3 Fig. 29 illustrates gripping devices and a type of extensometer that have been found satisfactory.

16.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.05 in (1mm)/min (see 22.3).

16.5 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 14).

NOTE 14—See Fig. 30 for a sample tension-parallel-to-grain data and computation sheet.

16.6 *Moisture Content*—A moisture section about 3 in. (76 mm) in length shall be cut from the reduced section near the failure (see 21.1 and 22.1).

17. Tension Perpendicular to Grain

17.1 *Size of Specimens*—The tension-perpendicular-to-grain tests shall be made on specimens of the size and shape in accordance with Fig. 31. The actual width and length at minimum sections shall be measured (see 22.2).

17.2 *Procedure*—Fasten the specimens during test in grips as shown in Figs. 32 and 33. Observe the maximum load only.

17.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3).

17.4 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 15).

NOTE 15—See Fig. 34 for a sample data and computation sheet for the tension-perpendicular-to-grain test.

17.5 *Moisture Content*—One of the pieces remaining after failure or a section split along the surface of failure, shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

18. Nail Withdrawal

18.1 *Nails*—Nails used for withdrawal tests shall be 0.0985 in. (2.5 mm) in diameter (Note 16). Bright diamond-point nails shall be used. All nails shall be cleaned before use to remove any coating or surface film that may be present as a result of manufacturing operations. Each nail shall be used once.

NOTE 16—A fivepenny common nail meets this requirement. If difficulty is experienced with high-density woods in pulling the nails without breaking the heads, a sevenpenny cement-coated sinker nail with coating removed by use of a suitable solvent, may be used.

18.2 *Preparation of Specimens*—Nails shall be driven at right angles to the face of the specimen to a total penetration of 1¼ in. (32 mm). Two nails shall be driven on a tangential surface, two on a radial surface, and one on each end. The choice between the two radial and two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. On radial and tangential faces, the nails shall be driven a sufficient distance from the edges and ends of the specimen to avoid splitting. In general, nails should not be driven closer than ¾ in. (19 mm) from the edge or 1½ in. (38 mm) from the end of a piece. The two nails on a radial or tangential face should not be driven in line with each other or less than 2 in. (50 mm) apart.

18.3 *Procedure*—Withdraw all six nails in a single specimen immediately after driving. Fasten the specimens during the test in grips as shown in Figs. 35 and 36. Observe the maximum load only (Note 16).

PLF NO. 124
 COST CHARGE _____
 LABORATORY NO. 871.520

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE

MEASURED _____
 TESTED _____
 WEIGHED _____

STATION - MADISON DATE - OCT. 25, 1943 SHIP NO. 1590 STICK NO. N-6
 PIECE NO. 4 MARK C

SPECIES RED FIR
 KIND OF TEST COMPRESSION
 LOADING PERPENDICULAR TO GRAIN
 SPAN 6,000
 GAGE LENGTH _____
 WIDTH OF PLATE 2 IN.
 MACHINE 4270
 SPEED OF MACH. 0.0121 IN PER MIN
 WEIGHT OF HAMMER _____
 HEIGHT 2.015 IN.
 WIDTH 2.012 IN.
 LENGTH 6.07 IN.
 CROSS-SECTION _____
 WEIGHT 175.3 GRAMS
 RINGS PER INCH 25
 SAP _____
 SUMMERWOOD _____
 SEASONING KILN DRY
 MOISTURE 10.8 %
 TESTED AT 75° F. TEMP 64 % R.H.
 KIND OF FAILURE _____
 REMARKS _____
 SKETCH _____

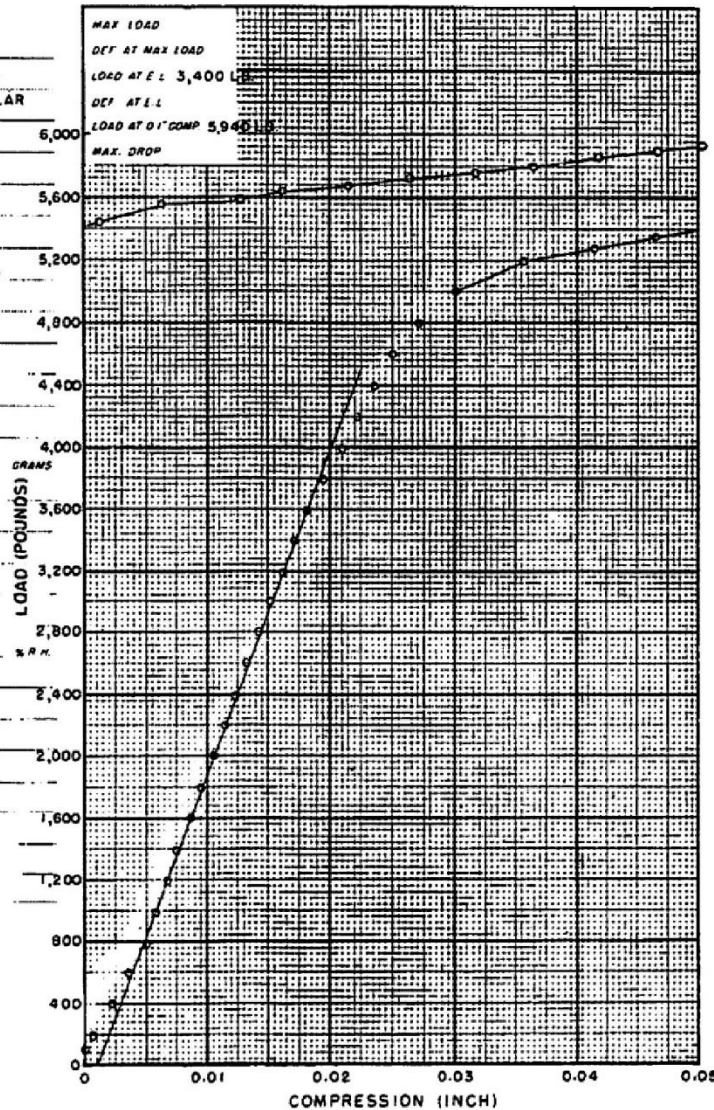


FIG. 18 Sample Data Sheet for Compression-Perpendicular-to-Grain Test

NOTE 17—See Fig. 37 for sample nail-withdrawal test data sheet form.

18.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.075 in. (2 mm)/min (see 22.3).

18.5 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before driving the nails. After the test, a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut from specimen (see 21.1 and 22.1).

19. Specific Gravity and Shrinkage in Volume (Note 17)

NOTE 18—Other methods of determining specific gravity using specimens of different shape, size, and moisture content are found in Test Methods D 2395.

19.1 *Size of Specimens*—The specific gravity and shrinkage in volume tests shall be made on green 2 by 2 by 6 in. (50 by 50 by 150 mm) specimens. The actual cross-sectional dimensions and length shall be measured (see 22.2).

19.2 *Procedure:*

19.2.1 Obtain both specific gravity and shrinkage-in-volume determinations on the same specimen. Make these determinations at approximately 12 % moisture content and at the oven-dry condition (Test Methods D 2395).

19.2.2 A carbon impression of the end of the green specimen may be made on the back of the data sheet (Note 18). In like manner, a carbon impression of the same end may be made after the specimen has been conditioned.

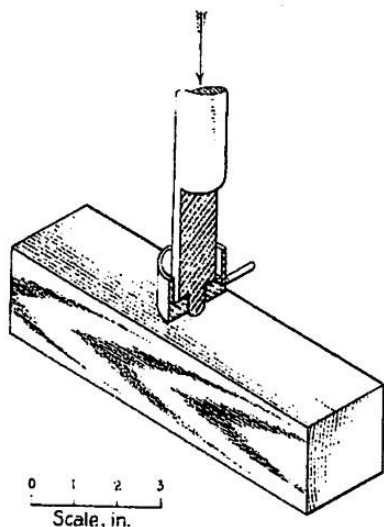


FIG. 19 Diagrammatic Sketch of Method of Conducting Hardness Test

NOTE 19—See Fig. 38 for a sample data and computation sheet for the specific gravity and shrinkage-in-volume test.

19.2.3 Weigh the specimen when green (see 22.1) and determine the volume by the immersion method in accordance with the procedures of Test Methods D 2395.

19.2.4 Open-pile the green specimens after immersion and allow them to air-season under room conditions to a uniform moisture content of approximately 12%. The specimens should then be weighed and the volume determined by the immersion method.

19.2.5 Then, open-pile the specimens used for specific gravity and shrinkage determinations at 12% moisture content, or duplicate specimens on which green weight and volume measurements have been made prior to conditioning to approximately 12% moisture content in an oven. Dry at $103 \pm 2^\circ\text{C}$ until approximately constant mass is reached (Test Methods D 4442).

19.2.6 After oven-drying, weigh the specimens (see 22.1) and while still warm, immerse them in a hot paraffin bath, taking care to remove them quickly to ensure a thin coating.

19.2.7 Determine the volume of the paraffin-coated specimen by immersion as before.

19.2.8 Fig. 39 illustrates the apparatus used in determining the specific gravity and shrinkage in volume. The use of an automatic balance will facilitate increased rapidity and accuracy of measurements.

20. Radial and Tangential Shrinkage

20.1 *Size of Specimens*—The radial and tangential shrinkage determinations shall be made on green 1 by 4 by 1 in. (25 by 100 by 25 mm) specimens cut from 1 by 4-in. (25 by 100-mm) boards, edge grain and flat grain, respectively.

20.2 *Initial Measurement*—The length of all specimens shall be measured.

20.3 *Weight*—The specimen shall be weighed when green and after subsequent oven-drying (see 21.1).

20.4 *Drying*:

20.4.1 The green specimens shall be open-piled and allowed to air-season under room conditions to a uniform moisture content of approximately 12%.

20.4.2 After weighing and measuring, the specimens shall then be open-piled in an oven and dried at $103 \pm 2^\circ\text{C}$ until approximately constant mass is attained (Test Methods D 4442).

20.5 *Final Measurement*—Measurements of mass and length shall be made on the oven-dry specimens (see Note 18).

NOTE 20—See Fig. 40 for a sample data and computation sheet for the radial and tangential-shrinkage test.

20.6 *Method of Measurement*—Fig. 41 illustrates the method of making the radial and tangential shrinkage measurements. An ordinary micrometer of required accuracy is suitable for this work (see 22.2).

21. Moisture Determination

21.1 *Selection*—The sample for moisture determinations of each test specimen shall be selected as described for each test.

21.2 *Weighing*—Immediately after obtaining the moisture sample, all loose splinters shall be removed and the sample shall be weighed (see 22.1).

21.3 *Drying*—The moisture samples shall be open-piled in an oven and dried at a temperature of $103 \pm 2^\circ\text{C}$ until approximately constant mass is attained, after which the oven-dry mass shall be determined.

21.4 *Moisture Content*—The loss in mass, expressed in percent of the oven-dry mass as determined, shall be considered the moisture content of the specimen.

22. Mass and Permissible Variations

22.1 *Mass*—The mass of test specimens and of moisture samples shall be determined to an accuracy of not less than 0.2%.

22.2 *Measurements*—Measurements of test specimens shall be made to an accuracy of not less than 0.3%, except that in no case shall the measurements be made to less than 0.01 in. (0.25 mm). However, measurements of radial and tangential shrinkage specimens shall be made to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

22.3 *Testing Machine Speeds*—The testing machine speed used should not vary by more than 25% from that specified for a given test. If the specified speed cannot be obtained, the speed used shall be recorded on the data sheet. The crosshead speed shall mean the free-running or no-load speed of crosshead for testing machines of the mechanical drive type and the loaded crosshead speed for testing machines of the hydraulic loading type.

23. Calibration

23.1 All apparatus used in obtaining data shall be calibrated at sufficiently frequent intervals to ensure accuracy (Practices E 4).

24. Precision and Bias

24.1 Statements of precision and bias for the tests have not yet been developed.

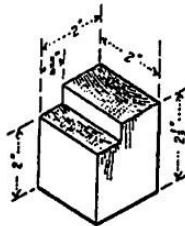
D 143 - 94 (2000)^{e1}

HARDNESS

STATION -- *M0010P*
 SPECIES *PACIFIC SILVER FIR* SHIPMENT NO. *1,651*
 PROJECT *STR 11* SEASONING *GREEN* MEASURED BY _____
 COST CHARGE *01-3-005* MACHINE SPEED *0.244* WEIGHED BY _____
 LABORATORY NOS *268,281A-280A* MACHINE NO *4,271* TESTED BY _____
 DATE *JAN. 31, 1951* TEMP. *75* °F REL HUMIDITY *64* %

STICK NO	DIMENSIONS L" X W" X H"	WEIGHT GM	MOIST %	SP GR	HARDNESS			REMARKS	SKETCH
					RADIAL SURFACE LB	TANGENTIAL SURFACE LB	END SURFACE LB		
23-N-7-D	6.02 X 1.996 X 1.994	241.3	47.5	.416	530	470	465		
					500	515	530		
					AVERAGE	515	492		
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					504				
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
23-E-8-C	6.04 X 1.992 X 1.992	273.3	71.1	.406	370	455	510		
					415	435	555		
					AVERAGE	392	445		
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					418				
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									

FIG. 20 Sample Data and Computation Sheet for Hardness Test



Metric Equivalents			
in.	3/4	2	2 1/2
mm	20	50	63

FIG. 21 Shear-Parallel-to-Grain Test Specimen

25. Keywords

25.1 clear specimens: small clear specimens; timber: wood

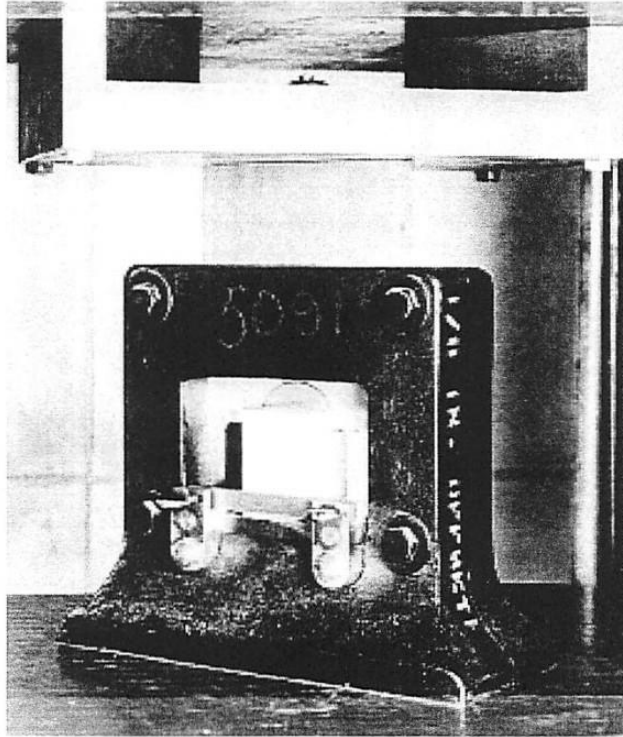


FIG. 22 Shear-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application Through Adjustable Seat to Provide Uniform Lateral Distribution of Load

D 143 - 94 (2000)^{e1}

SHEAR

STATION - *Madison*

SPECIES *PACIFIC SILVER FIR* SHIPMENT NO. *1.651*

PROJECT *SIF. 1L* SEASONING *GREEN* MEASURED BY _____

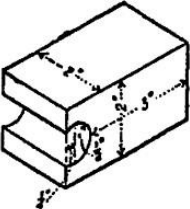
COST CHARGE *01-3-005* MACHINE SPEED *0.0215* WEIGHED BY _____

LABORATORY NOS *267029A-029A* MACHINE NO. *4.271* TESTED BY _____

DATE *JAN. 16, 1951* TEMP *75* °F. REL HUMIDITY *64* %

STICK NO.	SHEARING SURFACE	SHEARING AREA L" X W"	MAXIMUM LOAD LB.	SHEARING STRENGTH P.S.I.	MOISTURE CONTENT %	REMARKS	SKETCH
22-N-2-d	R.	2.016 X 2.000	2770	687	40.1		
22-N-6-d	T.	2.020 X 1.998	2775	688	41.1		

FIG. 23 Sample Data and Computation Sheet for Shear-Parallel-to-Grain Test



Metric Equivalents				
in.	¼	½	2	3
mm	6	13	50	76

FIG. 24 Cleavage Test Specimen

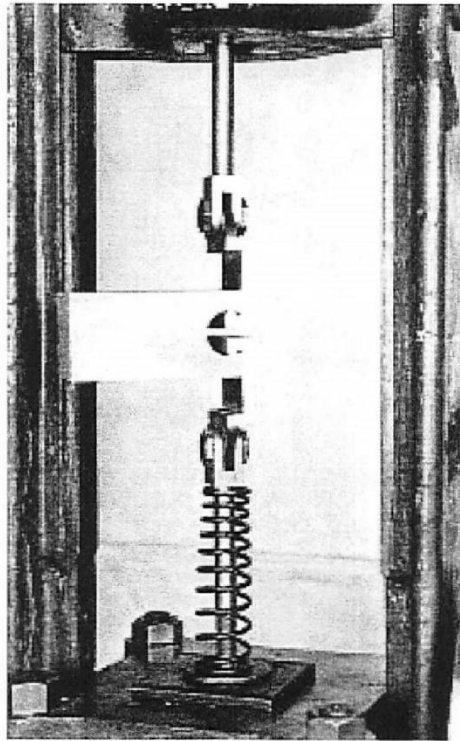
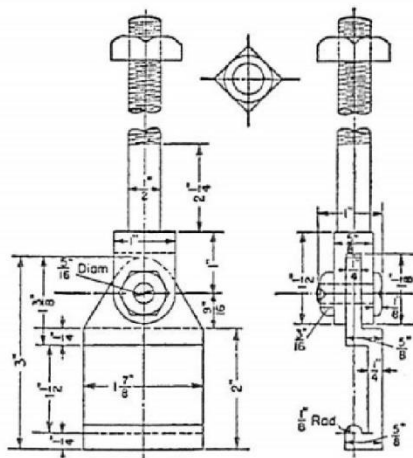


FIG. 25 Cleavage Test Assembly



NOTE 1—Two pieces included in one set:
 One piece with shank 8 in. long.
 One piece with shank 5 1/2 in. long.

Metric Equivalents			
in.	mm	in.	mm
1/8	3	1 3/8	35
3/16	4.8	1 1/2	38
1/4	6	1 7/8	48
5/16	8	2	50
1/2	13	2 1/4	57
9/16	14	3	76
5/8	16	5 1/2	140
1	25	8	200
1 1/8	28		


FIG. 26 Design Details of Grips for Cleavage Test

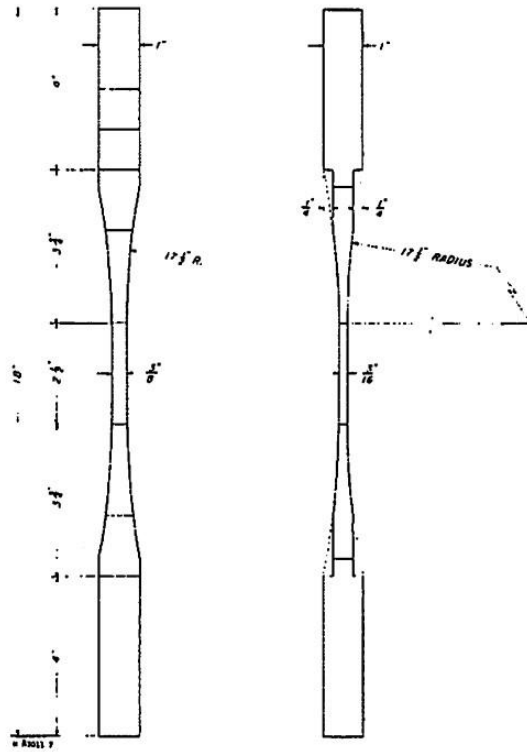
FIG. 27 Sample Data and Computation Sheet for Cleavage Test

STICK NO	CLEAVAGE SURFACE	CLEAVAGE AREA	LOAD	LB	LB	MOISTURE	REMARKS	SKETCH
		IN ² W	PSI			%		
22-N-6-D	R	3.03 X 2.007	315	157	36.9			
22-N-6-D	T	3.03 X 2.007	330	165	38.5			

PROJECT: SILVER PINE
 SPECIES: PACIFIC SILVER FIR
 STATION: Madison
 SHIPMENT NO.: 1651
 COST CHARGE: 01-3-005
 LABORATORY NOS: 267036A-041A
 MACHINE NO.: 4269
 MACHINING SPEED: 0.1110
 MEASURED BY: _____
 WEIGHED BY: _____
 TESTED BY: _____
 DATE: JAN. 17, 1951
 TEMP: 75 °F. REL. HUMIDITY: 64%

CLEAVAGE

 D 143 - 94 (2000)^{e1}



		Metric Equivalents							
in.	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	1	$2\frac{1}{2}$	$3\frac{3}{4}$	4	$17\frac{1}{2}$	18
mm	4.8	6.3	9.5	25	63	95	100	444	460

FIG. 28 Tension-Parallel-to-Grain Test Specimen

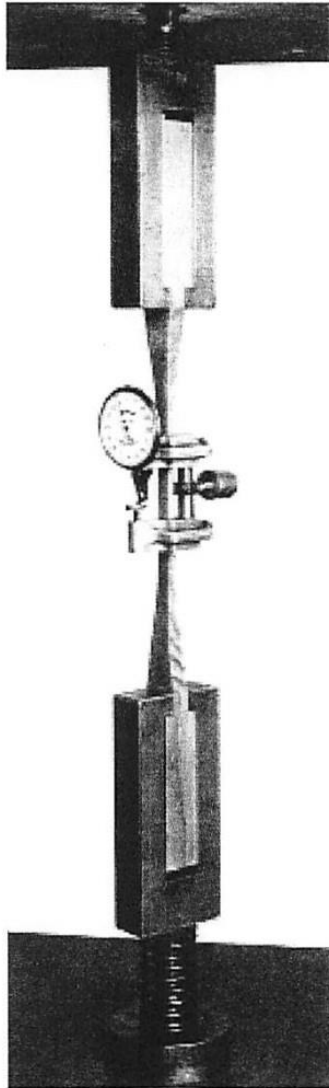


FIG. 29 Tension-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Grips and Use of 2 in. (50-mm) Gage Length Extensometer for Measuring Deformation

D 143 - 94 (2000)^{e1}

T-LE NO SIF - 1L
 COST CHARGE 01-3-005
 LABORATORY NO 266,895 A

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE

STATION MADISON DATE DEC. 28, 1950 SHIP NO 1651 STICK NO N-1
 PIECE NO 22 MARK C

MEASURED _____
 TESTED _____
 WEIGHED _____

SPECIES PACIFIC SILVER FIR
 KIND OF TEST TENSION PARALLEL TO GRAIN
 LOADING _____
 SPAN 2 IN.
 GAGE LENGTH _____
 WIDTH OF PLATE _____
 MACHINE 4713
 SPEED OF MAGN 0.036 IN. PER MIN
 WEIGHT OF HAMMER _____
 HEIGHT _____
 WIDTH _____
 LENGTH _____
 GROSS SECTION 0.187 X 0.379
 WEIGHT _____ GRAMS
 RINGS PER INCH _____
 SAP _____
 SHIMMERWOOD _____
 SEASONING GREEN
 MOISTURE _____
 TESTED AT 75°F TEMP 64 % R.H.
 KIND OF FAILURE SPLINTERING
TENSION
 REMARKS _____

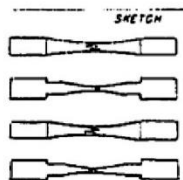
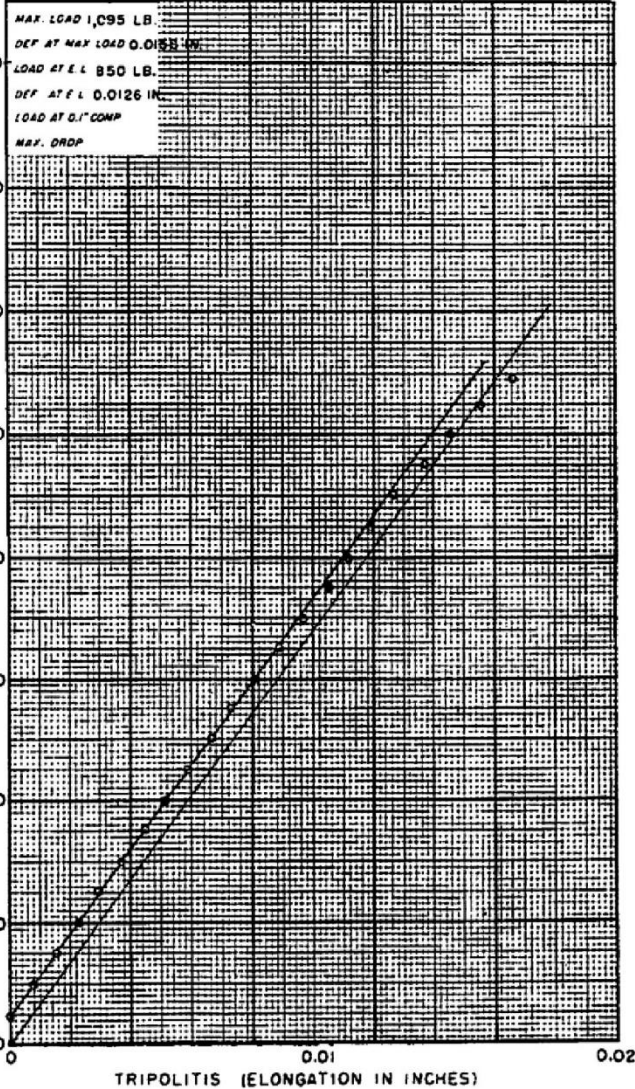
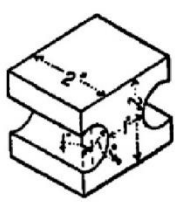


FIG. 30 Sample Data Sheet for Tension-Parallel-to-Grain Test



Metric Equivalents

in	1/4	1/2	1	2
mm	6	13	25	50

FIG. 31 Tension-Perpendicular-to-Grain Test Specimen

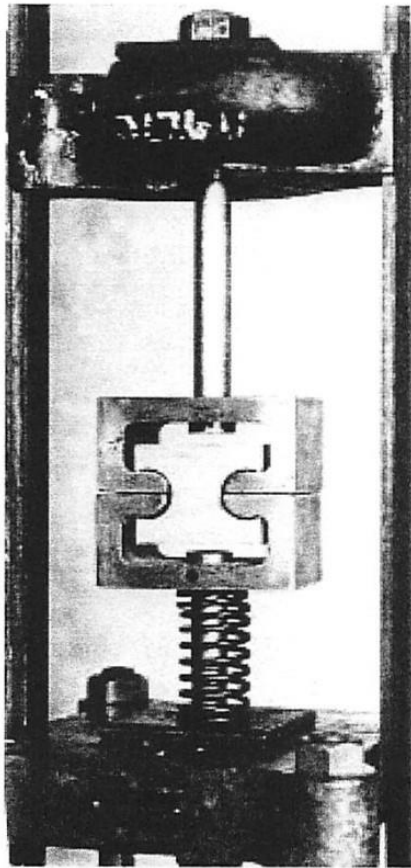
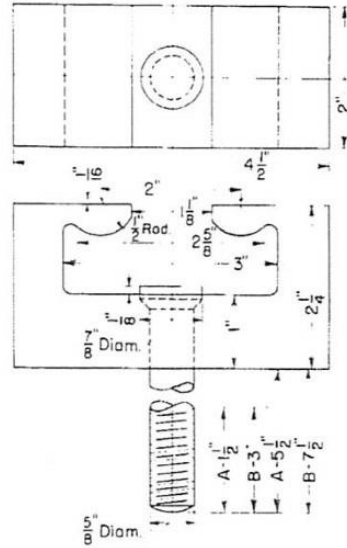


FIG. 32 Tension-Perpendicular-to-Grain Test Assembly



NOTE 1—Two pieces included in one set:
 One marked A.
 One marked B.
 Scale—Full Size

Metric Equivalents			
in.	mm	in.	mm
1/16	1.6	2	50
1/8	3.2	2 1/4	57
1/4	13	2 5/8	67
9/16	16	3	76
7/8	22	4 1/2	114
1	25	5 1/2	140
1 1/8	29	7 1/2	190
1 1/2	38		

FIG. 33 Design Details of Grips for Tension-Perpendicular-to-Grain Test

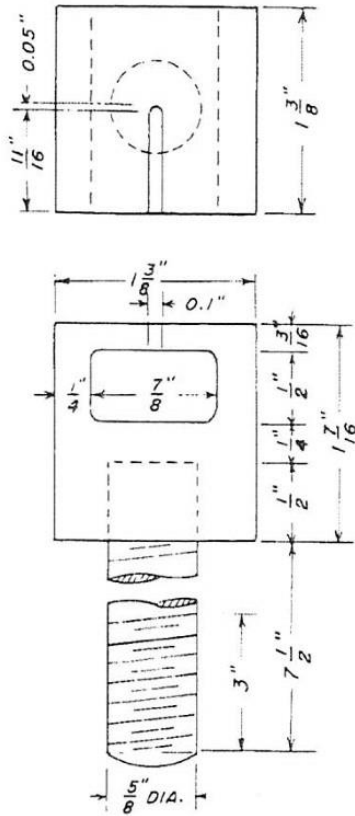
D 143 - 94 (2000)^{e1}

TENSION PERPENDICULAR TO GRAIN

STATION - MARLEDA
 SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651
 PROJECT Str. II SEASONING GREEN MEASURED BY _____
 COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.1080 WEIGHED BY _____
 LABORATORY NOS. 267098A-053A MACHINE NO. 4,713 TESTED BY _____
 DATE JAN. 16, 1951 TEMP 75 °F REL. HUMIDITY 64 %

STICK NO	TENSION SURFACE	TENSION AREA " x "	MAXIMUM LOAD LB	TENSILE STRENGTH PSI	MOISTURE CONTENT %	REMARKS	SKETCH
22-N-6-d	R.	0.98 x 2.011	575	292	33.0		
22-N-6-d	T.	1.00 x 2.001	635	317	32.4		

FIG. 34 Sample Data and Computation Sheet for Tension-Perpendicular-to-Grain Test



Metric Equivalents

in.	mm	in.	mm
0.05	1.3	1 1/16	7.5
0.1	2.5	7/8	22
3/16	4.8	1 3/8	35
1/4	6.3	1 7/16	36
1/2	13	3	76
5/8	16	7 1/2	190

FIG. 35 Design Details of Grip for Nail Withdrawal Test

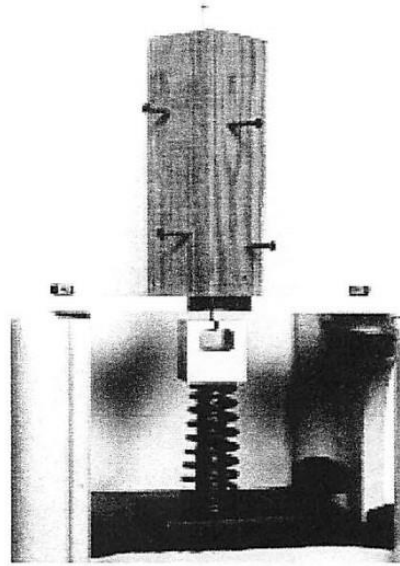


FIG. 36 Nail Withdrawal Test Assembly Showing Specimen in Position for Withdrawal of Nail Driven in One End of the Specimen



D 143 - 94 (2000)^{e1}

NAIL WITHDRAWAL

STATION Madison SHIPMENT NO. 1651
 SPECIES PACIFIC SILVER FIR
 PROJECT STR. 1L SEASONING GREEN MEASURED BY _____
 COST CHARGE DI-3-005 MACHINE SPEED 0.071 WY SMD BY _____
 LABORATORY NOS. 270, 270A, 270B MACHINE NO. 4269 TESTED BY _____
 DATE FEB. 2, 1951 NAILS, TYPE 70 PLAIN (SINKER) TEMP 75 °F REL. HUMIDITY 64 %
DRIVEN 1 1/2

STICK NO	DIMENSIONS L' x H' x W'	WEIGHT GM	MOIST %	SP GR	WITHDRAWAL LOADS			REMARKS	SKETCH
					RADIAL SURFACE LB	TANGENTIAL SURFACE LB	END SURFACE LB		
23-N-5-C	6.05 x 1.990 x 1.989	326.4	77.7	.968	180	205	105		
					175	200	110		
					AVERAGE	178	202		
23-N-7-D	6.02 x 1.996 x 1.994	241.3	47.5	.416	180	175	110		
					185	153	75		
					AVERAGE	182	165		

FIG. 37 Sample Data and Computation Sheet for Nail Withdrawal Test

ASTM D 143 - 94 (2000)^{e1}

SPECIFIC GRAVITY AND VOLUMETRIC SHRINKAGE

SPECIES PACIFIC SILVER FIR STATION - MARIPPO SHIPMENT NO. 1,651
 PROJECT Sir. JL MEASURED BY _____
 COST CHARGE 01-3-005 WEIGHED BY _____
 LABORATORY NOS. 267060A-065A VOLUME BY _____
 DATE _____

STICK NO	DIMENSIONS L' X N' X W'	SEASONING	DATE	RINGS PER INCH	SAP %	SUMMER- WOOD %	WEIGHT GM.	MOISTURE %	VOLUME C.C.	I SPECIFIC GRAVITY	WEIGHT POUNDS PER CUBIC FOOT	VOLUMETRIC SHRINKAGE %				
													REMARKS			
22-N-4-C	6.05 X 2.00 X 2.002	GREEN	1-9-'51	18	0		201.3	34.3	393.8	.381						
		OVEN-DRY	6-19-'51				149.9	0	332.1	.451	28.1	15.7				
REMARKS							AIR-DRY 6-13-'51						168.0	12.07	360.3	.416
REMARKS																
22-S-5-C	6.03 X 2.006 X 2.001	GREEN	1-9-'51	17	0		223.1	55.5	392.0	.366						
		OVEN-DRY	6-19-'51				143.5	0	334.2	.429	26.8	14.7				
REMARKS							AIR-DRY 6-13-'51						160.9	12.13	360.9	.398
REMARKS																
REMARKS																
REMARKS																
REMARKS																
REMARKS																
REMARKS																
REMARKS																
REMARKS																
REMARKS																
REMARKS																
REMARKS																

I^o BASED ON ORIGINAL VOLUME (GREEN, AIR-DRY OR KILN-DRY).
 I¹ BASED ON WEIGHT WHEN OVEN-DRY. NOTE: USE BACK OF SHEET FOR CARBON IMPRESSIONS.

FIG. 38 Sample Data and Computation Sheet for Specific Gravity and Shrinkage-in-Volume Test

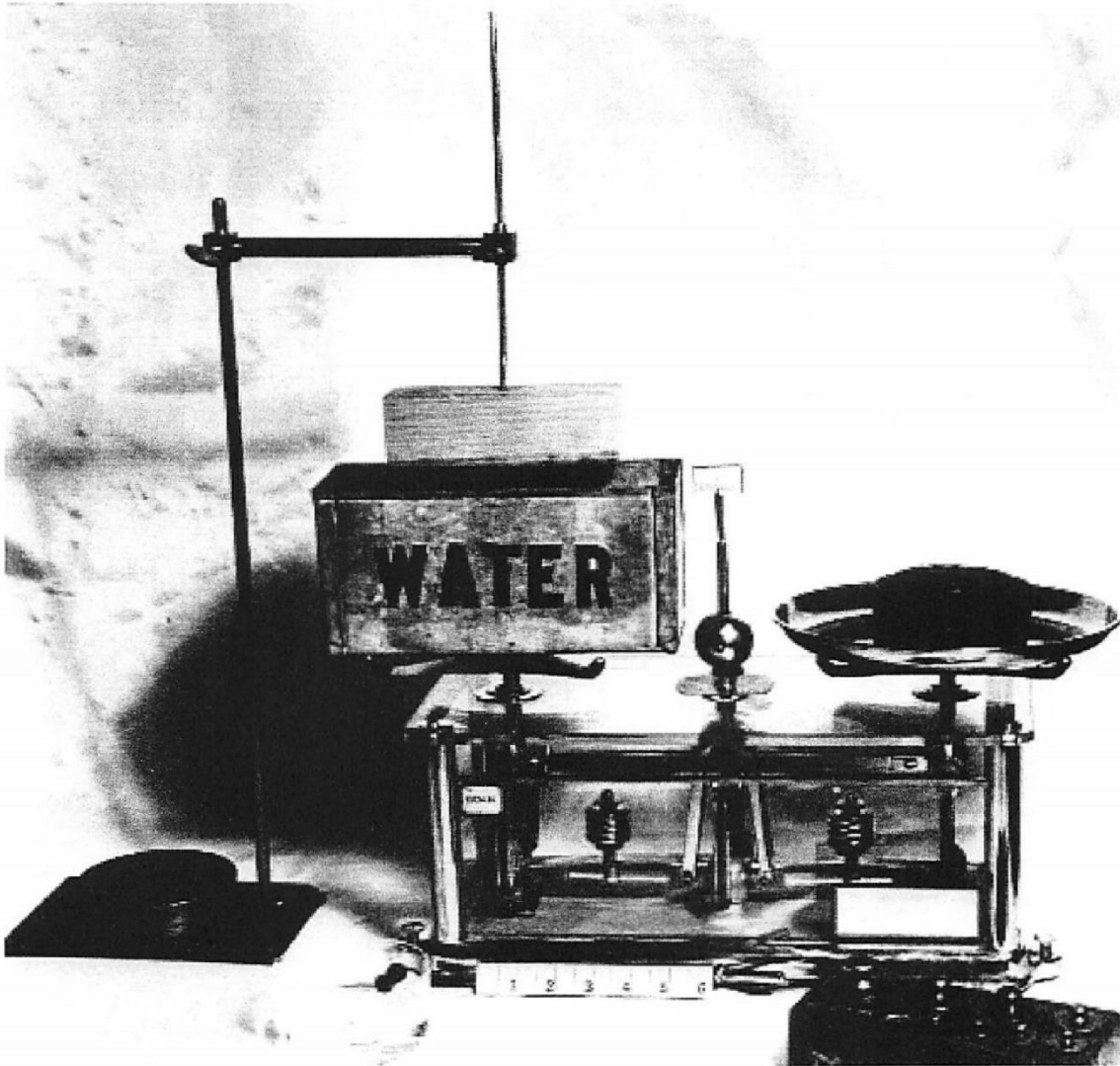


FIG. 39 Specific Gravity and Shrinkage-in-Volume Test Set-Up



D 143 - 94 (2000)^{e1}

SHRINKAGE - RADIAL AND TANGENTIAL

PROJECT S17 1L SPECIES PACIFIC SILVER FIR STATION - MS0190 SHIPMENT NO. 1,651
 COST CHARGE 01-3-003 MEASURED BY _____
 LABORATORY NOS 266,857A-864A WEIGHED BY _____
 DATE _____

STICK NO.	NOMINAL SIZE L" x W" x T"	SHRINKAGE DIRECTION	SEASONING	DATE	RINGS PER INCH	SAP		WIDTH IN.	WEIGHT GM	MOISTURE		SHRINKAGE %			
						%	%			%	%				
22-2-CD	1 X 1 X 4	R.	GREEN	12/26/50	17	15			3.997	35.50	52.9				
			AIR-DRY												
			OVEN-DRY										4/6/51		3.784
REMARKS															
22-2-CD	1 X 1 X 4	T	GREEN	12/26/50	12	10			3.995	40.00	77.8				
			AIR-DRY												
			OVEN-DRY										4/6/51		3.602
REMARKS															
GREEN															
AIR-DRY															
OVEN-DRY															
REMARKS															
GREEN															
AIR-DRY															
OVEN-DRY															
REMARKS															
GREEN															
AIR-DRY															
OVEN-DRY															
REMARKS															
GREEN															
AIR-DRY															
OVEN-DRY															
REMARKS															
GREEN															
AIR-DRY															
OVEN-DRY															
REMARKS															
GREEN															
AIR-DRY															
OVEN-DRY															
REMARKS															
GREEN															
AIR-DRY															
OVEN-DRY															
REMARKS															

* BASED ON GREEN WIDTH
 FIG. 40 Sample Data and Computation Sheet for Radial- and Tangential-Shrinkage Tests

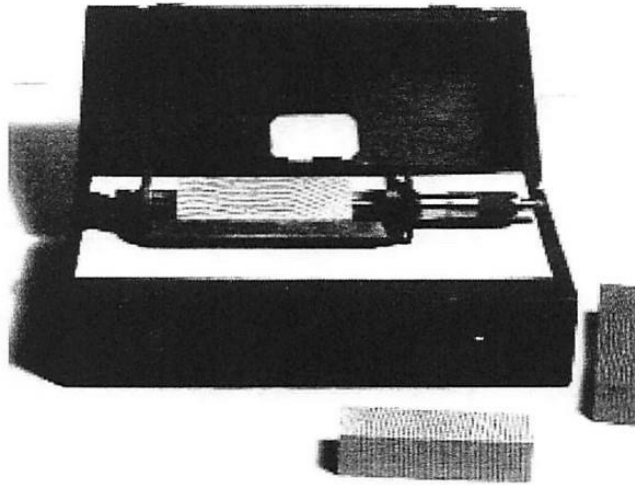


FIG. 41 Radial- and Tangential-Shrinkage Test Assembly

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO D.
FOTOGRAFÍAS DE LA CUCHILLA



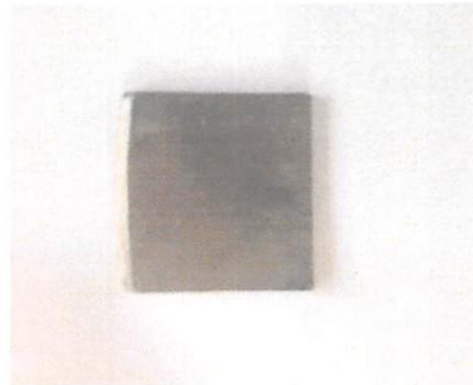
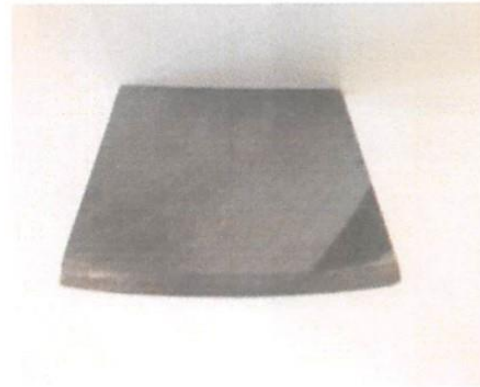
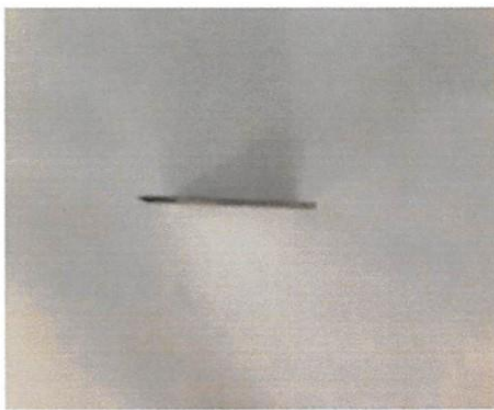
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECANICA
MAESTRIA EN DISEÑO MECANICO (II COHORTE)



Elaborado por: Ing. Wilmo Vacacela

Ambato, 15 de Agosto de 2016

CUCHILA CON FILO RECTO A 23° CONVEXA



Nota: En la presente tabla se muestra una cuchilla terminada en su totalidad, misma que fue construida con el fin de verificar si el corte en efecto es viable y resiste lo propuesto.

ANEXO E.
INFORMES DE ENSAYOS DE
CARACTERIZACIÓN - UTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					FECHA EXP: 06 de abril del 2016				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)					Ced. Ciud.: 180249546-3				
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - <i>AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL</i>					Nº de Orden: N/A				
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 1 /Bambu sin nudo bajo norma ASTM: D - 143				
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo:	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	0,50	0,07	0,67	0,0000	21	27,39	10,76	107,64	1,5260
2	12,32	0,33	3,34	0,0560	22	28,16	11,30	112,99	1,6260
3	13,04	0,47	4,68	0,0900	23	28,82	11,90	119,01	1,7080
4	13,86	0,74	7,35	0,1360	24	29,65	12,57	125,70	1,8100
5	14,96	1,27	12,70	0,2160	25	30,53	13,51	135,06	1,9140
6	15,68	1,67	16,72	0,2740	26	31,30	14,24	142,41	2,0120
7	16,61	2,21	22,06	0,3580	27	32,17	15,18	151,77	2,1160
8	17,49	2,87	28,75	0,4500	28	32,89	15,65	156,45	2,1980
9	18,32	3,41	34,10	0,5360	29	33,61	16,72	167,15	2,2840
10	18,92	4,01	40,12	0,6080	30	34,49	17,58	175,84	2,3780
11	19,75	4,95	49,48	0,7000	31	35,04	18,05	180,52	2,4440
12	20,41	5,68	56,83	0,7720	32	35,75	18,79	187,88	2,5240
13	21,34	6,55	65,52	0,8660	33	36,74	19,59	195,90	2,6300
14	22,06	7,09	70,87	0,9400	34	37,29	19,92	199,24	2,6960
15	22,77	7,69	76,89	1,0140	35	38,12	20,66	206,60	2,7860
16	23,59	8,29	82,91	1,1000	36	39,05	21,73	217,29	2,8960
17	24,25	8,76	87,59	1,1740	37	39,65	22,33	223,31	2,9660
18	25,08	9,29	92,94	1,2620	38	40,37	20,66	206,60	3,0500
19	25,85	9,69	96,95	1,3440	39	40,59	18,99	189,88	3,0820
20	26,73	10,30	102,96	1,4480	40	40,70	17,58	175,84	3,0980


Ing. Byrón López Sánchez
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA




Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCION



MÁQUINA: CONTROLS

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					FECHA EXP: 06 de abril del 2016				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)					Ced. Ciudad.: 180249546-3				
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL					Nº de Orden: N/A				
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 2 /Bambu sin nudo bajo norma ASTM: D - 143				
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo:	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	12,10	0,00	0,00	0,0220	21	25,80	8,62	86,25	1,2840
2	12,60	0,27	2,67	0,0360	22	26,67	9,36	93,60	1,3960
3	13,20	0,47	4,68	0,0540	23	27,66	10,16	101,63	1,5240
4	13,59	0,67	6,69	0,0700	24	28,49	10,90	108,98	1,6320
5	14,25	0,87	8,69	0,0980	25	29,48	11,70	117,00	1,7520
6	14,85	1,14	11,37	0,1320	26	30,14	12,44	124,36	1,8380
7	15,35	1,34	13,37	0,1680	27	30,97	13,37	133,72	1,9440
8	15,90	1,60	16,05	0,2060	28	31,84	14,31	143,08	2,0520
9	16,50	1,94	19,39	0,2580	29	32,51	15,11	151,10	2,1280
10	17,05	2,27	22,73	0,3060	30	33,28	15,98	159,80	2,2240
11	17,43	2,47	24,74	0,3400	31	33,94	16,78	167,82	2,3000
12	17,71	2,67	26,74	0,3700	32	34,81	17,45	174,50	2,3960
13	18,37	3,14	31,42	0,4320	33	35,42	18,12	181,19	2,4660
14	19,03	3,68	36,77	0,5060	34	36,13	18,85	188,55	2,5480
15	19,80	4,21	42,12	0,5840	35	36,79	19,46	194,56	2,6280
16	20,57	4,75	47,47	0,6680	36	37,51	20,26	202,59	2,7100
17	21,83	5,95	59,51	0,8160	37	38,39	21,13	211,28	2,8060
18	23,10	6,82	68,20	0,9520	38	39,33	22,20	221,98	2,9120
19	24,25	7,56	75,55	1,0940	39	39,88	22,13	221,31	2,9760
20	24,97	7,96	79,56	1,1780	40	40,20	16,78	167,82	3,0220

Ing. Byrón López Sánchez
TÉCNICO DE LABORATORIO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					FECHA EXP: 06 de abril del 2016				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)					Ced. Ciud.: 180249546-3				
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - <i>AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL</i>					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 3 /Bambu sin nudo bajo norma ASTM: D - 143				
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA									
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo:	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	12,87	0,07	0,67	0,0440	21	27,89	7,82	78,23	1,7360
2	13,37	0,33	3,34	0,0660	22	28,55	8,29	82,91	1,8260
3	14,08	0,74	7,35	0,0980	23	29,42	8,56	85,58	1,9400
4	15,13	1,07	10,70	0,1580	24	30,14	9,36	93,60	2,0320
5	16,12	1,34	13,37	0,2380	25	30,80	10,03	100,29	2,1220
6	16,89	1,60	16,05	0,3140	26	31,57	10,90	108,98	2,2220
7	17,66	1,87	18,72	0,3980	27	32,29	11,70	117,00	2,3160
8	18,54	2,14	21,40	0,5000	28	32,89	12,44	124,36	2,3960
9	19,31	2,47	24,74	0,6000	29	33,61	13,10	131,05	2,4900
10	19,86	2,81	28,08	0,6680	30	34,65	14,24	142,41	2,6280
11	20,63	3,21	32,09	0,7660	31	35,53	14,84	148,43	2,7500
12	21,12	3,41	34,10	0,8320	32	36,24	15,58	155,78	2,8500
13	21,83	3,81	38,11	0,9260	33	36,85	15,85	158,46	2,9380
14	22,66	4,28	42,79	1,0280	34	37,73	16,92	169,16	3,0580
15	23,38	4,81	48,14	1,1280	35	38,61	17,52	175,17	3,1740
16	24,15	5,22	52,15	1,2300	36	39,22	17,65	176,51	3,2540
17	24,97	5,82	58,17	1,3380	37	39,99	17,65	176,51	3,3540
18	25,80	6,22	62,18	1,4480	38	40,59	15,38	153,78	3,4360
19	26,46	6,69	66,86	1,5380	39	40,76	13,91	139,07	3,4620
20	27,17	7,15	71,54	1,6360	40	40,81	12,84	128,37	3,4700

Ing. Byron Lopez Sánchez
TÉCNICO DE LABORATORIO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016 FECHA EXP: 06 de abril del 2016 Ced. Ciudad.: 180249546-3 Nº de Orden: N/A				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 4 /Bambu sin nudo bajo norma ASTM: D - 143				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)									
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL									
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA									
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo:	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	13,86	0,07	0,67	0,0380	21	29,70	10,30	102,96	1,8880
2	14,68	0,27	2,67	0,0740	22	30,25	10,97	109,65	1,9600
3	15,51	0,47	4,68	0,1240	23	31,08	12,03	120,35	2,0660
4	16,61	0,74	7,35	0,2160	24	31,79	12,90	129,04	2,1480
5	17,82	1,20	12,03	0,3340	25	32,62	13,71	137,06	2,2480
6	18,65	1,54	15,38	0,4240	26	33,44	14,71	147,09	2,3500
7	19,20	1,81	18,05	0,4900	27	34,15	15,78	157,79	2,4320
8	19,86	2,14	21,40	0,5700	28	34,76	16,11	161,13	2,5000
9	20,57	2,61	26,08	0,6640	29	35,42	16,98	169,82	2,5780
10	21,50	3,14	31,42	0,7820	30	36,13	17,78	177,85	2,6560
11	22,44	3,81	38,11	0,9080	31	36,85	18,65	186,54	2,7280
12	23,16	4,35	43,46	1,0040	32	37,73	19,46	194,56	2,8140
13	23,65	4,68	46,80	1,0700	33	38,45	20,39	203,92	2,8860
14	24,20	5,15	51,48	1,1420	34	39,11	21,06	210,61	2,9460
15	24,97	5,82	58,17	1,2480	35	39,88	21,66	216,63	3,0180
16	25,74	6,49	64,85	1,3540	36	40,59	22,33	223,31	3,0880
17	26,62	7,22	72,21	1,4760	37	41,42	22,87	228,66	3,1660
18	27,39	7,89	78,89	1,5800	38	42,29	23,27	232,67	3,2500
19	28,05	8,49	84,91	1,6720	39	43,17	23,00	230,00	3,3580
20	28,82	9,29	92,94	1,7720	40	44,17	22,00	219,97	3,4880

Ing. Byron López Sánchez

TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Egdo. Christian Javier Revelo

AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016 FECHA EXP: 06 de abril del 2016 Ced. Ciudad.: 180249546-3 Nº de Orden: N/A				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 5 /Bambu sin nudo bajo norma ASTM: D - 143				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)									
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - <i>AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL</i>									
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA									
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	13,04	0,00	0,00	0,0000	21	32,78	11,37	113,66	2,2280
2	13,97	0,40	4,01	0,0600	22	33,49	12,03	120,35	2,3320
3	14,74	0,94	9,36	0,0940	23	34,38	12,90	129,04	2,4420
4	15,24	1,27	12,70	0,1160	24	35,15	13,77	137,73	2,5460
5	16,17	1,74	17,38	0,1700	25	35,92	14,51	145,09	2,6480
6	16,94	1,94	19,39	0,2260	26	36,74	15,44	154,45	2,7520
7	17,99	2,34	23,40	0,3180	27	37,84	16,78	167,82	2,8940
8	18,98	2,67	26,74	0,4160	28	38,61	17,12	171,16	2,9980
9	19,91	3,08	30,76	0,5240	29	39,76	18,85	188,55	3,1600
10	20,84	3,41	34,10	0,6400	30	40,76	20,06	200,58	3,2920
11	21,83	3,81	38,11	0,7700	31	41,42	20,86	208,60	3,3800
12	23,16	4,35	43,46	0,9420	32	42,08	21,80	217,96	3,4740
13	23,98	4,81	48,14	1,0560	33	42,68	22,53	225,32	3,5500
14	25,30	5,55	55,49	1,2220	34	43,61	23,60	236,02	3,6780
15	26,34	6,02	60,17	1,3600	35	44,72	24,54	245,38	3,8160
16	27,50	6,69	66,86	1,5080	36	45,43	22,67	226,66	3,9100
17	29,21	8,02	80,23	1,7400	37	46,04	22,60	225,99	3,9920
18	30,14	8,89	88,92	1,8640	38	46,70	21,60	215,96	4,0780
19	31,18	9,83	98,28	2,0100	39	47,03	21,53	215,29	4,1200
20	32,01	10,63	106,33	2,1240	40	47,08	20,46	204,59	4,1280

Ing. Byron López Sánchez

TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					FECHA EXP: 06 de abril del 2016				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)					Ced. Ciudad.: 180249546-3				
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL					Nº de Orden: N/A				
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 6 /Bambu sin nudo bajo norma ASTM: D - 143				
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	13,53	0,00	0,00	0,0160	21	30,47	11,10	110,99	1,7540
2	14,36	0,40	4,01	0,0380	22	31,79	12,44	124,36	1,9300
3	15,02	0,80	8,02	0,0620	23	32,95	13,84	138,40	2,0860
4	15,79	1,20	12,03	0,0960	24	33,72	14,78	147,76	2,1820
5	16,45	1,40	14,04	0,1320	25	34,87	16,11	161,13	2,3220
6	17,05	1,60	16,05	0,1700	26	35,92	17,38	173,84	2,4360
7	17,76	1,94	19,39	0,2260	27	37,01	18,65	186,54	2,5620
8	18,70	2,41	24,07	0,3100	28	37,67	19,52	195,23	2,6320
9	19,80	3,01	30,09	0,4280	29	38,61	20,79	207,93	2,7340
10	20,57	3,48	34,77	0,5120	30	39,54	21,80	217,96	2,8240
11	21,07	3,88	38,78	0,5760	31	40,26	22,40	223,98	2,8980
12	21,73	4,35	43,46	0,6540	32	41,20	23,40	234,01	2,9860
13	22,93	5,15	51,48	0,7980	33	42,08	24,27	242,70	3,0760
14	24,04	5,88	58,84	0,9360	34	42,85	24,81	248,05	3,1500
15	24,91	6,49	64,85	1,0460	35	43,56	25,41	254,07	3,2220
16	25,85	7,15	71,54	1,1600	36	44,77	25,87	258,75	3,3480
17	26,79	7,89	78,89	1,2800	37	45,60	23,94	239,36	3,4580
18	27,72	8,56	85,58	1,3960	38	46,31	23,60	236,02	3,5520
19	28,71	9,43	94,27	1,5240	39	46,36	23,53	235,35	3,5700
20	29,59	10,23	102,30	1,6380	40	46,47	21,53	215,29	3,5820


Ing. Byron López Sánchez

TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA




Egdo. Christian Javier Revelo

AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN**



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					FECHA EXP: 06 de abril del 2016				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)					Ced. Ciudad.: 180249546-3				
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL					Nº de Orden: N/A				
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 7 /Bambu sin nudo bajo norma ASTM: D - 143				
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	13,81	0,00	0,00	0,0320	21	28,16	8,56	85,58	1,5740
2	14,52	0,33	3,34	0,0580	22	29,04	9,36	93,60	1,6940
3	15,02	0,47	4,68	0,0820	23	29,75	9,96	99,62	1,7860
4	15,68	0,67	6,69	0,1180	24	30,41	10,43	104,30	1,8800
5	16,33	0,94	9,36	0,1680	25	31,13	11,17	111,66	1,9800
6	17,00	1,27	12,70	0,2240	26	31,90	11,83	118,34	2,0840
7	17,55	1,54	15,38	0,2760	27	33,00	12,44	124,36	2,2300
8	18,37	2,07	20,73	0,3560	28	33,83	12,84	128,37	2,3380
9	19,41	2,74	27,41	0,4700	29	34,49	13,64	136,39	2,4240
10	20,02	3,14	31,42	0,5400	30	35,09	14,31	143,08	2,5020
11	20,51	3,48	34,77	0,5960	31	36,03	15,44	154,45	2,6260
12	21,29	3,94	39,45	0,6900	32	36,90	16,58	165,81	2,7400
13	22,00	4,35	43,46	0,7780	33	37,56	17,52	175,17	2,8320
14	22,77	4,75	47,47	0,8720	34	38,22	18,52	185,20	2,9260
15	23,32	5,08	50,81	0,9420	35	38,88	19,46	194,56	3,0120
16	23,87	5,42	54,16	1,0140	36	39,49	20,26	202,59	3,0900
17	24,64	5,95	59,51	1,1120	37	40,37	21,46	214,62	3,2000
18	25,36	6,35	63,52	1,2020	38	40,97	22,20	221,98	3,2740
19	26,18	6,95	69,53	1,3140	39	41,63	22,67	226,66	3,3480
20	27,28	7,76	77,56	1,4600	40	42,46	19,46	194,56	3,4540

Ing. Byron Lopez Sánchez
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					FECHA EXP: 06 de abril del 2016				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)					Ced. Ciudad.: 180249546-3				
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - <i>AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL</i>					Nº de Orden: N/A				
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 1 /Bambu con nudo bajo norma ASTM: D - 143				
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo:	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	16,72	0,00	0,00	0,2340	21	26,01	7,42	74,21	1,4300
2	17,22	0,13	1,34	0,2880	22	27,00	8,29	82,91	1,5520
3	17,93	0,40	4,01	0,3720	23	27,39	8,62	86,25	1,5980
4	18,37	0,53	5,35	0,4200	24	27,89	9,09	90,93	1,6620
5	18,70	0,74	7,35	0,4640	25	28,33	9,49	94,94	1,7100
6	19,14	0,87	8,69	0,5160	26	28,76	10,03	100,29	1,7680
7	19,58	1,14	11,37	0,5780	27	29,26	10,56	105,64	1,8320
8	19,91	1,40	14,04	0,6160	28	29,92	11,30	112,99	1,9100
9	20,35	1,67	16,72	0,6760	29	30,41	11,77	117,67	1,9700
10	20,74	1,94	19,39	0,7300	30	30,86	12,37	123,69	2,0260
11	21,34	2,34	23,40	0,8040	31	31,30	12,97	129,71	2,0820
12	21,78	2,87	28,75	0,8660	32	31,96	13,77	137,73	2,1580
13	22,11	3,21	32,09	0,9120	33	32,56	14,51	145,09	2,2280
14	22,44	3,61	36,10	0,9580	34	32,89	14,64	146,42	2,2720
15	23,26	4,68	46,80	1,0700	35	33,44	15,11	151,10	2,3340
16	23,59	5,01	50,14	1,1160	36	34,21	15,85	158,46	2,4260
17	24,20	5,75	57,50	1,1940	37	34,76	16,65	166,48	2,4900
18	24,48	6,02	60,17	1,2320	38	35,42	17,18	171,83	2,5600
19	24,97	6,49	64,85	1,2940	39	35,81	17,25	172,50	2,6080
20	25,58	7,02	70,20	1,3760	40	36,19	12,57	125,70	2,6600

Ing. Byron López Sánchez
TÉCNICO DE LABORATORIO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016 FECHA EXP: 06 de abril del 2016 Ced. Ciudad.: 180249546-3 Nº de Orden: N/A				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte) ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - <i>AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL</i> UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 2 /Bambu con nudo bajo norma ASTM: D - 143				
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo:	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	13,31	0,00	0,00	0,0240	21	23,76	5,68	56,83	0,9560
2	13,53	0,20	2,01	0,0320	22	24,20	6,02	60,17	1,0120
3	14,36	0,67	6,69	0,0580	23	24,81	6,49	64,85	1,0900
4	14,68	0,87	8,69	0,0720	24	25,30	6,82	68,20	1,1560
5	14,96	1,07	10,70	0,0840	25	25,85	7,29	72,88	1,2260
6	15,29	1,27	12,70	0,0980	26	26,40	7,69	76,89	1,3000
7	15,68	1,47	14,71	0,1180	27	27,17	8,29	82,91	1,3960
8	15,90	1,60	16,05	0,1300	28	27,78	8,83	88,26	1,4820
9	16,61	1,81	18,05	0,1720	29	28,27	9,23	92,27	1,5500
10	17,16	2,01	20,06	0,2140	30	28,71	9,63	96,28	1,6060
11	17,66	2,07	20,73	0,2540	31	29,59	10,50	104,97	1,7240
12	18,26	2,34	23,40	0,3080	32	30,20	11,17	111,66	1,8100
13	18,65	2,47	24,74	0,3480	33	30,64	11,77	117,67	1,8660
14	19,14	2,81	28,08	0,4020	34	31,57	12,57	125,70	1,9920
15	19,75	3,08	30,76	0,4700	35	31,90	13,04	130,38	2,0440
16	20,57	3,54	35,44	0,5620	36	32,45	13,64	136,39	2,1120
17	21,29	3,94	39,45	0,6520	37	33,38	14,71	147,09	2,2380
18	21,83	4,21	42,12	0,7140	38	34,10	15,65	156,45	2,3240
19	22,55	4,75	47,47	0,8060	39	34,32	11,37	113,66	2,3640
20	23,16	5,22	52,15	0,8820	40	34,38	10,36	103,63	2,3680

Ing. Byron Lopez Sanchez
TÉCNICO DE LABORATORIO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)	FECHA INICIO: 06 de abril del 2016
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda	FECHA EXP: 06 de abril del 2016
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)	Ced. Ciud.: 180249546-3
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - <i>AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL</i>	Nº de Orden: N/A
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA	DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 3 /Bambu con nudo bajo norma ASTM: D - 143

# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo:	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	13,70	0,00	0,00	0,0300	21	23,16	4,41	44,13	0,9460
2	14,19	0,20	2,01	0,0460	22	23,59	4,88	48,81	1,0000
3	14,52	0,40	4,01	0,0620	23	23,98	5,22	52,15	1,0560
4	14,80	0,53	5,35	0,0740	24	24,48	5,75	57,50	1,1260
5	15,24	0,74	7,35	0,0960	25	24,81	6,02	60,17	1,1720
6	15,73	0,94	9,36	0,1220	26	25,30	6,42	64,19	1,2420
7	16,00	1,00	10,03	0,1420	27	25,63	6,69	66,86	1,2820
8	16,66	1,20	12,03	0,1880	28	26,29	7,22	72,21	1,3740
9	17,05	1,34	13,37	0,2160	29	26,62	7,49	74,88	1,4200
10	17,38	1,47	14,71	0,2460	30	27,33	8,02	80,23	1,5140
11	17,71	1,54	15,38	0,2760	31	27,72	8,42	84,24	1,5660
12	18,54	1,87	18,72	0,3620	32	28,22	8,96	89,59	1,6280
13	19,25	2,07	20,73	0,4380	33	28,55	9,29	92,94	1,6760
14	19,58	2,14	21,40	0,4760	34	28,99	9,63	96,28	1,7260
15	20,02	2,27	22,73	0,5280	35	29,26	10,03	100,29	1,7700
16	20,35	2,41	24,07	0,5680	36	30,91	11,97	119,68	1,9780
17	20,74	2,34	23,40	0,6200	37	31,35	11,77	117,67	2,0380
18	21,12	2,61	26,08	0,6720	38	31,79	12,84	128,37	2,0880
19	21,62	2,94	29,42	0,7360	39	31,90	12,90	129,04	2,1200
20	22,66	3,88	38,78	0,8740	40	32,06	7,76	77,56	2,1440

Ing. Byron López Sánchez

TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78200

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016 FECHA EXP: 06 de abril del 2016 Ced. Ciud.: 180249546-3 Nº de Orden: N/A				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte) ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - <i>AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL</i> UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 4 /Bambu con nudo bajo norma ASTM: D - 143				
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	13,92	0,00	0,00	0,0380	21	23,10	3,68	36,77	1,0000
2	14,41	0,20	2,01	0,0600	22	23,59	4,08	40,78	1,0620
3	14,85	0,33	3,34	0,0800	23	24,04	4,41	44,13	1,1260
4	15,29	0,47	4,68	0,1100	24	24,48	4,61	46,13	1,1780
5	15,68	0,53	5,35	0,1340	25	24,86	4,95	49,48	1,2340
6	16,06	0,67	6,69	0,1640	26	25,24	5,22	52,15	1,2860
7	16,50	0,80	8,02	0,2000	27	25,74	5,62	56,16	1,3560
8	16,83	0,87	8,69	0,2320	28	26,07	5,82	58,17	1,3980
9	17,16	1,00	10,03	0,2660	29	26,46	6,08	60,84	1,4520
10	17,66	1,20	12,03	0,3180	30	27,12	6,62	66,19	1,5420
11	18,32	1,40	14,04	0,3900	31	27,61	7,09	70,87	1,6120
12	18,59	1,54	15,38	0,4220	32	27,94	7,35	73,55	1,6560
13	19,08	1,67	16,72	0,4840	33	28,33	7,69	76,89	1,7080
14	19,75	1,81	18,05	0,5620	34	28,71	8,02	80,23	1,7620
15	20,41	2,14	21,40	0,6440	35	29,04	8,36	83,57	1,8040
16	20,96	2,27	22,73	0,7140	36	29,54	8,83	88,26	1,8680
17	21,50	2,67	26,74	0,7920	37	29,98	9,29	92,94	1,9240
18	21,95	2,94	29,42	0,8500	38	30,47	9,76	97,62	1,9860
19	22,28	3,21	32,09	0,8920	39	30,80	5,28	52,82	2,0380
20	22,83	3,54	35,44	0,9600	40	30,86	4,61	46,13	2,0420


 Ing. Byron López Sánchez
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA




 Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN**



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					FECHA EXP: 06 de abril del 2016				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)					Ced. Ciud.: 180249546-3				
ENSAYADO POR: Ego. Christian Revelo - AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL					Nº de Orden: N/A				
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 5 /Bambu con nudo bajo norma ASTM: D - 143				
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	13,26	0,00	0,00	0,0000	21	26,01	7,15	71,54	1,3280
2	13,86	0,33	3,34	0,0440	22	26,57	7,62	76,22	1,4060
3	14,36	0,53	5,35	0,0600	23	26,90	7,96	79,56	1,4500
4	14,74	0,80	8,02	0,0760	24	27,66	8,76	87,59	1,5520
5	15,51	1,14	11,37	0,1140	25	28,11	9,29	92,94	1,6200
6	16,00	1,27	12,70	0,1420	26	28,66	9,83	98,28	1,6880
7	16,39	1,47	14,71	0,1680	27	29,15	10,43	104,30	1,7520
8	16,94	1,60	16,05	0,2080	28	29,54	11,03	110,32	1,8080
9	17,60	1,81	18,05	0,2640	29	30,08	11,70	117,00	1,8760
10	18,54	2,07	20,73	0,3600	30	30,41	12,10	121,02	1,9160
11	19,47	2,14	21,40	0,4720	31	31,30	13,10	131,05	2,0160
12	19,97	1,94	19,39	0,5360	32	31,79	13,84	138,40	2,0740
13	21,07	2,54	25,41	0,6800	33	32,34	14,51	145,09	2,1340
14	21,62	2,61	26,08	0,7520	34	32,89	14,91	149,10	2,1940
15	22,33	3,41	34,10	0,8400	35	33,38	14,98	149,77	2,2520
16	22,77	3,88	38,78	0,8980	36	33,94	15,65	156,45	2,3100
17	23,49	4,68	46,80	0,9900	37	34,60	16,78	167,82	2,3860
18	23,87	5,15	51,48	1,0440	38	35,37	16,85	168,49	2,4720
19	24,42	5,68	56,83	1,1160	39	35,97	15,11	151,10	2,5520
20	25,47	6,55	65,52	1,2520	40	36,36	13,24	132,38	2,6120

Ing. Byron López Sánchez
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
U.T.A.



Ego. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
U.T.A.





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					FECHA EXP: 06 de abril del 2016				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)					Ced. Ciudad.: 180249546-3				
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL					Nº de Orden: N/A				
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 6 /Bambu con nudo bajo norma ASTM: D - 143				
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	13,37	0,07	0,67	0,0000	21	25,52	6,62	66,19	1,1600
2	13,81	0,27	2,67	0,0260	22	25,91	6,89	68,87	1,2100
3	14,30	0,53	5,35	0,0420	23	26,24	7,15	71,54	1,2560
4	14,58	0,74	7,35	0,0520	24	26,84	7,62	76,22	1,3360
5	14,96	0,94	9,36	0,0640	25	27,17	7,82	78,23	1,3860
6	15,46	1,20	12,03	0,0840	26	27,50	8,09	80,90	1,4260
7	15,79	1,40	14,04	0,1000	27	28,05	8,62	86,25	1,5080
8	16,50	1,60	16,05	0,1380	28	28,49	9,03	90,26	1,5680
9	16,94	1,81	18,05	0,1680	29	28,93	9,43	94,27	1,6260
10	17,55	2,01	20,06	0,2120	30	29,21	9,63	96,28	1,6620
11	18,15	2,27	22,73	0,2600	31	29,65	10,10	100,96	1,7220
12	19,20	2,54	25,41	0,3640	32	30,25	10,83	108,31	1,8060
13	19,75	2,74	27,41	0,4280	33	30,69	11,37	113,66	1,8660
14	20,51	3,01	30,09	0,5160	34	31,13	11,83	118,34	1,9220
15	21,23	3,34	33,43	0,6020	35	31,68	12,44	124,36	1,9880
16	22,22	4,01	40,12	0,7280	36	32,17	13,04	130,38	2,0540
17	22,72	4,41	44,13	0,7880	37	32,72	13,84	138,40	2,1220
18	23,49	5,01	50,14	0,8860	38	33,00	11,17	111,66	2,1540
19	24,15	5,55	55,49	0,9720	39	33,06	9,29	92,94	2,1720
20	24,97	6,22	62,18	1,0880	40	33,11	8,36	83,57	2,1780

Ing. Byron López Sánchez
TÉCNICO DE LABORATORIO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN



MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una chuchilla de corte, para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)					FECHA INICIO: 06 de abril del 2016				
MAESTRANTE: Ing. Wilmo Marlon Vacacela Miranda					FECHA EXP: 06 de abril del 2016				
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)					Ced. Ciudad.: 180249546-3				
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - <i>AUXILIAR DE LABORATORIO INGENIERIA CIVIL</i>					Nº de Orden: N/A				
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Probeta # 7 /Bambu con nudo bajo norma ASTM: D - 143				
# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformacion unitaria (mm)	# Datos:	Tiempo (S)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Deformacion unitaria (mm)
1	13,97	0,67	6,69	0,0000	21	21,62	5,48	54,83	0,4240
2	14,41	1,00	10,03	0,0340	22	22,28	5,95	59,51	0,4840
3	14,91	1,34	13,37	0,0480	23	22,55	6,02	60,17	0,5040
4	15,07	1,40	14,04	0,0520	24	22,93	6,28	62,85	0,5440
5	15,40	1,67	16,72	0,0640	25	23,65	6,82	68,20	0,6120
6	15,73	1,94	19,39	0,0740	26	24,48	7,42	74,21	0,6980
7	16,17	2,21	22,06	0,0880	27	25,14	7,89	78,89	0,7660
8	16,50	2,34	23,40	0,1020	28	25,63	8,22	82,24	0,8180
9	16,72	2,47	24,74	0,1120	29	26,24	8,69	86,92	0,8860
10	17,00	2,67	26,74	0,1220	30	26,79	9,16	91,60	0,9520
11	17,22	2,81	28,08	0,1340	31	27,17	9,43	94,27	0,9900
12	17,66	3,14	31,42	0,1540	32	27,45	9,69	96,95	1,0220
13	17,99	3,34	33,43	0,1740	33	27,94	10,16	101,63	1,0820
14	18,37	3,61	36,10	0,1940	34	28,66	10,90	108,98	1,1660
15	18,70	3,88	38,78	0,2160	35	29,09	11,23	112,32	1,2180
16	19,14	4,15	41,45	0,2400	36	29,92	12,03	120,35	1,3120
17	19,75	4,48	44,80	0,2780	37	30,08	12,24	122,35	1,3320
18	20,02	4,61	46,13	0,3000	38	30,14	12,30	123,02	1,3420
19	20,57	4,95	49,48	0,3380	39	30,36	12,57	125,70	1,3760
20	20,90	5,08	50,81	0,3660	40	30,53	8,62	86,25	1,3920

Ing. Byron López Sánchez
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Egdo. Christian Javier Revelo
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIOS
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS



ORDEN N°	N/A	OBRA O PROYECTO	Analisis del diseño por el método de elementos finitos de una cuchilla para obtención de tiras de caña guadua (bambú).
NÚMERO DE MUESTRAS	14	LUGAR DEL PROYECTO	Parroquia Huachi - Ambato
FECHA DE EXPEDICION	05-abr-16	SOLICITADO POR	MADIM (II COHORTE)
		TESISTA	Ing. Wilmo Vacacela

PROBETA N°	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA KN	ESFUERZO (MPa)	FECHA	ESPÉCIMEN	IDENTIFICACIÓN	NORMA
					ENSAYO			
1	115,00	10386,89	150,50	14,49	05/04/2016	Caña Guadua	Sin nudo	ASTM D-143
2	87,00	5944,68	109,90	18,49	05/04/2016	Caña Guadua	Sin nudo	ASTM D-143
3	110,00	9503,32	156,60	16,48	05/04/2016	Caña Guadua	Sin nudo	ASTM D-143
4	104,00	8494,87	145,10	17,08	05/04/2016	Caña Guadua	Sin nudo	ASTM D-143
5	96,50	7313,82	114,15	15,61	05/04/2016	Caña Guadua	Sin nudo	ASTM D-143
6	105,00	8659,01	139,20	16,08	05/04/2016	Caña Guadua	Sin nudo	ASTM D-143
7	91,50	6575,55	117,25	17,83	05/04/2016	Caña Guadua	Sin nudo	ASTM D-143
8	97,00	7389,81	141,60	19,16	05/04/2016	Caña Guadua	Con nudo	ASTM D-143
9	100,00	7853,98	136,10	17,33	05/04/2016	Caña Guadua	Con nudo	ASTM D-143
10	108,00	9160,88	152,40	16,64	05/04/2016	Caña Guadua	Con nudo	ASTM D-143
11	113,80	10171,25	164,80	16,20	05/04/2016	Caña Guadua	Con nudo	ASTM D-143
12	90,50	6432,61	126,20	19,62	05/04/2016	Caña Guadua	Con nudo	ASTM D-143
13	102,10	8187,31	140,80	17,20	05/04/2016	Caña Guadua	Con nudo	ASTM D-143
14	107,18	9022,30	144,90	16,06	05/04/2016	Caña Guadua	Con nudo	ASTM D-143


Ing. Byron López

TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





Egdo. Christian Javier Revelo
LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANEXO F.
NORMA GPE INEN 042

Republic of Ecuador

👉 EDICT OF GOVERNMENT 👈

In order to promote public education and public safety, equal justice for all, a better informed citizenry, the rule of law, world trade and world peace, this legal document is hereby made available on a noncommercial basis, as it is the right of all humans to know and speak the laws that govern them.



GPE INEN 42 (1976) (Spanish): Bambú caña
guadua

BLANK PAGE



INEN

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

guía de práctica

042

BAMBU CAÑA GUADUA

**RECOMENDACIONES PARA EL
USO EN LA CONSTRUCCIÓN**



BAMBÚ CAÑA GUADUA

Quito - Ecuador

Preparado por: *Arq. ing. Sjoerd Nienhuys*
ASESOR DIV. CONSTRUCCION

Revisado por: *Arq. Carlos Maldonado*
JEFE DIV. CONSTRUCCION

Aprobado por: *Ing. Raúl Estrada*
DIRECTOR GENERAL DEL INEN

CONTENIDO	PAGINA
Introducción	i
Capítulos	
1. Aspectos arquitectónicos	1
2. Aspectos físicos	2
3. Preservación	5
4. Silvicultura	11
5. Preparación de la caña	12
6. Encofrado y andamiaje	17
7. Juntas permanentes de bambú	19
8. La construcción de paredes	23
9. Pisos de hormigón armado	25
10. Protección contra animales nocivos	27
11. Propiedades sismo-resistentes	27

INTRODUCCION

Al Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, le concierne todos los campos de la técnica, relacionados con el desarrollo económico del país, de acuerdo a las prioridades fijadas por el Gobierno Nacional.

Una de estas prioridades es la vivienda de interés Social, en la cual hay un déficit muy alto con relación a la calidad y cantidad, déficit que no ha disminuido, a pesar de los esfuerzos del Gobierno. Este problema no es exclusivo del Ecuador, sino de todos los países que todavía tienen un alto grado de incremento de población, y que únicamente se puede combatir con el esfuerzo y la ayuda de la misma población, por lo cual es necesario el uso de técnicas sencillas o técnicas indígenas mejoradas, para obtener mayor seguridad y resistencia contra los agentes exteriores de la naturaleza en la construcción y el uso de las viviendas.

En los tiempos pasados, la mayoría de los hombres vivía en casas y refugios de bambú y elementos vegetales. En la actualidad la situación no ha cambiado mayormente: sólo que una parte de estos materiales se ha convertido en desechos de cartón y plástico.

Como las especies de bambú o Guadúa angustifolia de Colombia, Ecuador y Perú tienen excelentes propiedades de resistencia mecánica y contra los insectos y la putrefacción, el aprovechamiento de este recurso natural es de primera importancia en la construcción de la vivienda.

Los informes sobre el uso del bambú, en su mayor parte, se han tomado del documento de Naciones Unidas: "*The Use of Bamboo and Reeds in Building Construction*" (ST/SOA/113), el cual tiene muchas referencias del documento: "*Bamboo as a building material*" by F.A. Mc. Clure, U.S. Dep. of Agriculture.

Con esta adaptación, el INEN tiene como objeto difundir, lo mejor posible, los aspectos útiles de este material para el Ecuador; y, cuando se tomen en cuenta los datos de la tabla 2 (Página 5), es evidente que el bambú es un material de construcción excelente, el cual necesita más aplicación que la que tiene actualmente.

1. ASPECTOS ARQUITECTONICOS

La relación entre el tipo de material usado y las posibilidades de empleo por el propietario de la construcción es muy importante, como se ha demostrado en la mayoría de viviendas y edificios.

La tendencia a construir edificios más durables, cuando hay más recursos económicos, ha dado al proceso de evolución de la vivienda la siguiente lista progresiva de materiales usados:

- a) refugio de ramas, hojas y elementos vegetales;
- b) bambú, madera y adobe;
- c) ladrillo cerámico, madera tratada;
- d) piedra natural, tallada y bruñida;
- e) hormigón-acero; y,
- f) aceros inoxidables y materiales sintéticos.

En estas circunstancias, volver al empleo de los materiales en las primeras categorías es poco usual, por cuanto éstos se consideran materiales baratos y obsoletos. La gente que, debido a sus limitaciones económicas necesita viviendas baratas, acepta vivir en ellas porque no hay otra alternativa. Cuando éstas son buenas construcciones con una arquitectura característica exterior y tienen una relación marcada con las construcciones "baratas" o económicas, la gente establece una parecida asociación entre esta arquitectura típica y la casa barata, y esto, no solamente las personas que viven en estas casas, sino también los demás.

El resultado de esta asociación es, que, la gente que vive en "casas económicas" con una arquitectura muy típica está clasificada como gente pobre y no quiere vivir en esas condiciones. Solamente la gente que no tiene otras posibilidades se queda a vivir en estas casas, lo cual determina el futuro carácter de "vivienda barata" de las mismas. La buena Arquitectura debe evitar este tipo de problemas, tratando de emplear buenos métodos de construcción, que aumenten el carácter de permanencia de estos edificios y contribuyan al prestigio y satisfacción sociales.

Un aspecto contemporáneo semejante al mencionado antes, es el proceso de industrialización, en el cual la cantidad de mano de obra disminuye para producir elementos baratos. De este modo, las viviendas con acabados muy finos tienen más prestigio, por el uso expansivo de mano de obra, mayor que en las viviendas económicas.

Se puede conseguir cierto prestigio de la vivienda barata de caña y bambú por medio de la elaboración cuidadosa de los materiales, juntamente con una conservación adecuada de los mismos, a fin de asegurar su durabilidad.

Guía Práctica
Ecuatoriana

**BAMBÚ CAÑA GUADUA
RECOMENDACIONES PARA EL USO EN LA
CONSTRUCCIÓN**

**GPE INEN
042:1976**

1. ASPECTOS ARQUITECTONICOS

La relación entre el tipo de material usado y las posibilidades de empleo por el propietario de la construcción es muy importante, como se ha demostrado en la mayoría de viviendas y edificios.

La tendencia a construir edificios más durables, cuando hay más recursos económicos, ha dado al proceso de evolución de la vivienda la siguiente lista progresiva de materiales usados:

- a) refugio de ramas, hojas y elementos vegetales;
- b) bambú, madera y adobe;
- c) ladrillo cerámico, madera tratada;
- d) piedra natural, tallada y bruñida;
- e) hormigón-acero; y,
- f) aceros inoxidables y materiales sintéticos.

En estas circunstancias, volver al empleo de los materiales en las primeras categorías es poco usual, por cuanto éstos se consideran materiales baratos y obsoletos. La gente que, debido a sus limitaciones económicas necesita viviendas baratas, acepta vivir en ellas porque no hay otra alternativa. Cuando éstas son buenas construcciones con una arquitectura característica exterior y tienen una relación marcada con las construcciones "baratas" o económicas, la gente establece una parecida asociación entre esta arquitectura típica y la casa barata, y esto, no solamente las personas que viven en estas casas, sino también los demás.

El resultado de esta asociación es, que, la gente que vive en "casas económicas" con una arquitectura muy típica está clasificada como gente pobre y no quiere vivir en esas condiciones. Solamente la gente que no tiene otras posibilidades se queda a vivir en estas casas, lo cual determina el futuro carácter de "vivienda barata" de las mismas. La buena Arquitectura debe evitar este tipo de problemas, tratando de emplear buenos métodos de construcción, que aumenten el carácter de permanencia de estos edificios y contribuyan al prestigio y satisfacción sociales.

Un aspecto contemporáneo semejante al mencionado antes, es el proceso de industrialización, en el cual la cantidad de mano de obra disminuye para producir elementos baratos. De este modo, las viviendas con acabados muy finos tienen más prestigio, por el uso expansivo de mano de obra, mayor que en las viviendas económicas.

Se puede conseguir cierto prestigio de la vivienda barata de caña y bambú por medio de la elaboración cuidadosa de los materiales, juntamente con una conservación adecuada de los mismos, a fin de asegurar su durabilidad.

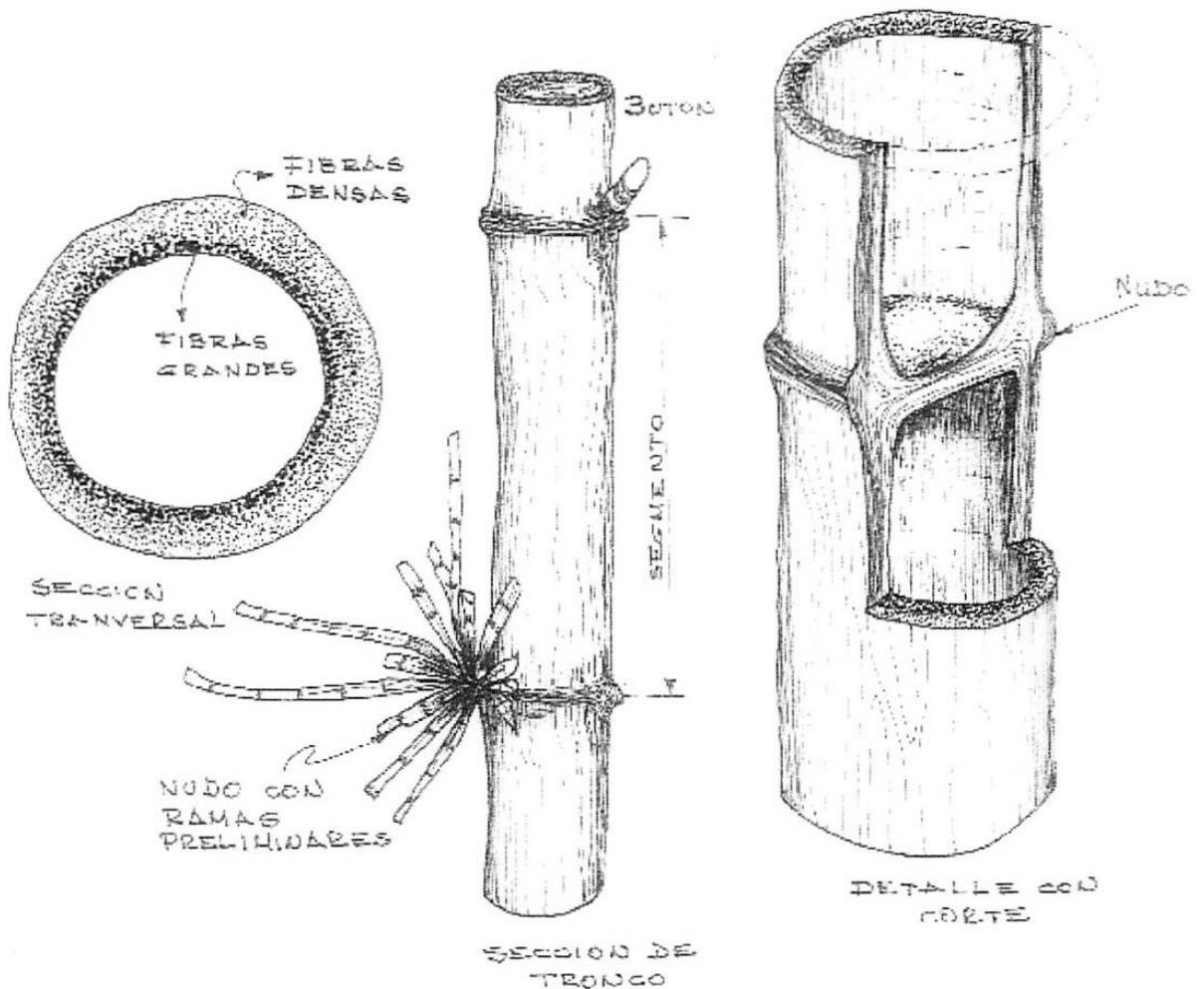
DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, bambú-caña guadua, recomendaciones de uso.

El planeamiento urbanístico de las construcciones de bambú debe ser estudiado con cuidado, para que no se construyan suburbios de mala calidad, como: los ranchos, jacaes, chozas, favelas, callampas, etc.

Dentro de este aspecto, la planificación urbana generalmente tiene una gran influencia. Una vez que un barrio de la ciudad se planificó como un grupo de chozas, no podrá convertirse en el futuro en un sector urbano de mejor calidad.

2. ASPECTOS FISICOS

Los aspectos físicos del bambú son determinados según su uso. Considerando el tipo de bambú, guadúa de la región de Colombia, Ecuador y Perú, podemos dar los datos en los párrafos siguientes:



2.1 Durabilidad. Comparando con otros tipos de bambú, el bambú guadúa tiene una alta resistencia contra los insectos, moho y putrefacción. Sin embargo, debe proveerse una protección contra estos tres factores, cuando el bambú está en contacto con la tierra o suelo. Así mismo, no es recomendable su uso para cuartos de baño o de cocina.

Las partes constructivas soportantes hechas con bambú deben ser tratadas de tal manera que sean resistentes contra insectos, moho y putrefacción. Una pequeña lista de métodos de preservación se encuentra en el párrafo 3.4.

2.2 Humedad. La humedad del tronco del bambú disminuye con la altura y con la edad. Igualmente, la humedad puede cambiar con la época del año; más humedad durante las lluvias; menos, durante los tiempos secos.

La contracción del tronco en su longitud se puede pasar por alto; pero la contracción del espesor de la pared o diámetro puede ser del 5 hasta el 15%, cuando se disminuye la humedad del tronco (del 70% hasta el 20%). Esta contracción es importante considerando el uso en hormigón armado. La contracción de troncos verdes o jóvenes es mayor que en los troncos maduros; estos últimos tienen buena resistencia a la tracción y flexión.

Generalmente, el aumento de la resistencia a la presión está en relación con la disminución de la humedad, en forma parecida al proceso de endurecimiento de la madera.

La humedad de los troncos es importante también con relación al tipo de tratamiento de conservación. Para algunos métodos es importante que el tronco esté seco y para otros como el de Boucherie, el tronco debe estar húmedo y ser cortado recientemente. Igualmente, el método de empapado es más efectivo con troncos verdes.

Un método para secar los troncos talados consiste en dejarlos entre otros troncos, sin talar las ramas ni las hojas, durante una semana. El follaje absorbe la savia de la planta talada y la deja más seca y más resistente contra los insectos (*Dinoderus*).

2.3 Los tipos de bambú de Latinoamérica no son únicamente los más resistentes a los insectos o mohos, sino también los más fuertes. Las características de dos tipos de bambú de Sud América son las siguientes:

TABLA 1.

Nombre Botánico	° Humedad Se cado al aire	Peso kg/dm ³	Límite de tensión elástico kg/cm ²	Tensión para la rotura kg/cm ²	Módulos Elasticidad kg/cm ²
Bambusa tuldoides	11,1	0,83	844	1 547	162 000
Guadua angustifolia	10,3	0,82	843	1 448	176000

Es necesario mencionar que otras variedades de bambú tienen características menores. Para dar una indicación al respecto, mencionamos un promedio de varios tipos que se encuentran en Puerto Rico.

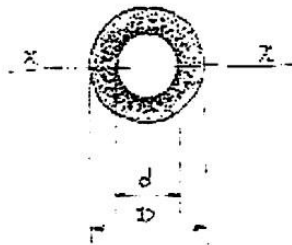
Bambusa vulgaris	9,5-10	0,60-0,75	650	1100-1200	120000-160000
------------------	--------	-----------	-----	-----------	---------------

Según las investigaciones realizadas, la resistencia cambia mucho según las varias especies, incluso más que dentro del mismo grupo botánico.

La resistencia a tensiones y fuerzas aumenta con la edad del tronco hasta 2-3 años y después, poco. Por consiguiente, el mejor tiempo de recolección será durante el segundo o tercer año.

La sección del tronco es cilíndrica, igual que un tubo, con particiones transversales a intervalos regulares que evitan el pandeo del tronco.

La sección cilíndrica-hueca tiene un momento de inercia que es el siguiente



$$I_x = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \text{ cm}^4 \approx \frac{D^4 - d^4}{20} \text{ cm}^4$$

$$W_x = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right) \text{ cm}^3 \approx \frac{D^3 - d^3}{10D} \text{ cm}^3$$

Relacionando el peso propio con la resistencia del bambú, podemos hacer la tabla siguiente:

TABLA 2.

MATERIAL	Tensión de rotura en kg/cm ²	Densidad kg/m ³	Relación resistencia-peso
Bambú	1400	800	1,75
Madera laminada	400	500	0,80
Aluminium	1900	2 700	0,70
Madera seleccionada	300	500	0,60
Acero	4400	7800	0,56
Madera común	200	500	0,40
Hormigón pretensado	670	2 300	0,29
Hormigón armado	370	2 300	0,16

Los datos de la tabla 2 indican que, en relación a su peso, el bambú es el material más fuerte de construcción existente, propiedad que debe ser aprovechada.

"Hay que investigar la manera de aumentar la resistencia del bambú contra los insectos, moho, y fuego, para proteger su vida hasta 40 - 50 años. Otra investigación es necesaria para establecer métodos más económicos y convenientes para hacer las uniones entre los troncos de bambú por ser cilíndricos y poco resistentes a la fractura longitudinal"

3. PRESERVACION

Para aumentar la vida de la caña guadúa, es importante que sea tratada con un preservante. Se pueden distinguir dos clases:

- a) Protección temporal durante el almacenaje.
- b) Conservación permanente.

3.1 La protección temporal. Durante el almacenaje es necesaria, cuando el destino del tronco no está aún determinado. Es importante, además, evitar el desarrollo de plagas de insectos en los troncos muertos, los cuales pueden dar origen al deterioro de otros troncos. Extrayendo la savia del tronco, se evita también la proliferación de estos insectos (escarabajos *Dinoderus*).

3.1.1 Como mencionamos en el párrafo 2.2, la savia del tronco cortado es absorbida por el follaje, cuando éste queda por una semana en el tronco.

3.1.2 El método de empapado consiste en sumergir los troncos verdes en agua (preferible agua corriente) por un tiempo de 2 hasta 10 semanas, lo cual da como resultado que la savia salga del tronco. Para aumentar la eficacia de este método, se pueden perforar los nudos.

3.1.3 La inmersión del tronco semi-seco en un preservante a una temperatura elevada, durante 5 minutos, da buenos resultados de protección. Las soluciones recomendables para esta inmersión, a fin de proteger los troncos del moho e insectos, son las siguientes:

- a) Agua con dispersión de 2% Borax, y 1% pentacloro fenate de sodio
- b) Emulsión de Dieldrín - Penclorofenol (PCP).

Dieldrín	- 18% concentrado emulsificable	- 1 parte (volumen)
PCP	- 12% concentrado emulsificable	- 4 partes (volumen)
Agua	-	- 75 partes (peso)

Administración extra según necesidad -		
Naftenato de cobre - emulsificable		1 parte (peso)

3.2 La conservación permanente. Es necesaria para el uso de las partes constructivas, siempre y cuando éstas se hallen a la interperie. Con relación a la edad de la recolección del tronco, se pueden determinar las limitaciones de las medidas preferidas que producen un mejor comportamiento de resistencia física.

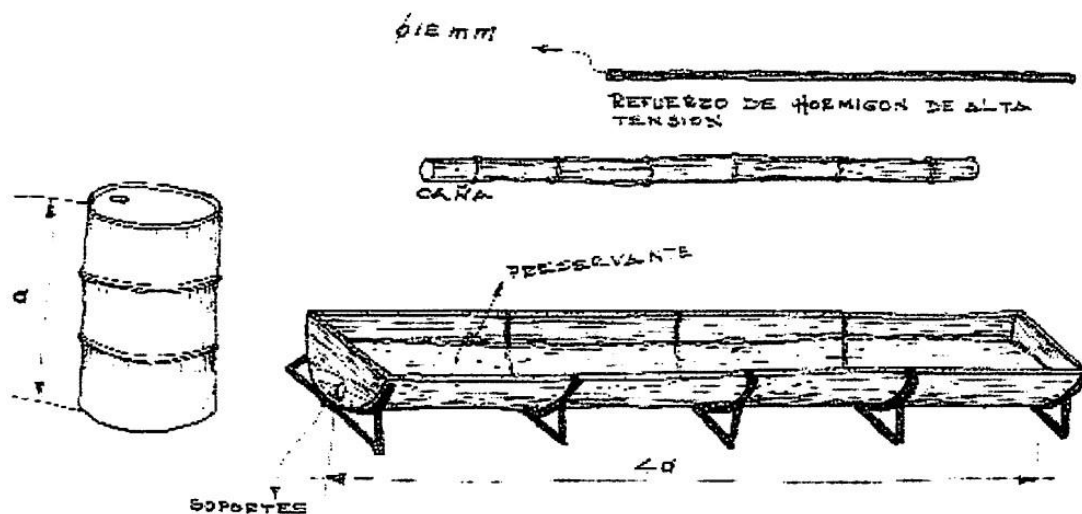
Los troncos que tengan los tamaños seleccionados se pueden tratar con un preservante directamente, sin que se necesite un tratamiento temporal. Una vez tratados, estos troncos deben guardarse en almacenaje adecuado, a fin de protegerlos de las lluvias y del contacto directo con la tierra.

Los métodos preferibles son los siguientes:

3.2.1 Impregnado o inmersión. En un preservante por 5 - 8 semanas, según la humedad, edad y espesor. Este método es muy sencillo y requiere poco conocimiento técnico.

Los troncos pueden ser sumergidos en un tanque hecho de barriles de petróleo cortados por la mitad y colocados sobre una base adecuada. Se puede construir igualmente un estanque de hormigón.

Esquema 3.2.1



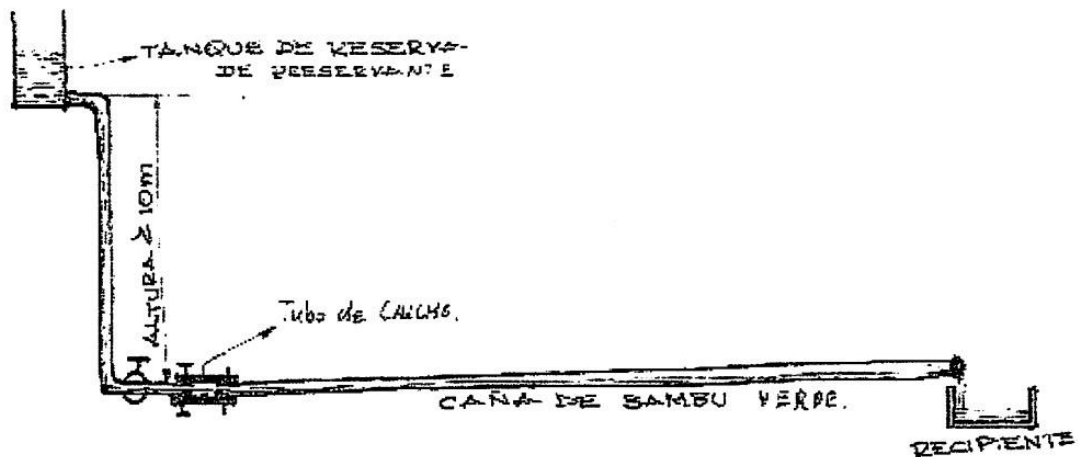
Cuando se usen cantidades muy grandes del líquido preservante, en las regiones calurosas o a causa de la lluvia, se debe evitar su evaporación o disolución en un exceso de agua. Para aumentar la penetración del líquido, se pueden perforar los nudos con una varilla de hierro de 12 a 16 mm de diámetro.

Mediante este método, se pueden sumergir piezas, esteras de bambú y otros elementos terminados o manufacturados como elementos de armadura prefabricados. Pero tiene una desventaja: el tiempo necesario, que resulta demasiado largo.

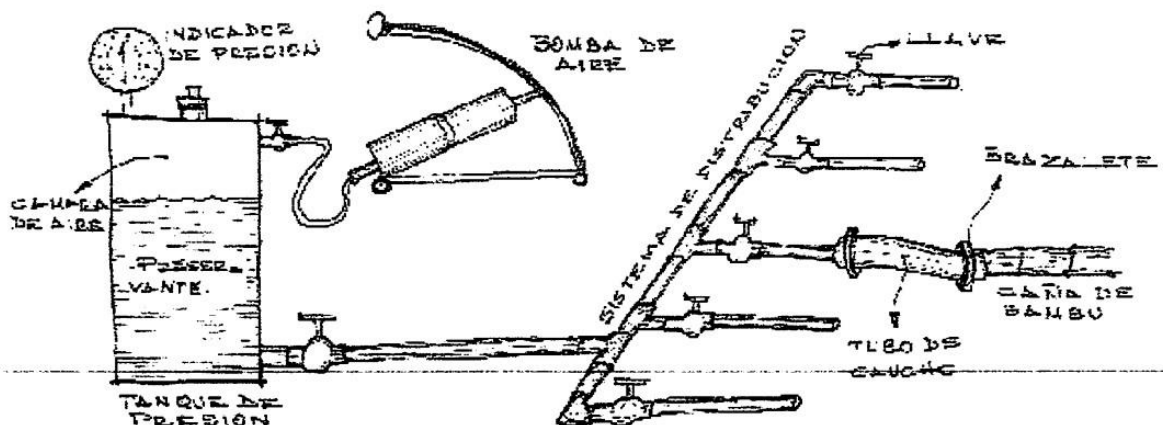
3.2.2 El método Boucherie que se puede usar únicamente para troncos enteros y de preferencia recientemente cortados y todavía húmedos. Los nudos deben quedarse intactos.

La ventaja del método Boucherie es el uso económico de preservantes, la penetración total y controlable y un proceso más rápido que el método de inmersión. En este proceso, el preservante es inyectado a presión en una parte de la cabeza del tronco hasta la base y, con esta inyección, sale la savia y es reemplazada por el líquido preservante.

Esquema 3.2.2.A.



La sobrepresión debe ser de 1 hasta 1,4 atmósferas, para cuyo efecto se usa un tanque de presión. También se puede lograr la presión mediante una bomba de aire para llantas de automóviles.

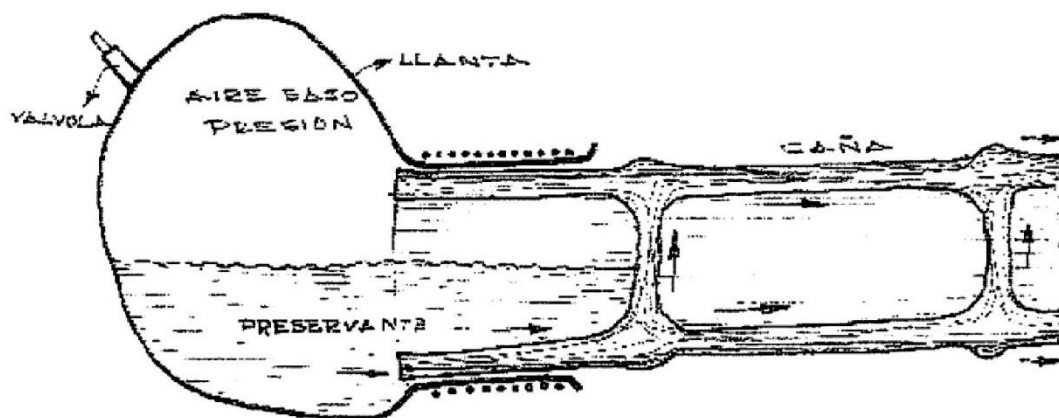


Con este método se pueden tratar varios cientos de troncos al mismo tiempo y con una misma instalación relativamente pequeña.

Igualmente, se puede transportar con facilidad este equipo hasta el lugar de recolección, lo cual es importante debido a que este método funciona únicamente con troncos frescos. Con relación a esto último, es importante que los troncos sean cortados durante el tiempo húmedo o de lluvias.

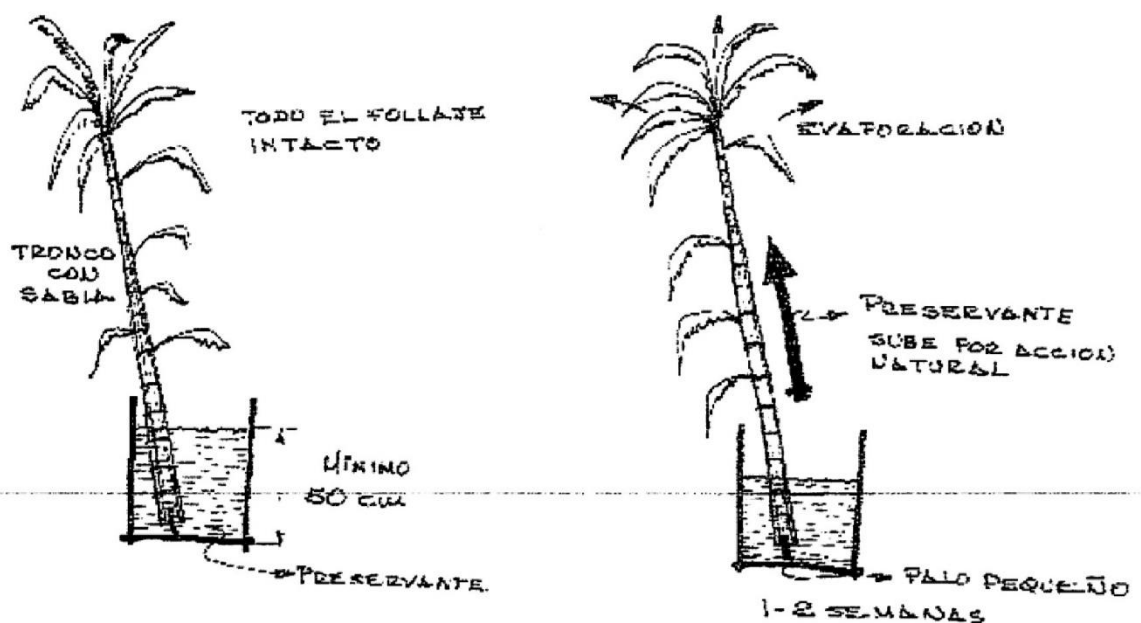
Para tratar pequeñas cantidades de troncos es suficiente una pieza de llanta pequeña.

Esquema 3.2.2. C



3.2.3 El método estancado. Se usa para pequeñas cantidades y al principio de la evaporación natural de la savia del tronco cortado. Directamente, después de talar el tronco, se lo pone en un tanque que contiene el preservante sin separar su follaje.

Esquema 3.2.3



Por acción de la evaporación, de la capilaridad y la higroscopicidad, el preservante sube por el tronco al lugar de la savia durante 1 - 2 semanas. Después se puede cortar el tronco enteramente según su uso.

3.2.4 Método del tanque de presión. Es conocido para la preservación de la madera común. En nuestro caso es recomendable perforar los nudos para evitar hendiduras y asegurar una mejor penetración.

En este método, el bambú debe ser secado al aire y el contenido de humedad debe ser inferior al 20%.

3.3 Las preservaciones mencionadas en la lista del párrafo 3.4 son recomendables para las varias funciones mencionadas en la tabla siguiente:

TABLA 3.

	Bambú seco	Bambú húmedo	Concentración de preservante	Carga de químicos en el Bambú	Durabilidad de caña guadúa
Uso exterior, en contacto directo con la tierra.	A	-	-	80 kg/m ³	20 - 30 años
Uso exterior sin contacto con la tierra puertas, andamios	A BC	- B-C	- 5%	50 kg/m ³ 6 kg/m ³	20 - 30 años
Uso bajo protección, construcción, vivienda, armadura, pisos.	A BC	- B-C	- 4%	35 kg/m ³ 4 kg/m ³	40 - 50 años
	D-E-F	-	6%	8 kg/m ³	
Uso interior, particiones, cielo raso, muebles.	BC D-E-F	BC -	3% 5%	3 kg/m ³ 5 kg/m ³	20 - 30 años

NOTA: Los preservantes B y E deben usarse con cuidado por ser muy venenosos.

Para tratamientos temporales, referirse a los preservantes del párrafo 3.1.3.

3.4 Especificaciones de los preservantes A - F mencionados en la Tabla del párrafo 3.3.

A) *Alquitrán de creosota y petróleo (fuel oil)*

50: 50 por peso

En regiones en las que pululan comejenes, es recomendable añadir 1% de dieldrín y en regiones en que abundan los hongos, es recomendable añadir también 1% pentaclorophenol (PCP).

Uso: Este procedimiento se usa junto con el método de tanque de presión, o tanque abierto; pero, en caso de usar este último, se necesita más tiempo, a fin de llegar a la absorción necesaria.

Si se trata de cantidades pequeñas de absorción, se usa también el método de inmersión en caliente. El líquido debe estar caliente (80-90°C) o el bambú debe ser calentado previamente en agua hirviendo o al vapor.

B) *Composición de cobre, cromo, arsénico (Ascu)*

Sulfato de cobre, $\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$: 3 partes

Pentóxido de arsénico As_2O_5 : 1 parte

Dicromato de sodio-potasio $\text{Na}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7, 2\text{H}_2\text{O}, \text{N}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$: 4 partes

Uso: Este preservante es aplicado por el método de presión, ó, si el bambú está húmedo, por el proceso de Boucherie aproximadamente durante 5 horas.

Puede emplearse también el método estancado por 2 - 3 semanas, según el uso interior o exterior que se dé al bambú. Pero debe usarse con cuidado por ser muy venenoso.

C) *Composición de ácido cúprico-cromato (Celcure)*

1,68 partes de sesquióxido de cromo (Cr_2O_3), este es equivalente a 2,5 partes de dicromato de sodio.

50 partes de sulfato de cobre

47,5 partes de dicromato de sodio

La aplicación es igual que con el preservante B.

D) Composición de cobre-cromo ácido bórico.

Acido bórico (H_3BO_3)	1,5 partes
Sulfato de cobre	3 partes
Dicromato de sodio o de potasio	4 partes

La aplicación es igual que con el preservante B.

E) Composición de cobre, cromo, zinc, arsénico.

Acido arsénico $H_2AsO_4, 1/2 H_2O$ *	28 partes
Arseniato de sodio ($Na_2HAsO_4, 12H_2O$)	25 partes
Dicromato de sodio	17 partes
Sulfato de zinc ($ZnSO_4, 7H_2O$)	30 partes

* Debe usarse con cuidado por ser muy venenoso. La aplicación es igual que con el preservante B.

F) Cloruro de zinc cromatado

Cloruro de zinc ($ZnCl_2$)	50 partes
Dicromato de sodio o de potasio	50 partes

La aplicación es igual que con el preservante B.

4. SILVICULTURA

4.1 El uso intensivo de la caña guadúa, implica la necesidad de una recolección regular y más grande. Además, es importante que se produzcan tamaños similares y bambú de una calidad constante.

Para llegar a un uso regular del bambú, es necesario intensificar plantaciones que puedan ser cosechadas económicamente, junto con proyectos de silvicultura según los cuales se puedan tratar directamente las cañas con preservantes y quizá prefabricar elementos normalizados de construcción.

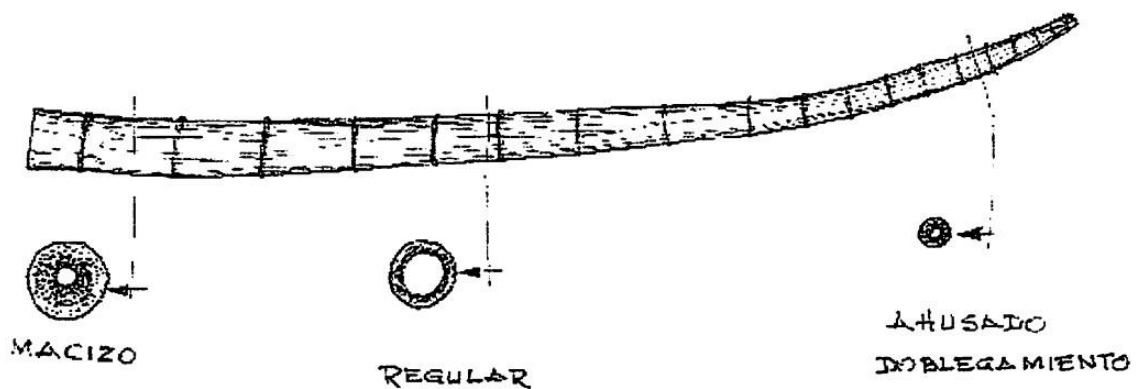
4.2 Respecto a la elevada demanda, se han realizado grandes plantaciones en países como Japón e India, donde se usan plantas previamente criadas en semilleros. Estas son cultivadas después en una extensión de 4 x 4 metros y hasta 9 x 9 metros, con el fin de facilitar la recolección y transporte de los troncos maduros.

Generalmente, la recolección es selectiva. Los troncos maduros y de buen tamaño son talados, y los otros sirven luego para sostener el crecimiento de nuevos vástagos.

4.3 Aunque las especies del bambú crecen en distintas clases de tierra, que no sean muy ácidas o alcalinas, sin embargo y por lo general, el bambú necesita terrenos con buenas condiciones de drenaje y que no sean pantanosos. Por otro lado, los bosques de bambú necesitan abundantes cantidades de agua. La calidad de los troncos fuertes y la rapidez de su crecimiento depende mucho de la selección de los terrenos. Para el Ecuador, es necesario hacer un análisis de los sitios adecuados para una producción económica de caña guadúa, teniendo en cuenta la distancia entre la selva y el lugar de su uso en razón del sistema de transporte.

5. PREPARACION DE LA CAÑA

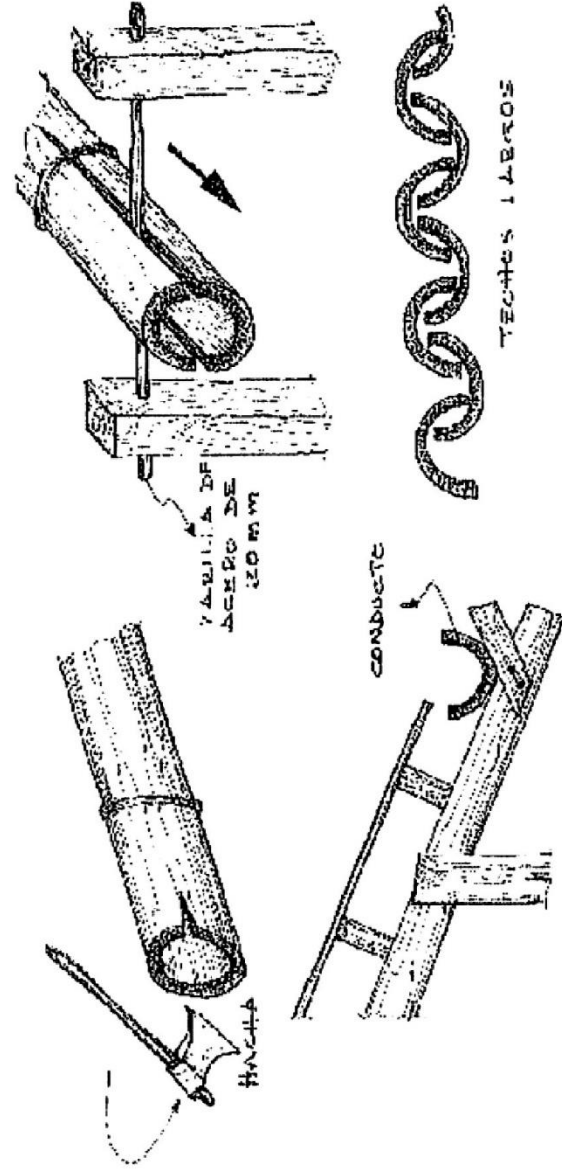
5.1 En razón de su forma particularmente irregular, el tronco talado en la selva no puede usarse directamente en la construcción. La parte baja maciza no puede utilizarse para tablonés y la parte afinada del tope muchas veces tiende a doblarse.



Calentando los troncos al vapor se pueden estirar y fijar; más, este proceso no es económico tratándose de grandes cantidades.

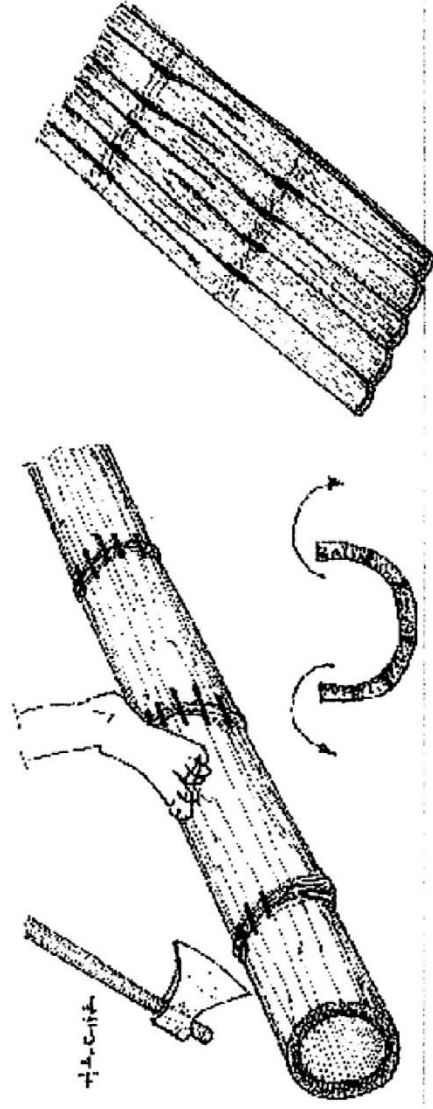
El tronco debe ser cortado a fin de separar la parte utilizable; la parte que no se usa en la forma en la que se acostumbra de ordinario, debe ser fraccionada. (Ver esquema 5.1).

5.2 *Media caña y cuarto de caña.* Para partir el tronco en dos partes se usa el hacha, produciéndose dos hendiduras con 180° de diferencia; se coloca una varilla de acero en el interior de la hendidura; el tronco es apretado en dirección de la varilla y la hendidura se continúa.



Esta forma de media caña se emplea frecuentemente para sistemas de desagüe, como conductos y tejas romanas en techos con una inclinación mínima de 30° . De la misma manera, se pueden construir paredes herméticas para uso exterior. El método de preservación A es recomendable por la presencia de aceite.

Esquema 5.3

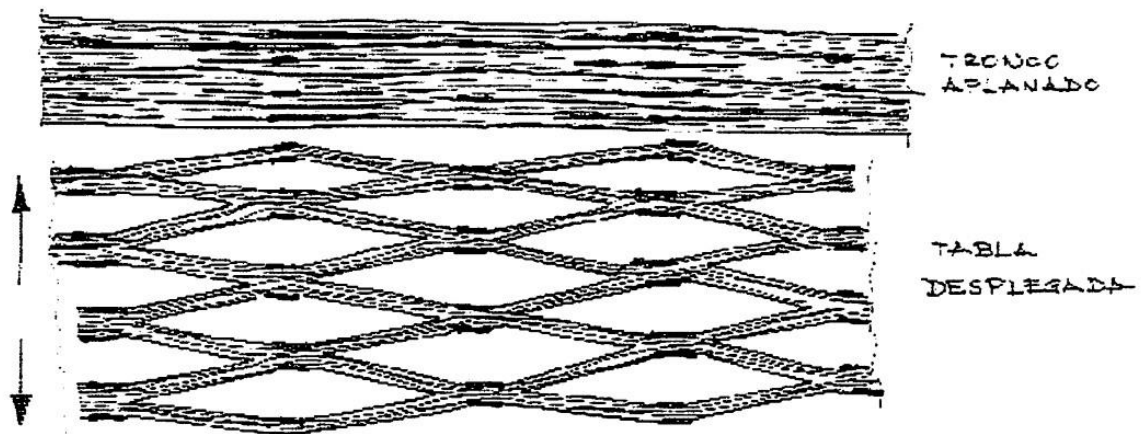


El tamaño de (1/4) cuarto de caña se obtiene con el mismo método; pero, usando la varilla de acero en posición perpendicular a la anterior.

5.3 El tablón. Otro elemento de construcción es el tablón de bambú, el cual se usa para paredes, cielo raso y pisos. Para este tablón no se puede utilizar la parte maciza del tronco. La persona que trata los troncos se llama "picador", quien, para hacer los tablonés, fija los troncos con sus pies y corta con su hacha todos los nudos alrededor por intervalos de 2-3 cm. Luego hace una hendidura a todo el largo del tronco y al fondo de la sección circular, por cuanto las incisiones, debido a la irregularidad de los nudos, no tienen correlación entre sí.

Dada la gran cantidad de incisiones, la impregnación es fácil y de corta duración. Estos tablonés se pueden desplegar para hacer una red de bambú, la cual puede ser una armadura o base de enlucido; pero, para realizar este proceso las incisiones de los nudos deben ser previamente establecidas en forma regular.

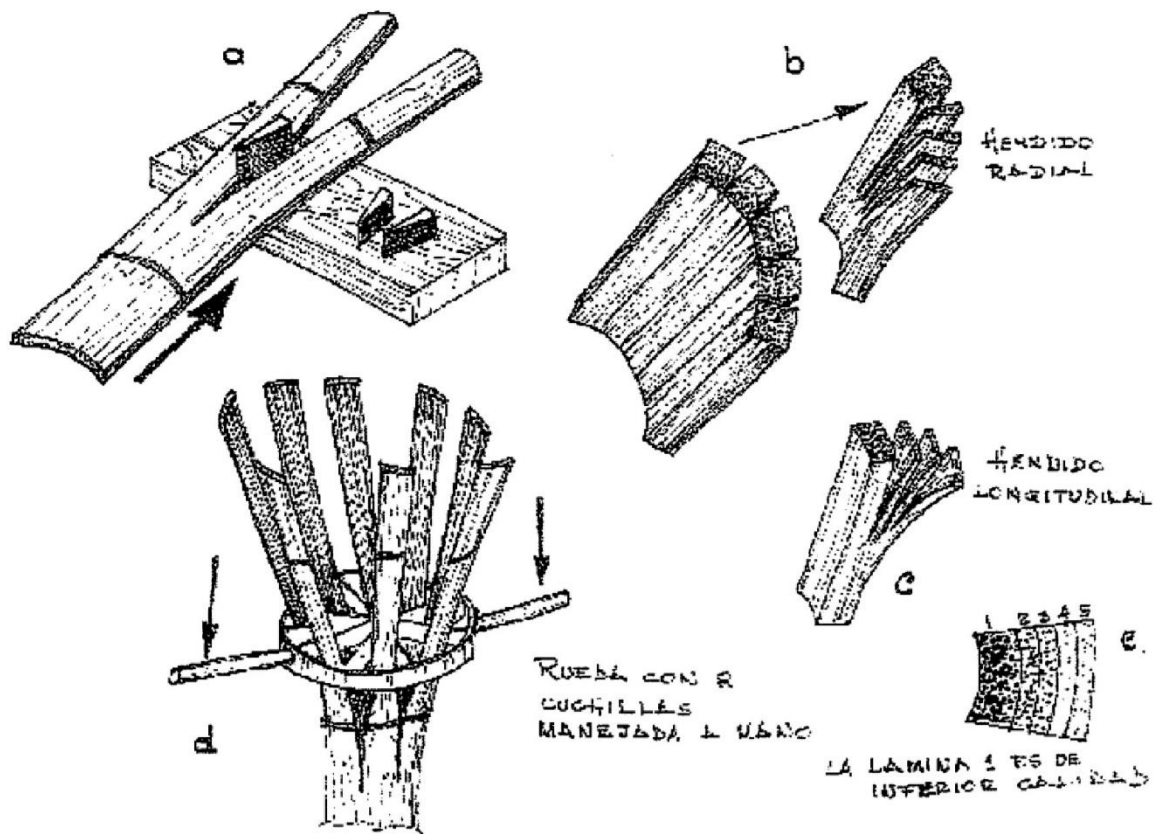
Esquema 5.3.B.



Este método de "picar" a mano los troncos es laborioso, por lo cual es conveniente realizar este trabajo mediante una máquina accionada con un pedal. Como la apariencia externa de estos tablonés no es muy atractiva para pequeñas superficies, se recomienda usar esteras tejidas.

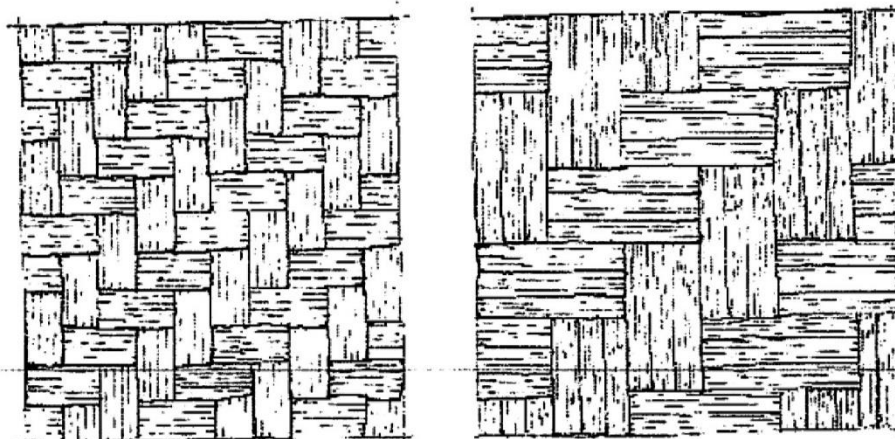
5.4 Esteras. Las esteras son manufacturas de tiras o cintas de bambú que son obtenidas cortando los segmentos del tronco con algunos artificios para hendir el bambú tangencial o radialmente y que son los siguientes (ver figura).

Esquema 5.4



La parte interior del tronco es de calidad inferior que la exterior. Esta tiene fibras más finas. Como se indica en e, esquema 5.4, en ciertos casos se rechaza la parte interior según el uso al que se lo destine.

El proceso de perforar los segmentos del tronco se realiza también automáticamente, a fin de llegar a un espesor y ancho idénticos. De estas láminas de bambú se confeccionan esteras con temas decorativos variados.



TEJIDOS DE ESTERAS.

5.5 Una placa contrachapada de bambú se fabrica pegando algunas de estas esteras, así como los tableros contrachapados de madera; eventualmente se hacen con madera al interior.

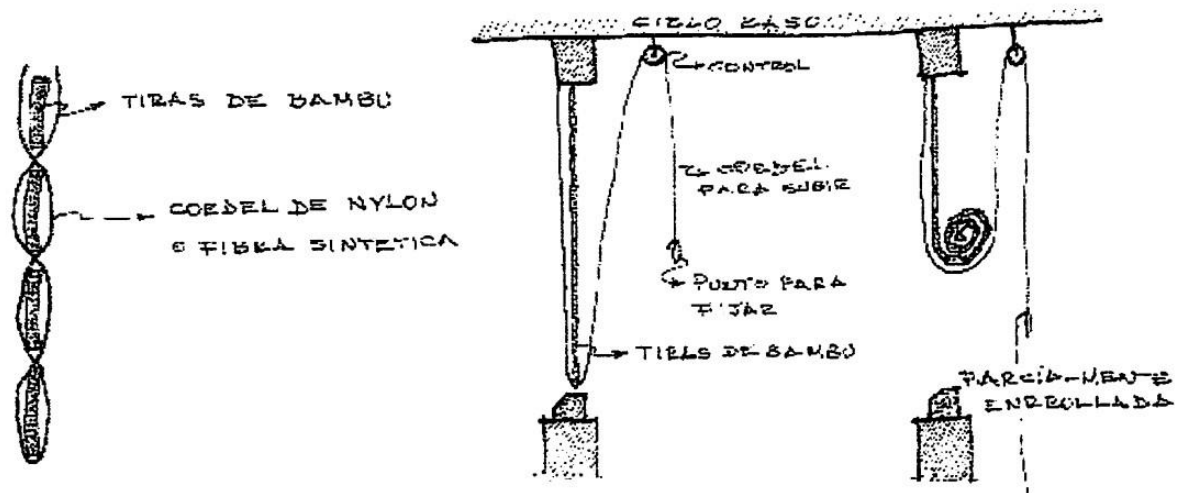
Para encolar estas esteras se pueden usar: fenol-formaldehído y melamine-formaldehído (son colas para la prensa calentadora). También se emplean: caseína y úrea-formaldehído. Una estera se puede prensar bajo 30 kg/cm^2 y a 140 C , con un contenido del 15% o de cola fenol-formaldehído, para obtener una hoja de excelente calidad y de mínimo espesor.

Experimentos de este tipo de producto pueden hacerse en fábricas de placas contrachapadas, para evaluar las posibilidades de su uso. Para un buen diseño decorativo, estos contrachapados hechos de esteras tejidas de bambú y de un tamaño modulado se pueden aplicar para paneles interiores y exteriores sin ningún tratamiento adicional. Experiencias realizadas en la India demuestran que estas esteras prensadas presentan una excelente resistencia contra los comejenes y la interperie.

5.6 El tejido de tiras de bambú es un tipo de protección solar, así como contra miradas indiscretas, de buena calidad y bastante barato.

La calidad, naturalmente, depende del método de hendir el bambú. La lámina exterior tangencial tiene mejor calidad.

Esquema 5.6



5.7 Es posible también imitar en bambú las persianas flexibles que se fabrican actualmente de aluminio. Para estas persianas se recomienda reducir el espesor de los nudos, a fin de dar mejor funcionamiento y aspecto estético, debiendo preferirse las láminas exteriores de corte tangencial.

Esquema 5.7



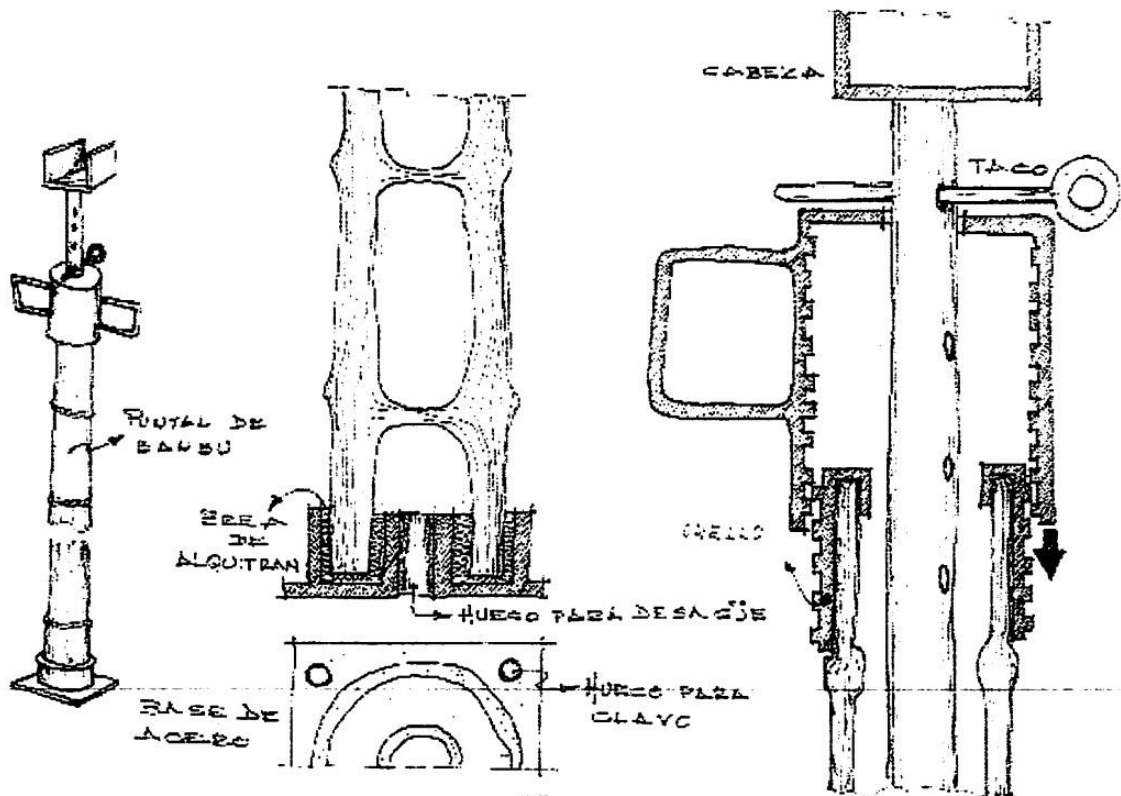
6. ENCOFRADO Y ANDAMIAJE

6.1 Actualmente el bambú se emplea en gran escala para encofrados en la industria de la construcción, principalmente por sus cualidades de resistencia y peso reducido, así como porque la durabilidad del bambú, no tratado, es limitada. Su forma redondeada presenta algunos problemas constructivos para la colocación, lo cual se soluciona con el uso de puntales. Pero, la elaboración de las cabezas de estos puntales de bambú reduce la vida funcional útil y, además, el método de colocarlos es laborioso.

La cabeza y la base de los puntales se pueden reforzar con una pieza de acero, la cual sirve al mismo tiempo para regular la altura.

6.2 El tronco se sujeta a la pieza de acero con breya de alquitrán caliente; en la base debe hacerse un hueco para la ventilación del compartimiento bajo el tronco. En la parte superior del tronco, una vez cortado en la medida deseada, se coloca un cuello de unión con rosca de tornillo para proteger la cabeza de hendiduras. El exterior de este cuello debe ser engrasado.

Los diafragmas de los nudos de la parte superior son perforados para permitir la entrada del eje de la cabeza.

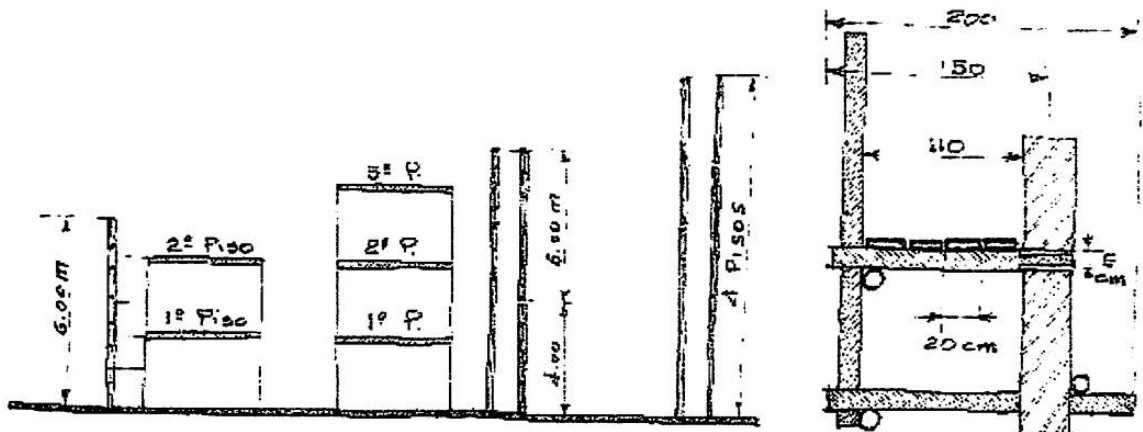


La pieza con base y el cuello de unión se puede cambiar con una pieza de tronco más larga, cuando la altura total de aquella no alcanza la de los núcleos de los puntales existentes, si éstos son totalmente de acero. La ventaja de los puntales de bambú radica en su poco peso, lo cual disminuye los problemas de transporte y facilita el trabajo. Por tanto, la empresa de construcción puede hacer una inversión menor en razón del bajo costo de estos puntales.

6.3 El andamiaje de caña guadúa es una aplicación muy usada actualmente. Para aumentar la vida de los elementos de andamiaje no es recomendable perforar los troncos, sino usar cuerdas o sogas para las juntas.

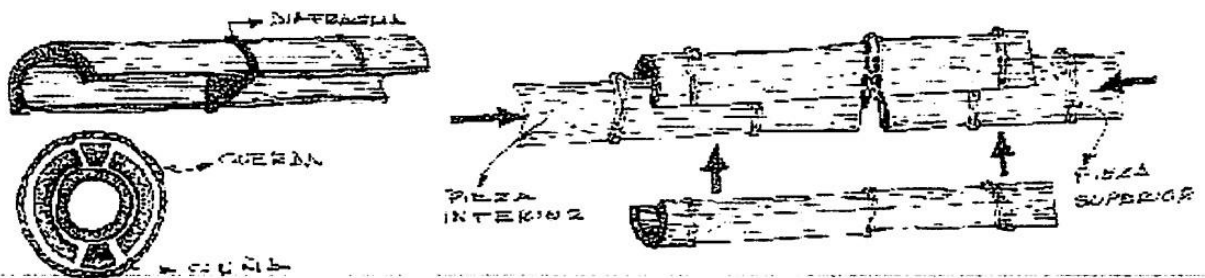
Esta sogá cuando es hecha de una fibra natural, como cáñamo, debe ser empapada con aceite de creosota para evitar su deterioro a causa de la lluvia y el agua usada en el proceso de construcción. Las longitudes de los elementos del andamiaje son, de preferencia, de 6 m, 4 m y 1,50 m. Para el piso se pueden usar tabloncillos de madera, mínimo de 4 m de largo por 20 cm de ancho.

Esquema 6.3.A



El empalme entre los elementos de 4 y 6 m se hace mediante 2 medias cañas de aproximadamente 1 m de largo, en los cuales se mantiene el diafragma en la mitad. Toda la unión se sujeta con cuerdas, de la manera que se indica en el esquema 6.3.B.

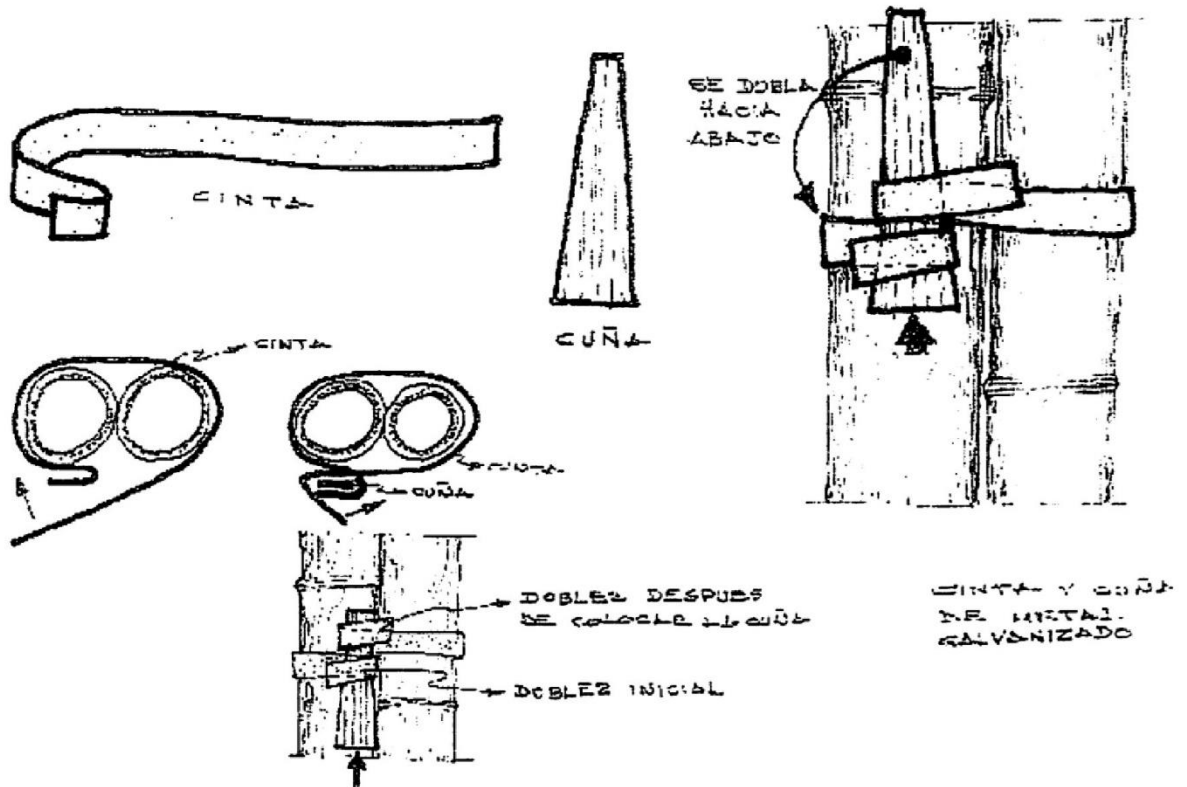
Esquema 6.3.B



Esta cuerda se puede ajustar, después, colocando una cuña entre la misma y el tronco de bambú.

6.4 Para construcciones permanentes de bambú, se pueden empalmar los elementos según los métodos anteriormente descritos, pero, además, mediante otro acoplamiento adaptado para empalmar troncos con pequeñas diferencias de diámetro. Un tipo tal de acoplamiento puede ser el siguiente:

Esquema 6.4



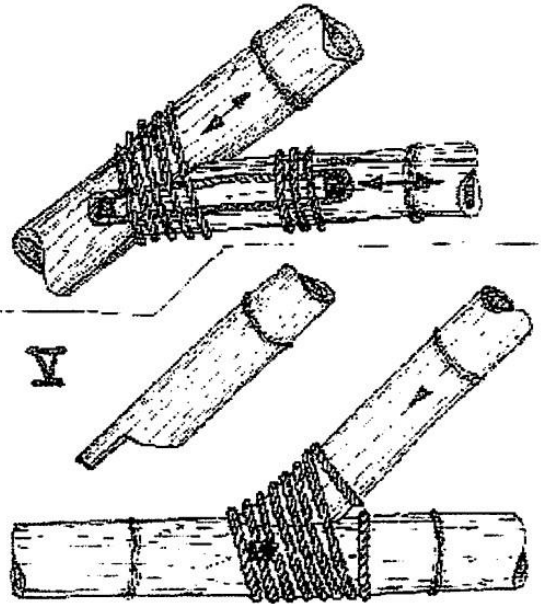
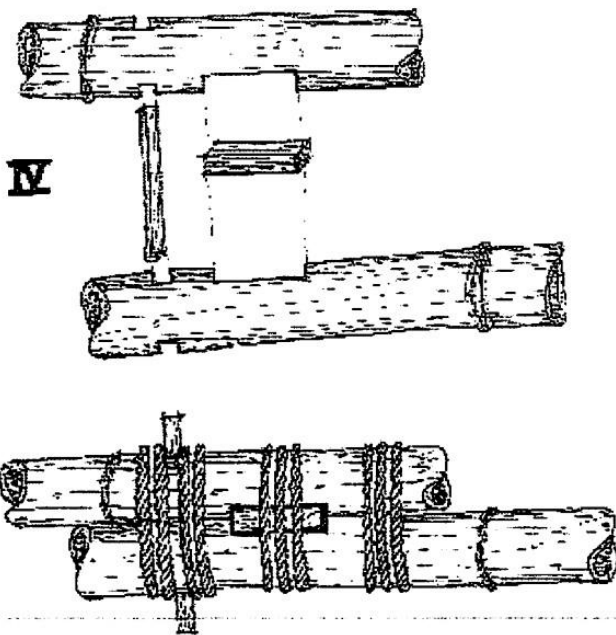
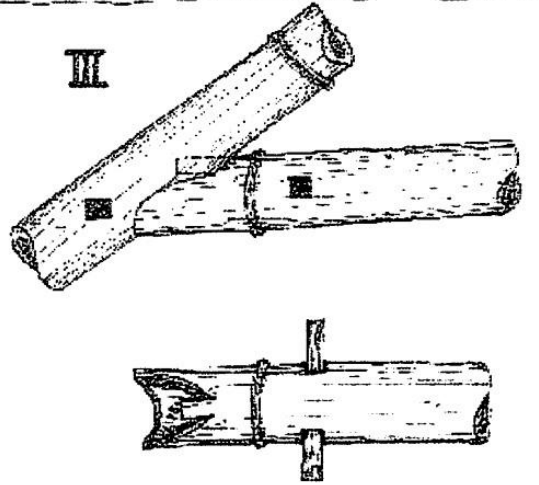
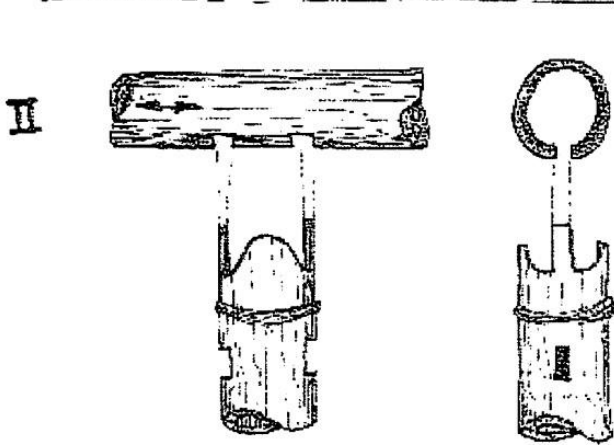
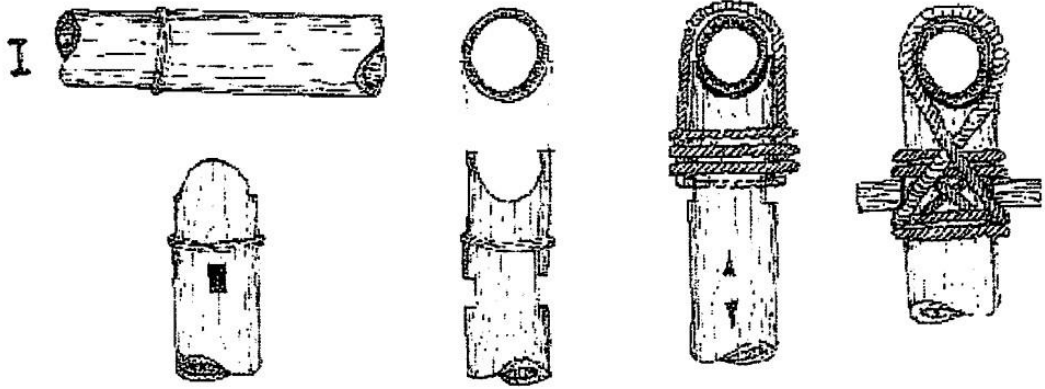
7. JUNTAS PERMANENTES DE BAMBU

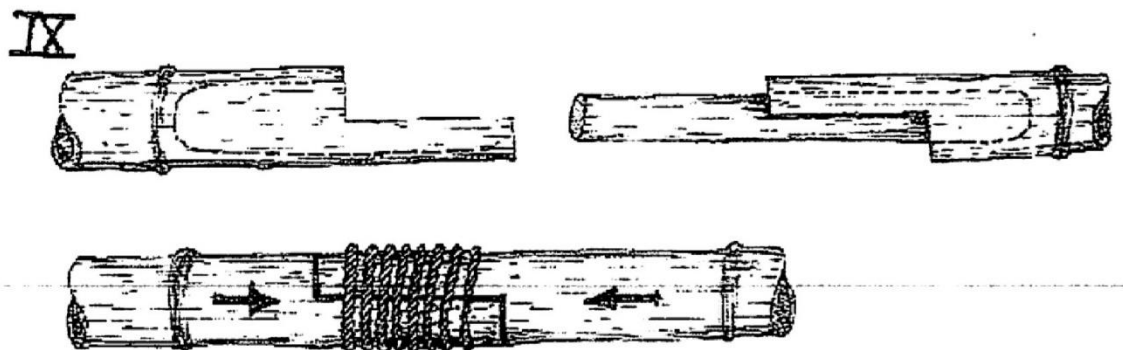
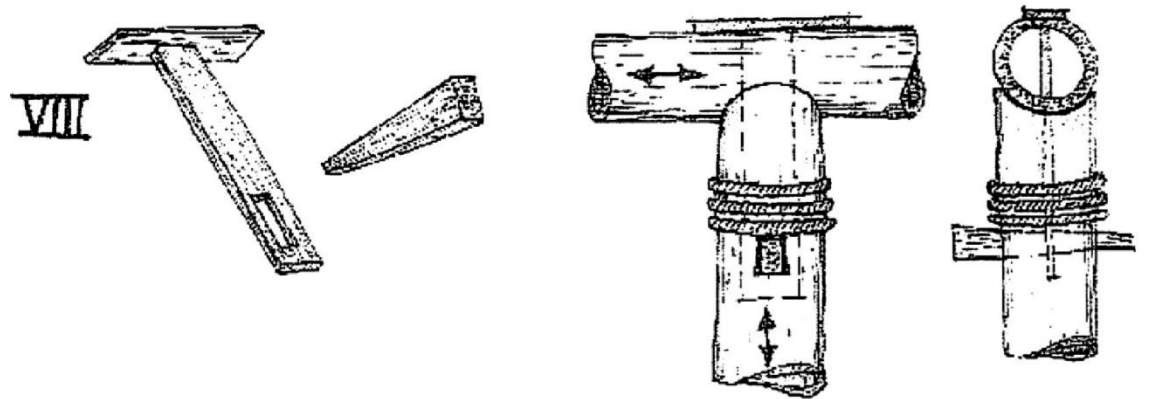
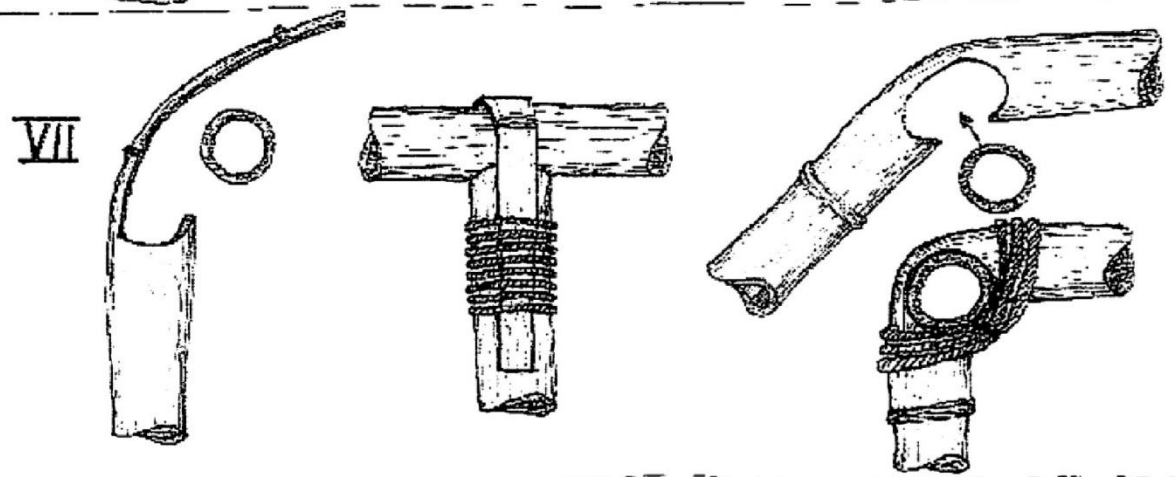
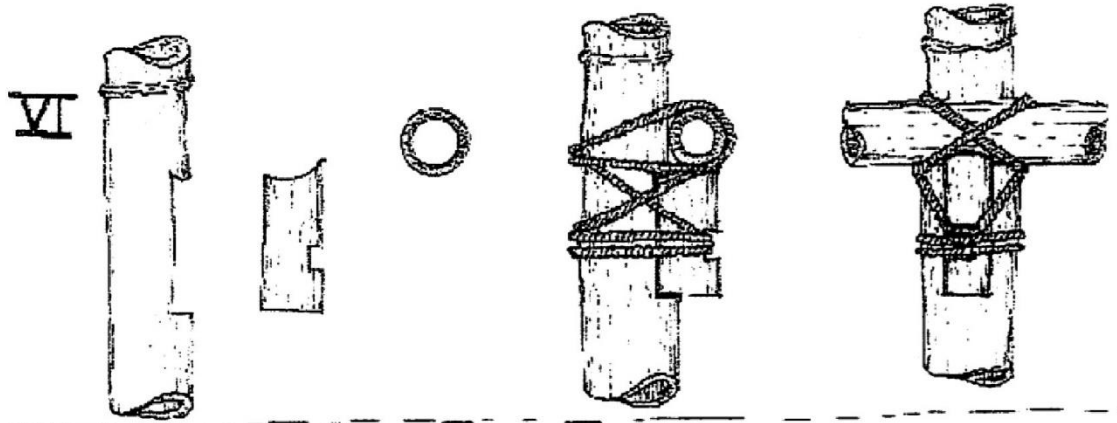
El uso del bambú en construcciones permanentes necesita juntas que puedan transportar las fuerzas de presión y tensión de una parte a otra sin causar mayores deformaciones. Como se ha demostrado en algunos ensayos, generalmente las juntas son los puntos más débiles y las fallas, que se han producido bajo grandes fuerzas, han sido causadas por la hendidura.

7.1 Uno de los principios básicos de las juntas de bambú consiste en la manera de envolver la junta con una cuerda o soga de una fibra sintética o alambre de acero galvanizado.

Otro punto importante es, que las juntas hechas alrededor de los nudos o diafragmas son más resistentes que las hechas entre dos nudos. Con relación a la facilidad de la hendidura, no es aconsejable usar clavos gruesos o tornillos y, en todo caso, es mejor taladrar los huecos con anticipación.

7.2 Las juntas de bambú usadas para la construcción se indican en las figuras I a IX adjuntas.





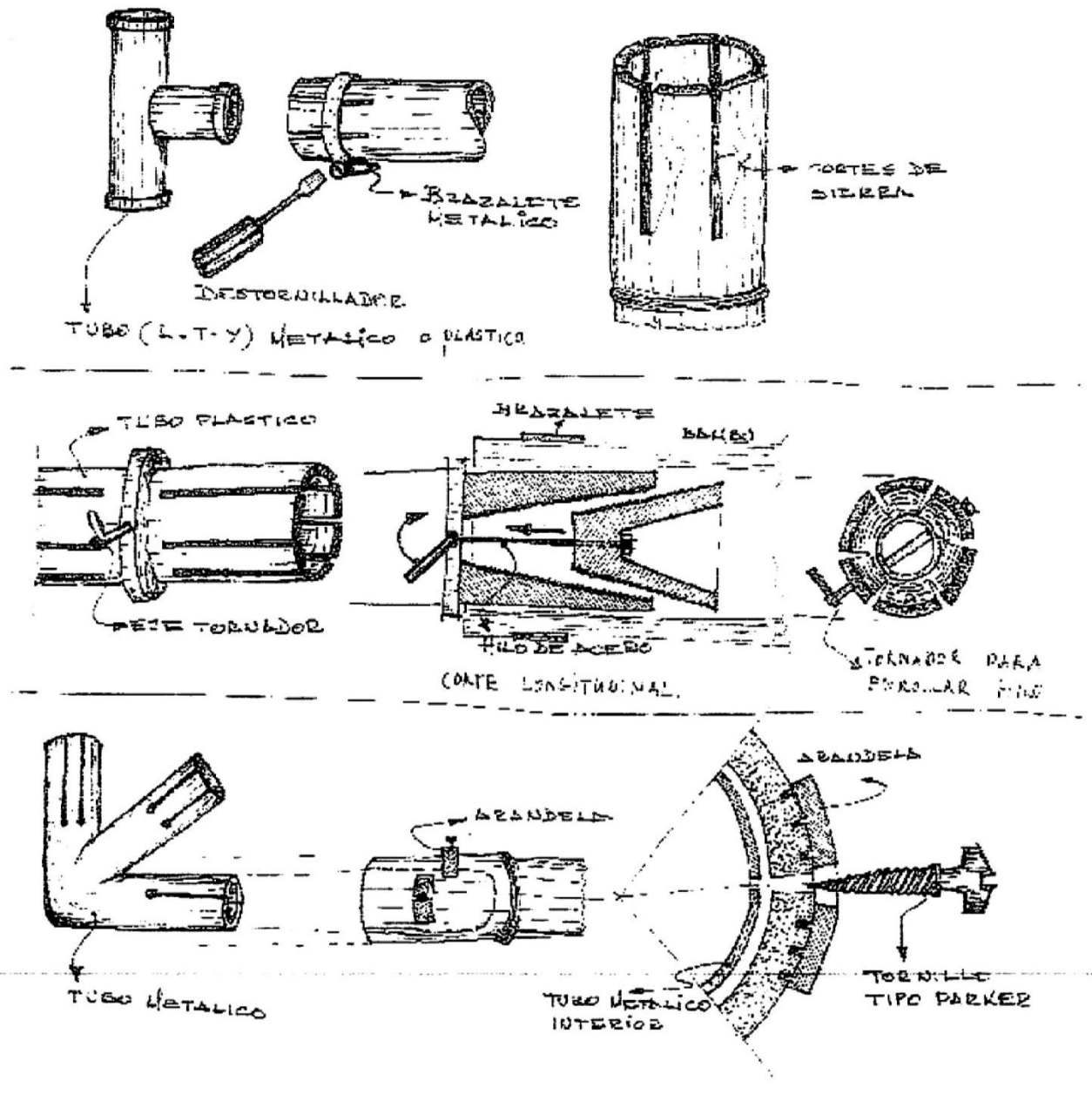
7.3 Los diversos tipos de juntas, antes ilustrados, muestran los principios básicos con los cuales se pueden construir juntas de armaduras más complicadas o con más elementos, según los métodos existentes.

Para incrementar el uso del bambú, se pueden realizar nuevos tipos de juntas con elementos metálicos o plásticos.

Una de las condiciones para utilizar estos nuevos materiales consiste en una noj normalización de tamaños interiores y exteriores de los troncos que se usan para la construcción.

Aunque las conexiones de metal son más caras, sin embargo, estas evitan la necesidad de labrar las cabezas de los troncos y disminuyen el tiempo de colocación. Además, sería posible la prefabricación de elementos, y el transporte de construcciones prefabricadas se limitaría a los troncos rectos numerados y elementos de juntas.

Esquema 7.3



8. LA CONSTRUCCION DE PAREDES

En el Ecuador, como en otros países latinoamericanos, se conocen varios tipos de construcción con paredes de bambú o cañas y tienen nombres como "bajareque", "taquezal" y "quincha", los cuales son combinaciones de bambú o cañas y tierra arcillosa.

8.1 La aplicación de la fibra de caña de azúcar en la mezcla de adobe mejora la cohesión de la estructura, debido a la acción de la savia que contiene la caña; así mismo, la fibra de caña mejora la durabilidad y la resistencia mecánica de la pasta arcillosa.

8.2 Al reemplazar la mezcla de adobe por una mezcla de cemento-arena o estuco, se mejora un poco más la durabilidad. En las viviendas antiguas de las ciudades se encuentran algunas construcciones hechas con tablones de bambú (párrafo 5.3), que dan paredes interiores muy ligeras.

8.3 Una experiencia de prefabricación de elementos de paredes terminadas, hechas según el método antes mencionado, muestra que, para la seguridad del transporte, se necesita hierro de refuerzo y, por otro lado, los elementos son demasiado pesados.

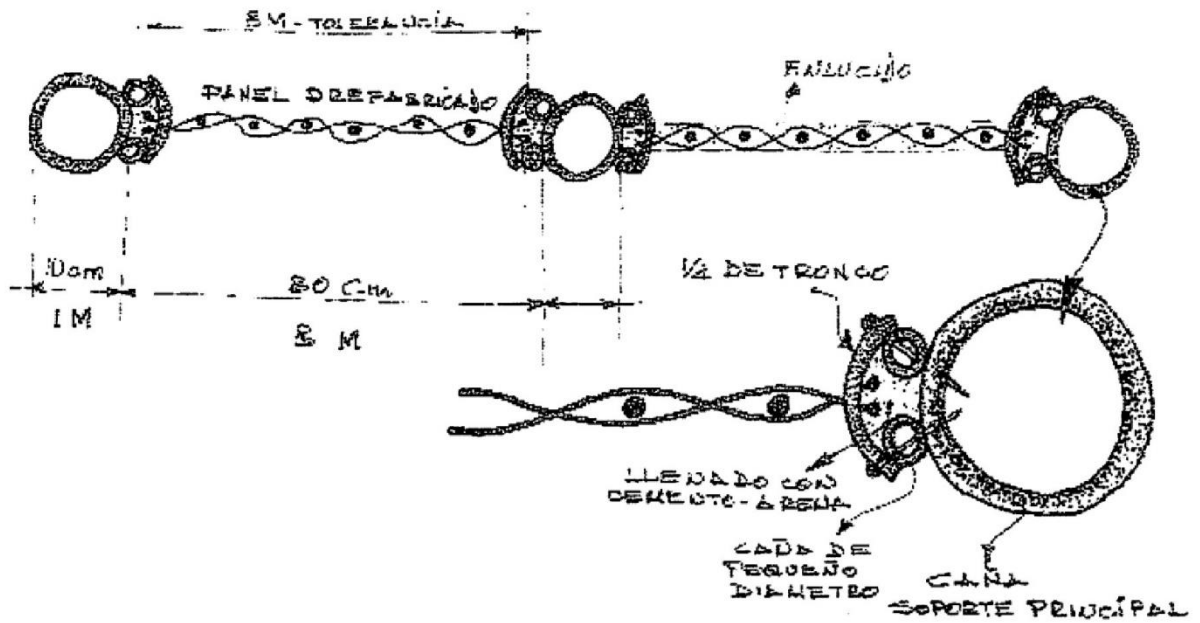
Otro método para usar este sistema consiste en construir los paneles con esteras, tablones u otras estructuras tejidas, de tal manera que los paneles se puedan colocar en el sitio de construcción, (ver esquema 8.3) después de los cual se puede aplicar el estuco.

En este último método se dan las siguientes ventajas:

- a) Se evita el acero de refuerzo;
- b) se facilita el transporte de paneles;
- c) se facilita la colocación;
- d) se disminuye el transporte total de arena y cemento;
- e) la aplicación del estuco se puede hacer en cualquier momento; y,
- f) se pueden aumentar las medidas de los elementos.

Es necesario que la junta entre los elementos se realice con bambú o madera dura.

Esquema 8.3

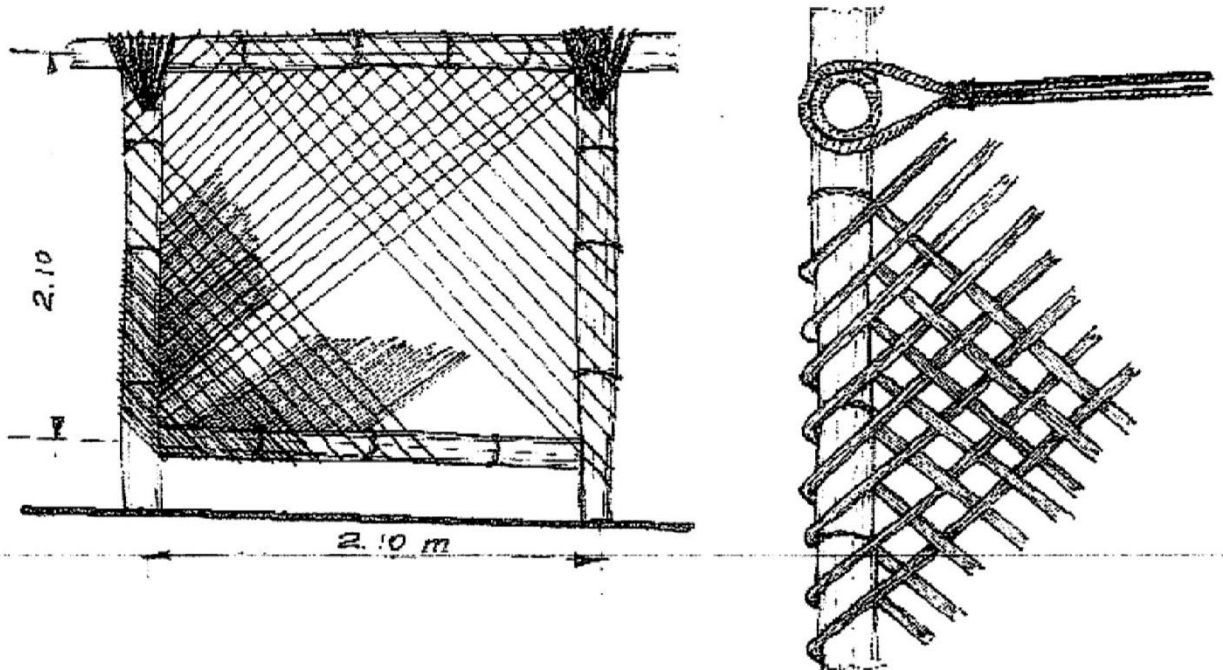


8.4 Las construcciones en los países andinos deben ser antisísmicas, lo cual implica generalmente el empleo de estructuras indeformables con diagonales. Por su baja relación peso-resistencia y gran durabilidad, el bambú es el material de construcción preferido para estas estructuras.

La construcción de barras diagonales con troncos se puede reemplazar por un tejido de bambú diagonal, para los elementos estructurales de la vivienda.

Una pared hecha de tal manera que funcione como un diafragma, y en posiciones calculadas para una vivienda, puede dar suficiente rigidez a su construcción. Esta pared puede ser acabada con estuco ó, tratándose de una pared interior, con otro tejido muy fino de recubrimiento.

Esquema 8.4

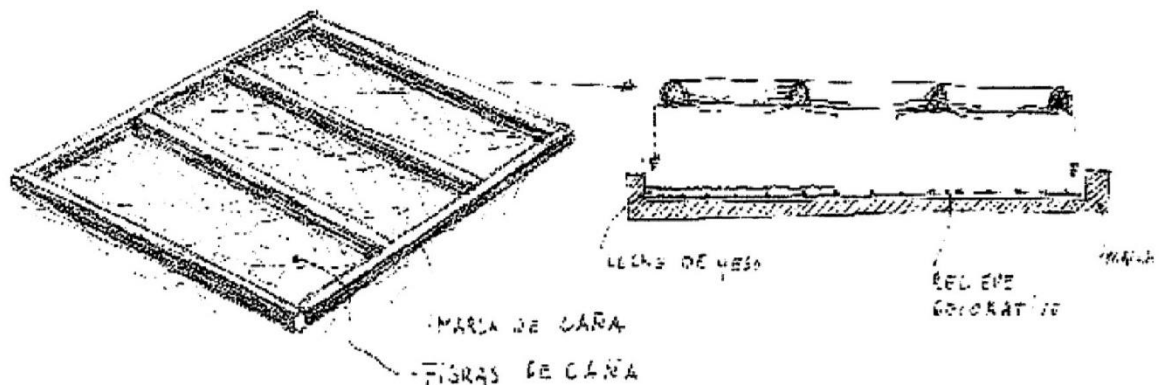


8.5 Cielo raso. Para los acabados de cielos rasos se usan paneles de yeso con marco de caña. Estos marcos pueden ser de 40 cm a 120 cm de largo. Para hacer estos marcos se usa caña que fue sumergida en agua de tal manera y durante el tiempo necesario para que las fibras de caña sean suficientemente ralas. Estas fibras dan refuerzo al panel.

Para el encofrado se usa una placa metálica o de plástico con relieves decorativos. Estas placas o paneles se rompen fácilmente, por lo cual se debe tener cuidado en el transporte. Por esta razón, estos paneles han de ser fabricados cerca de la vivienda en la cual serán colocados después.

Se puede mejorar la resistencia aplicando una tela rala como el yute. Su elaboración sería semejante a la del lienzo para pinturas.

Esquema 8.5



9. PISOS DE HORMIGÓN ARMADO

La resistencia del bambú a la tensión es de 1400 kg/cm^2 hasta 2800 kg/cm^2 ; por consiguiente, se puede reemplazar el acero de refuerzo del hormigón con bambú, cuando se consideran los diferentes aspectos físicos del mismo. Las experiencias descritas en el documento antes mencionado de Naciones Unidas llegan a las conclusiones siguientes:

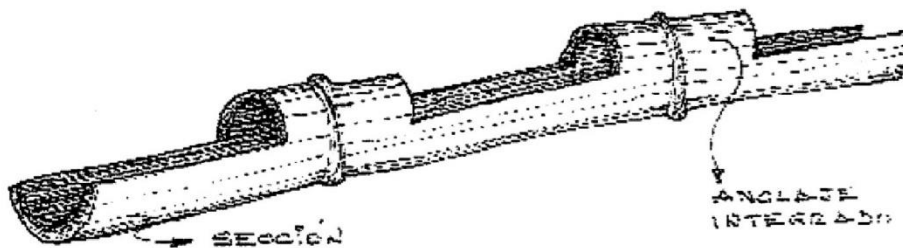
9.1 Para el cálculo de los pisos, la resistencia a la tensión de la caña se toma con un máximo de 700 kg/cm^2 , en troncos de un diámetro de 3 - 3,5 cm. El valor admisible para cálculos sería 400 kg/cm^2 de tensión.

La sección óptima de refuerzo es de 4% de la sección del hormigón, pudiendo aumentar este porcentaje hasta 7 - 8% sin que haya una disminución significativa de la resistencia del hormigón, ni aumento de la resistencia de la construcción.

9.2 El anclaje entre las piezas de bambú y de hormigón es pequeño y disminuye hasta cero, cuando el bambú se contrae para resecarse, después que ha absorbido agua del hormigón vertido. Por esta razón, debe evitarse la absorción de agua. La aplicación de una mixtura de bitumen y gasolina (4:1 por peso) evita esta absorción de agua. La inmersión del bambú en una mezcla de 50:50 de aceite de linaza y trementina, durante 4 días, también evita la absorción de agua.

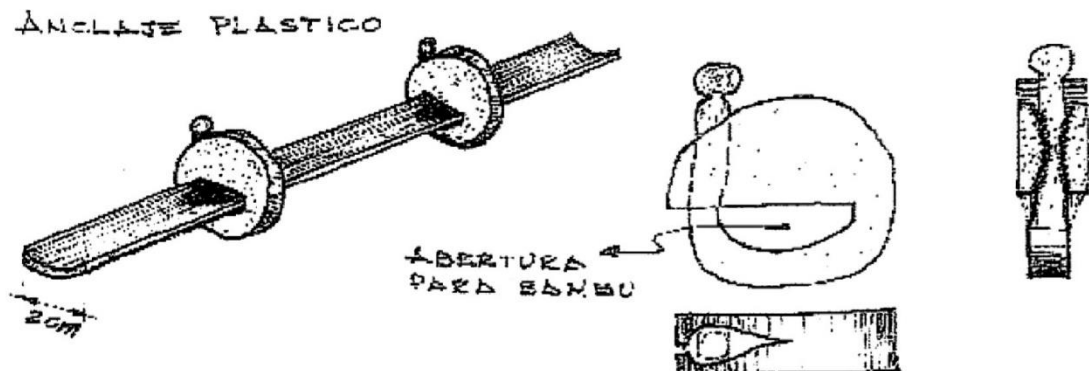
Debe asegurarse el anclaje para hacer los empalmes entre los nudos, (anclaje integrado).

Esquema 9.2



9.3 El módulo de elasticidad del hormigón-bambú es de 150 000 hasta 180 000 kg/cm^2 , igual al hormigón (acero) de mezcla 1: 2: 4. No obstante, la flexión todavía es grande, y el uso de bambú para refuerzo de vigas no es conveniente, por cuanto se producen después muchas grietas en el hormigón. Es preferible el uso en pisos o losas de los pisos. Además, se debe evitar el uso del bambú verde. Los análisis realizados muestran también que las hendiduras del tronco del bambú aplanado dan mejor resultado que las de los troncos enteros. Y para asegurar un buen anclaje de las tiras de bambú, es necesario aplicar anclajes mecánicos.

Esquema 9.3



Estos anclajes regulan también el espesor del recubrimiento del hormigón. Se ha de preferir que las tiras de bambú sean de 2 cm de ancho.

Es conveniente el uso de bambú-hormigón y su comportamiento es satisfactorio en losas y elementos de techos. Se puede aceptar también el uso del refuerzo de bambú en combinación con hormigón ligero, piedra pómez, arcilla expandida y hormigón aireado.

El hormigón ligero generalmente es más poroso y el bambú necesita un tratamiento que evite la absorción de agua, como mencionamos en el párrafo 9.2.

Las losas o elementos de las paredes interiores tienen la ventaja de un menor peso junto con un buen aislamiento térmico, lo cual es indispensable para varias regiones de la Sierra con un clima frío. Por otra parte, la ausencia de hierro de refuerzo constituye una economía importante.

10. PROTECCION CONTRA ANIMALES NOCIVOS

Los huecos en los troncos deben ser cerrados en la construcción definitiva, a fin de evitar el alojamiento de ratones y otros animales nocivos. También se deben evitar paredes huecas o dobles y plataformas que no se puedan limpiar o controlar.

11. PROPIEDADES SISMO-RESISTENTES

La experiencia en varias regiones del mundo demuestra que las construcciones hechas de bambú y con buenas estructuras son sismo-resistentes y, en muchas ocasiones, mejores que las de madera. La capacidad de absorción de energía y la grande flexión sobre la rotura, unida a la alta relación resistencia-peso, hacen que el bambú sea considerado como uno de los mejores materiales para construcciones sismo-resistentes.

Las construcciones hechas de bambú, con pórticos especiales resistentes a flexión dúctil, pueden ser calculadas para efectos de sismo-resistencia con un factor de $k = 0,67$, lo cual es verdaderamente ventajoso, en comparación con otros tipos de construcciones