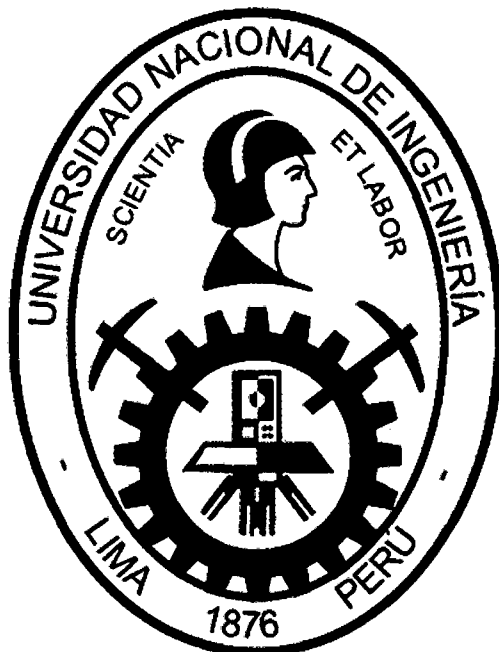


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS



VALIDACIÓN DE METODO PARA DETERMINAR PARÁMETROS
ÓPTIMOS DE LOS PROCESOS DE UNION, MEDIANTE ADHESIVOS
DISPONIBLES DEL MERCADO NACIONAL CON MADERAS
AMAZÓNICAS, PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPONENTES DE USO
ESTRUCTURAL

TESIS

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO INDUSTRIAL

JULIO EDGARDO LU CHANG-SAY

Lima – Perú

2014

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mí mentora y madre Victoria Chang-Say Vda. De Lu, quien siendo viuda con 6 hijos, cuando Yo tenía 14 años, con su increíble capacidad é inteligencia, siempre ha apoyado con consejo, recomendaciones y procurado todo lo mejor a su alcance, para que recibamos la mejor educación posible, y hasta la fecha no deja de preocuparse, ni descansar para hacer de sus hijos, mejores profesionales y personas.

AGRADECIMIENTO

Mi mejor agradecimiento por que hicieron posible esta tesis:

Ing. Juan Alvares Leyva; por invitarme a participar del proyecto PIPEA100-11, que me ha brindado la gran oportunidad de reencontrarme con mi alma mater y con un tema para titularme como ingeniero con esta tesis.

Ing. Jorge Chau Chau; por su iniciativa de nombrarme coordinador del proyecto PIPEA100-11 y hacer reconectarme con mi alma mater, así como sus consejos, recomendaciones y asesoría para que uno de los resultados, sea esta tesis.

Arq. Moisés Chang-Say Yon; mi tío, que en paz descanse, por introducirme en la mecánica, así como en la madera, enseñarme todo lo que sabía, sobre el secado y procesamiento de la madera, fue el principio, que me ha convertido en un experto en la transformación y procesamiento de la madera.

Carmen, Roció, Gisela, Úrsula y Estuardo Lu Chang-Say; mis hermanas y hermano, que siempre me han apoyado y confiado en los muchos proyectos en que he emprendido, que me han permitido obtener amplios conocimientos y experiencias en muchos y variados campos de la ingeniería industrial.

Dr. Luis Huamán Piruleta; por recomendar en 1986, para trabajar en el ICE, permitiéndome aprender de comercio exterior, promoción de exportaciones y producción de diversos productos e industrias.

En general a todos mis maestros e Ingenieros de la facultad de industriales y sistemas, que han participado en mi formación como ingeniero industrial.

Ingenieros Luis Acuña, Daniel Alcántara, Guillermo Cruz; Asesores y jurados en esta tesis.

INDICE

DESCRIPTORES TEMÁTICOS	7
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	11
ANTECEDENTES	11
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	12
IMPORTANCIA DEL TEMA	12
HIPÓTESIS	13
OBJETIVO DEL ESTUDIO	13
ALCANCES	13
METODOLOGIA	14
CAPITULO I.....	16
1.1. DIAGNOSTICO.....	16
1.1.1 Investigación en campo y bibliográfica.....	16
1.1.2 Productos de madera que utilizan adhesivos.....	17
1.1.3 Triplay, Tableros	18
1.1.4 Los factores y parámetros de proceso en el encolado del triplay y tableros.....	19
1.1.5 Los tableros aglomerados.....	21
1.1.6 Muebles de madera.....	21
1.1.7 Los factores y/o parámetros del proceso en el encolado de muebles de madera	22
1.1.8 Los factores y/o parámetros del proceso de encolado según los proveedores de adhesivos.....	24
1.2. RESULTADOS DEL DIAGNOSTICO	26
CAPITULO II.....	28

2.1. MARCO TEORICO	28
2.2. LA MADERA	28
2.2.1. Morfología	28
2.2.2. Cortes de la madera	29
2.2.3. Propiedades físicas y mecánicas de la madera	31
2.2.4. Especies:	34
2.2.5. Uso estructural.	34
2.2.6. Resistencia mecánica.....	35
2.2.7. Cálculo de la resistencia a la tracción de la madera	36
2.2.8. Calculo del esfuerzo de flexión y de corte	37
2.2.9. Procesos básicos de producción con madera	37
2.2.10. Unión de la madera	39
2.3. LOS ADHESIVOS	44
2.3.1. El uso de adhesivos en la madera.....	44
2.3.2. Adherencia de la Madera	45
2.3.3. Aplicación de Adhesivos:	48
2.3.4. Penetración de la Superficie de la Madera:.....	49
2.3.5. Humidificación, Flujo y Penetración de la Madera:.....	50
2.3.6. Ajustes en los Adhesivos.....	51
2.3.7. Separación de Solventes:.....	51
2.3.8. Polimerización:	51
2.3.9. Solidificación por Enfriamiento:	51
2.3.10. Composición de los adhesivos	52
2.3.11. Curado de los adhesivos	52
2.3.12. Tipos de Adhesivos de origen sintético	52
2.4. EL ENCOLADO	54
2.5. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LOS ADHESIVOS.....	55
2.6. ANALISIS ESTADÍSTICOS	56
2.6.1. Comparación de múltiples poblaciones	56
2.6.2. ANOVA de un factor	57
CAPITULO III.....	61
3.1. MARCO TECNICO APLICATIVO	61

3.1.1. Objeto.....	61
3.1.2. Uso y Significado.....	61
3.1.3. Metodología.....	61
3.2. ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DEL MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS, EN EL ENCOLADO DE MADERAS	62
3.2.1. Los factores que afectan la resistencia de las uniones adheridas de madera.....	62
3.2.2. Método por tabulación.....	63
3.2.3. Método de diseño de experimental, comparativo con varios factores	63
3.2.4. Selección de la especie de madera	65
3.2.5. Selección de las colas.....	65
3.2.6. La mejor cola	66
3.2.7. Comparación entre el corte radial y tangencial.....	66
3.2.8. Comparación entre madera seca al horno (CH15%) y sin secar (CH25%).....	66
3.2.9. Comparación por acabado superficial	66
3.2.10. Otros factores y/o parámetros por determinar.....	67
3.2.11. La comparación entre valores de los parámetros	67
3.3. IMPLEMENTACION DEL METODO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS, EN EL ENCOLADOS DE MADERAS.....	68
3.3.1. Objeto.....	68
3.3.2. Uso y significado.....	69
3.3.3. La madera para probetas.....	70
3.3.4. Las colas:.....	72
3.3.5. Juego de probetas para ensayo	74
3.4. MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS, EN EL ENCOLADOS DE MADERAS	75
3.4.1. Objeto.....	75
3.4.2. Uso y significado.....	75
3.4.3. PROCEDIMIENTOS	76
CAPITULO IV	81
4.1. ENSAYOS Y RESULTADOS	81
4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO	81
4.2.1. EQUIPO PARA FABRICACIÓN DE PROBETAS.....	82
4.2.2. Equipo de ensayo de tracción.....	84
4.2.3. Equipos de medición y registro.....	84

4.3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ENSAYOS	85
4.3.1. Selección de las maderas:.....	85
4.3.2. Preparación de la madera para fabricación de las probetas:	86
4.3.3. Selección de las colas.....	87
4.3.4. Los ensayos a realizar	88
4.3.5. La construcción de las probetas de ensayo	91
4.4. ENSAYOS DE LAS PROBETAS.....	94
4.5. RESULTADO DE ENSAYOS.....	95
4.6. ANÁLISIS DE RESULTADO.....	97
4.6.1. Comparación entre colas C1, C2, C3.	97
4.6.2. Comparación la madera seca en horno y sin seca con la cola C1.	98
4.6.3. Comparación entre el corte radial (R) y tangencial (T)	99
CAPITULO V.....	100
ANÁLISIS ECONOMICO FINANCIERO Y COMPARATIVO ENTRE SISTEMA	
EXISTENTE Y SISTEMA PROPUESTO	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
1. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES DEL DIAGNOSTICO.....	102
2. CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES DE LA	
IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO Y ENSAYOS REALIZADOS.....	104
2.1. Implementación del método	104
2.2. Los ensayos y la construcción de probetas.....	104
2.3. Resultados y análisis	105
3. CONCLUSIONES DE LA TESIS:	107
4. RECOMENDACIONES DE LA TESIS	110
GLOSARIO DE TERMINOS.....	112
BIBLIOGRAFIA.....	113
ANEXOS	113

DESCRIPTORES TEMÁTICOS

- Productos de madera que utilizan adhesivos
- Los factores y parámetros de proceso en el encolado de madera
- La madera
 - Morfología
 - Especies
 - Uso
 - Cortes
 - Resistencia mecánica
 - Procesamiento
 - Tipos de uniones.
- Los adhesivos y colas
 - Usos
 - Características
 - Fuerzas que interviene en las uniones adheridas
 - Resistencia mecánica
 - Preparación para el pegado
 - El pegado
- Metodología para optimizar el proceso de pegado de maderas
 - Equipos
 - Inversión
 - Experimentos y pruebas
 - Características y Preparación de las probetas de ensayos de adherencia
- Resultados
- Observaciones
- Conclusiones
- Recomendaciones.

RESUMEN

La unión de madera con adhesivos data de hace más de tres mil años, es clave en la industria moderna de productos de madera, sin embargo, no se registran estudios realizados con los adhesivos modernos, disponibles en el mercado peruano y con las maderas amazónicas. Esto ha conllevado a limitar el uso en la construcción de elementos sin importancia estructural, a las piezas de madera adheridas, como los ornamentos y decoraciones, así como en la industria del mueble a incurrir en sobrecostos, para maquinar ensambles con un menor aprovechamiento de la madera. Igualmente a que se valoren mucho las piezas de madera de gran dimensión y se tiendan a desvalorizar o descartar las pequeñas. Un indicador de este resultado es el 17,8% (FAO 2001) de aprovechamiento de la madera rolliza. Si bien este indicado es negativo, también representa una gran oportunidad, para fabricar productos como vigas y tableros compuestos de pequeñas secciones de madera adheridas o encoladas entre sí, de gran demanda potencial en el mercado.

Si bien en la industria nacional, podemos encontrar fábricas de tableros y triplay, la tecnología que utilizan es obsoleta y ninguno es competitivo ni tienen la calidad o la garantía para uso estructural.

La tesis propone validar un método para determinar los parámetros óptimos estudiando los diversos factores, que afectan la resistencia al cizallamiento de las uniones de piezas de maderas nativas adheridas con diversos adhesivos del mercado nacional. Con el objetivo de poder diseñar y fabricar elementos o productos para uso estructural en construcción, a precios y calidad competitivos. El método propuesto, se inicia seleccionando una especie como base o testigo para realizar estudios comparativos de resistencia al cizallamiento.

Para el caso particular, se seleccionó la especie cachimbo, porque es una madera que tiene demanda en el mercado y cuenta con buenas propiedades mecánicas, además, se seleccionaron 3 marcas de adhesivos de una misma clase (Las clases

Se diferencian por la base), cola blanca de carpintero, que es la de uso generalizado, en la producción de productos de madera.

Los ensayos están basados en las siguientes Normas: ASTM D 5751-99 (Adhesives Used for Laminate Joints in Nonstructural Lumber Products), JIS K 6852-1994 (Testing methods for shear strength of adhesive bonds by compression loading). EN 205:1991. Métodos de ensayo de adhesivos para madera de uso no estructural.

El método propuesto consistirá en realizar ensayos de resistencia al cizallamiento hasta la falla de probetas normalizadas, preparadas ex profesamente en condiciones controladas, donde uno por uno, se variará el valor de cada parámetro, y se determinará la resistencia al cizallamiento resultante. Luego los resultados se comparan mediante análisis de varianza.

Para fabricar las probetas, se han diseñado, construido y validado un equipo de fabricación de diversos tipos de probetas para ensayos de adherencia.

Además se ha formulados un conjunto de procedimientos, para la implementación del método, preparación de los materias a ensayar, los ensayos, registro y procesamiento de los resultados.

El método validado, permite determinar los parámetros óptimos, con pocos ensayos y, lograr la máxima resistencia posible de las uniones encoladas de piezas de madera, dentro de las condiciones del proceso de producción, con la finalidad de fabricar cualquier producto de maderas adheridas, incluyendo las de uso estructural.

Resultado: Se ha validado un método de determinación de parámetros óptimos, y un equipo para construir probetas de ensayo de adherencia. En el proceso de validación se ha encontrado preliminarmente, los siguientes resultados:

1. Las colas ensayadas de la misma clase, de tres marcas diferentes, no muestran diferencias significativas en la resistencia al esfuerzo de cizallamiento (kg/cm^2), la selección es económica.
2. El tipo de corte radial (R) o tangencial (T), no muestran diferencias significativas en la resistencia al esfuerzo de cizallamiento (kg/cm^2). Por el número de muestras realizadas este factor no necesitara mayor comprobación. Es un factor

menos a tomar en cuenta. Sin embargo es necesario realizar ensayo de la combinación del corte radial (R) con corte tangencial (T) y en el tiempo.

3. El contenido de humedad CH15% y CH25%, para las tres marcas de colas de la misma clase ensayadas, no muestran diferencias de efecto significativo en la resistencia al cizallamiento.
4. Es necesario realizar juegos de ensayos adicionales, para confirmar, los resultados preliminares de los ensayos realizados en las pruebas de validación del método.

INTRODUCCIÓN

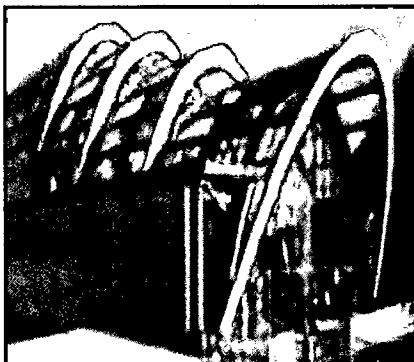
ANTECEDENTES

La madera se podría decir, sin temor a equivocarse, es el primer material que utilizó el hombre para fabricar herramientas, armas y construir su vivienda, a pesar de todos los avances técnicos, la madera sigue estando vigente como material para la construcción, tanto por lo estético como por sus propiedades físico - mecánicas de resistencia mecánica, aislamiento, versatilidad, etc. Pero, sobre todo, por qué tiene una huella de carbono neutra, frente al cemento que se estima en 800kg por tonelada.

Las desventajas de las maderas enteras y grandes, en la construcción, radican principalmente en lo siguiente:

- Mayor costo de las maderas anchas y largas, porque las dimensiones máximas están determinadas por el tronco del árbol del que se obtienen.
- Dificultades técnicas para procesar madera de grandes dimensiones, como ejemplos: Se requiere equipos de mayores dimensiones para el aserrío; así como el secado de madera con espesor mayor a 2 pulgadas, técnicamente es posible pero económicamente no es rentable porque la razón es cuadrática.

Las desventajas de las maderas enteras y grandes, han sido superadas con el desarrollo de la tecnología de los materiales y adhesivos. Actualmente, en el



mercado exterior se encuentran muchos materiales para construcción, que son madera adherida con otros materiales y otras maderas. Pero todos estos productos provienen de madera reforestada, como pino y eucalipto.

Imagen 1, invernadero, Winter Garden, studio Pringle, Richards, Sharratt Architects

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el mercado nacional hay disponible muchos productos de madera unidos con adhesivos, mayoritariamente los de calidad, son de origen importado, generalmente de madera pino de reforestación.

La oferta nacional de productos adheridos de madera es con tecnología basada en ficha y propiedades técnicas provistas por los mismos proveedores de los productos adhesivos.

Los fabricantes de productos de madera, basados en algunas pruebas empíricas, con buen criterio, han desarrollado muchos productos. Sin embargo, muchas no cuentan con la rigurosidad técnica necesaria que les permita predecir, con un mínimo grado de incertidumbre, el comportamiento de las uniones encoladas. Por otra parte estos ensayos no se documentan correctamente. Es así que, hay muchos procedimientos implementados, basados en el buen criterio técnico de lograr un mejor producto pero no necesariamente apropiados, quedando siempre mucha incertidumbre. En estas condiciones, difícilmente se pueden desarrollar productos competitivos, con maderas nativas para el mercado nacional y de exportación, menos aún productos de uso estructural.

Este problema central tiene otros múltiples efectos, como un bajo aprovechamiento de la madera rolliza que se extrae, bajos precios de los productos de madera, oferta de productos con poco valor agregado, mínimo crecimiento del sector y deforestación de los bosques.

IMPORTANCIA DEL TEMA

El Perú cuenta con el segundo bosque más grande del mundo. Sin embargo, exportamos menos de US/\$100 millones al año de productos forestales.

Estudios indican que de los árboles que se extraen, solo se aprovecha el 17,8% (FAO 2001) del volumen extraído, que constituyen las tablas, cuartones y listones de madera comercial, sin embargo, solo 55% de dicho porcentaje tiene alto valor comercial, el resto son medidas pequeñas con poco valor comercial en el mercado.

El contar con un método para determinar los parámetros óptimos de los procesos, para la unión de maderas mediante adhesivos, nos permitiría fabricar y ofertar productos, con un valor de por lo menos 4 veces superior al que se obtiene

actualmente, porque la madera corta y de recuperación, contiene muy poco valor agregado, generalmente tiene un precio mínimo de refugio o de recuperación.

Precisamente utilizando estas secciones de madera con pequeñas dimensiones, se mejoraría sustancialmente el aprovechamiento de la madera rolliza. Según estudios de la FAO 2001, en el mundo el aprovechamiento de la madera rolliza como madera es de 55%, en el Perú es de 17,8%, si bien se puede discutir que son arboles de plantaciones manejadas y que los troncos son de mejor calidad, también se puede decir que los troncos de bosques naturales al ser de mucho mayor diámetro, deberían tener mejor aprovechamiento. La explicación más razonable es la tendencia a valorar más a lo que en el mercado se llama madera comercial larga, mientras que la madera recuperada llamada corta y paquetería se valora muy poco y se prefiere hacer carbón o descartarla, en lugar de darle valor agregado. Por tanto un proceso para dar uso a secciones pequeñas de madera debería contribuir a mejorar el aprovechamiento de la madera rolliza en el Perú.

HIPÓTESIS

La resistencia al cizallamiento de las uniones adheridas de maderas, está determinada por los valores de los parámetros en el proceso de realizar las uniones, que afectan la resistencia de la unión, un método validado de determinación de los parámetros óptimos, permitirá optimizar la producción de producto de madera, así como, diseñar y producir componentes de uso estructural con las maderas amazónicas.

OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo de la tesis, es validar un método, para determinar los parámetros óptimos de los procesos de unión de madera con adhesivos, obteniendo la máxima resistencia al cizallamiento (kg/cm^2). Para aplicarlos al desarrollo de componentes de madera de uso estructural.

ALCANCES

Esta tesis se limita a validar el método, con la implementación y los primeros resultados de los ensayos alcanzados con la aplicación del método propuesto. Ensayos que se harán con unas especies de maderas pocas conocidas (LKS, Less Know Specie) y, una clase de adhesivo de 3 marcas diferentes. La clase de

adhesivos para iniciar la investigación, será la cola blanca de carpintero, de uso popular en el mercado.

Sin embargo los alcances de esta tesis son muy amplios, porque su implementación beneficiaría primeramente a todos los productores que elaboran productos de madera y todos los que consumen dichos productos, es decir a todos los peruanos, en los siguientes aspectos:

- Su aplicación permitirá desarrollar mejoras en las uniones de maderas con adhesivos. Obteniéndose productos de mejor calidad y competitivos.
- Mejora y reducción de costos en la producción de productos de madera, al mejorar los procesos y el aprovechamiento de la madera.
- Mejora de la producción de productos de madera para el mercado local y de exportación.
- Es base para el desarrollo de nuevos productos con madera de pequeñas secciones adheridas, con el aprovechamiento de la madera corta y de recuperación.
- Base para desarrollar vigas laminadas y tableros a listonados de madera, para uso estructural y en construcción, con el aprovechamiento de la madera corta y de recuperación. De gran demanda en el país porque hay déficit de viviendas en el país.
- Base para el diseño y desarrollo de nuevos equipos y maquinarias con el aprovechamiento de madera corta y de recuperación.
- Impulsará la mejora en el nivel de aprovechamiento de la madera en el Perú que es de 17,8% (FAO 2001).
- Base para el desarrollo de una tecnología de no tala de árboles, que mitigue la depredación de los bosques y permita agregar valor al bosque, sin dejar de producir madera, así como contribuir a mitigar el cambio climático.

METODOLOGIA

Se inicia la investigación con visitas técnicas y entrevistas con los encargados de producción de aserraderos, empresas de producción de productos de maderas, así como proveedores de adhesivos, de los cuales se deberá obtener, las fichas técnicas sobre los adhesivos y las variables que afectan el pegado.

Conjuntamente con una investigación bibliográfica, sobre la madera, los procesos de la madera para la producción de productos, los adhesivos y sus usos, así como de normas técnicas relacionadas e investigaciones y tesis realizadas.

Se determinaran las variables, desde la perspectiva de los que emplean los adhesivos, conjuntamente con las de los proveedores de adhesivos.

Se diseñará y formulará un método experimental para determinar los parámetros óptimos de los procesos de pegados. Requiriéndose los siguientes resultados:

1. Una metodología para investigar las variables en el encolado de las maderas, con implementación de métodos, procedimientos, equipos y materiales necesarios.
2. Diseño y construcción de un equipo de construcción de probetas de ensayo.
3. Validación del método propuesto para determinar los factores y parámetros que afectar la resistencia de las uniones adheridas.

CAPITULO I

1.1. DIAGNOSTICO

1.1.1 INVESTIGACIÓN EN CAMPO Y BIBLIOGRÁFICA

Se han hecho vistas técnicas y entrevistas con:

- Tres fábricas de triplay, tableros enchapados y alistonados, realizando entrevistas a los ingenieros encargados de producción sobre la fabricación de los tableros y en especial sobre los parámetros de los procesos de pegado.
 - Imosa
 - Triplay Amazónico
 - GEA
- Tres visitas a aserraderos de troncos, entrevistando a los técnicos sobre el proceso de aserrío de la madera.
 - Aserradero Vásquez
 - Aserradero Monte Blanco
 - Aserradero Peso
- Una visita a la fábrica de tableros aglomerados; en la entrevista se trató sobre los procesos de fabricación de los aglomerados y melamina.
 - Tableros Peruanos
- Dos visitas a madereras, que habilitan y proveen de madera para construcción y se ha entrevistado a los encargados de la comercialización de madera para construcción y el proceso de habilitado.
 - Maderera Mantovani S.A.
 - Amazonias Maderas

- Tres visitas a fábricas de muebles y productor de madera, realizando entrevistas a los ingenieros encargados de producción, sobre, la fabricación de mueble y productos de madera, en especial sobre los parámetros de los procesos de pegado.
 - Exportimos
 - Taller A.
 - Industry of Furniture
- Tres entrevistas con técnicos de tres marcas de adhesivos conocidas en el mercado nacional, se solicitó sus fichas técnicas, y trato sobre las características y ventajas de sus productos.
 - Glucom
 - Racol
 - Fuller
- Se han realizado un promedio de 20 horas de visitas a internet.

1.1.2 PRODUCTOS DE MADERA QUE UTILIZAN ADHESIVOS

La oferta nacional de productos de madera que utilizan procesos con adhesivos se dividen en los siguientes grupos:

- La producción de triplay, tableros enchapados y tableros alistonados; son todos productos consistentes en tableros formados por láminas y/o piezas de madera unidas por adhesivos. El papel del adhesivo es fundamental porque es el único elemento de unión entre los componentes.
- Tableros aglomerados; son tableros formados con viruta y aserrín de madera aglomerada con adhesivos.
- En la fabricación de muebles, las piezas de madera se unen utilizando sistemas de ensambles con espigas y se fijan con adhesivos.
- En país no existe producción de productos de madera para uso estructural unidas con adhesivos, como pilares o vigas compuestas laminadas. Los elementos estructurales como vigas y pilares se fabrican de maderas enteras solidas y/o reticuladas con uniones mecánicas de clavos y/o pernos.

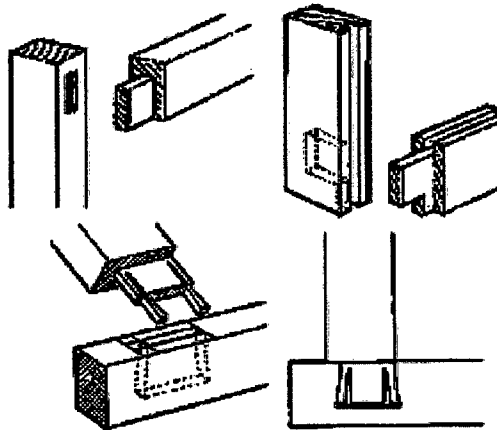


Figura 2



Figura 3

1.1.3 TRIPLAY, TABLEROS

De las vistas técnicas y entrevistas realizadas encontramos lo siguiente:

Los procesos para el encolado son similares en la fabricación del triplay, tableros enchapados y tableros alistonados. Se inicia con la preparación de las láminas o de la madera en el caso de los tableros alistonados.

Las láminas se preparan a partir del tronco, desenrollándose una lámina continua en un torno laminador, luego se corta en sección mediante una guillotina, con demasía en relación a las dimensiones finales del tablero.

Los listones para los tableros alistonados, se obtienen aserrando listones, de madera recuperada de los centros, resultante del proceso de torneado de laminación y/o de la recuperación del aserrío de madera comercial, las dimensiones son generalmente 15mm a 20mm de espesor, 45mm a 50mm ancho, 25mm a 60cm de longitud. El proceso de aserrío consiste primero hacer bloque con el espesor del ancho del listón, luego se corta los listones empleando una sierra múltiple.

El secado de las láminas se realiza en un túnel de secado, generalmente al contenido de humedad de 15% (CH15%) en relación al peso seco de la madera, es decir la madera con 0% de humedad.

Los listones se secan en un horno de secado tipo túnel, generalmente a CH15%.

El encolado de láminas, consiste en aplicar la cola, en una de las caras, con una maquina encoladora que generalmente consta de un rodillo aplicador. Las láminas se ensamblan una sobre otra en capas generalmente de a 3 y se prensan.

La cola es de base fenólica o formaldehído de tipo termo estable, generalmente se requiere calentar hasta 100C°, para que el adhesivo se active y/o seque lo suficiente para poder mover las piezas unidas.

El prensado se realiza en equipo que tiene platos múltiples con la dimensiones ligeramente mayor al tablero en proceso, la presión aplicada puedes llegar hasta 20kg/cm².

El encolado de tableros alistonados; la cola se aplica en los cantos de los listones y se ensambla sobre una mesa con calentamiento que cuenta con un bastidor de las dimensiones del tablero a fabricar, luego el bastidor aplica presión en el perímetro del tablero. También se puede hacer en forma continua, emplear una maquina componedora, que forma una especie de tablero continuo entre dos placas calientes.

1.1.4 LOS FACTORES Y PARÁMETROS DE PROCESO EN EL ENCOLADO DEL TRIPLAY Y TABLEROS

Los parámetros del proceso, están basadas en la recomendación de los proveedores de adhesivos, que son ajustados por los usuarios en base a algunos ensayos empíricos. Estos parámetros son ajustados tomando en cuenta los siguientes factores y parámetros:

1. Acabado de las superficies
2. Tiempos de ensamble
3. Tiempos de cierre.
4. Presión de cierre.
5. Temperatura en cierre.
6. Tiempo de curado.

Ensayos y pruebas: En todas las empresas de triplay visitadas, la única prueba empírica que realizan regularmente, consiste en sumergir en agua fría y/o caliente pequeñas secciones de triplay, por uno o más días, y esperar que las láminas no se despeguen. Básicamente es una prueba para determinar la resistencia del adhesivo al agua y la humedad. Pero, esto se hace sin normalización; tampoco se lleva un registro de estos ensayos.

Cuando se consultó a los técnicos e ingenieros encargados de la producción, sobre cuál era la resistencia al esfuerzo máximo de la unión encolada entre las láminas, ninguno pudo dar respuesta a esta pregunta.

Cuadro A, de factores y/o parámetros para triplay y tableros alistonados					
Código de factor	Factores que influyen en la resistencia al cizallamiento (Kg/cm²)	Variaciones de cada factor y/o parámetro	IMOSA	TRIPLAY AMAZONICO	GEA
R	Resistencia al cizallamiento Kg/cm²		No tienen datos		
Ga	(a) Medio ambiente	(Ga) Grados C°, temperatura	30	30	30
Ha		(Ha) Humedad relativa (%)	80	80	80
Pa		(Pa) Presión atmosférica.	Presión normal una atmosfera		
M	(M) especie de madera	M1,2,3,4,.....	LUPUNA, PANGUANA		
C	(C) cola	C1,2,3,4,.....	Úrea formaldehido		
EP	(EP) Espesor de la película en micras	(R) recomendación del proveedor	No hay medida, solo se controla que la capa cubrir uniforme toda la superficie		
CH%	(CH) % de Contenido de Humedad de la madera	Se seca en túnel de secado (horno)	18	18	18
D	(D) Dirección del Corte	Tangencial	No aplicable es fibra entre cruzada		
A	(A) Acabado superficial	El corte de torno equivale a un pulidos	Corte de sliceres muy fino (pulido)		
TE	(TE) Tiempo de Ensamble Minutos.,	No hay límite recomendado	No es aplicable		
TC	(TC) Tiempo de Cierre minutos	Tiempo necesario para que la cola alcance temperatura de ajuste	Aprox. 15min/cm		
PR	(P) Presión de Cierre (kg/cm²)	PR recomendada por fabricante (5 a 6)	3	3	3
GR	(G) temperatura de Curado en Cierre.	GCR promedio Rf	100	100	100
TA	(TA) Tiempo de curado abierto Hora	TAR Recomendado por proveedor	72	72	72

Fuente propia tabulada de las visitas técnicas realizadas

1.1.5 LOS TABLEROS AGLOMERADOS

Solo existe una fábrica de tableros aglomerados en el Perú (Laredo), la cual utiliza una mezcla de madera pino y eucalipto. El proceso comienza chipiando la madera hasta reducirla a virutas, luego se seca y mezcla con úrea formaldehído, esta mezcla es depositada en un molde, para ser prensada y calentada, formándose el tablero.

1.1.6 MUEBLES DE MADERA

De las visitas técnicas y entrevista con los técnicos, los procesos de encolado en la fabricación de muebles son los siguientes:

Maquinando: Generalmente el sistema de ensamble, como machihembrado o caja y espiga, sin embargo también puede ser, a tope como los tableros alistados o en láminas. Generalmente se prensan con sargentas (prensas manuales de tornillo).

Machihembrado: Consiste generalmente en tallar longitudinalmente un canal en un canto y en el canto opuesto una lengüeta que encaje en dicho canal. Esta operación se realiza con una máquina tupi, por medio de un juego de frezas con el perfil, macho y hembra.

Caja y espiga: La caja consiste en tallar un canal corto cerrado por ambos extremos, y tallar una espiga con el perfil y la profundidad de dicho canal corto, con un ajuste afín de que ingrese a presión. El proceso de hacer el canal corto se realiza en una máquina escopladora, y la espiga mediante una máquina espigadora, que consiste en reduce el ancho y espeso de un extremo para que encaje en el canal corto que es la caja.

Encolado: Se utiliza generalmente un chisguete aplicador y se esparce con una espátula o brocha.

Ensamble: Se ensamblan las piezas artesanalmente introduciendo las espigas en las cavidades a golpes; cuando son muchas unidades se realiza mediante una prensa de ensamblado.

La cola: En todas las empresas fabricantes de muebles visitadas, emplean la cola PVA, cola blanca de carpintero (cola sintética) de diversas marcas.

Prensado: Cuando la unión utiliza un ensamble de caja y espiga, no requiere prensado para fijar la piezas, sin embargo, en las uniones a tope y tipo machihembrada, se prensan, usualmente con sargentas.

1.1.7 LOS FACTORES Y/O PARÁMETROS DEL PROCESO EN EL ENCOLADO DE MUEBLES DE MADERA

Los parámetros del proceso están basados en la recomendación de los proveedores de colas, los cuales son ajustados en algunos ensayos empíricos, se han obtenido los siguientes factores y parámetros:

1. La especie
2. La cola
3. Contenido de humedad de la madera
4. Orientación del corte
5. Preparación de las superficies de encolado y las uniones
6. Tiempos de ensamble
7. Tiempos de cierre.
8. Presión de cierre.
9. Temperatura en cierre.
10. Tiempo de curado.

Ensayos y pruebas: En todas las empresas visitadas, la prueba empírica consiste tomar una unión encolada y someterla a algún esfuerzo o impacto para flexionarlo o separarlo, pero esto se hace manualmente sin un mecanismo para medir el esfuerzo y sin normalización; tampoco se llevan registros de estos ensayos.

Se debe mencionar que indicaron que la orientación del corte, el contenido de humedad y el tipo de madera podían influir en la resistencia de las uniones de madera.

Cuando se consultó a los técnicos e ingenieros encargados de la producción, sobre cuál era el esfuerzo máximo de la unión encolada entre las láminas, ninguno pudo dar respuesta a esta pregunta.

Cuadro B, de factores y/o parámetros para encolado de muebles de madera					
Código de factor	Factores que influyen en la resistencia al cizallamiento (Kg/cm²)	Variaciones de cada factor y/o parámetro	Exportimo	Talle A	Industry of Furniture
R	Resistencia al cizallamiento Kg/cm²	Según proveedor 100kg/cm ²	No tienen datos		
Ga	(a) Medio ambiente	(Ga) Grados C°, temperatura	25	25	25
Ha		(Ha) Humedad relativa (%)	90	90	90
Pa		(Pa) Presión atmosférica.	Presión normal una atmosfera		
M	(M) especie de madera	3000 especies conocidas	Diversas especies		
C	(C) cola	C1,2,3,4,.....	Cola blanca de carpintero (cola sintética)		
EP	(EP) Espesor de la película en micras	Cubrir la superficie a encolar	No hay medida, solo se controla que la capa cubrir uniforme toda la superficie		
CH%	(CH) % de humedad de la madera	(S) seca al horno (H) sin secar al horno.	15	15	15
D	(D) Dirección del Corte	Corte (R) Radial Corte (T) Tangencial	Se estima una diferencia y hay recomendaciones de no mezclar corte radial con tangencial		
A	(A) Acabado superficial	(D) al corte de disco, (C) cepillado, (L) lijado., pulidos	Se considera que las superficies rugosas son mejores		
TE	(TE) Tiempo de Ensamble Minutos.,	La cola blanca requiere tener solvente para el ensamble	Máximo 10 min		
TC	(TC) Tiempo de Cierre minutos	Recomendable el mayor tiempo posible, hasta poder manipular la unión	Mínimo 1 hora		
PR	(P) Presión de Cierre (kg/cm²)	Suficiente para no dejar burbujas de aire	No hay control, se presas con tornillo de ajuste manual		
GR	(G) temperatura de Curado en Cierre.	Ha mayor temperatura menos tiempo	Temperatura ambiente		
TA	(TA) Tiempo de curado abierto Hora	Recomendado por proveedor 3 días	No se aplica		

Fuente propia tabulada de las visitas técnicas realizadas

1.1.8 LOS FACTORES Y/O PARÁMETROS DEL PROCESO DE ENCOLADO SEGÚN LOS PROVEEDORES DE ADHESIVOS

Se han visitado tres empresas proveedoras de pegamentos, que proveen colas con diversas bases. En lo que respecta a la cola blanca de carpintero, las tres cuentas con más de dos marcas en el mercado, se diferencian básicamente por el precio y por el contenido de sólidos. En todos los casos se seleccionó la marca con más contenido de sólidos, de cada una de las empresas, las marcas de colas son las siguientes:

1. GLUKOLA UR, es desarrollada y formulada en el Perú.
2. DORUS KL 4010, es desarrollada en el exterior y formulada en el país.
3. RAD3, es 100% procedente del exterior.

De las fichas técnicas obtenidas de estas colas se ha confeccionado TABLA 1 que a continuación se muestra: **TABLA 1**

LAS COLAS				
COD	COLA	BASE	% SOLIDOS	Resistencia N/mm²
C1	GLUKOLA UR	Resina de Polivinilo Acetato (PVA)	49 - 51	
C2	DORUS KL4010	Resina de Polivinilo Acetato (PVA)	47+-3%	
C3	RAD3	Resina de Polivinilo y Vinil Ester (PVA)	49 - 51	10

Fuente propia tabulada de las visitas técnicas realizadas

Según los mismos proveedores de las colas, los factores y/o parámetros a tomar en cuenta son:

1. Preparación de las superficies de encolado
2. Espesor de la capa del pegamento
3. Tiempos de ensamble
4. Tiempos de cierre.
5. Presión de cierre.
6. Temperatura en cierre.
7. Tiempo de curado.
8. Condiciones en el curado

CUADRO C, FACTORES Y/O PARÁMETROS DEL PROCESO DE ENCOLADO SEGÚN LOS PROVEEDORES DE ADHESIVOS

Código de factor	Factores que influyen en la resistencia al cizallamiento (Kg/cm ²)	Variaciones de cada factor y/o parámetro	GLUKOLA UR	DORUS KL4010	RAD3
R	Resistencia al cizallamiento Kg/cm ²		No presentan datos		100
Ga	(a) Medio ambiente	(Ga) Grados C°, temperatura	25		
Ha		(Ha) Humedad relativa %	85		
Pa		(Pa) Presión atmosférica.	Condiciones normales		
M	(M) especie de madera	M1,2,3,4,.....	Más de 4 clases de adhesivos de distinta base.		
C	(C) cola	C1,2,3,4,.....	C1	C2	C3
EP	(EP) Espesor de la película	Cubrir la superficie a encolar	125 a 175 g/m ²		
CH%	(CH) % de Contenido de Humedad de la madera	(S) seca al horno (H) sin secar al horno.	10 a 25		
D	(D) Dirección del Corte	Corte (R) Radial Corte (T) Tangencial	No hay recomendaciones		
A	(A) Acabado superficial,	(D) al corte de disco, (C) cepillado, (L) lijado.	Superficie limpia libre de polvos		
TE	(TE) Tiempo de Ensamble Minutos.,	Mínimo debe haber solvente para el ensamble	10	10	10
TC	(TC) Tiempo de Cierre minutos	Recomendable el mayor tiempo posible, hasta poder manipular la unión	Mínimo 30 minutos		
PR	(P) Presión de Cierre (kg/cm ²)	recomendada Suficiente para no dejar burbujas de aire	3 a 7 kg/cm ²		
GR	(G) temperatura de Curado en Cierre.	Ha mayor temperatura menor tiempo	Temperatura ambiente Temperatura ambiente hasta 80C°		
TA	(TA) Tiempo de curado abierto Hora	Tiempo para 80% resistencia Máxima	Mínimo 72 horas		

Fuente propia tabulada de las visitas técnicas realizadas.

1.2. RESULTADOS DEL DIAGNOSTICO

Como resultado de las visitas técnicas realizadas, tanto a proveedores de colas como a los fabricantes de productos de madera, hemos tabulado en total 16 factores y/o parámetros que determinan la resistencia de las uniones encoladas:

Entre los cuales son 3 los factores del medio ambiente a tomar en cuenta:

1. Temperatura
2. Humedad relativa
3. Presión atmosférica

Son 6 los factores considerados por los fabricantes de productos de madera:

1. Especie de madera
2. La cola
3. Preparación de la superficie
4. Área encolada
5. Orientación del corte
6. Contenido de humedad de la madera

Son 7 los factores considerados por los proveedores de los pegamentos:

1. Espesor de capa del pegamento
2. Tiempo de ensamble
3. Tiempo de cierre
4. Presión de cierre
5. Temperatura de cierre
6. Tiempo de curado
7. Condiciones del curado

En la **Tabla 2** ha continuación, se tabulan todos los factores a considerar (fuente propia, resultado de visitas técnicas), que afecta la resistencia de las uniones encoladas de los procesos de fabricación con madera.

TABLA 2

Código de factor	Factores que influyen en la resistencia al cizallamiento (Kg/cm ²)	Variaciones de cada factor y/o parámetro	GLUKOLA UR	DORUS KL4010	RAD3	Exportimo	Talle A	Industry of Furniture
R	Resistencia al cizallamiento Kg/cm ²		No presentan datos		100	No tienen datos		
Ga	(a) Medio ambiente	(Ga) Grados C°, temperatura	25					
Ha		(Ha) Humedad relativa %	85					
Pa		(Pa) Presión atmosférica.	Condiciones normales					
M	(M) especie de madera	3000 especies conocidas	No hay adhesivos específicos					
C	(C) cola	C1,2,3,4,.....	Más de 4 clases de adhesivos de distinta base.		Cola blanca de carpintero (cola sintética)			
EP	(EP) Espesor de la película	Cubrir la superficie a encolar	125 a 175 g/m ²		No hay medida, solo se controla que la capa cubrir uniforme toda la superficie			
CH%	(CH) % de humedad de la madera	(S) seca al horno (H) sin secar al horno.	10 a 25		15	15	15	
D	(D) Dirección del Corte	Corte (R) Radial Corte (T) Tangencial	No hay recomendaciones		Se estima una diferencia y hay recomendaciones de no mezclar corte radial con tangencial			
A	(A) Acabado superficial,	(D) al corte de disco, (C) cepillado, (L) lijado.	Superficie limpia libre de polvos		Se considera que las superficies rugosas son mejores			
TE	(TE) Tiempo de Ensamble Minutos.,	Mínimo debe haber solvente para el ensamble	10	10	10	Máximo 10 min		
TC	(TC) Tiempo de Cierre minutos	Recomendable el mayor tiempo posible, hasta poder manipular la unión	Mínimo 30 minutos		Mínimo 1 hora			
PR	(P) Presión de Cierre (kg/cm ²)	Suficiente para no dejar burbujas de aire	3 a 7 kg/cm ²		No hay control, se prensas con tornillo de ajuste manual			
GR	(G) temperatura de Curado en Cierre.	Ha mayor temperatura menor tiempo	Temperatura ambiente hasta 80C°		Temperatura ambiente			
TA	(TA) Tiempo de curado abierto Hora	Tiempo para 80% resistencia Máxima	Mínimo 72 horas		No se aplica			

CAPITULO II

2.1. MARCO TEORICO

La investigación aplicada propuesta, toca varios campos de la tecnología aplicada, respecto al empleo, aprovechamiento, procesamiento e interacción entre los materiales, como es la madera y los adhesivos, así como los fundamentos para el estudio e investigación del uso de materiales y su resistencia. Los temas teóricos a tratar son:

- 1) La madera, características, propiedades físico mecánicas y su procesamiento y transformación, para la fabricación de productos con el empleo de adhesivos.
- 2) Los adhesivos, sus características fisicoquímicas y el proceso de adherencia.
- 3) La tecnología de la unión de maderas mediante adhesivos.
- 4) Análisis estadísticos de los resultados de las investigaciones y ensayos.

2.2. LA MADERA

2.2.1. MORFOLOGÍA

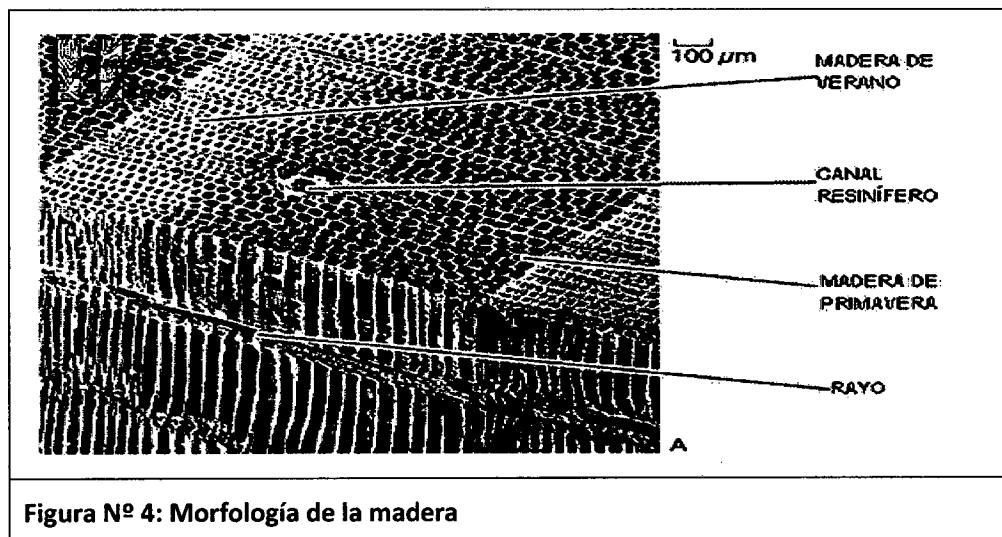


Figura N° 4: Morfología de la madera

La morfología de la madera está conformada por ejes vegetativos que crecen en capas concéntricas, con estructura de fibras longitudinales. La conformación de productos orgánicos que se forman dentro de estas estructuras es infinita y muy variada (ver figura nº4).

2.2.2. CORTES DE LA MADERA

En la figura Nº 5, se observa el corte transversal de esta estructura, en donde se aprecia las capas como anillos concéntricos, donde cada anillo permite distinguir los cambios de estación de un año a otro. Mientras que si se hace un corte tangencial a este cilindro, se aprecia las vetas que usualmente se observa en la madera. Por otro lado, un corte que atraviese los anillos de crecimiento (Corte Radial), las vetas se verían como líneas paralelas.

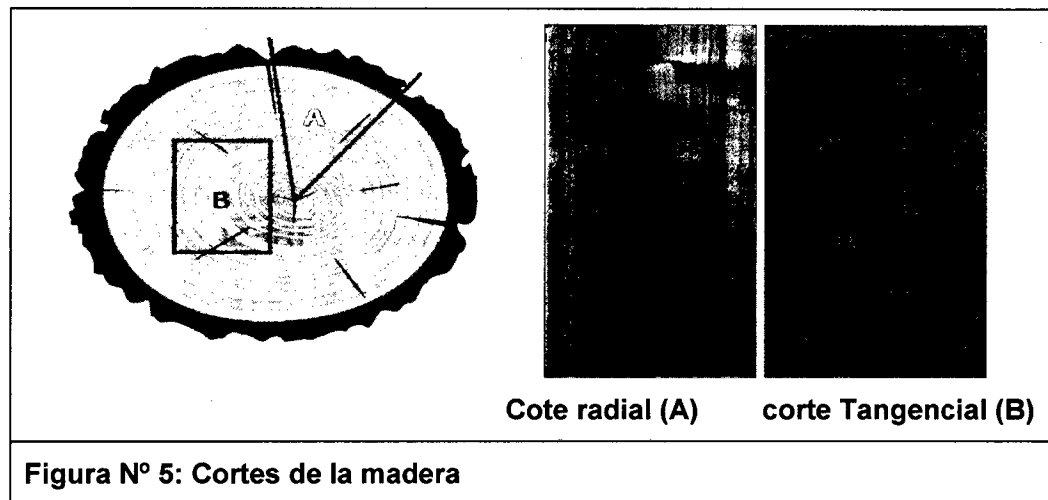


Figura Nº 5: Cortes de la madera

La dirección del corte determina las deformaciones y contracción que sufre la madera, en el proceso de secado. El conocimiento de esto permite estimar una demasía para lograr una medida final. Las maderas en corte radial son las más estables dimensionalmente y son las más preciadas en el mercado internacional, especialmente en maderas utilizadas para pisos. La principal ventaja del corte radial es que las tensiones están orientadas en la dirección de más ancho de sección, contrarrestando los efectos de flexión y alveamiento.

El aserrado de maderas, según el estado de la técnica, es un proceso relativamente fácil y de alta precisión, por el uso de discos de corte y cuchillas insertadas con pastillas recubiertas diamantadas o de carburo de silicio, cuyos ángulos cortantes

son muy durables y proporcionan un corte limpio y muchas veces sin necesidad de otro proceso de cepillado. Ver figura N° 8

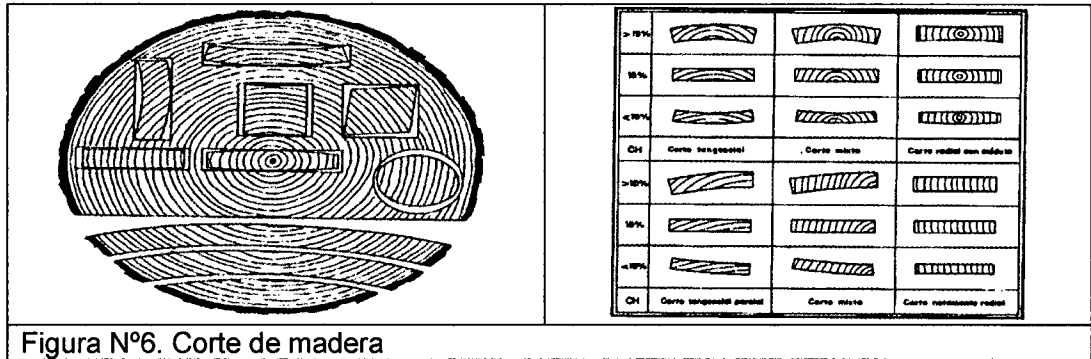


Figura N°6. Corte de madera

Los tipos de máquinas de corte y cepillado que se usan con mayor frecuencia son la sierra circular, el cepillo calibrado, garlopa de banco y la galopa cepilladora. La diferencia de estas últimas es que la garlopa cepilla la cara inferior, mientras que el cepillo calibrador cepilla la cara superior manteniendo el mismo espesor a lo largo de toda la madera. En la figura N° 7 se observa una maquina universal que cuenta con Sierra circular, Garlopa, Cepillo calibrados, Ecopladora y Tupi y afiladora múltiple.

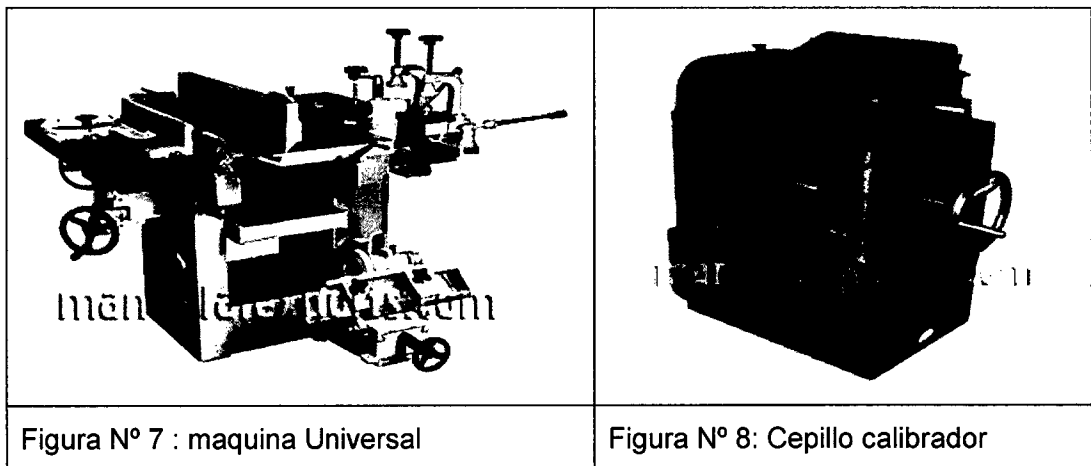


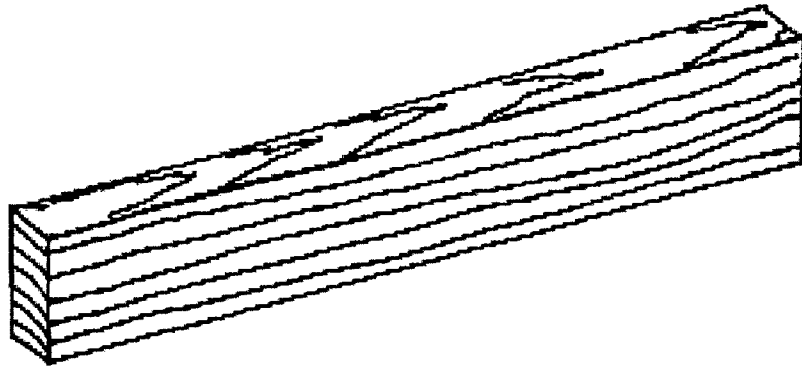
Figura N° 7 : maquina Universal

Figura N° 8: Cepillo calibrador

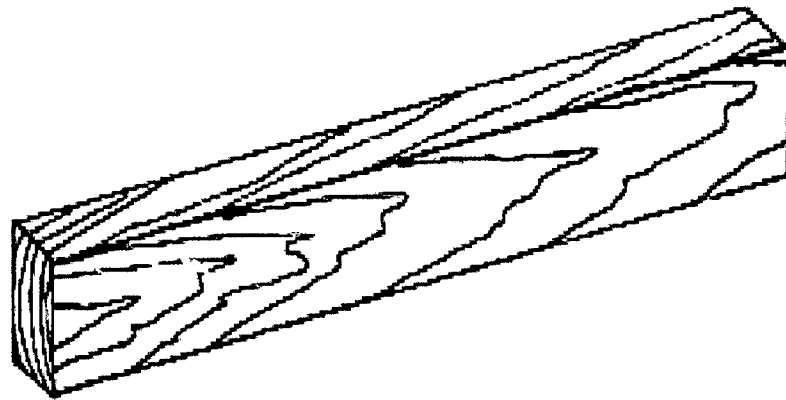
Después de la extracción de la madera en trozas, estas son llevadas a plantas de aserrado donde son cortadas en formas prismáticas con diversos cortes según la zona y orientación dentro del tronco.

Generalmente se presentan tres tipos de cortes: radial, tangencial y oblicuo, según la orientación de las fibras de la madera, como mostramos en la figura 9 a continuación.

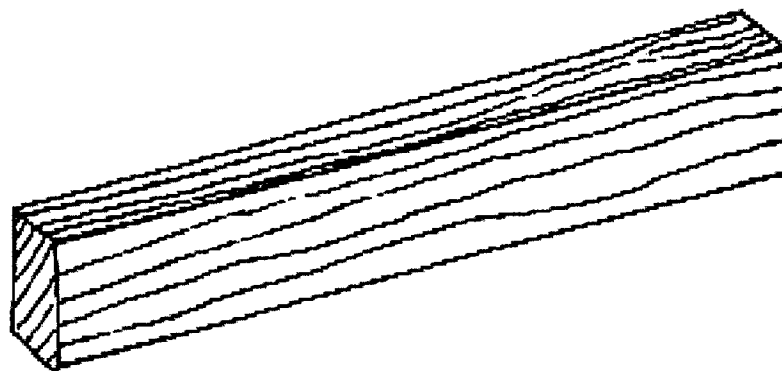
FIGURA 9



Corte Radial



Corte Tangencial



Corte Mixto

2.2.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA.

Las propiedades principales de la madera son resistencia, dureza, rigidez y densidad. Ésta última suele indicar propiedades mecánicas puesto que cuanto más densa es la madera, más fuerte y dura es.

- La resistencia engloba varias propiedades diferentes; una madera muy resistente en un aspecto no tiene por qué serlo en otros.
- Además la resistencia depende de lo seca que esté la madera y de la dirección en la que esté cortada con respecto a la dirección del grano.
- La madera siempre es mucho más fuerte cuando se corta en la dirección del grano, es decir cortes radiales, por eso las tablas y otros objetos como postes y mangos se cortan así.
- La madera tiene una alta resistencia a la compresión y tracción en la dirección paralela a la fibra, en algunos casos superior, con relación a su peso a la del acero.
- La madera tiene baja resistencia a la tracción en la dirección perpendicular a la fibra y moderada resistencia a la cizalladura.
- La alta resistencia a la compresión es necesaria para cimientos, columnas y soportes en la construcción.
- La resistencia a la flexión es fundamental en la utilización de madera en estructuras, como viguetas, travesaños y vigas de todo tipo. A continuación graficamos los principales esfuerzos mecánicos que la madera puede resistir.

Compresión paralela.

Es la resistencia de la madera a soportar cargas de compresión paralelas a la dirección del grano.

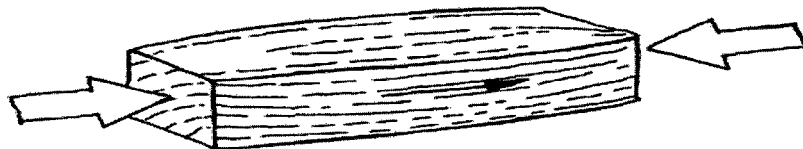


FIGURA 10, Compresión paralela a la fibra

Tracción paralela.

Es la resistencia de la madera a soportar cargas de tracción paralelas a la dirección del grano.



FIGURA 11, Tracción

Corte o cizallamiento.

Es la resistencia de la madera a soportar cargas de cizallamiento que pueden ser paralelas o perpendiculares al grano.

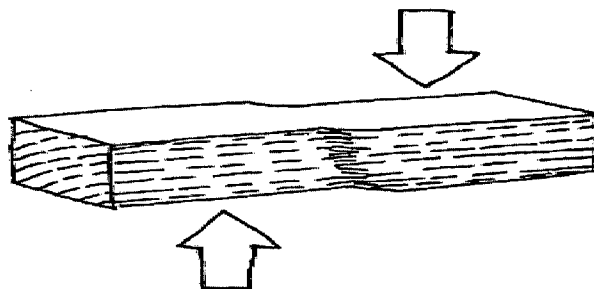
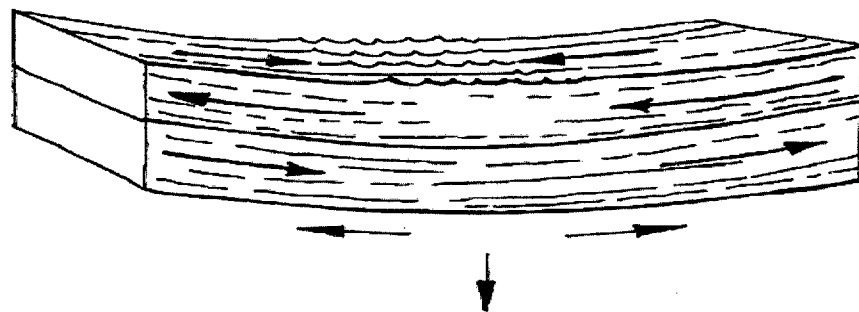


FIGURA 12, Cizallamiento

Es la resistencia de la madera a soportar cargas originadas por una carga vertical sobre una cara de ella. Esta carga genera esfuerzos de cizallamiento paralelos al grano, esfuerzos de compresión y esfuerzos de tracción.

FIGURA 13, Flexión

Compresión



Tracción

Cabe añadir que también la madera puede estar muchas veces exigidas, por la combinación de estos efectos.

2.2.4. ESPECIES:

Se estiman que en el Perú existen aproximadamente 3,000 especies arbóreas conocidas (1/3 del total) de los cuales la mayoría son LKS (Less know specie) ya que sólo un grupo pequeño (aproximadamente 25 a 30 especies) son comerciales. Dentro de las especies LKS, se encuentran muchas con características y propiedades muy singulares, como por ejemplo especies de menos de 130 kg/m^3 , mientras que la quinilla colorada alcanza la densidad 890 kg/m^3 .

2.2.5. USO ESTRUCTURAL.

Actualmente en el Perú, el uso de madera como elemento estructural en la construcción, es muy limitado. Mayoritariamente sólo se destina para carpintería de puertas y ventanas y para cobertura de pisos de parquet o similar. No hay un uso difundo para estructuras de varios pisos debido a que es considerada no apta para construcción de múltiples niveles y por qué los costos de construcción y operación son relativamente elevados.

Sin embargo, su uso debería ser más intensivo y extensivo debido a que el futuro impone la mitigación al cambio climático. En este sentido la producción y uso de madera tiene una doble ventaja; por un lado, la madera es un medio para capturar el carbono atmosférico y, por otro lado permite reducir las emisiones de CO_2 . La madera tiene una huella de carbono MUY BAJA en comparación con el concreto armado, ladrillo tarrajado e incluso el drywall.

La madera tiene otras múltiples ventajas, estructuralmente son antisísmicas, buen aislante del calor y sonido. Resiste al calor del fuego y es ignífuga con el tratamiento y aplicación de un acabado especial. Finalmente es uno de los materiales de acabado más finos, agradable al tacto y a la vista, proyecta calidez, y siempre es muy apreciado en todos los mercados.

Uno de los aspectos negativos es la tala indiscriminada que sobrepasa el ritmo de crecimiento y desarrollo de los bosques. Si se tala un árbol se requerirá, de acuerdo a cada especie, un lapso de 45 a 80 años para que se desarrolle otro semejante. De un árbol talado, en general se aprovecha menos del 50%, tomando en cuenta que se dejan en el bosque las ramas, aletas de la base, las secciones muy delgadas, torcidas, cortas, rotas y rajadas.

Por otra parte del volumen total del tronco obtenido también se aprovecha entre 18% y 45%, siendo aproximadamente del 20% al 25% en aserrín y viruta, del 15% al 20 % de trozos muy delgados, retacería y recortes, y el resto en leña, carapa, etc. En cuanto al uso de maderas largas, para funciones estructurales, se presentan limitaciones de orden operativo, técnicos, costos, pandeos, y otros problemas de manipulación, secado, corte, cepillado y transporte.

2.2.6. RESISTENCIA MECÁNICA

La resistencia mecánica de la madera se relaciona directamente con su densidad y contenido y distribución de la lignito en sus estructuras de fibras, esto hace que la resistencia varíe significativamente en los tres ejes, así como si es de tracción o compresión.

TABLA 3

CARACTERISTICAS FISICO MECANICOS DE LA MADERA						
COD	M1	M2	M3	M4	M5	M6
ESPECIES	Cachim	Copaiba	Bolaina	Capirona	Shihuah	Panguan
Color del duramen	blanco				Marrón	
Densidad básica gr/cm ³	590	610	410	760	870	490
Contracción radial (%)	4,96	3,40	3,50	5,0	5,50	3,71
Contracción tangencial (%)	7,58	7,00	5,50	9,0	9,10	6,88
Contracción Volumétrica (%)	8,58	10,70	10,75	15	15	6,69
Dureza de lado (Kg/cm ²)	468	587	303,43	425	1353	380
Módulo elasticidad en Flexión (Kg/cm ²)	131000	112000	97860	100000	153000	100000
Módulo de Rotura en flexión (kg/cm ²)	735	736	507	723	1286	511
Compresión paralela (kg/cm ²)	342	268	270,60	283	672	264
Compresión perpendicular (kg/cm ²)	66	74	50,91	67	145	41

Fuente, Estudios realizados por el Acuerdo de Cartagena

En general la resistencia a la tracción paralela a la fibra y flexión alcanza valores muy altos, comparativamente mejores que el acero, si lo dividimos entre la densidad de cada uno.

Igualmente, la resistencia a la compresión paralela a la fibra es muy superior a la del concreto. Por estas propiedades, es un excelente material para uso estructural en la construcción.

Por las muchas especies, las aplicaciones son múltiples y variadas, hay especies muy duras para usarse en los pisos y/o estructuras de puentes, y algunos de densidades, muy bajas para usarse en tabique y como material aislante. Usando combinadamente se pueden lograr construcciones muy fuertes, sólidas y muy estéticas (ver Tabla 3).

2.2.7. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LA MADERA

$$\sigma_{ult} = F_{ult} / A \quad \text{en kg/cm}^2$$

Dónde:

σ_{ult} = Esfuerzo último a la tracción paralela a la fibra, con aproximación de 10Kg.

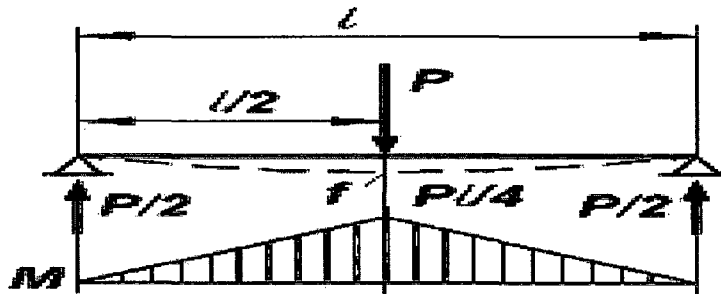
F_{ult} = Carga máxima que resiste antes de fallar, en kg.

A = Área de la sección (cm²)

El Módulo de Elasticidad, se calcula como la pendiente de la curva esfuerzo vs. Deformación unitaria determinada entre los valores de carga 0,2 F_{ult} y 0,8 F_{ult}

2.2.8. CALCULO DEL ESFUERZO DE FLEXIÓN Y DE CORTE

FIGURA 14



$$\tau = \sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \text{ en kg/cm}^2$$

Dónde:

σ = Esfuerzo a flexión último, con una aproximación de .5 kg.

τ = Esfuerzo a corte último, con una aproximación de 5 kg.

P = Carga aplicada

L = Distancia entre apoyos

b = Ancho de la probeta

h = Alto de la probeta

M = Momento máximo para cada aplicación de carga. Determinado por medio de un análisis elástico de una viga estáticamente determinada.

2.2.9. PROCESOS BÁSICOS DE PRODUCCIÓN CON MADERA.

Proceso 1: Selección de material

Consiste en escoger las secciones de madera adecuadas en calidad y cantidad, según el requerimiento de la lista de materiales.

Proceso 2: Habilitado primario

Las maderas deben aserrarse al espesor, ancho y largo, con la tolerancia y demasías, necesarias para absorber la contracción por secado y acabado, sin que queden marcas del proceso de corte y habilitado.

Proceso 3: Secado

El secado se debe realizar a un nivel de humedad en equilibrio con el medio donde se ubica la madera.

El contenido de humedad es una propiedad física muy importante porque de ella dependen las propiedades mecánicas óptimas de la madera, así como la fuerza de adherencia y las dimensiones físicas. Por esta razón, es muy necesario el secado al horno para poder aprovechar la madera al máximo y mantener la calidad de los productos derivados en el tiempo.

La humedad en la madera se entiende como la relación entre la masa de agua y la masa de sólidos presentes en el material. Si bien en la actualidad hay muchos instrumentos que pueden medir rápidamente y con relativa precisión la humedad de la madera, es importante contar con un procedimiento de precisión para comprobar y calibrar dichas mediciones.

Cabe resaltar que el contenido de humedad de la madera presenta variaciones en función de la humedad relativa del medio ambiente en donde se encuentra (atmosférica, el brillo solar, la evaporación y otras variables climáticas que influyen en la humedad resultante), tendiendo a llegar al contenido de humedad de equilibrio de la madera en dichas condiciones.

En general todas las maderas difícilmente se secan al aire y se estabiliza sus dimensiones. Todas las maderas que se utilizan en la fabricación de algún producto, deben ser secadas al horno para asegurar su estabilidad dimensional y óptimas condiciones mecánicas. Un secado al aire (AD), difícilmente puede llegar a menos de 20% de Humedad en lugares como Lima. Un secado en horno puede llegar a 6% de humedad, el tiempo necesario, depende del espesor de la madera, el contenido inicial de humedad y la especie. Como referencia un espesor de 28 mm por lo regular requiere 15 días de secado.

El secado en horno se realiza modificando y contralando la humedad y temperatura del medio, y añadiendo energía térmica necesaria para evaporar el agua retenida dentro de la madera, de tal modo que se acelere el tiempo de secado. Se debe tener en cuenta que 1 metro cúbico de madera puede contener más de 500 litros de agua, lo que supone una demanda importante de energía térmica de alrededor 528 Kcal/litro para evaporar dicha agua.

Proceso 4: Maquinado y calibrado de la madera

- a. Trozado.-** Cuando las piezas son muy largas se realiza esta operación, que se realiza en una sierra radial, y consiste en cortar las tablas de madera a través de todo su ancho, para predeterminedir un largo de las piezas, que faciliten su manipulación en los procesos siguientes.
- b. Garlopeado.-** Es una operación de cepillado de la cara inferior, con una garlopa, se emplea para escuadrar y enderezar un canto o una cara de la tabla de madera, para ser utilizada como guía para obtener una tabla recta.
- c. Cepillado.-** Esta operación se realiza en una máquina regresadora o cepillo, para calibrar el espesor y llegar al espesor final de cada una de las piezas a trabajar.
- d. Corte al ancho medida exacta.-** Esta operación se realiza en una sierra circular. Consiste en definir el ancho final de las piezas de madera a utilizar, para lo cual se emplea como guía la madera previamente enderezada con la garlopa.
- e. Corte al largo y ángulo en medida exacta.** Esta operación se realiza en una sierra radial mediante el apoyo de guías y plantillas.

2.2.10. UNIÓN DE LA MADERA

El proceso de fabricación de objetos de madera supone trabajar con uniones, las mismas que pueden ser de diferentes tipos. Los medios para fijar tales uniones son también muy variados y permiten obtener grados deseados de empalmes y resistencias mecánicas de los objetos fabricados. En nuestro caso, es necesario un estudio de los tipos de uniones para seleccionar las más apropiadas para la fabricación de vigas compuesta y tijerales. En principio existen básicamente tres tipos de uniones de madera:

1. JUNTAS: La unión de dos o más maderas por sus caras o cantos respectivos.
2. ANGULAR La unión formando un ángulo.
3. EMPALMES: Uniones aplicadas para prolongar la longitud de la madera.

Estos tres tipos de juntas constan además de una serie de variantes que ofrecen diversos grados de resistencia, solidez y ensambles de partes, desde elementos articulados hasta elementos monolíticos.

Ensamblajes de junta:

Los ensambles de junta son los sistemas para unir dos o más piezas de madera, especialmente para unir las caras y los cantos. A continuación enumeraremos los principales ensambles de juntas que se conocen.

a. Juntas plana

- Junta de Madera superpuesta: La unión se produce por el contacto de una pieza con la otra (para reforzar se requiere cola o clavos)
- Junta plana o a tope
- Junta plana o a tope reforzada con clavijas
- Junta plana glaseada o a media madera
- Junta plana ranurada y lengüeta
- Junta plana y refuerzos de espiga (se emplea para obtener mayor resistencia a roturas)
- Junta plana unida mediante doble cola de milano (suele encontrarse en mobiliario antiguo)
- Junta plana unida mediante galleta
- Junta machihembrada

FIGURA 15



b. Lengüeta

- De lengüeta y ranura en ángulo
- A media madera con lengüeta
- De lengüeta suelta y ranura
- Inglete con lengüeta



c. Inglete

- En cola de milano
- En cola de milano acufiada

- Inglete simple
- Inglete con lengüeta
- Con llaves de chapa
- Enclavijado.
- inglete con junta plana: se corta el extremo de la pieza a 45°
- inglete con espiga independiente:
- inglete con llave: se cortan a inglete los extremos de la pieza y se realiza una caja pasante en forma perpendicular

Analizando lo anterior concluimos que lo más adecuado, para encolados y traslapados de secciones cortas de madera, es el uso los ensambles de junta, ya que si se emplea otro sistema de lengüeta, inglete o enclavijado implicará un mayor costo de maquinado y mayor inversión en maquinaria y equipo (fresas y cuchillas). Además de ello, se sabe que el desperdicio de madera puede ser mayor si se emplea cuñas, lengüetas o filetes, ya que en general el maquinado de estas piezas puede generar un 25% más de madera para obtener el espesor final requerido.

En las juntas encoladas a tope, la sección encolada es más grande y generalmente las colas son más resistentes que el esfuerzo cortante paralelo a la fibra, en donde la unión encolada es más fuerte que la sección útil de la madera. La principal desventaja es que se tiene que mantener prensadas las piezas hasta que la cola se cure lo suficiente para mantenerse unida.

Ensamblés de empalme:

Los ensambles de empalme son sistemas utilizados para prolongar las maderas longitudinalmente. Al igual que las juntas hay múltiples sistemas para empalmar maderas, siendo necesario hacer un estudio para identificar la solución más adecuada para la fabricación de piezas grandes y de espesores requeridos.

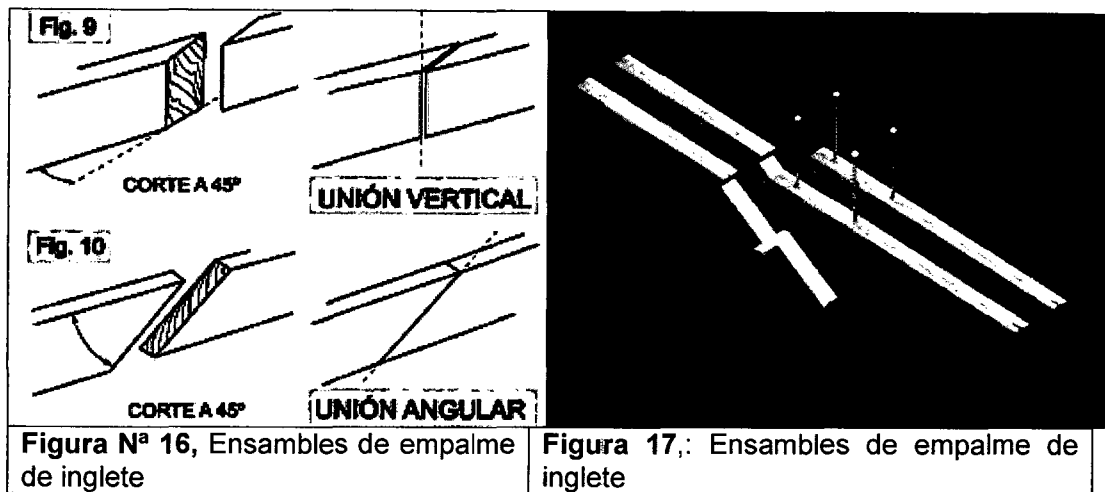


Figura N^o 16, Ensamblajes de empalme de inglete

Figura 17.: Ensamblajes de empalme de inglete

Empalme a tope con brida:

- Empalme media madera
- Empalme a media madera con testa en sesgo
- Empalme a media clavija
- Empalme a horquilla
- Empalme a espiga cuadrada
- Empalme a dientes triangulares
- Empalme a tope con llave en forma de milano
- Finger Joint

El empalme Finger joint que se muestra en la figura N^o 8, es uno de los más eficientes ya que tiene una gran área de encolado con un mínimo traslape y es capaz de recibir cargas de tracción y compresión. Adicionalmente es un empalme fácil de hacer con una fresa simple y con muy poco desperdicio de madera. Dado que el ensamble finger joint no son resistentes en cargas concentradas de flexión, se recomienda traslapar con otros listones para lograr luces cortas o en el caso de los tijerales. Este tipo de empalme es el más adecuado para la conformación de piezas grandes de madera.



Figura N° 18. Empalme finger joint

Ensamblés en ángulo

Son los sistemas para unir componentes por los ángulos de las maderas. Estos tipos de ensamble son muy usados en muebles, puertas, ventanas, etc. Sin embargo un elemento reticulado o tijeral puede utilizar muchos ensambles de ángulo, lo que le daría mayor resistencia a la flexión en grandes luces y una mínima carga estática.

En la figura N° 9 y 10 se observa un ensamblé mediante clavija, traslapada y/o tope: Las uniones a tope se refuerzan con elementos externos a la madera (en su mayoría de origen metálico). El ensamble de caja y espiga, se usa en su mayoría para uniones en ángulo recto, mientras que el ensamblé en ángulo mediante tarugos es el sustituto débil del ensamble de caja y espiga

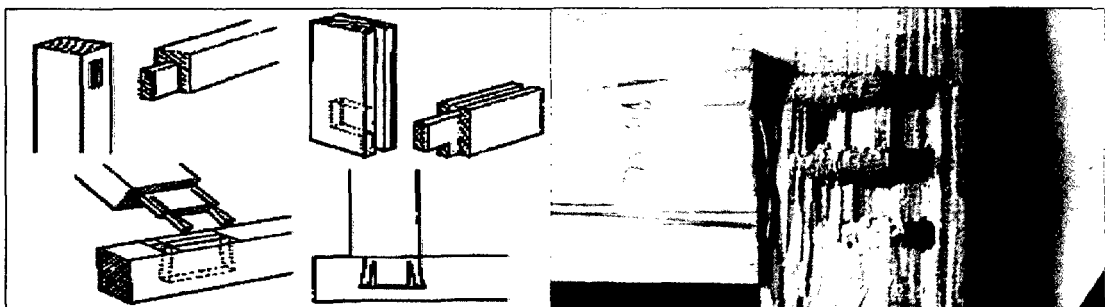


Figura N° 19: Ensamble en alguno tipo caja y espiga

Figura N° 20 Ensamble en ángulo tipo tarugo

a. Media madera:

Consiste en tallar o destajar media madera de la pieza con otra media madera. Similarmente al ensamble de empalme, se destaja media madera de un extremo y se ensamble sin destaja en T.

1. En esquina
2. Media madera en T

3. Media madera en cola de milano
4. Media madera en cruz
5. Atenaza
6. Lengüeta suelta y ranura
7. Rebaje simple
8. De lengüeta y ranura en ángulo.

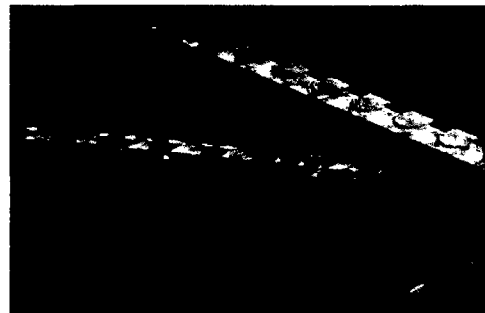
b. Cola de milano:

Ensamble a cola de milano: para uniones que estén sometidas a fuerzas de tracción, la forma trapezoidal, tanto de la espiga como de la caja impide que se deslice. Ver figura 21.

FIGURA 21

Lazos vistos o sencillos

- Lazos semiocultos
- Lazos ocultos con doble solapa
- Junta a inglete con lazos ocultos
- Lazos semiocultos para un armazón
- Lazos en ángulo



Este tipo de ensamble es el de uso clásico en la fabricación de muebles especialmente en cajones.

En la fabricación de vigas de tijeras, solo un tipo de ensamble es el más utilizado, el de clavijas traslapadas o a tope con chapa de refuerzo metálicas.

2.3. LOS ADHESIVOS

El adhesivo es una formulación que sirve para mantener unidas dos piezas de madera, o madera con metal, de forma que las piezas unidas resistan los esfuerzos físicos y mecánicos que se apliquen sobre ellas. Los adhesivos para madera se emplean para lograr la adherencia entre dos piezas de madera de manera firme y duradera. Existen multitud de adhesivos en base a productos de diferente origen.

La unión se realiza de una forma muy compleja que incluye aspectos mecánicos y aspectos físicos y químicos.

2.3.1. EL USO DE ADHESIVOS EN LA MADERA

El encolado o enlace de madera, es una actividad que se ha practicado por muchos siglos. Se estima que el 70% de los productos en la práctica industrial es madera

enlazada (Hemingway and Conner 1989). Los adhesivos están diseñados para aplicaciones específicas, relacionadas a miles de productos (Rice 1990).

Lo más comunes, son aquellos adhesivos utilizados en la fabricación de compuestos o aquellos que se utilizan en el ensamblaje de productos. El mercado más grande de producción de madera, es el de los paneles, incluyendo las maderas flexibles, placas de filamentos orientados (OSB), placas de fibras y de partículas. Los adhesivos representan del 2 a 8% en comparación del peso total de los productos terminados.

2.3.2. ADHERENCIA DE LA MADERA

La adherencia es el esfuerzo de la capa molecular del adhesivo que entra en contacto con la capa superficial de los substratos, tales como la madera. En general, la madera es fácil de adherir en comparación con la mayoría de substratos. Las superficies (en la madera) no son atraídas uniformemente en un contacto tan cercano, requiriendo del adhesivo para mantener a las superficies unidas.

Tanto para maderas laminadas como para las uniones al tope, los adhesivos pueden ser curados por calor o bien a temperatura ambiente. En la construcción y la fabricación de mobiliario, los adhesivos utilizados poseen tiempos de secado muy largos y usualmente se realizan a temperatura ambiente.

La mayoría de los adhesivos para uniones de madera se componen de formaldehidos como Co-monómero, generando preocupación por la emisión de sustancias formaldehídicas. Usualmente en este proceso de adherencias, el esfuerzo localizado es muy diferente del esfuerzo aplicado, así mismo como lo es el distribuido del concentrado (Dillard 2002).

Se necesita considerar ambos aspectos de la fuerza de adherencia, tanto el químico como el mecánico, porque la fuerza de adherencia es una medición de la fractura, cuyo proceso termina donde se localiza el mayor esfuerzo bajo condiciones específicas de ensayo.

Tabla 4

Variables de la Adherencia en la Madera			
Resinas	Madera	Procesos	Efectos
Tipo	Especie	Cantidad de adhesivo	Esfuerzo
Viscosidad	Densidad	Distribución del adhesivo	Módulo de cortante
Distribución de Peso Molecular	Contenido de humedad	Humedad Relativa	Elevada Resistencia al pliegue
Porciones de Reactivos	Plano de corte: Radial, tangencial, transversal o mixto	Temperatura	Arrastre
Valor de Curado	Corteza vs. Cuerpo de la madera	Tiempo directo de ensamblaje	% de Fractura en la madera
Total de Sólidos	Maderas Jóvenes vs. Maduras	Tiempo Indirecto de ensamblaje	Tipo de fractura
Catalizadores	Maderas prematuras vs. Dilatadas	Prensado	Seco vs. Húmedo
Mezcla	Reacción de la madera	Penetración del adhesivo	Módulo de elasticidad
Clavo	Angulo de la partícula	Vía Gaseosa	Temperatura
Rellenos	Porosidad de la madera	Tiempo de prensado	Resistencia de hidrólisis
Sistema Solvente	Rugosidad superficial	Pre-tratados	Resistencia al fuego
Duración	Daño por deshidratación	Post-tratados	Resistencia Biológica: Hongos, bacterias, insectos, etc.
pH	Daño por producción	Temperatura de adherencia	Finalizado
Protecciones	Suciedad, contaminación, extractos, capacidad de protección, superficies químicas.		Resistencia ultravioleta

Nota: Recopilación por NormKutscha

Algunas teorías de la adherencia acentúan aspectos mecánicos y otras ponen más énfasis en aspectos químicos, la estructura química y las interacciones determinan las características mecánicas y las características mecánicas determinan la fuerza que se concentra en vínculos químicos individuales.

Para que los adhesivos formen dispositivos de seguridad, tienen que humedecer el fondo del sustrato lo suficiente, de modo que penetre un poco del producto, para que actúen tanto las fuerzas químicas como las mecánicas en la unión. Para que un dispositivo de seguridad mecánico trabaje, los enlaces del adhesivo deben ser lo suficientemente fuertes para soportarlos.

Por todo lo anterior, la interacción del madera-adhesivo necesita ser evaluada en tres escalas espaciales (milímetro, micrómetro, y el nanómetro) (Frazier 2002, Frihart 2003).

El milímetro implica observaciones por el ojo o la microscopía ligera. El uso de exploraciones microscópicas electrónicas, permite observaciones respecto al micrómetro o al nivel celular.

Mientras que el nivel del nanómetro, es la escala espacial en la cual las moléculas adhesivas necesitan trabajar recíprocamente con la madera para que el enlace se forme. Ver figura N°22



Figura N° 22

- Fractura de Uniones por Adhesivos: es el lugar donde ocurre la fractura en una unión adhesiva como resultado de la pérdida de la capacidad de carga del pegamento.
- Fractura del Substrato: es la fractura localizada en el sustrato o superficie inherente.
- Interfase: esta es la región de dimensión finita, que se extiende de un punto en el que el adhesivo posee características particulares, y comienzan a cambiar a las características generales de la adherencia con la madera, a un punto en el que las características del pegamento se comportan de la misma manera.
- Tiempo de Ensamblaje: es el intervalo del tiempo entre la aplicación del pegamento en el sustrato y el uso de la presión, o calor, o ambos, hasta el ensamble.

- Ajustes: es convertir un pegamento en un estado fijo o endurecido por medio de una acción química o física en los componentes del mismo.
- Curado: es cambiar las características físicas de un pegamento por la reacción química, de un estado a otro.
- Agarre: es la característica de un pegamento que le permite formar un enlace de la fuerza mensurable inmediatamente después que el pegamento y el adherente se ponen en contacto bajo presión.
- Adhesivos Estructurales: es un agente de la vinculación, usado para transferir cargas requeridas entre los adherentes expuestos a los ambientes del efecto típicos para la estructura implicada.

2.3.3. APLICACIÓN DE ADHESIVOS:

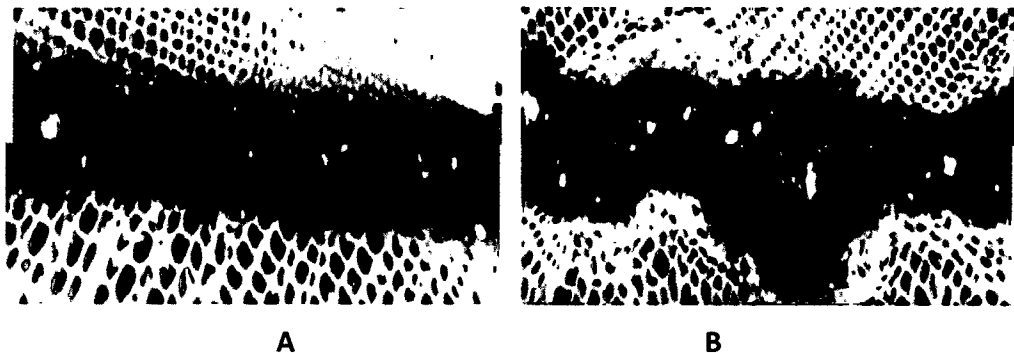
No todos los adhesivos son de aplicación directa a los substratos de madera, algunas superficies deben ser tratadas antes de efectuarse los enlaces.

1. El primer paso en la formación de un enlace implica en esparcir el pegamento sobre la superficie de madera.
2. Después de la aplicación del adhesivo, una combinación de ensamblajes directos e indirectos, se utiliza dependiendo del proceso específico del enlace.
3. En algunos casos, el calor y la humedad se utilizan durante el proceso de enlace, esto permite que el pegamento se vuelva más líquido y la madera más deformable (Green et al. 1999).
4. Es así, como el Adhesivo tiene que fluir sobre la superficie total, y en los vacíos causados por la porosidad que está presente con casi todas las superficies.
5. La madera es una de las superficies de enlace más compleja, que se encuentra generalmente en la mayoría de los usos adhesivos.
6. Agregando la tensión, compresión y la valoración de las partículas, aumenta la complejidad de la interacción adhesiva de la madera.

2.3.4. PENETRACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA MADERA:

En una escala mayor, la madera es un substrato rugoso, celuloso y aniso trópico; es debido a estas características, que la penetración de los adhesivos y cualquier otra sustancia posee cualidades específicas. En la figura N° 13 a continuación se observa que la penetración adhesiva de la unión es buena para una superficie sana (grafica A), pero no para una superficie de madera desmoronada y maltratada (B).

Figura N°23



- Los tipos y los tamaños de las células son dramáticamente diferentes entre las maderas duras y las blandas.
- Las células de las maderas duras con las paredes más finas, son más fáciles de enlazar debido a un volumen más accesible.
- La madera de savia se considera más fácil enlazar debido a los cambios en los estratos.
- La madera joven, en compresión, y tensión distorsionan la estructura celular de los enlaces y debilitan la región de la interface adhesiva de la madera.
- El mejor método para preparar una superficie de madera para enlaces, es utilizar las placas laminadas muy finas.
- La superficie de la madera-enlace varía considerablemente dependiendo de cómo la superficie está preparada y qué tipo de madera es.

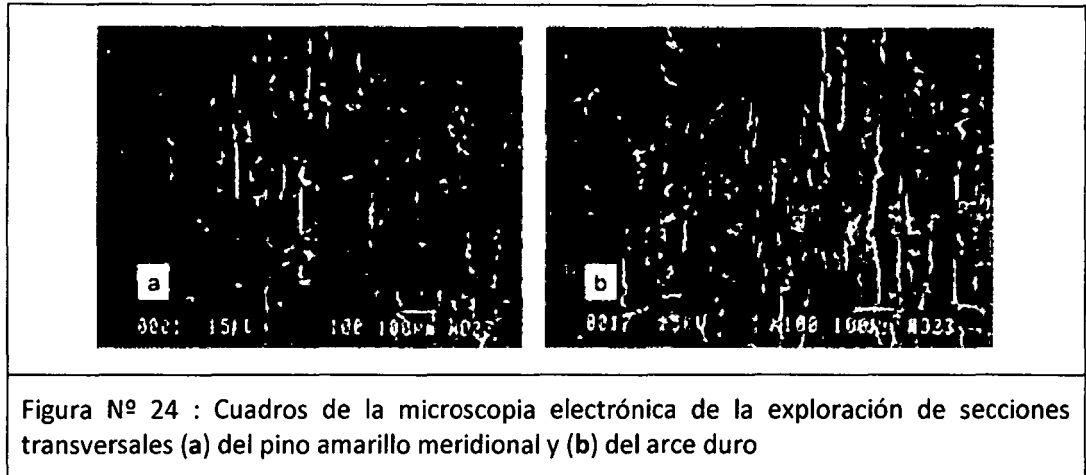


Figura N° 24 : Cuadros de la microscopia electrónica de la exploración de secciones transversales (a) del pino amarillo meridional y (b) del arce duro

2.3.5. HUMIDIFICACIÓN, FLUJO Y PENETRACIÓN DE LA MADERA:

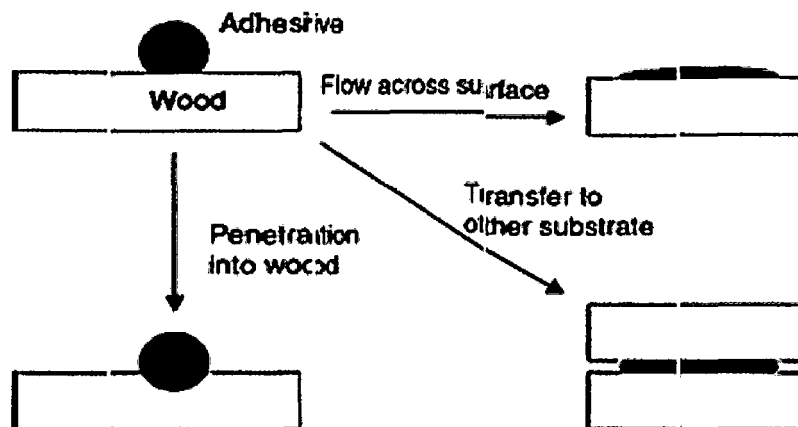


FIGURA 25

Para que un enlace se forme, el adhesivo necesita mojar y fluir sobre una superficie, y en algunos casos penetrar en el substrato. Es importante entender que los términos significan diversas cosas aun cuando parecen muy similares.

- La adherencia por humidificación es la capacidad de una gota adhesiva de formar un ángulo de bajo contacto con la superficie.
- El flujo implica el adhesivo extendiendo por esa superficie bajo un tiempo razonable. El flujo no sólo depende del ángulo de contacto sino también de la viscosidad del adhesivo. Con una viscosidad más baja, el mejor adhesivo fluye y moja más de la superficie.

- La penetración es la capacidad del pegamento de moverse en los vacíos de la superficie del sustrato o en el sustrato mismo. Para lograr un enlace fuerte, el adhesivo debe penetrar en todas las porosidades del sustrato en una micro-escala.

2.3.6. AJUSTES EN LOS ADHESIVOS

El ajuste es convertir un adhesivo en un estado fijo o endurecido por la acción química o física, tal como condensación, polimerización, oxidación, vulcanización, congelación, hidratación, o evaporación del solvente volátil.

- Para la mayoría de adhesivos poliméricos, es necesario reaccionarlos mediante la pérdida de solventes o minerales en el compuesto.
- Para muchos otros tipos de adhesivos es necesaria la evaporación o pérdida de agua, enfriamiento y la polimerización de los mismos.

2.3.7. SEPARACIÓN DE SOLVENTES:

Los solventes son un problema debido a la naturaleza no porosa del sustrato que previene el retiro del solvente por la migración dentro y a través del sustrato. Es así como la mayoría de los procesos de enlace requieren de maderas que estén dentro de una gama aceptable en contenido de agua, para conseguir una adecuada manejabilidad.

2.3.8. POLIMERIZACIÓN:

Para lograr un enlace más fuerte, un peso molecular más alto y un mayor número de polímeros reticulados, son generalmente mejores los procesos de polimerización, que consiste en la activación con aplicación de calor, el cambio en el pH, catalizadores, la adición de un segundo componente, o la radiación.

2.3.9. SOLIDIFICACIÓN POR ENFRIAMIENTO:

Muchos adhesivos usados con anterioridad para las maderas, eran sensibles a derretimientos por calor. Debido a que los adhesivos termo sensibles y los plásticos usados para los compuestos son poliméricos, tienen una capacidad limitada de fluidez. Mientras el adhesivo se enfría, su viscosidad se eleva rápidamente para una mejor adherencia de soldadura.

2.3.10. COMPOSICIÓN DE LOS ADHESIVOS

Muchas veces se utiliza la palabra “cola” para denominar adhesivos de la madera, pero esta acepción es un poco más restrictiva, ya que sólo hace referencia a los adhesivos en fase acuosa.

- Componente principal: material que actúa de ligante, actualmente se corresponden con productos orgánicos de síntesis.
- Endurecedores: sustancias que se añaden para acelerar su fraguado.
- Cargas: sustancias que se añaden para mejorar las características del adhesivo. Pueden ser productos insecticidas, fungicidas, ignífugos-tés, etc.
- Complementos: sustancias que se añaden para rebajar su precio.
- Solventes: vehículo en que va disuelto el adhesivo, pueden ser acuosos, orgánicos, hidrodispersables, espumas, etc.

2.3.11. CURADO DE LOS ADHESIVOS

Los tipos de curado de los adhesivos determinan muchas veces el desempeño de los mismos, algunas consideraciones para los curados y su relación con las características de los enlaces en la madera son:

1. El curado lento a temperatura ambiente, proporciona el tiempo necesario para que los componentes de la madera estén cubiertos con el adhesivo y se mantengan unidos durante el ensamblaje.
2. El calor y la humedad dejan ablandar a la madera, permitiendo que las superficies de madera colindantes sean traídas en contacto más cercano.
3. Sobre la calefacción, el curado del pegamento es rápido, reduciendo el retardo cuando se aplica presión.

2.3.12. TIPOS DE ADHESIVOS DE ORIGEN SINTÉTICO

Dentro de los adhesivos sintéticos, que son las que más se utilizan actualmente, se distinguen:

1. Adhesivos termoplásticos: Una vez fraguados recobran su plasticidad por la acción del calor.
2. Emulsiones vinílicas: Acetato de polivinilo (PVAC), policloruro de vinilo (PVC), acetato de vinilo y etileno (EVA), etc. De un solo componente o dos.

3. Adhesivos termofusibles (hot-melt): El término termofusible define su forma de aplicación. Se suministran en forma de resina sólida, que se vuelve líquida con la aplicación del calor y se vuelve a endurecer cuando se enfría. Tenemos por ejemplo:
 - a. Adhesivos de caucho natural o sintético
 - b. Adhesivos de poliuretano
 - c. Adhesivos epoxídicos. De un solo componente o varios.
 - d. Adhesivos mixtos de epoxi y poliuretano
4. Adhesivos termoestables. Una vez fraguadas no recobran su plasticidad por la acción del calor. Se mencionan los siguientes
 - a. Urea formaldehído (UF)
 - b. Melamina úrea formaldehído (MUF)
 - c. Melamina fenol formaldehído (MPF)
 - d. Fenol formaldehído (PF)
 - e. Resorcina formaldehído (RF) y de resorcina - fenol formaldehído (RPF)
 - f. Isocianato
5. Cola blanca vinílica. Hay una gran variedad de colas blancas, con distintas densidades y características de secado. Estas colas se elaboran en base a resina vinílica soluble en agua. Al secarse, los componentes vinílicos tienden a reunirse. Se utiliza una capa muy fina, pero las piezas deben encajar perfectamente. Su secado es bastante rápido, alrededor de una hora, y se torna transparente. No es resistente al agua.
6. Resina alifática. También conocida como pegamento amarillo de carpintero. Seca en 15 minutos, no es tóxica. Más resistente al agua y al calor que el pegamento blanco. No requiere de sujeción mediante sargentas para optimizar los resultados.

2.4. EL ENCOLADO

Es el proceso de unión de dos piezas con adhesivos, se denomina encolado, el objetivo es lograr, la máxima resistencia posible al cizallamiento (kg/cm^2), así como la permanencia de estas propiedades en el tiempo y en las condiciones de trabajo. Se compone de tres operaciones:

1. Encolado o aplicados de colas
2. Armado o ensamblado
3. Prensado

Factores y/o parámetros que influyen en el esfuerzo máximo de cizallamiento, son múltiples. Los más importantes, según los fabricantes de pegamento y las empresas fabricantes de productos de madera, son:

1. La especie de madera
2. La cola, diversa clases y marcas de pegamento
3. Preparación de las superficies de encolado y las uniones, al corte de disco, cepillado o lijado
4. Orientación del corte; el corte puede ser radial o tangencial
5. Contenido de humedad de la madera relativa a su peso (%)
6. Espesores de capa del pegamento
7. Tiempos de ensamble o armado; es el tiempo requerido para unir los componentes
8. Tiempos de cierre; es el tiempo que permanece unidos con presión
9. Presión de cierre; es la fuerza de presión aplicada entre las maderas
10. Temperatura en cierre; es la temperatura que se mantiene mientras se aplica la presión
11. Tiempo de curado; es el tiempo necesario para que el pegamento alcance el 80% de su resistencia máxima
12. Condiciones en el curado; es la temperatura y la humedad del ambiente donde se mantiene las piezas hasta que alcance el 80% de la resistencia máxima

2.5. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LOS ADHESIVOS

La resistencia al cizallamiento de los adhesivos se determina aplicando un esfuerzo controlado sobre dos maderas unidas por un adhesivo determinado, obteniendo valores de resistencia (adherencia), y de elasticidad específica.

La resistencia al cizallamiento por tracción se determinará siguiendo la fórmula:

$$\sigma_{ult} = F_{ult} / A \quad \text{en N}$$

Dónde:

σ_{ult} = Esfuerzo de cizallamiento con aproximación de 0.1 N

F_{ult} = Carga máxima que resiste antes de fallar, en kN.

A = Área de la sección encolada (mm^2)

El Módulo de Elasticidad, se calcula como la pendiente de la curva esfuerzo vs. Deformación unitaria determinada entre los valores de carga 0.2 F_{ult} y 0.8

F_{ult}

FIGURA 26

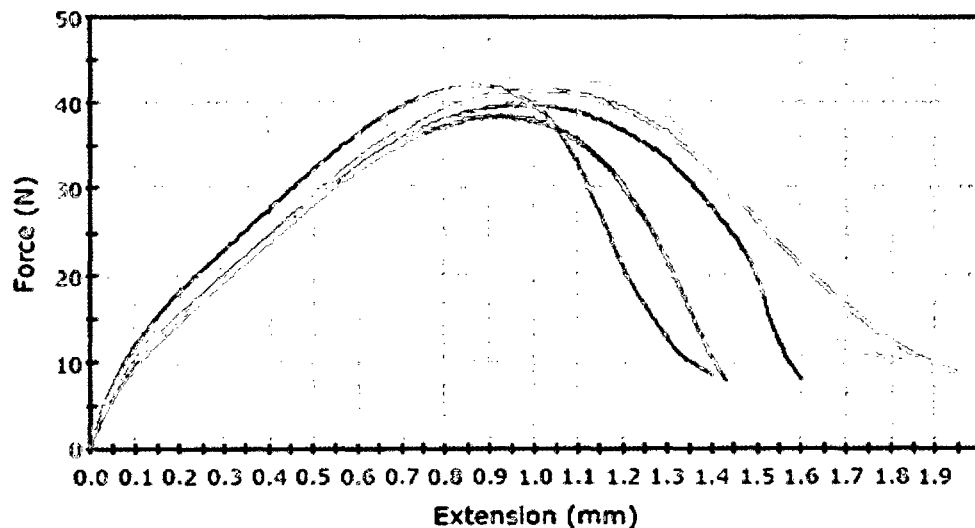
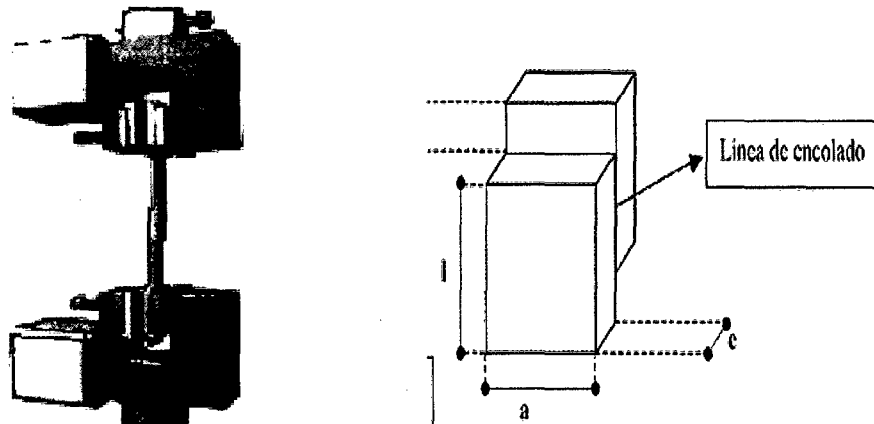


FIGURA 27



2.6. ANALISIS ESTADÍSTICOS

2.6.1. COMPARACIÓN DE MÚLTIPLESPOBLACIONES

La comparación de diversos conjuntos de resultados es habitual en los laboratorios analíticos. Así, por ejemplo, puede interesar comparar diversos métodos de análisis con diferentes características, de diversos analistas entre sí, o una serie de laboratorios que analizan una misma muestra con el mismo método (ensayos colaborativos). También sería el caso cuando queremos analizar una muestra que ha estado sometida a diferentes tratamientos o ha estado almacenada en diferentes condiciones. En todos estos ejemplos hay dos posibles fuentes de variación: una es el error aleatorio en la medida y la otra es lo que se denomina factor controlado (tipo de método, diferentes condiciones, analista o laboratorio).

Las herramientas estadísticas más utilizadas que permite la separación de las diversas fuentes de variación es el análisis de la varianza (ANOVA, del inglés *Analysis of Variance*) [Massart, 1997].

El ANOVA también puede utilizarse en situaciones donde ambas fuentes de variación son aleatorias. Un ejemplo sería en los diversos adhesivos y el contenido de humedad de la madera. Por tanto tenemos dos fuentes de variación por dos factores diferentes.

Cuando tengamos un factor, controlado o aleatorio, aparte del error propio de la medida, hablaremos del ANOVA de un factor. Es el caso de la cola y el contenido de humedad, entonces hablaríamos de un ANOVA de dos factores.

En los casos donde tenemos dos o más factores que influyen, se realizan los experimentos para todas las combinaciones de los factores estudiados, seguido del ANOVA. Se puede deducir entonces si cada uno de los factores o una interacción entre ellos tienen influencia significativa en el resultado.

Para utilizar el ANOVA de forma satisfactoria deben cumplirse tres tipos de hipótesis, aunque se aceptan ligeras desviaciones de las condiciones ideales:

1. Cada conjunto de datos debe ser independiente del resto.
2. Los resultados son obtenidos para cada conjunto, deben seguir una distribución normal.
3. Las varianzas de cada conjunto de datos no deben diferir de formas significativa.

2.6.2. ANOVA DE UN FACTOR

Tomemos como ejemplo la comparación de 3 colas, que analizan k veces con el mismo procedimiento, el valor es la resistencia al cizallamiento, de tres colas de la misma clase pero de diferente proveedor. El objetivo del ANOVA aquí es comparar los errores sistemáticos con los aleatorios obtenidos preparar probetas con diversas colas pero con los mismo parámetros.

Tabla 5

Resultados		C1		C2	C3	Suma
		S	H	H	H	
1	T	15,645124	39,445864	46,751069	35,213799	617,58978
2	T	33,141597	46,338295	34,107502	37,354637	
3	T	27,660113	39,327849	13,136138	37,281354	
4	T			15,311724	18,970114	
5	T			49,132013	44,620500	
6	T			47,023453	37,128630	
7	R	18,383613	29,599799	19,776641	29,214058	647,10165
8	R	11,852621	29,349049	36,032581	33,720707	
9	R	47,007079	31,719269	42,938528	54,092175	
10	R			41,590114	46,038266	
11	R			30,239859	44,643375	
12	R			51,697703	49,206204	
Suma		153,69015	215,78012	427,73733	467,48382	1264,6914
Promedio		25,6150251	35,9633547	35,6447776	38,956985	35,130317
nk		6	6	12	12	36

Fuente propia, resultado de ensayos realizados

Tabla 5. Resultados de los ensayos de resistencia al cizallamiento de las uniones adheridas con tres adhesivos del mercado (Colas C1, C2, C3).

Para ser ensayados en el laboratorio de materiales de la UNI. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos (expresados kg/cm²).

Observando los valores medios todo parece indicar que existen diferencias entre las colas y principalmente en el la madera S (seca al horno de la CL1). Ahora bien, ¿son dichas diferencias significativas? El ANOVA responde a esta cuestión. El objetivo del ANOVA es comparar los diversos valores medios para determinar si alguno de ellos difiere significativamente del resto. Para ello se utiliza una estrategia lógica: si los resultados proporcionados por los diversos ensayos realizados no contienen errores sistemáticos, los valores medios respectivos no diferirán mucho los unos de los otros y su dispersión, debida a los errores aleatorios, será comparable a la dispersión presente individualmente en cada adhesivo.

El secreto está, pues, en descomponer la variabilidad total de los datos en dos fuentes de variación: las debidas al ensayo y la diferencia entre la marcas de colas. Matemáticamente, la suma de cuadrados total, SS_T , puede descomponerse como una suma de dos sumas de cuadrados:

$$SS_T = SS_R + SS_C$$

SS_T es la suma de las diferencias al cuadrado de cada resultado individual respecto a la media de todos los resultados y por tanto, representa la variación total de los datos. SS_R mide las desviaciones entre los resultados individuales (X_{kj}), de cada cola, (donde j indica el n° de repetición) y la media de la cola (\bar{X}_k) y, por lo tanto, es una medida de la dispersión dentro de cada cola. Cuando se divide SS_R por los correspondientes grados de libertad, (N - K), se obtiene el cuadrado medio (o MS, del inglés Mean Square) "dentro de cada cola", MS_R .

Por su lado, SS_C mide las desviaciones entre los resultados medios de las colas y el resultado medio global y, dividido por sus grados de libertad, (k - 1), constituye el

cuadrado medio "entre colas", MS_{Cl} . La **Tabla 6** muestra las diferentes fórmulas para calcular las sumas de cuadrados y las correspondientes varianzas.

Tabla 6. Expresiones para el cálculo del ANOVA de un factor (K indica tipos de cola y N el número total de resultados).

Tabla 6

Frente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	F_{cal}
Entre colas	$SS_{Cl} = \sum_{k=1}^K n_k (\bar{x}_k - \bar{x})^2$	$K - 1$	$MS_{Cl} = \frac{SS_{Cl}}{K - 1}$	$F = \frac{MS_{Cl}}{MS_R}$
Dentro de las colas	$SS_R = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_k} (x_{kj} - \bar{x}_k)^2$	$N - K$	$MS_R = \frac{SS_R}{N - K}$	
Total	$SS_T = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_k} (x_{kj} - \bar{x})^2$	$N - 1$	$MS_T = \frac{SS_T}{N - 1}$	

Se calculan, por tanto, MS_{Cl} y MS_R como una medida de las dispersiones y se comparan mediante una prueba de hipótesis F . Si no existe diferencia estadísticamente significativa entre ellas, la presencia de errores aleatorios será la causa predominante de la discrepancia entre los valores medios.

Si, por el contrario, existe algún error sistemático, MS_{Cl} será mucho mayor que MS_R , con lo cual el valor calculado de F será mayor que el valor tabulado F_{tab} para el nivel de significación escogido y los grados de libertad mencionados.

A continuación se muestra la típica tabla ANOVA (formulas tabla 6) obtenida para los resultados del ejemplo de la **Tabla 5**:

Tabla 7. Tabla ANOVA para los resultados de la **Tabla 5**

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_{cal}
Entre Colas	726,305115	3	242,101705	1,90318329
Dentro de las colas	4070,68231	32	127,208822	
Total	4796,98742	35		
$F_{tab} = 2,92 (95\%, 3, 32)$				

Como $F_{cal} > F_{tab}$, en este caso se podría concluir que al menos una de las colas ha producido resultados que difiere de forma estadísticamente significativa del resto de las colas. El ANOVA no indica cual difiere significativamente de las otras.

Sin embargo siguiendo el mismo en ejemplo que hemos presentado, podemos tomar los mismos datos y hacer una ANOVA comparando cada una de las colas con las otras, o con cada una de las otras y siguiendo ese procedimiento analítico común y riguroso. Podemos determinar cuál difiere significativamente del resto, y si esta muestra un resistencia al cizallamiento (kg/cm^2) superior al resto superior, será la mejor.

Tomando el mismo ejemplo y de la **tabla 5**, pero tomando es tipo de corte radial (R) o tangencial (T). Si se comprueba que Hay diferencias significativas en los resultados. Se comprobaría un efecto en la resistencia por el tipo de corte **Tabla 8**.

Tabla 8.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_{cal}
Entre Cortes	24,1930627	1	24,1930627	0,17234435
Dentro del corte	4772,79436	34	140,376305	
Total	4796.98742	35		
$F_{tab} = 4,171 (95\%, 1, 34)$				

La Tabla de resultados al utilizar las formulas de la **Tabla 6**, para calcular el cuadrado de las medias asociado a cada una de las fuentes de variabilidad. Una vez calculados, las varianzas asociadas al muestreo y a la medida instrumental, puede calcularse fácilmente utilizando las formulas de la **Tabla 6**. También existen numerosos paquetes estadísticos que realizan el cálculo del ANOVA y proporcionan el cuadrado de las medias. Por tanto, en la práctica únicamente es necesario aplicar las formula de la **Tabla 6** para obtener las varianzas.

CAPITULO III

3.1. MARCO TECNICO APLICATIVO

3.1.1. OBJETO

Analizar y definir las diversas alternativas y consideraciones de los métodos y procedimientos, para determinar los parámetros óptimos de los procesos de encolados en la fabricación de productos de madera de uso estructural y no estructural.

3.1.2. USO Y SIGNIFICADO

Es necesario analizar la diversas alternativa y consideraciones de los métodos, para determinar los parámetros óptimos, porque son muchos los factores y valores por cada factor a tomar en cuenta, se pueden terminar haciendo muchos ensayos, sin logran un resultados concluyente, rápidamente para cada combinación de madera y colas. Que se planea procesar o se tiene en proceso.

Definir un método es importante para la fabricación de productos competitivos y de calidad, pero es fundamental en la fabricación de componentes de uso estructural como son las vigas compuestas de madera.

Es la base para desarrollar productos con pequeñas secciones de madera, que pueden mitigar la depredación de los bosque naturales y el cambio climático, permitir desarrolla un tecnología de no tala de los bosques.

3.1.3. METODOLOGÍA.

Partiendo de **la Tabla 2**, donde se han tabulado todos factores o parámetros ha considerar en los procesos de pegado de las maderas, de acuerdo a los fabricantes de productos de madera y a los proveedores de adhesivos.

Se asignan valores a cada uno de los factores o parámetros, determinando un punto por vez, en una secuencia que permita obtener los parámetros óptimos con el mínimo de ensayos posibles. Por tanto cada columna en dicha tabla determina un ensayo, todas las probetas construidas para ese ensayo, constituye un juego de ensayo, a cada columna que representa un ensayo le podemos asignar un código, que nombre dicho ensayo (Ver **Tabla 10**).

Teniendo definidos los factores y ordenado en la Tabla 10, es necesario definir una un conjunto de procedimientos y métodos, para determinar el valor de los parámetros óptimos, con el mínimo número de ensayos, así como para implementar los ensayos, realizar los ensayo, registrar y procesar los resultados.

3.2. ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DEL MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS, EN EL ENCOLADO DE MADERAS

3.2.1. LOS FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DE LAS UNIONES ADHERIDAS DE MADERA.

Determinar los factores que afectan la resistencia de las uniones adheridas de madera, es el primer paso para determinar los parámetro óptimos del proceso de pegado con adhesivos.

En el marco teórico, en lo referente a los adhesivos, encontramos un cuadro de las variables que influyen en la adherencia de la madera, recopilada por NormKutscha, se contabilizan 59 variables (ver Tabla 4 en el marco teórico), en dicho cuadro. Son muchas variables, algunas muy difíciles de medir y/o controlar, son básicamente un estudio científicos y teórico de todo los factores que intervienen en el pegado, muy complejo desde el punto de vista técnicos-aplicativo.

Sin embargo hay una solución desde el punto de vista práctico. Resultado del diagnóstico realizado en el CAPITULO I, en el que se recopiló información de los fabricantes de producto de madera, y de empresas proveedoras de adhesivos. Se determinó, qué acorde con sus experiencias, son 12 los factores más significativos, en la resistencia de las colas uniones encoladas (ver Tabla 10).

Estos 12 factores o parámetros, son tomados en cuenta normalmente, y de algún modo son controlados en los procesos de producción, en todas las empresas que

trabaja con la madera. Por tanto la determinación del efecto de estos parámetros, en la resistencia de la unión encolada, sería el camino para llegar a la respuesta de la hipótesis y a la solución del problema central planteado, teniendo el efecto de cada factor definido en una gráfica, la implementación en los procesos de producción no requerirá mayor inversión, que simplemente, mantener los parámetros en los niveles pre determinados.

3.2.2. MÉTODO POR TABULACIÓN

Los parámetros determinan el valor del esfuerzo máximo de cizallamiento de los adhesivos. Lo cual se obtienen aplicando un esfuerzo controlado sobre dos maderas unidas por el adhesivo en ensayo, obteniendo valores de resistencia (adherencia).

Basados en ese ensayo, un posible método consiste, en fabricar muestras (probetas), manteniendo todos los factores con un mismo valor, excepto unos, al cual se le asignan por lo menos tres valores diferentes a igual juego de muestras. Luego se ensayan y determina el promedio del esfuerzo máximo de cizallamiento de cada juego de muestras. Al tener tres puntos, se proyecta una función, que permitirá predecir el valor de esfuerzo máximo de cizallamiento para cualquier valor de dicho factor. Así sucesivamente, se puede determinar el valor para cada factor. Sin embargo, se requieren cierta cantidad de probetas para lograr un nivel de significancia aceptable (tamaño muestra) para cada factor y cada punto en dicha gráfica, que puede significar un número muy grande probetas a preparar y ensayar.

Teniendo en cuenta que en el Perú hay más de 8,000 especies de madera y se puede encontrar en el mercado, más de 15 marcas de adhesivos y más 4 clases de adhesivos de diversas bases. Por tanto la primera propuesta es válida para fines científicos y de investigación, pero ineficiente para fines prácticos en la producción, donde se buscan un valor óptimo y no todos los valores posibles. Es necesario definir un método, que permita determinar los parámetros, más eficientemente, que implique un número mínimo de ensayos.

3.2.3. MÉTODO DE DISEÑO DE EXPERIMENTAL COMPARATIVO CON VARIOS FACTORES

Proponemos un método comparativo con varios factores. Se inicia seleccionado una especie de madera y tres marcas de cola de la misma base, fijando todos los

otros parámetros en un mismo valor como se muestra en la tabla de la página a continuación (Tabla 10, fuente propia. resultado de visitas técnicas realizadas), usando un primer valor como testigo.

TABLA 10

Cuadro Variables a Ensayar									
Código de factor	Factores que influyen en la resistencia al cizallamiento (Kg/cm2)	Variaciones de cada factor y parámetros	Madera sólida	M1CL1S	M1CL1H	M1CL2S	M1CL2H	M1CL3S	M1CL3H
Ga	(Ma) Medio ambiente	(Ga) Grados Cº, Temperatura							
Ha		(Ha) Humedad relativa							
Pa		(Pa) Presión atmosférica.							
M	(M) especie de madera		M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1
C	(C) Tipo de cola	C1,2,3,4,.....		C1	C1	C2	C2	C3	C3
EP	(EP) Espesor de la película en micras	(R) recomendación del proveedor							
CH %	(CH) % de Contenido de Humedad de la madera	(S) seca al horno (H) sin secar al horno		S	H	S	H	S	H
E	Área de sección (E)encolada	longitud de traslape 25mm		25	25	25	25	25	25
D	(D) Dirección del Corte	Corte (R)Radial Corte (T)Tangencial		R= T	R= T	R= T	R= T	R= T	R= T
A	(A) Acabado superficial, estandarizar acabados	((D)al corte de disco, (C)cepillado, (L)lijado		D	D	D	D	D	D
TE	(TE)Tiempo de Ensamble Minutos.	TER (R)Recomendación del fabricante		10	10	10	10	10	10
TC	(TC) Tiempo de Cierre minutos	TCR recomendado		30	30	30	30	30	30
PR	(P)Presión de Cierre (kg/cm2)	PR recomendada por fabricante		10	10	10	10	10	10
GR	(G) temperatura de Curado en Cierre.	GCR promedio Rf		25	25	25	25	25	25
TA	(TA)Tiempo de curado abierto Hora	TAR Recomendado por proveedor		48	48	48	48	48	48

3.2.4. SELECCIÓN DE LA ESPECIE DE MADERA

Como los procesos de producción comienzan con la materia prima, es decir, se inicia con una especie de madera. Es lógico iniciar seleccionando las especies de madera involucradas en la producción priorizando las de mayor área a encolar.

3.2.5. SELECCIÓN DE LAS COLAS

En el caso de la madera la mejor clase de cola para iniciar ensayos, son el grupo de cola blanca clásica de carpintero. Se inicia comparando los que regularmente se emplea y se realizan ensayos para comparar los con otras alternativas similares y determinar la mejor de las alternativas.

En una segunda etapa, se puede comparar, con adhesivos de otra clase, es decir adhesivos fabricados con otra base, distinta a la que regularmente se emplea, con la finalidad de buscar alternativas de mejoras o soluciones a problemas.

Comparando el esfuerzo de cizallamiento máximo (kg/cm^2) de cada cola podemos determinar cuál es la mejor cola de las ensayadas.

Los criterios de selección son los siguientes:

1. Disponibilidad en el mercado.
2. Propiedades adhesivas.
3. Costos

TABLA 11

CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS DE LA COLA						
COD	COLA	BASE	% SOLIDOS	Color	Ph	Resistencia N/mm2
C1	GLUKOLA UR	Resina de Polivinil Acetato (PVA)	49 - 51	Blanco		
C2	DORUS KL4010	Resina de Polivinil Acetato (PVA)	47+-3%	blanco/crema	3-4.5	
C3	RAD3	Resina de Polivinil y Vinil Ester (PVA)	49 - 51	Blanco	4 - 6	10

Fuente, ficha técnica de proveedores de adhesivos

3.2.6. LA MEJOR COLA

Comparamos la resistencia promedio, si se encuentra diferencias significativas, seleccionamos la que tenga el promedio de resistencia más alto. Caso contrario la decisión es económica. De ser este el caso podemos acumular todas las muestras en un mismo grupo para compararlos con otros resultados.

3.2.7. COMPARACIÓN ENTRE EL CORTE RADIAL Y TANGENCIAL

Si en la prueba anterior se hizo con corte radial, preparamos otro juego igual con corte tangencial y las comparamos, si no muestran diferencia significativa. Todo el conjunto es una sola muestra.

3.2.8. COMPARACIÓN ENTRE MADERA SECA AL HORNO (CH15%) Y SIN SECAR (CH25%)

Siguiendo la misma secuencia, si en la muestras anteriores se hicieron con madera seca al horno (CH15%), se prepara un juego similar con cada uno de los pegamentos, pero con madera sin secar al horno (CH25%). Comparando los resultados, podemos encontrar que una cola tiene diferencias significativas de resistencia, entre la madera seca al horno de la madera sin secar. Como también podemos encontrar que no hay diferencias significativas entre la madera seca y sin secar al horno. Como en los casos anteriores si no hay diferencia significativa todo es parte de una sola muestra.

3.2.9. COMPARACIÓN POR ACABADO SUPERFICIAL

Para este punto ya se ha determinado la mejor cola, el efecto del contenido de humedad y el tipo de corte. Así mismo ya se tiene un valor de referencia para cada parámetro, por tanto, para determinar los siguientes parámetros, solo basta preparar dos juego de probeta adicionales para estimar un valor en cualquiera de los parámetros restantes, más un juego adicional de probetas para confirmar el valor estimado.

Como en la primera prueba de entrada se hizo con probetas, con el acabado que da el corte del disco, los otros dos acabados superficiales serían, cepillado y lijado, finalmente se tienen tres grados de acabados diferentes, cuya comparación puede indicar diferencias significativas entre ellas. También podemos continuar el proceso comparando y determinando grados dentro de un mismo tipo de acabado.

3.2.10. OTROS FACTORES Y/O PARÁMETROS POR DETERMINAR

Ya se tienen valores de referencia para cada parámetro, por tanto los siguientes parámetros, solo requieren que se prepare dos juego de probeta adicionales para estimar un valor en cualquiera de los parámetros restantes, más un juego adicional de probetas para confirmar el valor estimado.

Es necesario señalar que algunos de los parámetros, pueden estar determinados por los equipos de producción disponibles y/o por el proceso mismo de producción, como pueden ser el tiempo de cierre, teniendo en cuenta, que para mantener la piezas unidas a un presión determinada, implica disponer de algún tipo de prensa, cuyo número puede estar limitado por la inversión que representan otras consideraciones.

3.2.11. LA COMPARACIÓN ENTRE VALORES DE LOS PARÁMETROS

La comparación se realiza, mediante análisis de varianza de los promedios de resistencia al cizallamiento, de cada juego de probetas ensayados. Si la comparación indica que no hay diferencia significativa, estos resultados incrementan el tamaño de la muestras, por lo que finalmente, el nivel de significancia de los datos obtenidos será alto.

3.3. IMPLEMENTACION DEL METODO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS, EN EL ENCOLADOS DE MADERAS

La implementación del método es la inversión a realizar para realizar los ensayos, inversión que es muy importante, para mantener la calidad y competitividad de la producción existente, así como para el desarrollo de nuevos productos.

En este aspecto los equipos para ensayos son el aspecto clave, no por la inversión, sino principalmente por ser crítico, no se puede hacer los ensayos, sin máquina de ensayo, no se pueden hacer las probetas sin unos equipos para fabricar las probetas, donde se controla cada parámetro del proceso de fabricar las probetas. Adicionalmente, hay otros equipos e instrumentos de medición que son complementarios, pero que son fáciles de adquirir en el mercado.

Sin embargo si bien la UNI cuenta con el equipo para realizar los ensayos de tracción, en el laboratorio de ensayo de materiales. Para construir las probetas de ensayo, no existe equipo comercial para ese fin, donde se puedan controlar todas las variables identificadas en la Tabla 2. En este aspecto la implementación, implica, el diseño, construcción y validación de un equipo para la construcción de probetas de ensayos.

El segundo aspecto importante son los procedimientos y métodos de preparación de los ensayos y materiales, el registro de la información, la ejecución de los ensayos y el procesamiento de los resultados.

3.3.1. OBJETO

Implementar los equipos, herramientas, materiales, procedimientos y ensayo, que hacen materialmente posible y cuando se requiera, la aplicación del método de determinación de parámetros óptimos, oportunamente, en el mínimo de tiempo, costo y con el mejor resultados posible.

3.3.2. USO Y SIGNIFICADO

Proporciona los medios necesarios para ejecutar el método propuesto. Como son los equipos, materiales, organización, información. Personal.

Equipos

Un calibrador con capacidad de medir las dimensiones físicas de las probetas con aproximación de 0,1 mm

1. Extensómetro, capaz de medir desplazamientos con una aproximación de 0,1mm. Y desformímetro de vástago con un recorrido de 30 milímetros y división de escala de 10-2 milímetros.
2. Equipo para registrar la humedad relativa temperatura en un periodo de 30 días.
3. Máquina de Ensayo: La máquina de ensayo deberá tener una capacidad de carga de 50 toneladas o más, con manómetro indicador de carga y carga máxima y debe reunir las condiciones de velocidad expuesta en el siguiente numerales.
 - Aplicar la carga cada 10 kg para obtener una cantidad suficiente de datos de desplazamientos para graficarlo.
 - Aplicar carga hasta que la muestra falle y registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.
4. La máquina debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.
5. Máquina fotográfica para registrar, carga máxima aplicada, lugar y tipo de falla, la apariencia de la probeta.
6. Higrómetro de clavo y de contacto.
7. Un equipo hidráulico debidamente instalado para uso regular, con capacidad para prensar simultáneamente 3 probetas, con instrumentación para control de presión, temperaturas y tiempos, con aditamentos. guías y apoyos para el armado de las probetas y realizar el prensado, debe poder aplicar una presión entre 2 a 50kg/cm² en el área cubierta con adhesivo.

3.3.3. LA MADERA PARA PROBETAS

1. **Seleccionar un mínimo de tres especies** de uso más frecuencia. Entre ellas selecciona la de mayor requerimiento de encolado.
2. **Anticipar 30 días la madera** para preparar las probetas, tiempo mínimo que se requiera para preparar y secar madera.
3. **El volumen:** Como las colas son el material a investigar, la madera debe tener características homogéneas, es recomendable seleccionar toda la madera para todos los ensayos de un mismo lote. Para los cual se debe calcular el volumen necesario, con un 30% adicional. Usar las siguientes formulas

$$Vt=Vc+Vm$$

$$Vc=1.5Pt \times Ne=1.5Pt \times (24 \times NC+3 \times Nc)$$

$$Vm=Ve+Vf$$

$$Ve=2.5Pt \times Nt$$

$$Vf=10Pt \times (Nf+1)$$

En donde:

Pt= Pies tableares de madera.

Vt= Volumen total de un especie de madera en Pt para realizar todos los ensayos de probeta para fabricar vigas.

Vc= Volumen total de madera en Pt para realizar todos los ensayos de colas.

Vm= Volumen total de madera en Pt para realizar todos los ensayos de resistencia mecánica.

Ve= Volumen total de madera en Pt para realizar todos los ensayos de tracción de empalmes.

Vf= Volumen total de madera en Pt para realizar todos los ensayos de flexión, de traslapes.

Ne= Número total de ensayos de colas

NC= Numero de clase o tipos de colas a ensayar.

Nc= Numero de cola a ensayar.

Nt= Numero de ensayos de Tracción de empalmes

Nf= Numero de ensayos de flexión de traslapes.

4. **La madera libre de defectos:** como trizaduras, grietas, rajaduras, ojos, perforaciones por ataque biológico, hongos. Se deben eliminar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de corte y secado.
5. **La madera para probetas de ensayo:** Debe ser de una misma especie y provenir de un mismo lote, para los cual se deben seleccionar las tablas libres de defectos, sin trizaduras, grietas, rajaduras, ojos, perforaciones por ataque biológico, hongos. Se deben eliminar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de corte, al confeccionar las probetas de todos los ensayos.
6. **Corte para el secado:** Para los ensayos de cola, con secado al horno, se debe cortar los tablonces a un mínimo de 30mm de espesor, para el secado en horno. Para ensayo mecánico el corte de los tablonces es a 25mm de espesor.
7. **El secado:** La madera seca al horno KD (Kilm Dry) 12%-15%. La madera seca al aire. AD (Air Dry) 25%-40%.
8. **Corte para probetas:** Previo al corte los tablonces se comprueba su humedad con el medidor de clavos, para iniciar enderezando una cara y canto en la garlopa y cepilla las dos caras hasta llegar a terminar en 25mm, luego se corta en listones de 28 mm, luego se cepilla formando, listones cuadrado de 25mmx25mm. Estos listones se dividen por la mitad según el corte radial o tangencial que se requiera, manteniendo igual cantidad de ambos, el espesor final es de 10mm... El corte y cepillado de toda la madera debe realizarse en una operación y almacenarse en bolsas plásticas para que no ingrese la humedad y polvo. Se debe tener cuidado de separar los de corte radial de los de corte tangencial.
9. **El acabado superficial de testigo:** Es al corte del disco de widia (dientes carburados). Debe ser lisa, iguales y homogéneas en todas las probetas.
10. **Para asegurar la homogeneidad:** De la cara encoladas de todas la probetas, se debe emplearse un disco nuevo, una misma máquina, rpm del disco y velocidad de arrastre para el corte de la cara a encolarse. En caso de las caras cepilladas es similar, las cuchillas deben ser nuevas y estar afiladas.
11. **La probeta de madera húmeda** deben almacenarse en sombra, cortados en cuadrados de 30mmx30mm y deben cortar como máximo 5 días antes de ser utilizados. Similarmente para los ensayos de flexión se debe cortar con una demasía de 4 milímetro, para ser acabado máximo 1 semana antes de su uso.

- 12. Calibración de los equipos de corte:** Para asegurar la homogeneidad en el acabado superficial el corte, de la cara a encolar de todas las probetas debe realizarse en una misma máquina, con el mismo ajuste de rpm del eje de corte y velocidad de arrastre, utilizando un disco nuevo, con máximo 1,000 pt de trabajo. Igualmente la cepillado calibradora debe utilizar un juego de cuchilla recién afiladas y utilizar una misma velocidad de arrastre para todas las probetas, similarmente en caso del lijado utilizar una única lijadora orbital con lija 100 de madera y lijar por 3 segundo la superficie a ensayar.
- 13. Las dimensiones** de ancho y espesor se deben trabajar con una aproximación de 0,1mm.

3.3.4. LAS COLAS:

- La cola es el espécimen en ensayo, se debe obtener del mismo fabricante, de un lote estándar, En el ensayo comparativo es con diversas colas, se debe utilizar y conservase conforme a las especificaciones e indicaciones del fabricante.
- Se debe contactar con los fabricantes de cola y obtener muestras en cantidad suficiente para realizar todos los ensayos de una etapa más el 30% adicional. Se puede estimar el volumen de cola necesario, con la formula siguiente:

$$VI=0,05ItXPt$$

En donde:

VI=Litros de cola

Pt=Pies tableares totales de madera para las probetas.

- Información de colas: Se debe solicitar a cada fabricante, información, completa de, las características físicas y químicas de las colas, base, pH, % sólidos, especificaciones de uso y parámetros: Tiempo máximo y mínimo de apertura, Presión máxima y mínima de cierre. Tiempo y Temperatura máxima y mínima de curado en cierre, Tiempo mínimo y máximo de curado en apertura. Los cuales debe documentarse y registrase en una hoja Excel para el procesamiento.

También se pueden ensayar colas especialmente formuladas por los proveedores y compararlas con las regulares.

- Dimensiones de la probeta de ensayo de adherencia: Longitud mínima de las probetas 450mm. La medida los listones es 25mmX10mmX300mm, tolerancia de ± 0.05 mm.
- La madera para probetas debe estar libre de defectos como trizaduras, grietas, rajaduras, ojos, perforaciones por ataque biológico, hongos. Se deben eliminar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de corte.
- El traslape mínimo debe ser la sección a encolar y es de 20mm, el máximo se puede determinar según convenga. Cabe señalar que si la falla se presenta 100% en la madera. Significa que el área encolada es muy grande, la fuerza de adherencia ha superado la resistencia de la madera, el esfuerzo nos indica que la cola ensaya, cuenta con un esfuerzo mayor al determinado por el ensayo. Se debe hacer otro juego de ensayos, con menor área encolada para confirmar los resultados...
- Estas probetas deberán estar marcadas con un código de serie único.
- Las dimensiones empleadas para calcular el área de la sección encolada debe determinarse con una aproximación de 0,1 mm, promediando dos mediciones.
- **Corte de la madera para fabricar las probetas:** Previo al corte de los tabloncillos se comprueba su humedad con el medidor de clavos. Enderezar una cara en garlopa y cepillar las dos caras hasta llegar a 25mm, luego se corta en listones de 28 mm, luego se cepilla formando, listones cuadrados de 25mmx25mm. Estos listones se dividen por la mitad según el corte radial o tangencial que se requiera, manteniendo igual cantidad de ambos, el espesor final es de 10mm. El corte y el cepillado de toda la madera debe realizarse en una operación y almacenarse en bolsas plásticas para que no ingrese la humedad y el polvo. Se debe tener cuidado de separar los de corte radial de los de tangencial.
- **Marcado de las probetas:** Se deben marcar con un código de serie único, código de ensayo y fecha de fabricación.
- El código de serie es un número correlativo que se genera por cada probeta que se confecciona. Igualmente se genera un código de ensayo, para el juego de probeta del ensayo. Ver tabla 13:

- Debe marcarse en las probetas con un plumón indeleble el código único del ensayo y la fecha de construcción.

3.3.5. JUEGO DE PROBETAS PARA ENSAYO

1. Un juego de ensayo, consta de 6 probetas, las cuales deben prepararse una a continuación de la otra, en las condiciones y parámetros exigidos por el ensayo. Utilizando la prensa con instrumentación con una precisión de 5% del valor de requerido por el ensayo.
2. El armado en el encolado debe realizarse con una precisión de 1,0mm.
3. En vista de la limitada cantidad de prensas con control de parámetro, se debe programar primero los ensayos con tiempo de cierre y tiempo de curado abierto mayores.
4. El curado de las probetas en abierto, se debe realizar en un medio con sombra, donde no ingrese la lluvia y donde se encuentre un equipo de control con registro de temperatura y humedad.
5. Llegado a su tiempo de curado abierto las 6 probetas se deben empacarse en plástico, para ser transportadas al laboratorio ensayos.

3.4. MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS, EN EL ENCOLADOS DE MADERAS

3.4.1. OBJETO

Determinar el efecto de los diversos factores en el esfuerzo máximo de cizallamiento de las uniones de maderas mediante adhesivos, así como los valores de los parámetros óptimos para cualquier proceso de encolados en cualquier especie de madera y con cualquier clase o tipo de adhesivo.

3.4.2. USO Y SIGNIFICADO

Comparar y determinara el efecto de los valores de los parámetros y su óptimo, siguiendo una secuencia de actividades secuenciales o alternativas estudiadas para lograr el objetivos eficaz y eficientemente.

Es la base para definir los parámetros de todo los procesos de fabricación de productos unión con adhesivos, permitiendo producir productos competitivos en calidad y costo.

Al determinarse un valor de esfuerzo de cizallamiento máximo, esto permite calcular la resistencia de cualquier unión realizada con adhesivos, permitiendo mejorar al diseño de la unión.

Permitirá desarrollar mejores y nuevos productos competitivos en calidad y costo

Es fundamental para la fabricación de productos competitivos y de calidad, y fundamental en la fabricación de materiales de uso estructural como puede ser en la madera.

La unión de partes y piezas mediante adhesivos, siempre ha sido de importancia en la madera, sin embargo en la actualidad, el uso de adhesivos está extendido a muchos otros materiales incluso compuestos con la madera.

Es casi imposible obtener un producto competitivo y de calidad, en productos, cuyas partes y piezas son unidad con adhesivos, si los valores de los parámetros, no están claramente determinados.

Permitirá mejorar el aprovechamiento de la madera hasta en 400% y agregar valor a la madera hasta en 400%.

Es la base para desarrollar productos con pequeñas secciones de madera y desarrollar una tecnología de no tala, que pueden mitigar la depredación de los bosques naturales y el cambio climático.

3.4.3. PROCEDIMIENTOS

El método se compone de los siguientes procedimientos:

1. Selección de la madera:

1. Se debe determinar previamente los criterios de selección, y seleccionar un mínimo de tres especies de más uso frecuente.
2. Y seleccionar la de mayor requerimiento de encolado.
3. Luego se puede ampliar las alternativas, según se requiera.

2. Selección de los adhesivos y colas:

1. Buscar en el mercado y seleccionar un mínimo de 2 de colas alternativas de las clases y marcas que regularmente se emplean.
2. Contactar al proveedor, conseguir la muestra en la cantidad necesaria y la información completa de la cola.

3. Registro y manejo de datos en Excel:

1. La información y los datos de la cola obtenida de los fabricantes así como los resultados de los ensayos debe registrarse y procesarse en hoja Excel.
2. Obtener información de proveedores, registrar en un Excel, calcular los valores promedios de: Tiempo máximo y mínimo de apertura, presión máxima y mínima de cierre. Tiempo y temperatura máxima y mínima de curado en cierre, tiempo mínimo y máximo de curado en apertura. Determinar puntos medios entre el valor promedio y los máximos y mínimos. Dentro de estos rangos para ajustar los valores.
3. Cargar los datos en el **Cuadro Variables a Ensayar (Tabla 13)**.
4. Diseñar el ensayo en el **Cuadro Variables a Ensayar (Tabla 13)**..
5. Registrar los resultados en el **Cuadro Variables a Ensayar (Tabla 13)**.
6. Cada juego de ensayo debe contar con su hoja de reporte que acompañara las probetas, el laboratorio debe entrega el reporte con los resultados y las fotos de los ensayos.

7. Estos reportes deberán ser vertidos en el Excel y registrar los resultados en el **Cuadro Variables a Ensayar (Tabla 13)**. Los datos y las fotos deben guardarse en una memoria USB para este fin, finalmente se debe quemarse un CD con los resultado y las fotos. Cada juego de probetas de ensayo tiene un código de identificación y cada probeta tiene un correlativo único de identificación, que debe marcarse en la probeta en el momento de su fabricación (ver tabla 1).

4. Fabricación de los juegos de probetas conforme a los ensayos requeridos

1. En el **Cuadro Variables a Ensayar (Tabla 13)** se indicas los valores de cada parámetro según los ensayos a realizar.
2. El primer **ensayo de referencia**, seleccionar la especie de madera de mayor área encolada y ensayar con la cola que regularmente se emplea, secada al horno y acaba con el corte del disco, parámetros los mismos que regularmente se emplean regularmente en el proceso de encolados.
3. Fabricar las probetas conforme valores a los parámetros de diseño de la prueba, indicado en el **Cuadro Variables a Ensayar (Tabla 13)**,
4. **Determinación de la mejor cola:** Fabricar dos juegos de ensayo adicionales con los mismos valores de parámetros del ensayo de referencia, pero con dos colas de la misma clase pero de otras marcas.
5. **Efecto del corte tangencial o radial:** Fabricar la mitad de todos los juegos es con corte radial y la otra mitad con corte tangencial.
6. **Efecto del contenido de humedad:** Fabricar con los mismos valores de parámetros 1 juegos adicionales pero con madera sin secar y con cada cola ensayada.
7. **Efecto del acabado superficial:** Con una de las colas ensayadas y los mismos valores de los parámetros fabricar, un juego adicional cepillado y otro lijado.
8. **Determinación de parámetros óptimos:** Fabricar con la mejor cola, para cada parámetro que se desea determinar su óptimo, dos juegos con el valor promedio y valor máximo dado por los fabricantes.

9. **Para otra madera y/o otros adhesivos:** Para otras maderas o colas, con los resultados y parámetros óptimos, fabricar un juego adicional por cada cola y madera y comparar, si no hay diferencia significativa, se mantiene los parámetros. En caso sea significativa la diferencia y es un adhesivo con mayor resistencia se tiene un adhesivo mejor.
10. En caso la falla se presente mayoritariamente (\Rightarrow 50%) en la madera y no en la línea de encolado, de preferencia fabricar otro juego con menor área encolada.
11. A cada juego de probetas, aplicar un ensayo de resistencia al cizallamiento a la unión encolada, hacer cálculos, sacar promedios y comparar valores de resistencia mediante ANOVA. Graficar los valores y determinar los valores óptimos para la cola estudiada.
12. Determinar el nivel de significancia en el encolado de otras maderas o colas. Si es significativo, es un dato para ese caso. Si no es significativo. Los resultados son aplicables para muchas especies o colas según sea el caso.

5. **Ensayo de resistencia al cizallamiento de uniones encoladas.**

1. Colocar la probeta en la mordaza. Debe ser una mordaza plana con textura y nivel de rugosidad específicas para que no se presente deslizamientos de las probetas.
2. Lecturas de alargamiento: Las lecturas del extensómetro se leerán para incrementos de carga constantes de 10kg para trazar con suficiente exactitud diagramas esfuerzo deformación.
3. La lectura de carga máxima en la máquina se debe fotografiar y anotar en reporte.
4. El extensómetro se puede retirar cuando se hayan obtenido los datos suficientes para poder trabajar.
5. Determinación del contenido de humedad con instrumentos. Anotar en reporte.

6. Fotografía el indicador de carga máxima, y la falla en la probeta, colocar un letrero, con el código único, código de ensayo y fecha. A fin de registrar fotográficamente, todos los datos.
7. Fotos deben incluir el código de identificación de la muestra.
8. Fotos de la falla producida en la probeta, anotarse localización y observaciones.

6. Cálculo de la resistencia de la unión encolada

La resistencia al cizallamiento por tracción se determinará siguiendo la fórmula:

$$\sigma_{ult} = F_{ult} / A \text{ en kg/cm}^2$$

Dónde:

σ_{ult} = Esfuerzo de cizallamiento con aproximación de 10kg.

F_{ult} = Carga máxima que resiste antes de fallar, en kg/cm²

A = Área de la sección encolada (cm²)

7. Informe de resultado de los ensayo de probetas:

1. Número de identificación.
2. Contenido de humedad, instrumental y/o laboratorio de ser el caso
3. Dimensiones de la sección encolada (cm).
4. Área de la sección encolada (cm²).
5. Carga máxima (kg).
6. Fotos del ensayo y de la falla producida.
7. Anotaciones, descripción del tipo de falla y observaciones.
8. Copia digital de la información.

8. Cálculos y análisis de resultados

1. Los resultados se registraran en cuadro Excel similar al cuadro de ensayo comparativo.

2. ANOVA, significancia de las colas.
3. ANOVA, significancia del corte tangencia y radial en la resistencia del encolado.
4. ANOVA, Significancia del contenido humedad en la resistencia del encolado.
5. La mejor cola, para madera seca y sin secas.
6. Porcentajes de falla en madera

9. Informe de parámetros óptimos:

1. Especie con la que se realizaron los ensayos.
2. Resistencia al cizallamiento en kg/cm^2 o de cada ensayo.
3. Los mejores proveedores de cada clase de cola
4. La clase de cola más resistente.
5. La mejores colas en madera seca al aire
6. Si hay diferencia significativa entre el encolado de cara con corte radial y tangencial.
7. Resistencia al cizallamiento de cada clase de cola.
8. Información de los proveedores, de los parámetros, de tiempo (Tx) máximo y (Tm) mínimo de apertura, presión (Px) máxima y (Pm) mínima de cierre, tiempo y temperatura (Gx) máxima y (Gm) mínima de curado en cierre, tiempo (TAm) mínimo y (TAX) máximo de curado en apertura.
9. Informe de los registro de humedad y temperatura en los en el ambiente de curado de las probetas.
10. Copia digital de la información.
11. Observaciones, conclusiones y recomendaciones

CAPITULO IV

4.1. ENSAYOS Y RESULTADOS

Comprende lograr los siguientes resultados.

1. Implementación del método
2. Implementación de los ensayos
3. Los ensayos
4. Análisis de resultados
5. Observaciones, conclusiones y observaciones de los resultados.

4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO

En el Capítulo III se ha definido el método y los procedimientos. En esta etapa la inversión principal ha sido en el equipo de fabricación de probetas. No hay en el mercado equipos comerciales, para tal fin, a pesar de la importancia y relevancia de este equipo. Más aún se estima que hay 8,000 especies de madera y muchas clases y marcas de adhesivos.

En este sentido se ha diseñado construido y validado un equipo, que permitirá hacer probetas de diversos tipos. Desde las estandarizada para los ensayos de adherencia, hasta secciones reales de vigas laminadas. También se ha incluido, resistencia para el calentamiento y control de temperatura con tiempos para los caso de adhesivos que requieran temperatura, para el curado en cierre.

4.2.1. EQUIPO PARA FABRICACIÓN DE PROBETAS.

Se ha diseñado, construido, instalado y validado un equipo para la construcción de probetas para el desarrollo de diversos productos con adhesivos. Permitirá la fabricación de varios tipos de probetas, que serán utilizadas para optimizar los métodos y procesos, así como para desarrollar nuevos productos y procesos (Ver figura 28 al 30)

El equipo se ha instalado con suministro de energía independiente y en una disposición, que permitirá ser operado adecuadamente, en el momento que se requiera.

El equipo permitirá fabricar conjuntamente un juego de probetas para ensayos, de maderas adheridas con adhesivos de diversas clases, igualmente madera compuesta con otros materiales (ver imágenes 28 al 30).

Los tipos de probetas para ensayo que se pueden fabricar son:

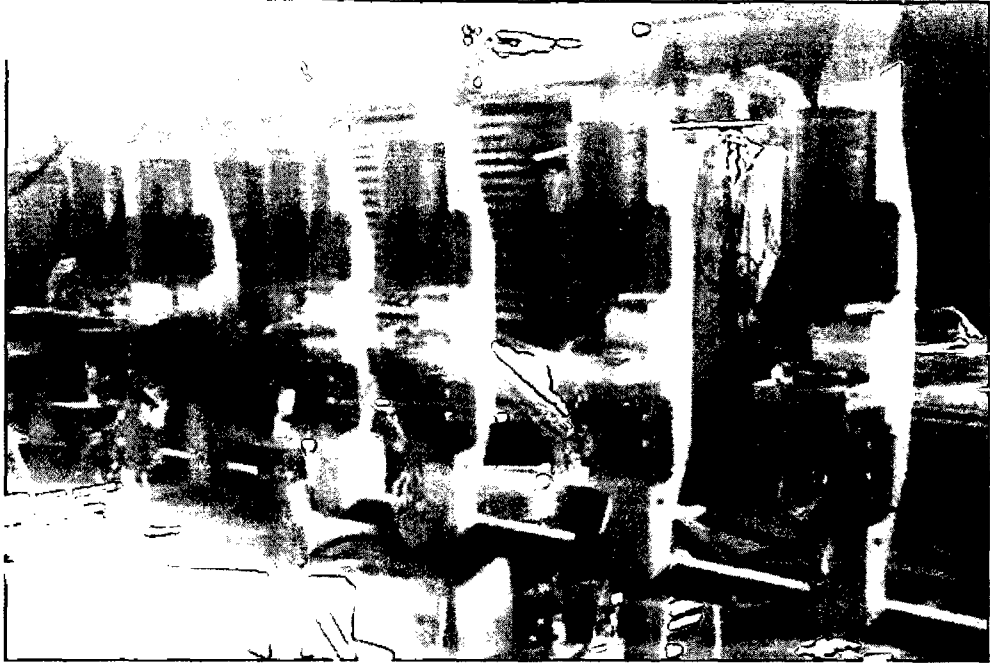
- Probeta para ensayo de cizallamiento de adhesivos, de diversas secciones, de 20mmX20mm hasta 100mmX100mm.
- Probeta para ensayo de cizallamiento de uniones de cabeza, por machihembrado, media madera, finger joint, espiga, secciones de 20mmX20mm hasta 100mmX100mm.
- Probeta de sección de viga compuesta para ensayo de flexión de 20mmX20mmX300mm hasta 100mmX120mmX900mm
- Con los aditamentos adecuados se puede configura para fabricar cualquier tipo de probetas que se requiera construir.

Especificaciones técnicas del equipo de fabricación de probetas:

- Conjunto de 6 pistones hidráulicos, diámetro 100mm
- Conjunto de 6 Platos de 100mmX150mm, altura, 150mm hasta 450mm
- Cada plato cuenta con resistencia y pirómetro para el control de temperatura de 20C° a 300C°
- Bomba hidráulica de 7gl/min hasta 180kg/cm²
- Manómetro y regulador de presión.
- Temporizado y electroválvulas para el control de tiempos de prensado.

FIGURA 28

Equipo en proceso de instalación y calibración



**Manometro de presión indicando
un presión de 20kg cm² Tablero con el equipo funcionado**

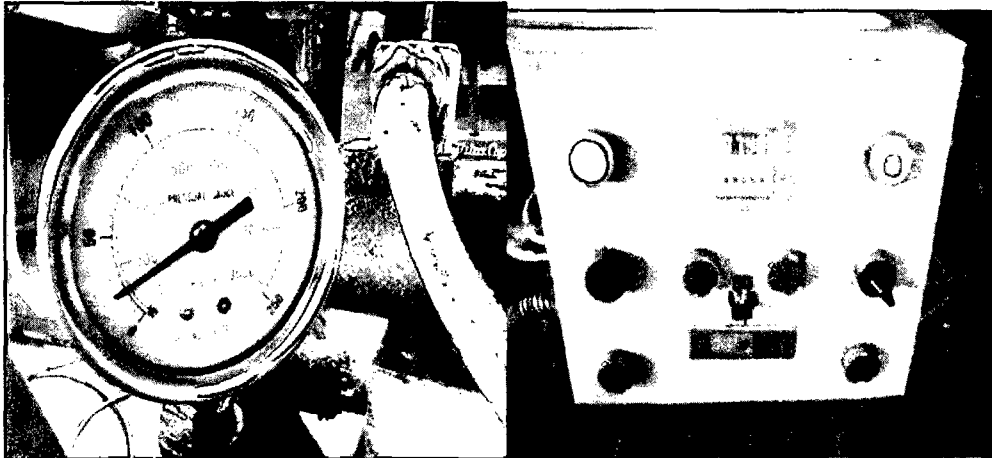
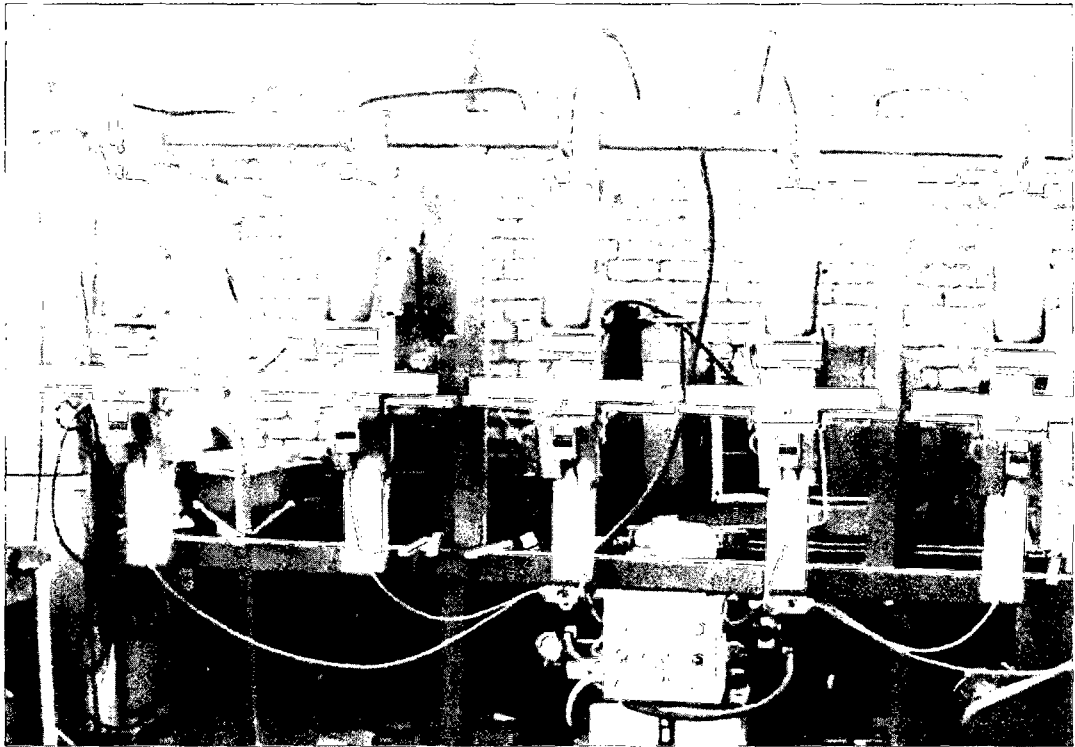


FIGURA 29

FIGURA 30

FIGURA 31: Pruebas de validación del equipo de fabricación probetas de ensayo



4.2.2. EQUIPO DE ENSAYO DE TRACCIÓN.

Equipo del laboratorio de ensayo de la Universidad Nacional de Ingeniería. Máquina de ensayo Amsler, la máquina de ensayo tiene una capacidad de aplicar cargas de hasta 20 toneladas o más, reúne las condiciones de velocidad expuesta en el siguiente numeral.

- Aplicar la carga cada 5 kg para obtener una cantidad suficiente de datos de desplazamientos para graficarlo.
- Aplicar carga hasta que la muestra falle y registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.

4.2.3. EQUIPOS DE MEDICIÓN Y REGISTRO.

- Higrómetro de contacto marca Marray.
- Pie de rey digital

4.3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ENSAYOS

4.3.1. SELECCIÓN DE LAS MADERAS:

Se seleccionó la madera para iniciar los ensayos en base a los criterios siguientes:

1. Disponibilidad del aprovisionamiento.
2. Costo.
3. Propiedades de resistencia mecánica.
4. Demanda del mercado

TABLA 11
Maderas Seleccionadas

COD	M1	M2	M3
ESPECIES	Cachimbo	Copaiba	Huairuro
Color del duramen	blanco cremoso		pardo amarillo claro
Densidad básica gr/cm ³	0,59	0,61	0,61
Contracción Volumétrica (%)	12,1	10,7	9,4
Contracción tangencial (%)	7,58	7	6,3
Contracción radial (%)	4,96	3,4	3,19
Módulo elasticidad en Flexión (Kg/cm ²)	131000	112000	136000
Módulo de Rotura en flexión (kg/cm ²)	735	736	838
compresión paralela (kg/cm ²)	342	268	443
compresión perpendicular (kg/cm ²)	66	74	71
Corte paralelo a la fibra (kg/cm ²)	84		105
Dureza de lado (Kg/cm ²)	468	587	650

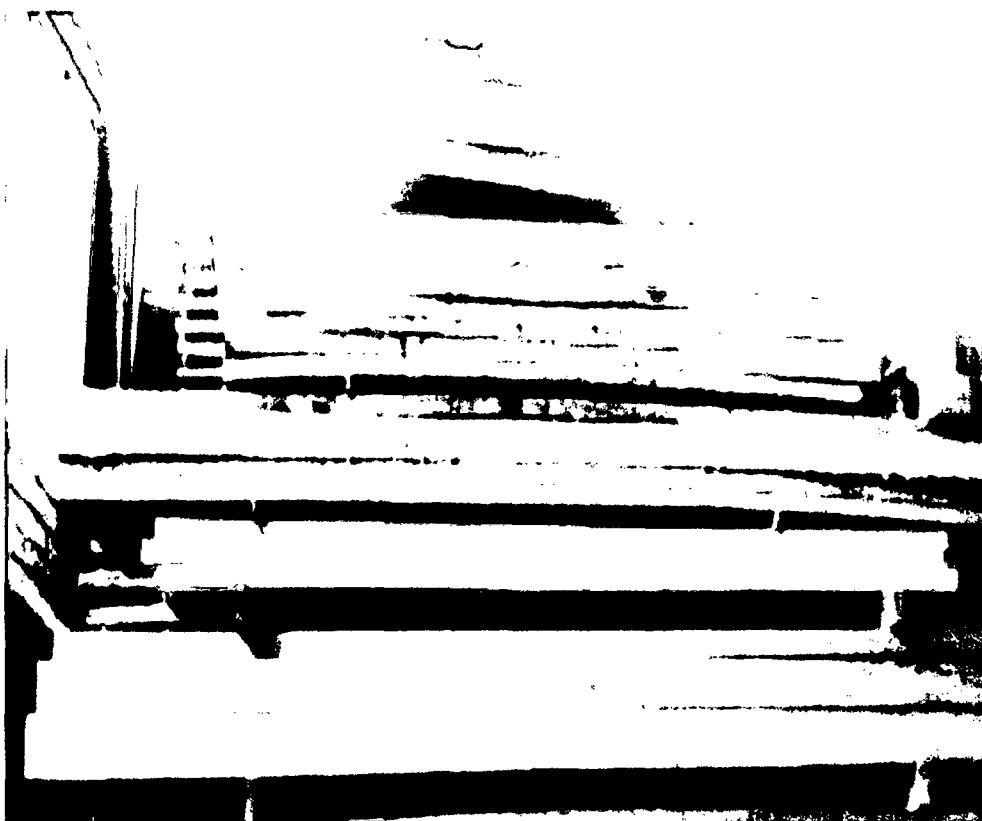
Fuente, Acuerdo de Cartagena

Si bien hay tres especies seleccionadas de madera LKS (ver Tabla 11), se ha seleccionado la madera **Cachimbo** como referencia para todos los ensayos, por ser una especie, de precio bajo, con mucha oferta en el mercado y muy buenas propiedades de resistencia mecánicas.

4.3.2. PREPARACIÓN DE LA MADERA PARA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS:

- Se han aserrado 200pt (pies tableares) de madera a 30mm de espesor de las siguientes especies: Cachimbo, Huairuro y Copaiba (ver imagen 19).
- Se ha secado al horno 150pt de las siguientes especies de madera: Cachimbo, Huairuro y Copaiba (ver imagen 19).
- Para la preparación de las probetas para los ensayos de adherencia, se han preparado un total 100 listones de 25mmX25mmX450mm de madera, 50 secas al horno y 50 sin secar al horno (ver imagen 25).

FIGURA 32: MADERA PARA PROBETAS SECA AL HORNO



4.3.3. SELECCIÓN DE LAS COLAS

Se ha seleccionado dos colas alternativas, las que usualmente se emplean es GLUKOLA UR, de formulación y fabricación nacional, la KL4010 es de formulación importada pero fabricación nacional y la RAD3 es de origen importado.

Los criterios de selección fueron los siguientes:

1. Disponibilidad en el mercado.
2. Propiedades adhesivas.
3. Costos

Las colas seleccionadas, son la clásica cola de carpintero, que requiere un tiempo de prensado y curado a temperatura ambiente (Ver tabla 12).

Se contactó con cada uno de los proveedores, realizado una visita técnica a las instalaciones, y recabado información sobre los diversos adhesivos, obtenidos muestras de un lote estándar del inventario para venta y las fichas técnicas de todas las colas a ensayar.

TABLA 12

ADHESIVOS SELECCIONADOS PARA ENSAYO						
COD	COLA	BASE	% SOLIDOS	Color	pH	Resisten cia N/mm2
C1	GLUKOLA UR	Resina de Polivinilo Acetato (PVA)	49 - 51	Blanco		
C2	DORUS KL4010	Resina de Polivinilo Acetato (PVA)	47+-3%	blanco/crema	3-4.5	
C3	RAD3	Resina de Polivinilo y Vinil Ester (PVA)	49 - 51	Blanco	4 - 6	10

Fuente, datos de fichas técnicas de los proveedores de adhesivos.

4.3.4. LOS ENSAYOS A REALIZAR

Los ensayos se definen en la **Tabla 13**. El primer ensayo sirve de referencia para los siguientes ensayos, de las 16 variables definidas se han de asignar los siguientes valores:

- **Medio ambiente Ta, Ha, Pa:** son los valores de temperatura, humedad relativa y presión. Se tomara como condiciones normales, la media de la ciudad de Lima.
- **Madera M1:** Es la especie de madera cachimbo que será, la referencia para todas las pruebas. Con diversos adhesivos.
- **Colas C1, C2, C3:** Son las tres marcas de colas con las que se iniciaran los ensayos. Son las colas blancas de carpintero, comercialmente llamada "cola sintética". Es una cola PBA con base de polivinilo.
- **Espesor de película (EP):** no se controlara este parámetro, sin embargo se asegurará de aplicar el adhesivo con una brocha, sobre una cara, hasta que la probeta, esté totalmente cubierta con el adhesivo.
- **Dirección del corte (D):** La mitad del todo los juegos de ensayo conformado por 6 probetas, será con corte radial (R) y la otra mitad tangencial (T) denominadas corte radial.
- **Contenido humedad (CH):** Seco al horno (S) aproximadamente CH15%, sin secar (H) aproximadamente CH25%. Para esta primera prueba se construirá un juego en con CH15% (S) se hará otro con CH25%(H).
- **Acabado superficial (D):** El acabado superficial es con el corte del disco.
- **Tiempos de ensamble (TE):** Se ha fijado en 10 minutos, tiempo máximo recomendado por los fabricantes y es una limitación en el proceso de producción.
- **Tiempo de cierre (TC):** Se ha fijado en 30 minutos porque es una restricción del proceso de producción.
- **Presión de cierre (P):** 10 kg/cm² como punto de partida.
- **Temperatura de curado en cierre (G):** Es la temperatura ambiente porque la cola blanca se cura al medio ambiente.
- **Tiempo de curado (TA):** Los primeros ensayos se realizaron en 48 horas.

Resultados posibles de obtener: Con los parámetros asignados con estos valores, se podrán obtener los siguientes resultados:

- **La mejor cola:** El ensayo es de una especie de madera, con tres colas a ensayar. Permitirá determinar el esfuerzo de máximo de cizallamientos (kg/cm^2). Esto nos permite comparar la fuerza de adherencia de estas tres colas con la especie seleccionada y determinar la mejor cola o adhesivo, para esa especie en particular.
- **Efecto del tipo de corte:** Sin embargo podemos aprovechar este mismo ensayo para comparar el efecto del corte radial con el corte tangencial. Para lo cual la mitad de las probetas será fabricada con el corte tangencial y la otra con el corte radial. Se hará la comparación, empleando análisis de varianza para determinar si las medias tienen una diferencia significativa. En caso contrario, es un parámetro menos a considerar del proceso de adherencia de las maderas.
- **Efactor de la humedad en la Madera:** Teniendo en cuenta que por cada probeta construida con madera seca al horno, hay otro juego adicional, hecha en madera sin secar al horno. Esto permite determinar el efecto de la humedad en el esfuerzo máximo de cizallamiento (kg/cm^2). Así como se puede determinarse que hay una cola mejor para ese caso, como también que no hay diferencia significativa en encolar madera seca al horno y sin secar.
- **Determinación de parámetros:** Serán ajustados conforme los valores indicados en el **Cuadro Variables a Ensayar** que son el valor menor dados por los proveedores. Para el caso de del tiempo de armado se estableció en 10min, así como 30min el tiempo de cierre, este último es crítico, lo determina el proceso de producción en planta. Porque podría requerirse una inversión mayor en prensas, para el proceso de ensamble.

TABLA 13

Cuadro Variables a Ensayar									
Código	Factores que influyen en la resistencia al cizallamiento (Kg/cm²)	Variaciones de cada factor y parámetros	Madera sólida	M1C1S	M1C1H	M1C2S	M1C2H	M1C3S	M1C3H
Ga	(Ma) Medio ambiente	(Ga) Grados Cº, Temperatura							
Ha		(Ha) Humedad relativa							
Pa		(Pa) Presión atmosférica.							
M	(M) especie de madera		M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1
C	(C) Tipo de cola	C1,2,3,4,.....		C1	C1	C2	C2	C3	C3
EP	(EP) Espesor de la película en micras	(R) recomendación del proveedor							
CH %	(CH) % de Contenido de Humedad de la madera	(S) seca al horno (H) sin secar al horno		S	H	S	H	S	H
E	Área de sección (E) Encolada	longitud de traslape 25mm		25	25	25	25	25	25
D	(D) Dirección del Corte	Corte (R) Radial Corte (T) Tangencial		R= T	R= T	R= T	R= T	R= T	R= T
A	(A) Acabado superficial, estandarizar acabados	((D) al corte de disco, (C) cepillado, (L) lijado		D	D	D	D	D	D
TE	(TE) Tiempo de Ensamble Minutos.	TER (R) Recomendación del fabricante		10	10	10	10	10	10
TC	(TC) Tiempo de Cierre minutos	TCR recomendado		30	30	30	30	30	30
P	(P) Presión de Cierre (kg/cm²)	(R) recomendada por fabricante		10	10	10	10	10	10
G	(G) temperatura de Curado en Cierre.	(R) recomendada por fabricante		25	25	25	25	25	25
TA	(TA) Tiempo de curado abierto Hora	TAR Recomendado por proveedor		48	48	48	48	48	48

Fuente propia, tabulado de visitas técnicas realizadas

4.3.5. LA CONSTRUCCIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO



EL ENSAMBLE Y PRENSADO DE LAS PROBETAS, FIGURA 33

La probeta de ensayo:

Las dimensiones de las probetas son de 20mmX25mmX450mm. Se confeccionaron trozando un listón de 25mmX25mmX450mm en dos mitades de largo distintos, luego las dos mitades de sección cuadrado se dividió en dos mitades iguales de 10mmX25mm, de acuerdo a la orientación de corte.

Los dos listones más largo se unen con un traslape entre sí, y dos más cortos se pegan en los extremo, formándose las probetas de 20mmX25mmX450mm con la línea de encolado centrada.

- Se han fabricado un total 36 probetas, de madera Cachimbo, total 6 juegos de ensayos, de 6 probetas cada uno (ver imagen 25).
- Se han utilizado tres colas PVA, fabricando con cada uno, 1 juego con madera seca al horno y otro juego con madera sin secar.
- Para la comparación de resistencia del corte radial con tangencial, la mitad de las probetas son de corte radial y la otra mitad de corte tangencial. Posibilitándose, la comparación de la adherencia entre ambos, sin requerir preparar más probetas.
- Se determinará la mejor cola, de las 3 empleadas, para un tiempo de cierre de 30min y presión de 10kg/cm² (ver tabla 13).
- Determinar el efecto del contenido de humedad en el encolado. Como la mitad de las probetas, son de maderas seca y las restantes sin secar, se puede

determinar el efecto del contenido de humedad en la fuerza de pegado con las diversas colas ensayadas.

- Se posibilita determinar la mejor cola para madera secada al horno y sin secar.
- Como se requiere que la mitad de las probetas sean con corte radial y la otra mitad con corte tangencial, la madera para las probetas se cortaron a 45 cm de longitud y una sección cuadra acabada 25mmx25mm. Siendo una sección cuadrada, se selecciona la dirección y se corta por el centro y rectifica el espesor para que termine en 10mm, a continuación se marca las dos mitades, se corta cada mitad a 23.75cm de largo, y se encola entre con un traslape de 25mm, las dos secciones más cortas, se encolan en lados opuesto para mantener la sección rectangular, y el traslape a media madera. El prensado, la temperatura y los tiempos se realizan con los valores indicados en el Cuadro Variables a Ensayar Tabla 13 para el ensayo.

Detalles del Ensamble

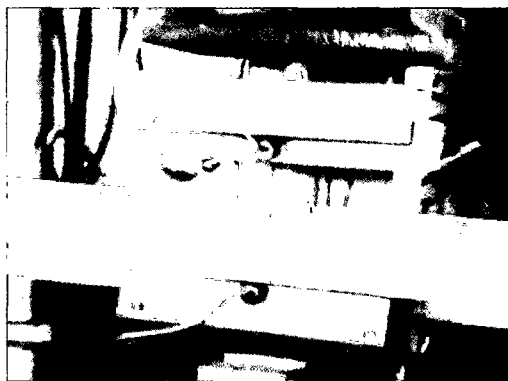


FIGURA 34

La Presión

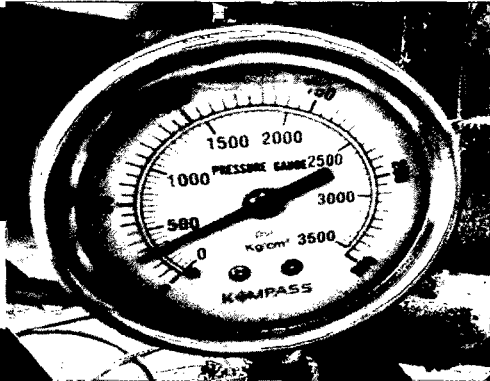


FIGURA 35

Guía para el ensamblado de probetas, FIGURA 36



La Sección Traslapada, FIGURA 37



Probetas Construidas Para los Ensayos, FIGURA 38



4.4. ENSAYOS DE LAS PROBETAS



Ensayos en Laboratorios de la UNI, FIGURA 39 y 40

Los ensayos de tracción para determinación del esfuerzo máximo de cizallamiento (kg/cm^2). Fueron realizados en el laboratorio de ensayos de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería (Ver imágenes 26 – 27). Obteniéndose los siguientes resultados, ver TABLA 14.



Sección traslapada de las probetas, FIGURA 41

4.5. RESULTADO DE ENSAYOS

Tabla 14, resultado de ensayos realizados en laboratorio de materiales de la UNI,

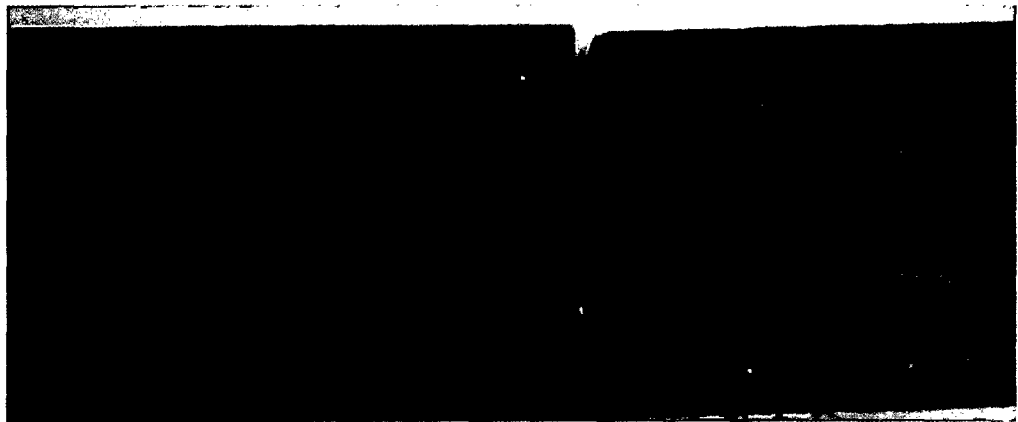
Código Probetas	Ancho			TRASLAPE			Área cm ²	CONTENIDO DE HUMEDAD			Car ga Ma x. Kg.	Esfuerzo Max. kg/cm ²	Lugar de falla
	A1	A2	A Prom.	T1	T2	T Prom.		CH1	CH2	CH Prom.			
P1 RS C1	25.39	25.53	25.46	27.78	27.77	27.775	7.0715	13	14.1	13.55	130	18.3836	Unión
P2 RS C1	25.6	26.23	25.915	26.14	25.95	26.045	6.7496	15.5	14.8	15.15	80	11.8526	Unión
P3 RS C1	25.34	25.17	25.255	26.79	27.12	26.955	6.8075	13.4	15.5	14.45	320	47.0071	Unión
P7 TS C1	25.6	25.3	25.45	24.97	25.26	25.115	6.3918	16.4	15.9	16.15	100	15.6451	Unión
P8 TS C1	25.45	25.82	25.635	25.81	25.98	25.895	6.6382	16.9	17.5	17.2	220	33.1416	Unión
P9 TS C1	25.35	25.41	25.38	27.15	26.98	27.065	6.8691	15.3	14.5	14.9	190	27.6601	Unión
P4 RH C1	25.15	25.18	25.165	24.52	23.81	24.165	6.0811	22.4	21.2	21.8	180	29.5998	Unión
P5 RH C1	25.04	25.33	25.185	25.63	25.78	25.705	6.4738	20.7	20	20.35	190	29.3490	Unión
P6 RH C1	25.63	25.21	25.42	26.47	28.1	27.285	6.9358	21.5	26.3	23.9	220	31.7193	Unión
P10 TH C1	24.99	25.31	25.15	25.25	25.15	25.2	6.3378	26	23.8	24.9	250	39.4459	Unión
P11 TH C1	25.05	25.4	25.225	24.89	24.73	24.81	6.2583	22.5	27.5	25	290	46.3383	Unión
P12 TH C1	26.02	24.91	25.465	26.93	26.99	26.96	6.8654	18.9	21.4	20.15	270	39.3278	Unión
P13 TH C2	24.93	25.34	25.135	25.53	25.53	25.53	6.4170	24.9	26.9	25.9	300	46.7511	Unión
P14 TH C2	25.08	24.97	25.025	25.94	25.61	25.775	6.4502	23.8	24.3	24.05	220	34.1075	Unión
P15 TH C2	25.16	25.45	25.305	27.16	26.99	27.075	6.8513	20.6	20.1	20.35	90	13.1361	Unión
P16 TH C2	25.18	25.33	25.255	25.62	26.1	25.86	6.5309	20.1	21.7	20.9	100	15.3117	Unión
P17 TH C2	25.36	25.08	25.22	25.65	26	25.825	6.5131	25.5	22.5	24	320	49.1320	Unión
P18 TH C2	25.23	25.53	25.38	26.3	25.65	25.975	6.5925	23.5	21.2	22.35	310	47.0235	Unión
P19 RH C2	25.14	25.01	25.075	26.39	26.04	26.215	6.5734	28.3	28.3	28.3	130	19.7766	Unión
P20 RH C2	25.08	25.26	25.17	25.83	24.89	25.36	6.3831	18.4	20.6	19.5	230	36.0326	Unión
P21 RH C2	25.26	25.29	25.275	26.01	25.59	25.8	6.5210	22.5	20.9	21.7	280	42.9385	Unión
P22 RH C2	25.07	25.05	25.06	27.16	26.57	26.865	6.7324	21.2	19.7	20.45	280	41.5901	Unión
P23 RH C2	25.01	25.18	25.095	26.47	26.24	26.355	6.6138	18.5	19.5	19	200	30.2399	Unión
P24 RH C2	25.12	24.95	25.035	26.12	26.42	26.27	6.5767	23.1	24.1	23.6	340	51.6977	Unión
25 TH C3	25.42	25.48	25.45	26.88	26.68	26.78	6.8155	19.6	18.8	19.2	240	35.2138	Unión
P26 TH C3	25.3	25.25	25.275	25.38	25.46	25.42	6.4249	18.9	15.6	17.25	240	37.3546	Unión
P27 TH C3	25.14	25.46	25.3	26.5	26.51	26.505	6.7058	20	20.6	20.3	250	37.2814	Unión
P28 TH C3	25.09	25.05	25.07	27.55	27.12	27.335	6.8529	16.7	21.2	18.95	130	18.9701	Unión
P29 TH C3	24.81	25.15	24.98	26.92	26.91	26.915	6.7234	20	20.3	20.15	300	44.6205	Unión
P30 TH C3	25.08	25.01	25.045	26.7	27.07	26.885	6.7333	16.1	18.6	17.35	250	37.1286	Unión
P31 RH C3	25.05	25.23	25.14	26.13	25.61	25.87	6.5037	20.1	23.2	21.65	190	29.2141	Unión
P32 RH C3	24.9	24.96	24.93	26.09	26.25	26.17	6.5242	20.7	25.3	23	220	33.7207	Unión
P33 RH C3	25.14	25.1	25.12	27.29	27.17	27.23	6.8402	14.6	16.4	15.5	370	54.0922	Unión
P34 RH C3	25.33	25.26	25.295	26.69	26.55	26.62	6.7335	15.2	16	15.6	310	46.0383	Unión
P35 RH C3	25.2	25.08	25.14	26.9	26.56	26.73	6.7199	16	21.5	18.75	300	44.6434	Unión
P36 RH C3	24.87	24.83	24.85	26.24	26.1	26.17	6.5032	18.2	22.1	20.15	320	49.2062	Unión

La carga máxima promedio aplicada: El ensayo se realiza en una máquina que realiza incrementos de carga de 5kg, con una velocidad constante, la carga máxima en promedio ha sido de 232kg (Ver Tabla 14),

Lugar de la falla: La falla por el esfuerzo ha ocurrido en la unión encolada, en el 100% de las probetas ensayadas (ver fotos).

Esfuerzo cizallamiento máximo promedio: El promedio del esfuerzo es de 35k/cm² (ver registro de resultados Tabla 14).

Probetas ensayadas, 100% falla en unión, FIGURA 42



El área de sección encolada: Se han tomado dos mediciones, al ancho y traslape para determinar la sección en colada, el promedio ha sido de 6,62 cm² (ver registros de resultados Tabla 14),

Contenidos de humedad de la madera: Se han tomado dos mediciones por probetas, para determinar el contenido de humedad, con un medidor de contacto marca Marray, calibrada a la densidad del Cachimbo. ,

- La madera seca al horno se encuentra en promedio en CH15, 23%.
- La madera sin secar se encuentra en promedio en CH21, 14%

4.6. ANÁLISIS DE RESULTADO.

4.6.1. COMPARACIÓN ENTRE COLAS C1, C2, C3.

De los resultados calculamos la tabla 15. Obteniéndose los esfuerzo máximo para los tres adhesivos.

- Esfuerzo máximo de C1=35,9634kg/cm²
- Esfuerzo máximo de C2=35,6448 kg/cm²
- Esfuerzo máximo de C3=38,9570 kg/cm²

TABLA 15

Resultados kg/cm ²		C1		C2	C3
		S	H	H	H
1	T	15,6451	39,4459	46,7511	35,2138
2	T	33,1416	46,3383	34,1075	37,3546
3	T	27,6601	39,3278	13,1361	37,2814
4	T			15,3117	18,9701
5	T			49,1320	44,6205
6	T			47,0235	37,1286
7	R	18,3836	29,5998	19,7766	29,2141
8	R	11,8526	29,3490	36,0326	33,7207
9	R	47,0071	31,7193	42,9385	54,0922
10	R			41,5901	46,0383
11	R			30,2399	44,6434
12	R			51,6977	49,2062
Suma		153,6902	215,7801	427,7373	467,4838
Promedio		25,6150	35,9634	35,6448	38,9570

Cálculos de los resultados de la tabla 14

TABLA 16, ANOVA ENTRE COLAS

Del análisis de resultados por ANOVA, Tabla 16 aplicando las formula de la tabla 6.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fcal
Entre Colas	726,3051	3	242,1017	1,90318329
Dentro de cada cola	4070,682	32	127,2088	
Total	4796,987	35		
Ftab = 2,92 (95%,3,32)				

Se concluye que **no hay diferencia significativa** de esfuerzo máximo entre las 3 colas ensayadas, la selección de la cola es económica.

4.6.2. COMPARACIÓN LA MADERA SECA EN HORNO Y SIN SECA CON LA COLA C1.

De la Tabla 15 encontramos el esfuerzo máximo de la madera seca al horno y sin secar, por la Tabla 17, las cuatro columnas evaluadas no muestra diferencia significativas, por tanto, preliminarmente podemos concluir que no hay diferencia significativa en la resistencia entre la madera seca al horno y sin secar para las tres colas ensayada, adicionalmente se ha realizado un ANOVA con la cola C1, tampoco se ha encontrado diferencia significativas.

- Esfuerzo máximo de la madera seca al horno (S) =25,6150kg/cm²
- Esfuerzo máximo de la madera sin secar al horno (H) =35,9634kg/cm²
- El análisis de varianza indica que **no hay diferencia significativa** en el esfuerzo máximo entre la madera seca y sin secar al horno, el $F_{cal} = 1,1758$, $F_{tab} = 4,545, 0,1,1,4$.

Tabla 17

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fcal
Entre Colas	726,3051	3	242,1017	1,90318329
Dentro de cada cola	4070,682	32	127,2088	
Total	4796,987	35		
Ftab = 2,92 (95%,3,32)				

4.6.3. COMPARACIÓN ENTRE EL CORTE RADIAL (R) Y TANGENCIAL (T)

De la Tabla 18 calculada de los resultados encontramos es esfuerzo máximo del corte tangencial y radial, se aprecia muy poca diferencia.

- El esfuerzo máximo del corte tangencial=34,3kg/cm²
- El esfuerzo máximo del corte radial=35,9kg/cm²

TABLA 18

Resultados kg/cm ²		CL1		CL2	CL3	Suma	Promedio
		S	H	H	H		
1	T	15,6451	39,4459	46,7511	35,2138	617,5898	34,3105
2	T	33,1416	46,3383	34,1075	37,3546		
3	T	27,6601	39,3278	13,1361	37,2814		
4	T			15,3117	18,9701		
5	T			49,1320	44,6205		
6	T			47,0235	37,1286		
7	R	18,3836	29,5998	19,7766	29,2141	647,1016	35,9501
8	R	11,8526	29,3490	36,0326	33,7207		
9	R	47,0071	31,7193	42,9385	54,0922		
10	R			41,5901	46,0383		
11	R			30,2399	44,6434		
12	R			51,6977	49,2062		

Cálculos de los resultados de la tabla 14

Del análisis de varianza realizado, en la Tabla 19, con la aplicación de las formulas de la Tabla 6, encontramos que **no hay diferencia significativa** entre la resistencia máxima del corte tangencial y radial, el $F_{cal} = 0,1723$, $F_{tab} = 0,171$ (95%, 1,34.)

TABLA 19, ANOVA ENTRE CORTE RADIAL Y TANGENCIAL

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fcal
Entre Cortes	24,1931	1	24,1931	0,1723
Dentro del corte	4772,794	34	140,3763	
Total	4796,987	35		
$F_{tab} = 4,171$ (95%,1,34)				

CAPITULO V

ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO Y COMPARATIVO ENTRE SISTEMA EXISTENTE Y SISTEMA PROPUESTO

Sistema Existente	Propuesto
Se prefiere trabajar con madera entera, larga, ancha y gruesa. Evitando las uniones y pegas con sobre costos de hasta 100% más para medidas especiales	Si se utiliza madera corta y de recuperación, la madera corta está al menos a 70% del costo normal del mercado, de la madera larga y la madera de recuperación, hasta menos del 50%.
Las dimensiones están limitadas por las dimensiones del tronco y árbol del que se obtiene la madera, así como de los equipos para procesarla, las grandes dimensiones de maderas son pedidos especiales y costosos. Actualmente imposibles en algunos casos.	Utilizando pequeñas piezas adheridas de madera, no hay limitaciones dimensionales en cuanto a los que se puede construir. Hay estructuras de maderas laminadas de grandes dimensiones. El costo de la madera puede estar por debajo de la media, porque es madera corta y considerada de baja calidad.
Los productos de madera con uniones, se introducen en muchas operaciones, para asegurar la resistencia de la unión adherida. Esto involucra más madera, más operaciones, tiempo de operación y más costo.	Conociendo el esfuerzo de máximo de cizallamiento (kg/cm^2), se puede hacer un diseño óptimo de las uniones utilizando el mínimo de madera, igualmente tiempos y costos de operaciones y procesos. La reducción del costo será radical, mayor al 50%.

<p>En el Perú solo se aprovecha el 17,81% (FAO 2001) de la madera en troncos, como madera, el porcentaje restante, es leña, carbón y residuos.</p>	<p>En el mundo el aprovechamiento es de 55%. Se obtendrán mejoras radicales con el empleo de piezas adheridas. El porcentaje, de aprovechamiento y el aumento de valor de la madera, podrá mejorar hasta en 400%, teniendo en cuenta que, la leña y carbón, es un valor de refugio.</p>
<p>El aprovechamiento de la madera en el Perú es de menos de 17,81% (FAO2001) principalmente por los métodos de aprovechamiento actual de la madera y por la costumbre, de utilizar piezas de maderas grandes, reduciendo la uniones.</p>	<p>Impulsar el uso de uniones pegadas, puede mejorar el aprovechamiento en más de 50% y los ingresos y el valor agregado en más de 100%. Se debe tener en cuenta que la madera corta se valora hasta menos del 70% de la madera larga comercial, si se emplea en la fabricación de productos de uso estructural, su valor estaría mínimo 50% sobre el valor la madera comercial larga. Por tanto las cifras propuestas están demostradas.</p>
<p>Actualmente se talan árboles que se estima requieren más de 50 años, para su desarrollo, no hay proceso de reforestación, validados para recuperar las áreas desforestadas y degradadas en la selva del Perú.</p>	<p>Se podría desarrollar una tecnología basada en pequeñas piezas de madera encoladas entre si, obtenidas de las ramas y raleos de los bosques, sin recurrir a la tala del árbol. De este modo, el bosque generaría continuamente, madera en lugar de esperar más de 50 años para que el árbol se regenere.</p>

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES DEL DIAGNOSTICO

Como resultado de las visitas técnicas realizadas, tanto a proveedores de colas como a los fabricantes de productos de madera, hemos tabulado en total 16 factores y/o parámetros que determinan la resistencia de las uniones encoladas:

Entre los cuales son 3 los factores del medio ambiente a tomar en cuenta son: Temperatura, Humedad relativa, Presión atmosférica

Son 6 los factores considerados por los fabricantes de productos de madera: Especie de madera, La cola, Preparación de la superficie, Área encolada, Orientación del corte, Contenido de humedad de la madera

Son 7 los factores considerados por los proveedores de los pegamentos: Espesor de capa del pegamento, Tiempo de ensamble, Tiempo de cierre, Presión de cierre, Temperatura de cierre, Tiempo de curado, Condiciones del curado.

En la **Tabla 20** a continuación, se tabulan todos los factores a considerar (fuente propia, resultado de visitas técnicas), que afecta la resistencia de las uniones encoladas de los procesos de fabricación con madera.

TABLA 20								
Código de factor	Factores que influyen en la resistencia al cizallamiento (Kg/cm ²)	Variaciones de cada factor y/o parámetro	GLUKOLA UR	DORUS KL4010	RAD3	Exportimo	Talle A	Industry of Furniture
R	Resistencia al cizallamiento Kg/cm ²		No presentan datos		100	No tienen datos		
Ga	(a) Medio ambiente	(Ga) Grados C°, temperatura	25					
Ha		(Ha) Humedad relativa %	85					
Pa		(Pa) Presión atmosférica.	Condiciones normales					
M	(M) especie de madera	3000 especies conocidas	No hay adhesivos específicos					
C	(C) cola	C1,2,3,4,.....	Más de 4 clases de adhesivos de distinta base.		Cola blanca de carpintero (cola sintética)			
EP	(EP) Espesor de la película	Cubrir la superficie a encolar	125 a 175 g/m ²		No hay medida, solo se controla que la capa cubrir uniforme toda la superficie			
CH%	(CH) % de humedad de la madera	(S) seca al horno (H) sin secar al horno.	10 a 25			15	15	15
D	(D) Dirección del Corte	Corte (R) Radial Corte (T) Tangencial	No hay recomendaciones			Se estima una diferencia y hay recomendaciones de no mezclar corte radial con tangencial		
A	(A) Acabado superficial,	(D) al corte de disco, (C) cepillado, (L) lijado.	Superficie limpia libre de polvos			Se considera que las superficies rugosas son mejores		
TE	(TE) Tiempo de Ensamble Minutos.,	Mínimo debe haber solvente para el ensamble	10	10	10	Máximo 10 min		
TC	(TC) Tiempo de Cierre minutos	Recomendable el mayor tiempo posible, hasta poder manipular la unión	Mínimo 30 minutos			Mínimo 1 hora		
PR	(P) Presión de Cierre (kg/cm ²)	Suficiente para no dejar burbujas de aire	3 a 7 kg/cm ²			No hay control, se prensas con tornillo de ajuste manual		
GR	(G) temperatura de Curado en Cierre.	Ha mayor temperatura menor tiempo	Temperatura ambiente hasta 80C°			Temperatura ambiente		
TA	(TA) Tiempo de curado abierto Hora	Tiempo para 80% resistencia Máxima	Mínimo 72 horas			No se aplica		

2. CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO Y ENSAYOS REALIZADOS

2.1. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO

El equipo se ha diseñado y dimensiona, para construir por lo menos tres tipos de probetas que se requieren construir y ensayar, para desarrollar productos. Entre las cuales, están las probetas de ensayo de adherencia, probetas de sistema de ensamble y probetas de modelo prototipo de los productos.

Por ser clave el equipo de fabricación de probetas es, es recomendable que toda empresa cuente con algún tipo de equipos para hacer probetas de ensayo. Se podría diseñar y construir un equipo muchos más chico, que solo sirva para fabricar 3 probetas de ensayo, que no cuente con calentamiento ni control de temperatura. Simplemente es una prensa hidráulica con bomba manual y manómetro, para fabricar las probetas, con temperatura de cierre al medio ambiente. Esto permitirá, ajustar los valores en los parámetros de los procesos, donde se utilizan colas y adhesivos a temperatura ambiente, que constituyen la gran mayoría en productos de madera.

2.2. LOS ENSAYOS Y LA CONSTRUCCIÓN DE PROBETAS.

El tiempo de ensamble y cierre: Se determinó un tiempo de ensamble de 10 min y tiempo de cierre 30min, porque es una de las especificaciones del proceso de producción.

Recomendación 1: Realizar ensayos, con tiempo de cierre de 60 y 90 minutos, con la mejor cola determinada por el ensayo para determinar el efecto del tiempo de cierre sobre la resistencia del encolado.

La presión de cierre: Se ha utilizado 10kg/cm^2 de presión en el prensado. En el proceso se observó que la presión de cierre influye en el espesor de capa y la dispersión de la cola.

Recomendación: Realizar un ensayo con 5kg/cm^2 y 20kg/cm^2 para determinar el efecto sobre la resistencia de la presión de prensado.

El prensado: En la operación se observó, que la superficie de la madera no es tan plana como el metal, porque se observa que el prensado no es totalmente homogéneo.

Recomendación: Realizar un juego de ensayo colocando una superficie elástica como el caucho que absorba las pequeñas imperfección de la madera, afín de determinar el efecto sobre la resistencia. Este ensayo se debe realizar con los mismo parámetros iniciales, y compararlos con dichos resultados,

2.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La adherencia de la madera seca y sin secar al horno: Se observa una diferencia de resistencia máxima de 10kg/cm² mayor en la madera seca al horno, aunque él según el análisis de varianza indica que no hay diferencia significativa, sin embargo solo se han ensayado 6 probetas madera seca al horno, de las 36 ensayadas.

Recomendación: Prepara juegos con madera seca al horno, y repetir los mismos ensayos con madera secada al horno, para confirmar estos primeros resultados.

La adherencia del corte tangencial y radial: Si bien se ha comprobado que no hay diferencia significativa en la adherencia del corte tangencial y radial, la diferencia del índice de contracción por tipo de cortes en el tiempo, puede causar fallas en la adherencia al crearse tensiones internas.

Recomendación: Fabricar 1 juego de probetas de corte radial y otro juego de corte tangencial, adicionalmente 2 juegos donde se combinen el corte radial y tangencial. Guardar las probetas bajo sombra, luego de una semana ensayar 3 probetas de corte radial, 3 de corte tangencial y 6 combinados. Luego de 90 días ensayar los restantes. Este ensayo, nos permitirá conocer el efecto del tiempo en la adherencia, de la combinación del corte radial y tangencial.

La mejor cola: Como el esfuerzo de adherencia máxima es similar, pero adicionalmente el análisis de varianza nos muestra diferencias significativas, la mejor cola será la que tenga menor costo por m² de encolado. ¡La evaluación es económica!

Recomendación: Hacer pruebas de rendimiento en producción, se debe determinar el costo por litro de cada cola. Luego determinar los m² por litro de cada cola. El de menor costo, será la mejor cola.

La presión y los tiempos de curado: Son parámetros fundamentales en la clave para fabricar vigas compuestas. Los ensayos no se han concluido, se debe continuar hasta determinar los parámetros óptimos.

Recomendación: Se debe hacer 4 juegos de probetas, afín de determinar la presión óptima y tiempo de curado, que permita lograr la máxima resistencia al cizallamiento de la unión pegado.

3. CONCLUSIONES DE LA TESIS:

1. Ha quedado demostrada la hipótesis, inicial, de que los factores determinan, el valor de los parámetros óptimos, que tienen efecto sobre la resistencia al cizallamiento de las uniones adheridas o encolas de las maderas, quedando demostrada la hipótesis como resultado de los ensayos realizados. Ver tabla 21 a continuación

TABLA 21

Resultados kg/cm ²		C1		C2	C3
		S	H	H	H
1	T	15,6451	39,4459	46,7511	35,2138
2	T	33,1416	46,3383	34,1075	37,3546
3	T	27,6601	39,3278	13,1361	37,2814
4	T			15,3117	18,9701
5	T			49,1320	44,6205
6	T			47,0235	37,1286
7	R	18,3836	29,5998	19,7766	29,2141
8	R	11,8526	29,3490	36,0326	33,7207
9	R	47,0071	31,7193	42,9385	54,0922
10	R			41,5901	46,0383
11	R			30,2399	44,6434
12	R			51,6977	49,2062
Suma		153,6902	215,7801	427,7373	467,4838
Promedio		25,6150	35,9634	35,6448	38,9570
Varianza		143,2579	38,89054	165,3807	82,76861

Cálculos de los resultados de la tabla 14

En la tabla 21 vemos los resultados, del ensayo de resistencia al cizallamiento de las 36 probetas, que fueron construidas ex profésame controlando los 16 parámetros que se propone en el método, y donde se han ensayado tres parámetros:

- Tres marcas de cola codificadas como; C1, C2, C3
- Dos contenidos de humedad diferente; Seca al horno (S) y sin secar al horno (H).
- Dos tipos de corte; Corte radial (R) y corte tangencial (T).

Como vemos en la tabla 20, la resistencia al cizallamiento de cada probeta es diferente, sin embargo analizando los resultados, de los 4 grupos de datos, por tipos de cola y contenidos de humedad, podemos ver, que se presentan

diferencia en el promedio y la varianza, efecto de la variación del valor de cada parámetro controlado.

2. **Se ha validado el método de determinación de parámetros óptimos**, aplicados a procesos de producción, con maderas adheridas para uso estructural, aunque falte realizar muchos más ensayos para determinar el efecto sobre los otros factores considerados, así como para otras maderas, adhesivos y colas, pero esto se debe hacer en función de las necesidades. Teniendo en cuenta que se estima un aproximado de 8,000 especies de maderas y muchas marcas y clases de adhesivos en el mercado.

3. **El propósito de tener un método validado** de determinación de parámetros óptimos ha sido cumplido por los siguientes resultados:

La Tabla 20 muestran los resultados de los ensayos con la aplicación del método, habiendo comparado tres factores de los 16 propuestos por el método: tres tipos de cola, con una sola especie de madera seca al horno y sin secar al horno; así como la dirección de corte, si bien los resultados no son concluyentes, y los datos según la tabla 16 muestran diferencia, los datos se pueden agruparse hasta en 8 grupos de datos, diferentes.

- Del análisis de varianza aplicando, en el capítulo 3 en resumen el resultado, es que no hay diferencia significativa en la resistencia al de cizallamiento de las tres colas ensayadas y que la resistencia en promedio es 35kg/cm².
- No hay diferencia significativa de la resistencia, en la dirección del corte.
- El contenido de humedad no ha sido significativa en los ensayos realizados.
- Se requiere realizar más ensayos para lograr resultados concluyentes.

Sin embargo estos pocos resultados ya son de gran impacto y relevancia en las muchas aplicaciones que derivan de estos resultados.

4. **El impacto y el alcance de no haberse implementado un método en el Perú**, han dado como resultante, varios efectos negativos en el mercado y el sector.

1. Tratar de utilizar el mínimo de uniones posibles.

2. Al tender a maderas de mayores dimensiones, la demanda se ha orientado a valorar más las piezas más anchas, gruesas y largas. Tanto que en algunos casos se ha preferido transportar la madera rolliza, a pesar del altísimo costo, para ser trabajada en la costa y Lima.

3. En los centros de producción como Pucallpa e Iquitos, las maderas de menos de 6 pies de longitud, se valoran a menos del 50% de las iguales o mayores a dicha longitud.
 4. El aprovechamiento de la madera en el Perú, es muy bajo. Menos del 18% (FAO 2001), cuando en el mundo es mayor a 55%.
 5. Se pagan sobrecostos de casi 100% transportando agua, aserrín, leña y desperdicios de madera, hacia la costa.
 6. La generalización de uso de madera larga en la construcción.
 7. Mayor consumo de madera, más operaciones y proceso, mayores costos, en fabricación de muebles, al tratar de usar el mínimo de uniones, maquinar complejos y costosos sistemas de uniones.
 8. No se desarrollen ni oferten más productos de maderas adheridas.
5. **Relevancia** del método propuesto y desarrollado en la investigación realizada, es la solución a todos los problemas indicados anteriormente, así como para desarrollar métodos, para mejorar el aprovechamiento de las maderas nativas del Perú.
 6. **Se estima que un 70%** de los productos en madera requieren algún tipo de unión adherida.

4. RECOMENDACIONES DE LA TESIS

1. **Implementar** por lo menos un pequeño equipo para fabricar probetas de ensayo de adherencia, en todas las empresas que fabriquen productos de madera. Una inversión menor de S/.6000 entre equipos y ensayo, así como menos de 30pt de madera, pueden ahorrar muchos sobrecostos futuros en la producción.

El equipo:

- Una gata hidráulica de 10 toneladas;
 - Manómetro de presión con dial de 4 pulgadas y 100kg/cm²
 - Estructura de prensa.
 - Mano de obra para construir y ensamblar la prensa.
 - Servicio por 100 ensayos en los laboratorio de materiales de la UNI
 - Madera y cola para construir las probetas.
2. **Implementar un laboratorio** de ensayos de adhesivos en la UNI. Equipado con equipos para construir las probetas de ensayo.
 - Sierra circular para corte de la madera. S/.3000
 - Cepillo calibrado. S/.3000
 - Sierra radial. S/1500
 - Equipo de prensado, con control de presión, temperatura y tiempo. S/30000
 - Inversión total S/.37500
 3. **Aplicar el método validado para determinar los parámetros óptimos**, de todos los procesos con adhesivos que estén en producción.
 4. **Iniciar un programa para rediseñar las uniones y procesos**, de todos los productos en producción, relacionados con la unión de maderas, basados en el conocimiento de los parámetros óptimos de las uniones adheridas.
 5. **Desarrollo de nuevos productos** con la aplicación del método y empleo de secciones cortas de madera.
 6. **La optimización de procesos en la actualidad**, debería comenzar por la cadena de valor, aplicando una matriz de valor agregado o cualquier otra técnica de análisis a los procesos de creación de valor, con la aplicación de métodos de reingeniería, nuevas tecnologías y conocimientos, conjuntamente con las experiencias y destrezas aprendidas. A fin de lograr mejoras radicales, antes que mejorar los métodos y procesos existentes buscando pequeñas

mejoras (Ver anexo **HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y MEJORA DE PROCESOS** Septiembre de 2008). Todo esto debido ha la velocidad de cambio y ciclo de vida actual de los productos, así como avances de la tecnología, que establecen cambios radicales, acompañados de ciclos cortos de mejora continua.

GLOSARIO DE TERMINOS

C1, C2 C3.... Convención adoptada, para codificación las colas.

M1, M2, M... Convención adoptada para codificar las especies de madera.

CHx%, Contenido de humedad de la madera, (peso de agua contenida/peso seco de las madera)%.

Tablero alistonado, tablero construido en base a listones de madera adheridas entre sí.

Viga laminada, viga construida con láminas o tablas de madera.

Vigas compuestas de madera, vigas construidas con madera y otros materiales.

Madera aglomerada, material fabricado con aserrín aglomerado con adhesivos.

Pt. pie tablear de madera, sistema de medida inglesa de la madera, un pie X un pies X una pulgada de espesor.

Tiempo de armado o ensamble. Es el tiempo disponible para unir la pieza que tiene cola aplicada.

Tiempo de cierre, es el tiempo transcurrido, donde las piezas de madera se mantienen un bajo presión.

Presión de cierre, es la presión aplicada al prensado de la madera, hasta que el adhesivo consolide su resistencia.

Temperatura de curado en cierre, temperatura requerida para que el adhesivo consolide su resistencia

El curado, es el proceso que requiere los adhesivos, para consolidar sus propiedades adhesivas.

Corte radial, es la dirección del corte radial a los anillos de crecimiento del tronco.

Corte tangencial, es la dirección de corte tangente a los anillos de crecimiento del tronco.

Lumen, es el espacio interno de un componente o estructura celular.

BIBLIOGRAFIA

1. MANUAL DE SECADO DE LA MADERA: Junta de Acuerdo de Cartagena, Coordinador Fernando Sanz Manrique. 1998
2. WOOD HANDBOOK: Wood as an engineering material. Prepared by Forest Products Laboratory. Forrest Servicie, US. Departmet of Agriculture. Rev. 1987
3. ADHERENCIA Y ADHESIVOS PARA MADERA, Materiales de Nueva Generación y Materiales Eficientes. "Master Oficial en Proyecto Arquitectónicos y Ciudades" Universidad de Alcalá. Valeria María Quevedo Machuca (07/7/2012)
4. "HANDBOOK OF WOOD CHEMISTRY AND WOOD COMPOSITES" Charles R. Frihart, - Wood Adhesion and Adhesives- , USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
5. ISO 4587 Adhesives – Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies 2003
6. JIS K 6852-1994 (Testing methods for shear strength of adhesive bonds by compression loading).
7. EN 205:1991. Métodos de ensayo para adhesivos para la madera de uso no estructural
8. ASTM INTERNATIONAL (United States). D5751: Adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products. West
9. BENITES MACIEL, L. Adhesividad de maderas nacionales. Proyecto de tecnología de ensayo de productos forestales, LATUJICA (1998-2003). Montevideo: LATU, 2003. (Informe de Investigación. Serie Forestales; 12)
10. COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN (Bélgica). EN205: Métodos de ensayo para adhesivos para la madera de uso no estructural. Bruselas: CEN, 1991.
11. JAPANESE STANDARD ASSOCIATION (Japan). JIS K6852. Testing methods for shear strength of adhesive bonds by compression loading. Tokio: JSA, 1994.

12. PÉREZ DEL CASTILLO, A.; BENITES Maciel, L. Propiedades mecánicas y resistencia de uniones encoladas de vigas laminadas. Proyecto de tecnología de ensayo de productos forestales, LATUJICA (1998-2003). Montevideo: LATU, 2002. (Informe de Investigación. Serie Forestales; 10)
13. QUAGLIOTTI ESTRADÉ, S. Evaluación de la resistencia a la adhesión y el porcentaje de falla en madera en *Eucalyptus grandis*, *Pinustaeda*, *Pinuselliottii*, *Cedrelaspp* y *Tabebuiaipe*. Montevideo: LATU, 2007. (Nota Técnica; 9).
14. Douglas J. Gardner, "Adhesion Mechanisms of Durable Wood Adhesive Bonds". Stokke2005.
15. D.L. Massart, B.M.G. Vandeginste, L.M.C. Buydens, S. de Jong, P.J. Lewi, J. Smeyers-Verbeke, "Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part A", Elsevier (1997), Amsterdam.

ANEXOS

1. Tabla de valores de F de Fisher al 95%
2. Estados Unidos Mexicanos. Programa especial de mejora de la administración públicas federa 2008-2012, **HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y MEJORA DE PROCESOS** Septiembre de 2008.
3. Fichas técnicas de colas

Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

1 - $\alpha = 0.95$

v_1 = grados de libertad del numerador

1 - $\alpha = P(F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$

v_2 = grados de libertad del denominador

$v_2 \backslash v_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	161.446	199.499	215.707	224.593	230.160	233.988	236.767	238.684	240.543	241.882	242.981	243.905	244.690	245.363	245.948	246.466	246.917	247.324	247.688	248.016
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.395	19.402	19.412	19.419	19.424	19.429	19.433	19.437	19.440	19.443	19.446
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.692	8.683	8.675	8.667	8.660
4	7.708	6.844	6.591	6.389	6.235	6.163	6.094	6.041	6.009	5.984	5.964	5.946	5.932	5.919	5.907	5.896	5.887	5.879	5.871	5.863
5	6.508	5.786	5.409	5.192	5.030	4.950	4.876	4.819	4.772	4.735	4.704	4.678	4.656	4.636	4.619	4.604	4.590	4.579	4.569	4.560
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.294	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.922	3.908	3.896	3.884	3.874
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.494	3.480	3.467	3.455	3.445
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.202	3.187	3.173	3.161	3.150
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.989	2.974	2.960	2.949	2.936
10	4.965	4.103	3.709	3.478	3.326	3.217	3.136	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.828	2.812	2.798	2.785	2.774
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719	2.701	2.685	2.671	2.658	2.646
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.599	2.583	2.569	2.555	2.544
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.515	2.499	2.484	2.471	2.459
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.445	2.428	2.413	2.400	2.388
15	4.543	3.682	3.287	3.055	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.385	2.368	2.353	2.340	2.328
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.333	2.317	2.302	2.289	2.276
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.412	2.381	2.353	2.329	2.308	2.289	2.272	2.257	2.243	2.230
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.290	2.269	2.250	2.233	2.217	2.203	2.191
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340	2.308	2.280	2.256	2.234	2.215	2.198	2.182	2.169	2.156
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.184	2.167	2.151	2.137	2.124
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.175	2.156	2.139	2.123	2.109	2.096
22	4.301	3.443	3.048	2.816	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.225	2.198	2.173	2.151	2.131	2.114	2.098	2.084	2.071
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.204	2.177	2.152	2.129	2.109	2.091	2.075	2.061	2.048
24	4.260	3.403	3.009	2.777	2.621	2.509	2.423	2.356	2.300	2.255	2.216	2.183	2.156	2.130	2.108	2.088	2.070	2.054	2.040	2.027
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.138	2.111	2.089	2.069	2.051	2.035	2.021	2.007
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.121	2.094	2.072	2.052	2.034	2.018	2.003	1.990
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.105	2.078	2.056	2.036	2.018	2.002	1.987	1.974
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.091	2.064	2.041	2.021	2.003	1.987	1.972	1.959
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.077	2.050	2.027	2.007	1.989	1.973	1.958	1.945
30	4.171	3.316	2.922	2.689	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.065	2.037	2.014	1.994	1.976	1.960	1.945	1.932
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.904	1.886	1.869	1.853	1.839
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.287	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.850	1.831	1.814	1.799	1.784
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952	1.917	1.887	1.860	1.836	1.815	1.796	1.779	1.763	1.748
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.928	1.893	1.863	1.836	1.812	1.790	1.771	1.753	1.737	1.722
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.772	1.752	1.734	1.718	1.703
90	3.947	3.098	2.706	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.897	1.861	1.830	1.803	1.779	1.757	1.737	1.720	1.703	1.688
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.746	1.726	1.708	1.691	1.676
200	3.868	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.837	1.801	1.769	1.742	1.717	1.694	1.674	1.656	1.639	1.623
500	3.860	3.034	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.808	1.772	1.740	1.712	1.686	1.664	1.643	1.625	1.607	1.592
1000	3.851	3.025	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.890	1.840	1.798	1.762	1.730	1.702	1.676	1.654	1.633	1.614	1.597	1.581

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.



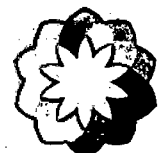
**GOBIERNO
FEDERAL**

SFP

***HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y
MEJORA DE PROCESOS***

Septiembre de 2008

PROGRAMA ESPECIAL DE
MEJORA DE LA GESTIÓN
EN LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA FEDERAL
2008-2012



Vivir Mejor

CONTENIDO

1. Introducción.....	3
2. PEPSU	4
3. Cuestionario para el diagnóstico del proceso.....	7
4. Hoja de trabajo para el análisis de procesos (Ser y Deber Ser)	8
5. Matriz de valor agregado.....	10
6. Diagrama de Pareto	12
7. Diagrama de Causa-Efecto	15
8. Lluvia de ideas	17
9. Diagrama de Causa-Efecto Invertido	19
10. 5W's + H.....	20
11. Benchmarking	23
12. Caso Práctico	24

1. INTRODUCCIÓN

Es más fácil alcanzar los resultados esperados cuando se utilizan herramientas apropiadas para el propósito perseguido. Es por ello que proponemos una serie de herramientas que facilitan el logro de los objetivos del sistema Procesos Eficientes.

Según Kaoru Ishikawa¹, con el uso de un grupo de sencillas herramientas se pueden resolver el 80% de los problemas de una organización.

Inicialmente, siete herramientas fueron recopiladas por Ishikawa, posteriormente se añadieron otras:

Las siete herramientas de Ishikawa (7H)	Diagrama de Pareto Diagrama causa - efecto Histograma Hoja de datos Gráfico de control Diagrama de dispersión Estratificación
Otras herramientas clásicas	Diagrama de flujo Tormenta (o lluvia) de ideas Los cinco porqués Diagrama de Gantt
Las siete nuevas herramientas	Diagrama de afinidad Diagrama de relación Diagrama en árbol Diagrama matricial Diagrama de decisiones de acción Diagrama sagital Análisis factorial de datos

El personal de la institución debe recibir capacitación para la utilización de las herramientas que le ayuden a realizar su trabajo.

A continuación se describen algunas herramientas que facilitan el análisis y mejora de procesos; sin embargo, cabe aclarar que cada institución podrá utilizar las herramientas que considere más convenientes para la mejora de sus procesos.

En el Caso Práctico se pueden ver un ejemplo del uso de la mayoría de estas herramientas.

¹ Kaoru Ishikawa (1915 – 1989), teórico japonés de la administración de empresas, experto en el control de calidad. Se le considera el padre del análisis científico de las causas de problemas en procesos industriales, dando nombre al diagrama Ishikawa, cuyos gráficos agrupan por categorías todas las causas de los problemas.

2. PEPSU

Esta herramienta es útil para definir el inicio y el fin del proceso al facilitar la identificación de sus proveedores, entradas, subprocesos, salidas y usuarios.

Las siglas PEPSU² representan:

Proveedores:

Entidades o personas que proporcionan las entradas como materiales, información y otros insumos. En un proceso puede haber uno o varios proveedores, ya sea interno(s) o externo(s).

Entradas:

Son los materiales, información y otros insumos necesarios para operar los procesos. Los requisitos de las entradas deben estar definidos, y se debe verificar que las entradas los satisfacen. Pueden existir una o varias entradas para un mismo proceso.

Proceso:

Un proceso es un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados³.

Bajo el título "Proceso" de la herramienta PEPSU se registran los subprocesos que conforman el proceso que se está definiendo.

Salidas:

Una salida es el producto resultado de un proceso. Los productos pueden ser bienes o servicios. Los requisitos de las salidas deben estar definidos (necesidades de los usuarios, estándares definidos por la institución, normatividad vigente, etc.), y se debe verificar que las salidas los satisfacen. Hay procesos que tienen una salida para cada usuario y otros que tienen una sola salida que esta orientada a varios usuarios.

² Fuente: Normalización y Certificación Electrónica A. C., NYCE.

³ Fuente: norma NMX-CC-9000-IMNC-2000 Vocabulario (ISO 9000:2000)

Usuarios:

Son las organizaciones o personas que reciben un producto. El usuario (o cliente), puede ser interno o externo a la organización⁴.

La definición del proceso se realiza en sentido inverso a la presentación del PEPSU (Usuarios-Salidas-Proceso-Entradas-Proveedores) es decir, se debe iniciar con la columna de usuarios.

Para identificar a los usuarios del proceso se recomienda enlistar a los usuarios y verificar si son estos efectivamente los que reciben el trabajo o servicio y si existen usuarios que no han sido considerados.

Las siguientes preguntas ayudan a llenar el PEPSU:

- ¿Quién recibe las entradas?
- ¿Qué es lo primero que se hace con la entrada?
- ¿Qué se produce o realiza con las entradas?
- ¿Qué sucede después?
- ¿Cuáles son las salidas resultantes de lo que se produce?

Revise el PEPSU haciéndose estas preguntas:

- ¿Requieren algunas etapas (o subprocesos) del proceso entradas que actualmente no se muestran?
- ¿Están mostrándose todos los flujos de trabajo en los procesos de entradas y salidas?
- ¿Muestra el PEPSU la naturaleza consecutiva y paralela de las etapas o subprocesos?
- ¿Cuáles son las expectativas de los clientes?
- ¿Cuentan con estándares de servicio?

⁴ Fuente: norma NMX-CC-9000-IMNC-2000 Vocabulario (ISO 9000:2000)

A continuación se muestra la hoja de trabajo de la herramienta PEPSU:

Proceso	Fecha
Objetivo	Alcance

PROVEEDOR	ENTRADA	PROCESO	SALIDA	USUARIO

3. CUESTIONARIO PARA EL DIAGNÓSTICO DEL PROCESO

Este cuestionario consiste en una serie de preguntas abiertas y estructuradas para identificar la percepción que tiene el personal que opera el proceso de la efectividad de sus factores.

Se deben justificar las preguntas cuya respuesta inicial sea SI o No.

1. ¿Qué objetivo del proceso no se está cumpliendo?

2. De acuerdo a su percepción, ¿las características de los productos o servicios cumplen con los estándares establecidos?

3. De acuerdo a su percepción, ¿los productos o servicios satisfacen las necesidades de sus usuarios?

4. ¿El proceso tiene una clara relación con la misión, visión, objetivos estratégicos y políticas de la institución?

5. ¿Considera usted que el proceso cuenta con controles que permiten identificar variaciones en su desempeño?

6. ¿Se están ejecutando acciones de mejora en el proceso actualmente?

7. ¿Cuáles considera usted que son los problemas principales en el proceso seleccionado?

8. ¿Cómo considera usted que debería operar el proceso seleccionado (en cuanto a tiempo, costo, productividad, etc.)?

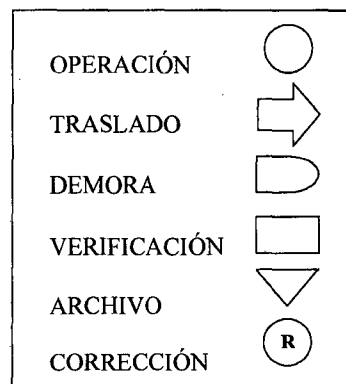
9. ¿Cuáles considera usted que son las diferencias entre la forma en que actualmente opera el proceso y la forma en que debiera operar?

4. HOJA DE TRABAJO PARA EL ANÁLISIS DE PROCESOS (SER Y DEBER SER)

Esta herramienta nos permite identificar de manera gráfica aquellas actividades del proceso que no agregan valor y las áreas de oportunidad para implementar acciones de mejora.

En la hoja de trabajo para análisis de procesos (SER y DEBER SER) se registra a todas las actividades el proceso y se aplica el criterio del valor agregado, a fin de detectar desperdicios del proceso, eliminar las actividades que no agreguen valor, optimizar las que agreguen valor e identificar actividades donde se presentan problemas.

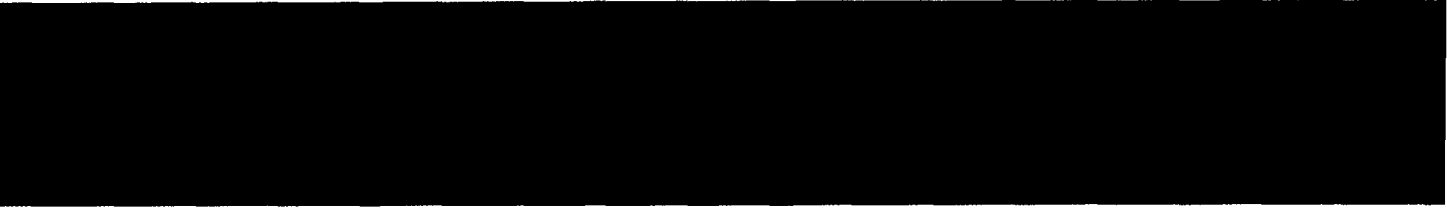
Para la aplicación de esta herramienta se utilizan diferentes símbolos que representarán el tipo de actividad que se realiza, con los cuales analizaremos las actividades del proceso.









La mecánica de aplicación de esta herramienta consiste en:

- Diagramar el proceso y listar sus actividades.
- Identificar el tipo de operación que se realiza en cada actividad (operación, traslado, demora, verificación, archivo o corrección).
- Identificar el tiempo que se utiliza para desarrollar cada actividad.

Observar e identificar todas las actividades asociadas a un proceso es de extrema importancia. Sin embargo no es suficiente. También se requieren datos cuantitativos que expresen en forma real el tiempo, número de personas, cantidad de errores u otra información relativa al proceso.



#	ACTIVIDAD	SÍMBOLOS DE FLUJO	MINUTOS						
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									

5. MATRIZ DE VALOR AGREGADO

Es una herramienta que permite analizar cada una de las actividades del proceso a partir de dos dimensiones:

- Agrega o no valor al proceso
- Es o no necesaria en el proceso

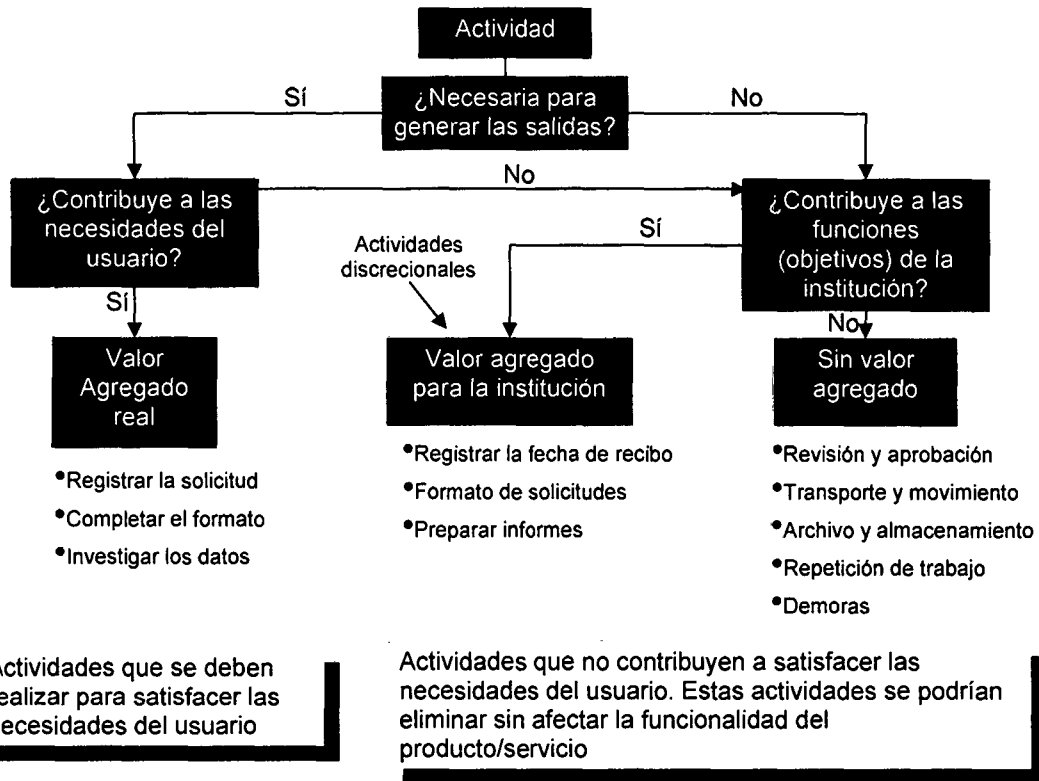
Las combinaciones de estas dos dimensiones son:

- Sí agrega valor y Sí es necesaria.
- No agrega valor pero Sí es necesaria.
- Sí agrega valor pero No es necesaria.
- No agrega valor y No es necesaria.

		AGREGA VALOR	
		SÍ	NO
N E C E S A R I A	SÍ	MEJORAR	OPTIMIZAR
	NO	TRANSFERIR (a otra área)	ELIMINAR

Para determinar si una actividad agrega valor al proceso se utiliza el siguiente diagrama⁵, considerando que no todas las actividades que no proveen valor agregado han de ser innecesarias; éstas pueden ser actividades de apoyo, y ser requeridas para hacer más eficaces las funciones de dirección y control, por razones de seguridad o por motivos normativos y de legislación; sin embargo, se deben reducir al mínimo el número de estas actividades.

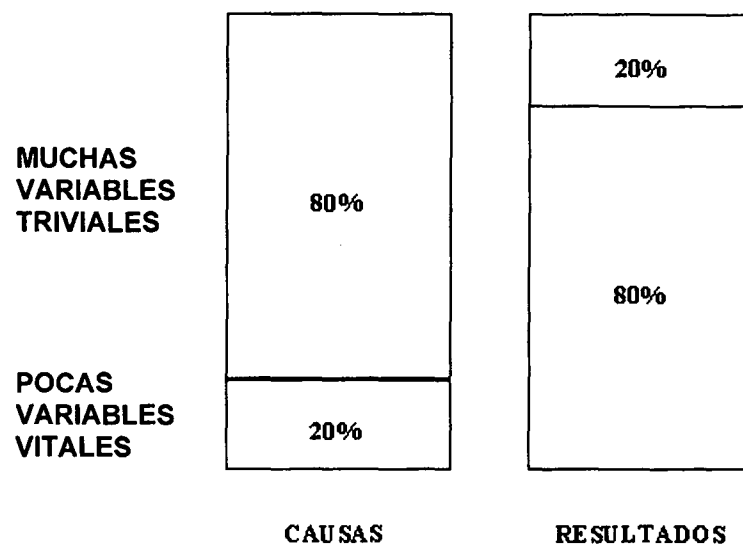
⁵ Fuente: Universidad Galileo de Guatemala.



Se cuestiona sistemáticamente todas las actividades.

6. DIAGRAMA DE PARETO⁶

El principio de este diagrama enfatiza el concepto de lo vital contra lo trivial, es decir el 20% de las variables causan el 80% de los efectos (resultados), lo que significa que hay unas cuantas variables vitales y muchas variables triviales.



Un proceso tiene innumerables variables que repercuten en el resultado, sin embargo, no todas las variables pueden ser controladas (por ejemplo el clima, el tipo de cambio, la inflación, etc.). Es importante describir las que sí son controlables.

De estas variables controlables, no todas son importantes, generalmente hay unas cuantas que son vitales (20%) y son las que causan el 80% del resultado.

Las ventajas de usar esta herramienta en el análisis de procesos son:

- Nos indica cuál(es) problema(s) debemos resolver primero.

⁶ Vilfredo Federico Damaso Pareto (15 de julio de 1848, París - 19 de agosto de 1923, Ginebra) fue un sociólogo, economista y filósofo italiano. Pareto realizó importantes contribuciones al estudio de la economía y de la sociología, especialmente en el campo de la distribución de la riqueza y el análisis de las elecciones individuales.

- Representa en forma ordenada la ocurrencia del mayor al menor impacto de los problemas o áreas de oportunidad de mejora.
- Es el primer paso para la realización de mejoras.
- Facilita el proceso de toma de decisiones porque cuantifica la información que permite efectuar comparaciones basadas en hechos verdaderos.

Elaboración del diagrama de Pareto:

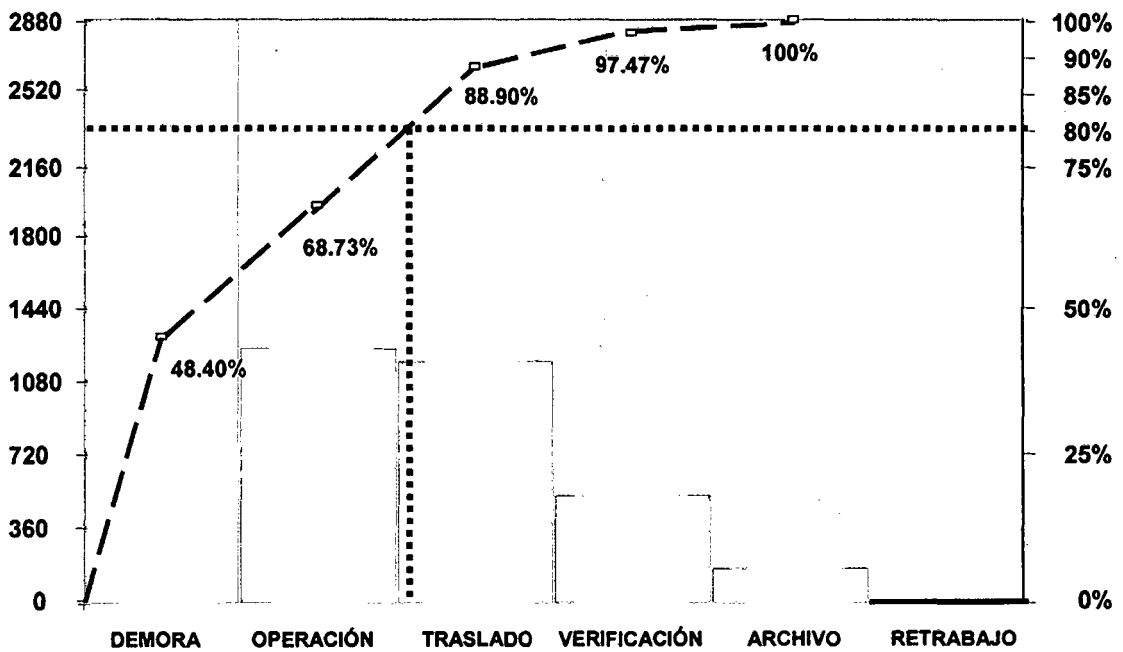
1. Determinar el tiempo que se asignará para recabar datos, puede ser el caso de que solo se requieran unas cuantas horas o también varios días. Si se hacen consideraciones minuciosas se asegurará un mínimo de problemas más adelante.
2. Elaborar una hoja de trabajo que permita la recopilación de datos. Puede ser general para que la información se acomode de diferentes maneras.
3. Anotar la información de acuerdo a la frecuencia en forma descendente en la hoja de trabajo diseñada, la cual se muestra a continuación:

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA	% DE FRECUENCIA ACUMULADA
TOTAL			100%

4. Vaciar los datos de la hoja de trabajo en la gráfica de Pareto.

5. Proyectar la línea acumulativa comenzando de cero hacia el ángulo superior derecho de la primera columna. La línea acumulativa se termina cuando se llega a un nivel de 100% en la escala de porcentajes.

El problema que presenta el mayor índice de frecuencia se deberá someter a un análisis de causa y efecto para determinar su verdadero origen, para lo cual se recomienda utilizar el diagrama de causa-efecto.



7. DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO

La finalidad de esta herramienta es ayudar a los equipos de mejora a detectar los diferentes tipos de causas que influyen en un problema, seleccionar los principales y jerarquizarlos.

A este diagrama se le conoce también como: “espina de pescado” o Ishikawa⁷.

Para hacer un análisis básico de las causas y efectos de los problemas se realizan los siguientes pasos:

PASO 1 Definición del problema

Este se inscribe en el cuadro que representa la cabeza del pescado.

PASO 2 Determinación de los conjuntos de causas

Sobre la línea que va al recuadro del problema, coloque como flechas Mano de obra, Maquinaria, Método, Materiales, Medio ambiente.

PASO 3 Participación de los integrantes del grupo en una sesión de lluvia de ideas

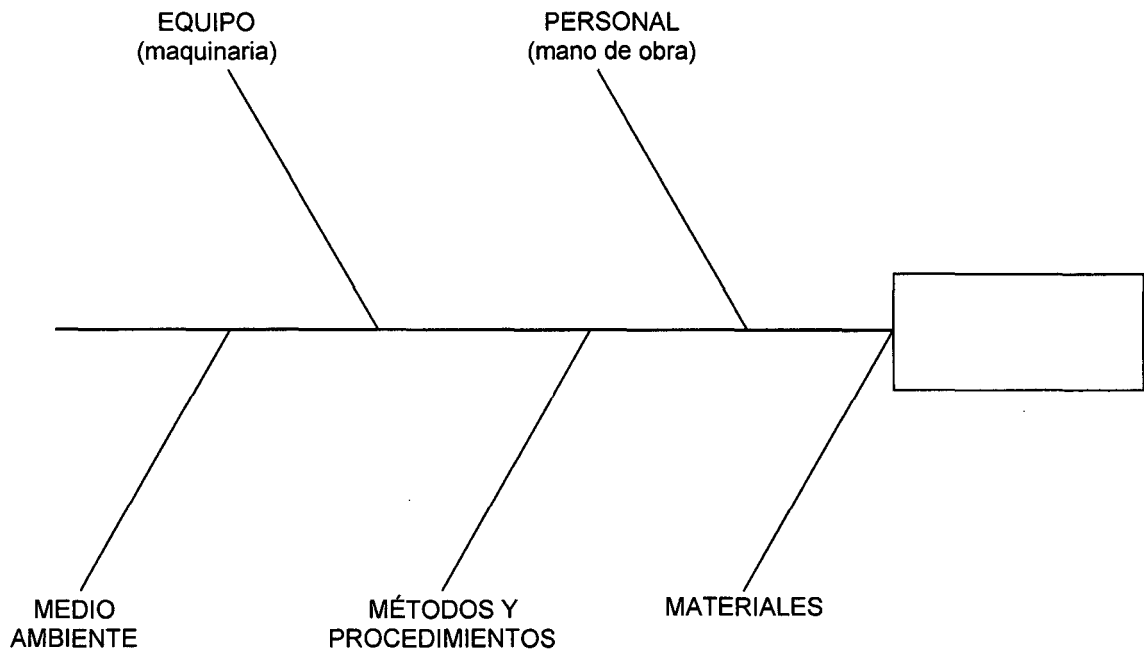
Cada persona debe indicar exactamente a qué conjunto de causas pertenece su idea.

El esquema final de la sesión de lluvia de ideas debe reflejarlas debidamente agrupadas; de esta forma se facilitará su análisis.

PASO 4 Revisión de ideas

Se identifica la “espina” con las causas más recurrentes, y posteriormente, se priorizarán las causas de esa espina de acuerdo a su recurrencia.

⁷ Kaoru Ishikawa (1915 – 1989), teórico japonés de la administración de empresas, experto en el control de calidad. Se le considera el padre del análisis científico de las causas de problemas en procesos industriales, dando nombre al diagrama Ishikawa, cuyos gráficos agrupan por categorías todas las causas de los problemas.



8. LLUVIA DE IDEAS

La lluvia de ideas es una técnica para generar ideas sobre un tema dado. Generalmente se usa para obtener información importante sobre un tema o un proceso directamente tomando las ideas del personal que está más familiarizado con él en el área de trabajo, oficina, etc.

Este método permite promover participación, generar entusiasmo en un grupo de personas, así como analizar y mostrar todas las causas posibles de un problema para su posterior solución.

Esta herramienta es útil:

- Para la identificación de objetivos de un grupo de trabajo o de una tarea a la que se aboca un grupo determinado.
- Cuando existen problemas y obstáculos que afectan la calidad del trabajo.
- Para el análisis de problemas potenciales con intención de tomar medidas preventivas.
- Para la búsqueda de soluciones a los problemas presentados.

Al efectuar una sesión de lluvia de ideas en grupo, lo primero es comprender y respetar las siguientes reglas:

- Todos deben participar.
- Se deben anotar todas las ideas.
- Escribirlas en un pizarrón o rotafolio para que todos puedan leerlas.
- No se deben criticar las ideas durante la sesión (no hay ideas tontas).
- No buscar culpables, cuando se sugieran ideas de causas de problemas.

Durante la sesión debe existir un espíritu de colaboración, seriedad y ayuda hacia los demás para alentar una participación activa. La sesión culmina con un listado de ideas generadas en función del tema o tópico seleccionado previamente.

Las normas que rigen el proceso a seguir para efectuar una sesión de lluvia de ideas son las siguientes:

- Se expresa solo una idea en cada turno.

- Cada participante expone una idea en orden subsecuente.
- La idea debe expresarse con respeto y libertad.
- Si no se tiene alguna idea se dice simplemente "paso".
- La sesión termina cuando todos dicen "paso" o el grupo se siente satisfecho con la cantidad de ideas que se tengan.

Estas normas promueven una mayor participación dentro del grupo, evitan posiciones de "expertos" o que alguien domine la situación, o maneje posiciones autoritarias. La persona que dice "paso" en su próximo turno deberá esforzarse por dar una idea.

Recuerde también que el ambiente es un factor muy importante, por lo que este debe ser tranquilo, y propiciar la libertad de expresión. En este sentido se puede proponer al grupo que, antes de empezar a generar ideas, los participantes hablen de aspectos positivos de su trabajo o de temas sociales o vean alguna película motivacional de corta duración, etc.

Para que la sesión resulte lo más productiva posible, es conveniente considerar las siguientes recomendaciones:

- Buscar generar la mayor cantidad de ideas. Esto facilitará llegar a ideas de calidad.
- Pensar siempre en términos de suprimir, modificar o sustituir las cosas.
- No realizar sesiones muy largas. Es preferible interrumpir la sesión y reiniciarla en otra ocasión.
- La clave del éxito es usar el poder del pensamiento libre y espontáneamente.
- Usar la imaginación. Por ejemplo: imaginar como debería ser tal o cual situación.

9. DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO INVERTIDO

A este diagrama se le conoce también como “espina de pescado invertida” y su finalidad es ayudar a proponer soluciones a las causas que influyen en un problema.

Para hacer un análisis básico de las causas que originan el problema, se recomienda observar los siguientes pasos:

PASO 1 Selección de las principales causas del problema

Cada causa principal del problema se analiza en un diagrama de causa-efecto. La causa se registra en el cuadro que representa la cabeza del pescado.

PASO 2 Participación de los integrantes del grupo en una sesión de lluvia de ideas

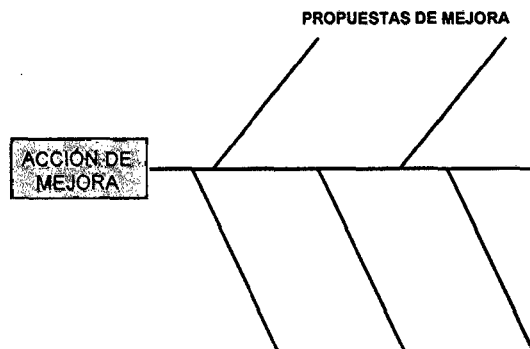
Cada persona deberá proponer las acciones de mejora que, según su opinión, contribuyan a la solución del problema.

PASO 3 Determinación de las posibles acciones de mejora

Sobre la línea que va al recuadro de la causa del problema, coloque como flechas las acciones de mejora propuestas.

PASO 4 Selección de las acciones de mejora a implementar

Se selecciona la acción o acciones de mejora que se considere(n) más viables para implementarlas.



10. 5W's + H

El método 5 W's y 1 H es una herramienta de análisis que apoya la identificación de los factores y condiciones que provocan problemas en los procesos de trabajo o la vida cotidiana. Las 5 W's y 1 H provienen de la primera letra de las siguientes preguntas en inglés: Who (Quién), What (Qué), Where (Dónde), When (Cuándo), Why (Por qué) y How (Cómo).

La pregunta "why" (por qué) se debe formular tantas veces como sea necesario (al menos 5 veces como sugería el Dr. Edwards Deming⁸)

Who	Quién	participa en el problema	Personas de la organización, proveedores, clientes o visitantes que están presentes o forman parte de la situación a resolver.
What	Qué	es el problema	<p>Delimite las características del problema</p> <ul style="list-style-type: none"> a) materiales b) humanas c) logísticas d) tecnológicas e) financieras f) relación e impacto entre características g) efectos ocasionados por el problema
When	Cuándo	ocurre problema	<p>Identifique el momento, horario o época del año en que ocurre el problema, así como el punto en el diagrama de flujo de actividades en que sucede.</p> <p>Es importante identificar en el diagrama de flujo el punto en que ocurre el problema.</p>
Where	Dónde	ocurre problema	<p>Define "la zona del conflicto" ya sea por su ubicación física en las instalaciones de la organización, o el proceso de</p>

⁸ William Edwards Deming (14 de octubre de 1900 - 20 de diciembre de 1993). Estadístico estadounidense, profesor universitario, autor de textos, consultor y difusor del concepto de calidad total. Su nombre está asociado al desarrollo y crecimiento de Japón después de la Segunda Guerra Mundial.

			trabajo del que se trate.
Why	Por qué	ocurre el problema, es la ruta ⁹	1. ¿Por qué ocurre el problema? Respuesta 1): 2. ¿Por qué ocurre el problema de la respuesta 1? Respuesta 2): 3. ¿Por qué ocurre el problema de la respuesta 2? Respuesta 3): 4. ¿Por qué ocurre el problema de la respuesta 3? Respuesta 4): 5. ¿Por qué ocurre el problema de la respuesta 4? Respuesta 5): Impactos y relación entre las causas identificadas.
y			
How	Cómo	ocurre el problema	Secuencia de sucesos que desencadenan o forman el problema.

Las matrices de análisis son de gran ayuda para manejar gran cantidad de variables, sin perder el objetivo:

Why	1er Por qué	2o Por qué	3er Por qué	4o Por qué	5o Por qué
Who Quién					
What Qué					
When Cuándo					
Where Dónde					
How Cómo ocurre					
How Cómo resolverlo					

Fuente: Fundación Mexicana para la Calidad Total, A.C.

⁹ Cuando identificamos un problema y preguntamos varias veces ¿por qué?, las respuestas nos muestran una secuencia de causas-efectos, en donde la primera respuesta es "el gran problema" a partir del cual se pueden identificar una serie de condiciones que lo crean, y que se relacionan entre sí. Esta serie de causas-efectos muestran un esquema claro para encontrar "la causa raíz" del "gran problema".

A continuación se muestran algunas otras preguntas que pueden ser de utilidad en la aplicación de esta herramienta:

¿Qué? (What)	¿Por qué? (Why)
¿Qué se hace ahora?	¿Por qué se hace así ahora?
¿Qué se ha estado haciendo?	¿Por qué debe hacerse?
¿Qué debería hacerse?	¿Por que hacerlo en ese lugar?
¿Qué otra cosa podría hacerse?	¿Por qué hacerlo en ese momento?
¿Qué otra cosa debería hacerse?	¿Por qué hacerlo de esta manera?
¿Quién? (Who)	¿Dónde? (Where)
¿Quién lo hace?	¿Dónde se hace?
¿Quién lo ha estado haciendo?	¿Dónde se ha estado haciendo?
¿Quién debería estar haciéndolo?	¿Dónde debería hacerse?
¿Quién otro podría hacerlo?	¿En qué otro lugar podría hacerse?
¿Quién más debería hacerlo?	¿En qué otro lugar debería hacerse?
¿Cuándo? (When)	¿Cómo? (How)
¿Cuándo se hace?	¿Cómo se hace actualmente?
¿Cuándo se ha estado haciendo?	¿Cómo se hará?
¿Cuándo debería hacerse?	¿Cómo debería hacerse?
¿En qué otra ocasión podría hacerse?	¿Cómo usar este método en otras áreas?
¿En qué otra ocasión debería hacerse?	¿Cómo hacerlo de otro modo?

11. BENCHMARKING

El *benchmarking* es el proceso de identificar, comprender y adaptar las prácticas y procesos sobresalientes de organizaciones de todo el mundo, para ayudar a nuestra organización a mejorar su desempeño.

Robert C. Camp
Pionero en Benchmarking

TIPO	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS
INTERNO	Comparación de las operaciones internas, de funciones similares en diferentes unidades de operación.	Facilidad para obtener datos e información. No existen problemas de confidencialidad.
COMPETITIVO	Comparación contra las organizaciones que ofrecen los mismos servicios.	Muestra ventajas y desventajas comparativas entre organizaciones similares.
FUNCIONAL	Comparación contra organizaciones líderes aún cuando se encuentren en sectores diferentes al de la propia organización.	Aceptación más fácil de las prácticas encontradas en sectores diferentes que de aquellas del mismo sector. Se enfoca sobre una base más objetiva.
GENÉRICO	Comparación de funciones o procesos similares no importando que el producto, servicio o sector sea distinto.	Descubrimiento de una tecnología fácilmente transferible, de resultados ya probados, replicable con sólo pequeños ajustes.

12. CASO PRÁCTICO

A continuación se expone un caso con la finalidad de identificar la aplicación de algunas las herramientas propuestas.

Imaginemos el caso de una institución de seguridad social en donde uno de sus procesos, el de pago de pensiones a sus afiliados, presenta múltiples problemas: constantes quejas de los usuarios, tiempos de respuesta altos, cargas de trabajo mal equilibradas, insatisfacción del personal, entre otros.

Los altos directivos de esta dependencia, durante un taller de planeación estratégica, identificaron que este proceso es prioritario para la institución, por lo que decidieron impulsar un proyecto para mejorarlo drásticamente.

Para el cumplimiento de este objetivo, reconocen que se debe hacer un gran esfuerzo en todos los niveles de la institución, ya que creen que es necesario sustituir normas, eliminar trámites, cambiar las estructuras orgánicas, los procedimientos y vencer la resistencia que pudiera existir ante el cambio.

La alta dirección designa a los responsables de las diferentes áreas involucradas con el proceso elegido, para que identifiquen la conexión existente entre éste y otros procesos internos, así como los de otras instituciones, por lo que se conforma un grupo operativo para coordinar la instrumentación de las diversas acciones para la mejora del proceso.

El grupo operativo utiliza la herramienta PEPSU, para realizar el ejercicio que se muestra a continuación:

PEPSU

PROVEEDOR	ENTRADA	PROCESO	SALIDA	USUARIO
Afiliado	Solicitud de pago de pensión.	Validación de datos del afiliado. Afectación contable. Generación de cheques.	Listado de validación de datos. Registro contable: • Balance • Estado financiero • Estado de resultados Cheque autorizado.	Area administrativa. Contabilidad, finanzas, tesorería, dirección general, etc. Afiliado

A través de la información generada en el ejercicio anterior, los miembros del grupo operativo conocen con mayor claridad el inicio y fin del proceso y quiénes se ven involucrados (proveedor y usuarios) en su desarrollo.

HOJA PROCESOS

El grupo operativo designa a los miembros de los equipos de análisis de procesos, seleccionando personal con experiencia y conocimiento de cada una de las actividades que se realizan durante el proceso, así como de los diferentes problemas que se presentan.

Los equipos de análisis de procesos registran las actividades que componen el proceso seleccionado, utilizando como herramientas la hoja para el análisis de procesos, con la finalidad de identificar qué actividades que agregan valor al proceso, los traslados de personas o documentos, tiempos muertos o de espera, supervisiones y verificaciones, archivos y operaciones duplicadas, asimismo elaboran el diagrama de flujo, que representa gráficamente la secuencia de actividades del proceso.

HOJA DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE PROCESOS

#	PASOS	SÍMBOLOS DE FLUJO	MINUTOS	○	⇒	▷	□	▽	Ⓜ
1	AFILIADO: Acude a la Institución y requisita ficha de registro.	○	5 min.	●					
2	Entrega "ficha de registro" en mostrador.	○	2 min.	●					
3	MOSTRADOR: Recibe "ficha de registro" y asigna folio, registrando datos manualmente en carpeta de registro.	○	2 min.	●					
4	Turna "ficha de registro" con folio al área de validación.	⇒	5 min.		●				
5	VALIDACION: Recibe "ficha de registro" y verifica datos del afiliado en pantalla.	□	6 min.				●		
6	Entrega "fichas de registro" al mostrador.	⇒	5 min.		●				
7	MOSTRADOR: Recibe "ficha de registro" y llama al afiliado para que requisite la "solicitud de pensión".	○	2 min.	●					
8	AFILIADO: Requisita la "solicitud de pensión" y entrega en mostrador junto con la documentación correspondiente.	○	15 min.	●					
9	MOSTRADOR: Recibe "solicitud de pensión" y documentación, realiza cotejo de datos.	□	5 min.				●		
10	Indica al afiliado la fecha de entrega del cheque.	○	1 min.	●					
11	Elabora manualmente un listado de "solicitudes de pensión".	○	20 min.	●					
12	Arma paquete de "solicitudes de pensión".	○	15 min.	●					
13	Permanece el paquete de "solicitudes de pensión" en charola de espera.	▷	24 hrs.				●		

#	PASOS	SIMBOLOS DE FLUJO	MINUTOS	○	➡	⤵	□	▽	Ⓡ
14	Envía paquete de "solicitudes de pensión" al supervisor de mostrador para su firma.	➡	10 min.						
15	SUPERVISOR DE MOSTRADOR: Recibe paquete de "solicitudes de pensión" y coteja datos de la solicitud vs. documentos anexos.	□	5 min.						
16	Firma de Visto Bueno las "solicitudes de pensión".	○	1 min.						
17	Arma paquetes de solicitudes.	○	15 min.						
18	Turna paquetes de "solicitudes de pensión" al área de contabilidad.	➡	15 min.						
19	AUXILIAR DE CONTABILIDAD: Recibe paquetes y verifica en pantalla los datos del afiliado.	□	5 min.						
20	Coteja los datos de las "solicitudes de pensión" vs. documentación anexa.	□	5 min.						
21	Anota en cada "solicitud de pensión" la clave que le corresponda dentro de la base de datos de acuerdo al sistema.	○	1 min.						
22	Elabora paquete de "solicitudes de pensión" y documentación.	○	15 min.						
23	Permanece el paquete de "solicitudes de pensión" en charola de espera.	⤵	24 hrs.						
24	Turna paquete de "solicitudes de pensión" al supervisor de contabilidad para su Visto Bueno.	➡	5 min.						
25	SUPERVISOR DE CONTABILIDAD: Recibe paquetes de "solicitudes de pensión" y verifica en pantalla cada una de las claves asignadas por la base de datos.	□	5 min.						

#	PASOS	SIMBOLOS DE FLUJO	MINUTOS	○	➡	◻	◻	▽	Ⓜ
26	Firma de Visto Bueno.	○	20 min.	●					
27	Turna paquetes de "solicitudes de pensión" al auxiliar de contabilidad.	➡	5 min.		●				
28	AUXILIAR DE CONTABILIDAD: Recibe paquetes de "solicitudes de pensión" y verifica en pantalla clave de base de datos.	◻	5 min.			●			
29	Realiza afectación contable en el sistema de contabilidad.	○	3 min.	●					
30	Elabora manualmente las "solicitudes de cheque" por cada "solicitud de pensión".	○	3 min.	●					
31	Turna "solicitudes de cheque" al supervisor de contabilidad para su Visto Bueno.	➡	5 min.		●				
32	SUPERVISOR DE CONTABILIDAD: Recibe "solicitudes de cheque" y verifica datos	○	15 min.			●			
33	Turna "solicitudes de cheque" al auxiliar de contabilidad.	➡	5 min.		●				
34	AUXILIAR DE CONTABILIDAD: Recibe "solicitudes de cheque" y elabora manualmente una "relación"	○	15 min.	●					
35	Turna "relación", "solicitudes de cheque" y "solicitudes de pensión" al auxiliar de tesorería.	➡	10 min.		●				
36	AUXILIAR DE TESORERIA: Recibe "paquete" y verifica en pantalla la clave asignada por la base de datos.	◻	5 min.			●			
37	Realiza manualmente el cálculo de indemnización y afecta contablemente en el sistema de tesorería.	○	3 min.	●					

#	PASOS	SIMBOLOS DE FLUJO	MINUTOS	○	➡	⤵	□	▽	Ⓜ
38	Envía "paquete" al supervisor de tesorería para su autorización.	➡	5 min.						
39	SUPERVISOR DE TESORERIA: Recibe "paquete", verifica cálculos de indemnización y afectación contable.	□	5 min.						
40	Turna "paquete" al auxiliar de tesorería.	➡	5 min.						
41	Recibe "paquete" y elabora manualmente los cheques.	○	2 min.						
42	Turna "cheques" elaborados al director de finanzas para su firma.	➡	10 min.						
43	SECRETARIA DEL DIRECTOR: Recibe "cheques" elaborados y coloca en charola de espera.	⤵	48 hrs.						
44	DIRECTOR DE FINANZAS: Recibe "cheques" y firma.	○	30 min.						
45	Turna "cheques" firmados al área de tesorería.	➡	10 min.						
46	AUXILIAR DE TESORERIA: Recibe "cheques" y los envía a contabilidad.	➡	10 min.						
47	AUXILIAR DE CONTABILIDAD: Recibe "cheques" y envía a mostrador.	➡	15 min.						
48	MOSTRADOR: Recibe "cheque" y entrega al afiliado.	○	5 min.						
49	Archiva contrarecibo.	▽	15 min.						

DIAGRAMA DE FLUJO

# DE ACT.	AFILIADO	MOSTRADOR	VALIDACION	SUPERVISOR DE MOSTRADOR	AUXILIAR DE CONTAB.	SUPERVISOR DE CONTAB.	AUXILIAR DE TESORERIA	SUPERVISOR DE TESORERIA	SECRETARIA DE DIRECTOR	DIRECTOR DE FINANZAS
1	Acude a la Institución y requisita ficha de registro.									
2	Entrega "ficha de registro" en mostrador.									
3		Recibe "ficha de registro" y asigna folio, registrando datos manualmente en carpeta de registro.								
4		Torna "ficha de registro" con folio al área de validación.								
5			Recibe "ficha de registro" verifica datos del afiliado en pantalla y firma de Visto Bueno.							
6			Entrega "fichas de registro" al mostrador.							
7		Recibe "fichas de registro" y llama al afiliado para que requisiite la "solicitud de pensión".								
8	Requisita la "solicitud de pensión" y entrega en el mostrador junto con la documentación correspondiente.									
9		Recibe "solicitud de pensión" y documentación, realiza cotejo de datos.								
10		Indica al afiliado la fecha de entrega del cheque.								
11		Elabora manualmente un listado de "solicitudes de pensión".								
12		Arma paquete de "solicitudes de pensión".								
13		Permanece el paquete de "solicitudes de pensión" en charola de espera.								
14		Envía paquete de "solicitudes de pensión" al supervisor de mostrador para su firma.								
15				Recibe paquete de "solicitudes de pensión" y coteja datos de la solicitud vs. documentos anexos.						
16				Firma de Visto Bueno las "solicitudes de pensión".						
17				Arma paquetes de solicitudes.						
18				Torna paquetes de "solicitudes de pensión" al área de contabilidad.						
19					Recibe paquetes y verifica en pantalla los datos del afiliado.					

#	AFILIADO	MOSTRADOR	VALIDACION	SUPERVISOR DE MOSTRADOR	AUXILIAR DE CONTAB.	SUPERVISOR DE CONTAB.	AUXILIAR DE TESORERIA	SUPERVISOR DE TESORERIA	SECRETARIA DE DIRECTOR	DIRECTOR DE FINANZAS
20					Coteja los datos de las "solicitudes de pensión" vs. documentación anexa.					
21					Anota en cada "solicitud de pensión" la clave que le corresponda dentro de la base de datos de acuerdo al sistema.					
22					Elabora paquete de "solicitudes de pensión" y documentación.					
23					Permanece el paquete de "solicitudes de pensión" en charola de espera.					
24					Turna paquete de "solicitudes de pensión" al supervisor de contabilidad para su Visto Bueno.					
25						Recibe paquete de "solicitudes de pensión" y verifica en pantalla cada una de las claves asignadas por la base de datos.				
26						Firma de Visto Bueno y arma paquetes de "solicitudes de pensión"				
27						Turna paquetes de "solicitudes de pensión" al auxiliar de contabilidad.				
28					Recibe paquetes de "solicitudes de pensión" y verifica en pantalla clave de base de datos.					
29					Realiza afectación contable en el sistema de contabilidad.					
30					Elabora manualmente las "solicitudes de cheque" por cada "solicitud de pensión".					
31					Turna "solicitudes de cheque" al supervisor de contabilidad para su Visto Bueno.					
32						Recibe "solicitudes de cheque", verifica datos y firma de Visto Bueno.				
33						Turna "solicitudes de cheque" al auxiliar de contabilidad.				
34					Recibe "solicitudes de cheque" y elabora manualmente una "relación".					

#	AFILIADO	MOSTRADOR	VALIDACION	SUPERVISOR DE MOSTRADOR	AUXILIAR DE CONTAB.	SUPERVISOR DE CONTAB.	AUXILIAR DE TESORERIA	SUPERVISOR DE TESORERIA	SECRETARIA DE DIRECTOR	DIRECTOR DE FINANZAS
35					Turna "relación", "solicitudes de cheque" y "solicitudes de pensión" al auxiliar de tesorería.					
36							Recibe "paquete" y verifica en pantalla la clave asignada por la base de datos.			
37							Realiza manualmente el cálculo de indemnización y afecta contablemente en el sistema de tesorería.			
38							Envía "paquete" al supervisor de tesorería para su autorización.			
39								Recibe "paquete", verifica cálculos de indemnización y afectación contable y firma de Visto Bueno.		
40								Turna "paquete" al auxiliar de tesorería.		
41							Recibe "paquete" y elabora manualmente los cheques.			
42							Turna "cheques" elaborados al director de finanzas para su firma.			
43								Recibe "cheques" elaborados y coloca en charola de espera.		
44									Recibe "cheques" y firma.	
45										Turna "cheques" firmados al área de tesorería.
46							Recibe "cheques" y los envía a contabilidad.			
47					Recibe "cheques" y envía a mostrador.					
48		Recibe "cheque" y entrega al afiliado.								
49		Archiva contrarecibo.								

5 W's + H

Una vez realizado el trabajo anterior, los equipos de análisis de proyecto identifican las áreas de oportunidad de mejora, utilizando la herramienta de 5 W's + H.

Las primeras preguntas que se formulan para identificar los principales problemas que se observan en el proceso, a través del mapeo que se realizó del mismo en la hoja de análisis y el diagrama de flujo, son:

¿QUÉ SUCEDE CON EL PROCESO?

- Altos tiempos de respuesta por exceso de verificaciones y tiempos muertos.

La pregunta siguiente, permite al equipo identificar algunas de las causas que originan ésta problemática.

¿POR QUÉ?

- Las autorizaciones se encuentran centralizadas en los niveles medios.
- Existe desconfianza de las actividades realizadas por los operativos.
- Implica demasiadas actividades manuales que pueden provocar errores.

Las siguientes preguntas, marcan los límites del problema que se está analizando e identifican las áreas involucradas, el personal que interviene en esa etapa del proceso y en qué momento se observa estos problemas.

¿DÓNDE?

- En el proceso de atención de solicitudes de pensiones.

¿QUIÉN?

- Todos los que intervienen en el proceso.

¿CUÁNDO?

- Siempre que se presenta una solicitud de pensión.

La última pregunta se refiere a la forma en que se ejecutan las actividades del proceso.

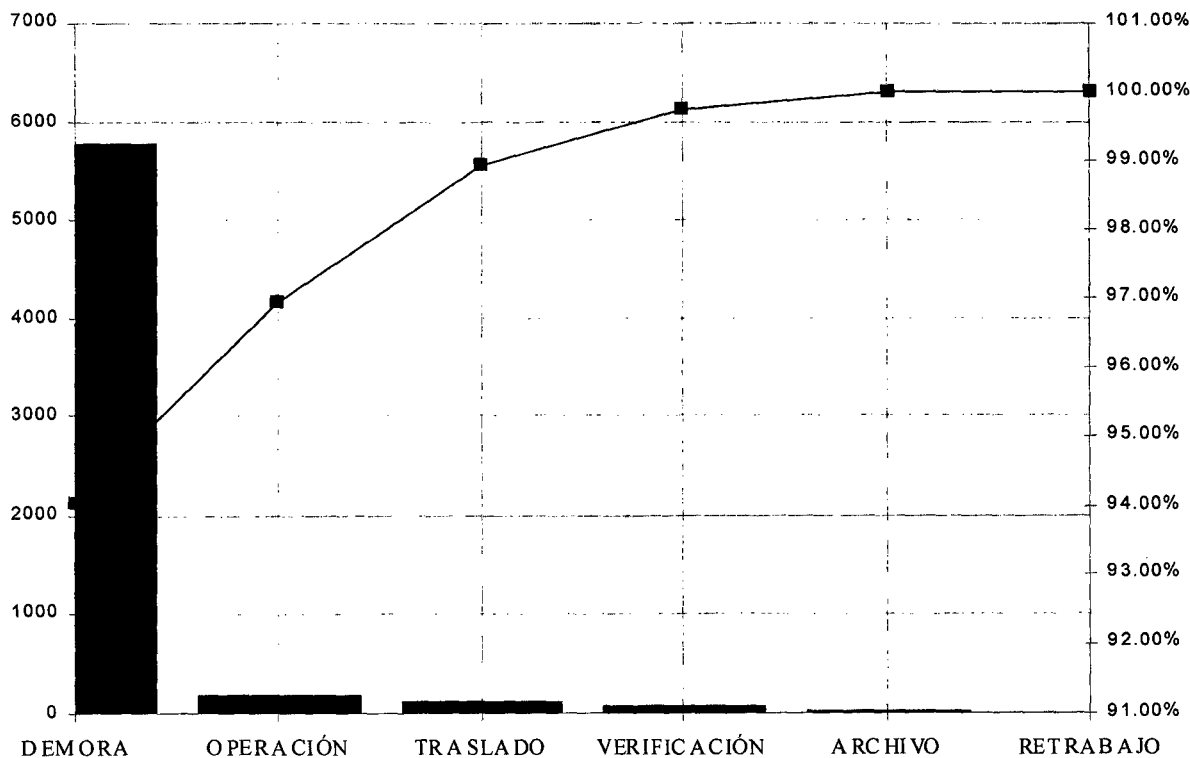
¿CÓMO?

- Las solicitudes de pensión permanecen demasiado tiempo en espera de autorización y validación.
- Los procesos se realizan manualmente.
- Existe duplicidad de actividades.

DIAGRAMA DE PARETO

Con el producto de las herramientas antes mencionadas, los equipos de análisis de procesos elaboran el diagrama de Pareto, en donde se muestra gráficamente la relación del tiempo asignado a los diferentes tipos de actividades del proceso, además de priorizar las áreas de oportunidad de mejora:

CAUSAS	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA	% DE FRECUENCIA ACUMULADA
Demora	5,760	5,760	94.05%
Operación	178	5,938	96.96%
Traslado	120	6,058	98.92%
Verificación	51	6,109	99.75%
Archivo	15	6,124	100.00%
Retrabajo	0	6,124	100.00%
TOTAL	6,124		



Del análisis del ejercicio anterior se puede observar que el tiempo del ciclo del proceso es muy elevado, ya que para la emisión del pago de una pensión, la dependencia ejecuta un total de 49 actividades que se realizan en un tiempo de 6124 minutos (102 horas con 4 minutos). (Las medidas de tiempo pueden ser en días, horas o minutos, dependiendo de si la realización del proceso completo toma meses, semanas o días).

Las actividades que generan un valor agregado en el proceso, es decir, que transforman un insumo para la obtención del bien o servicio y se realizan bien desde la primera vez, son únicamente 20 y el tiempo destinado para efectuarlas es solamente de 178 minutos.

Se puede calcular la eficiencia de un proceso, dividiendo el tiempo que se dedica a las actividades de valor agregado, entre el tiempo total del proceso, por lo que para este proceso la eficiencia es igual a:

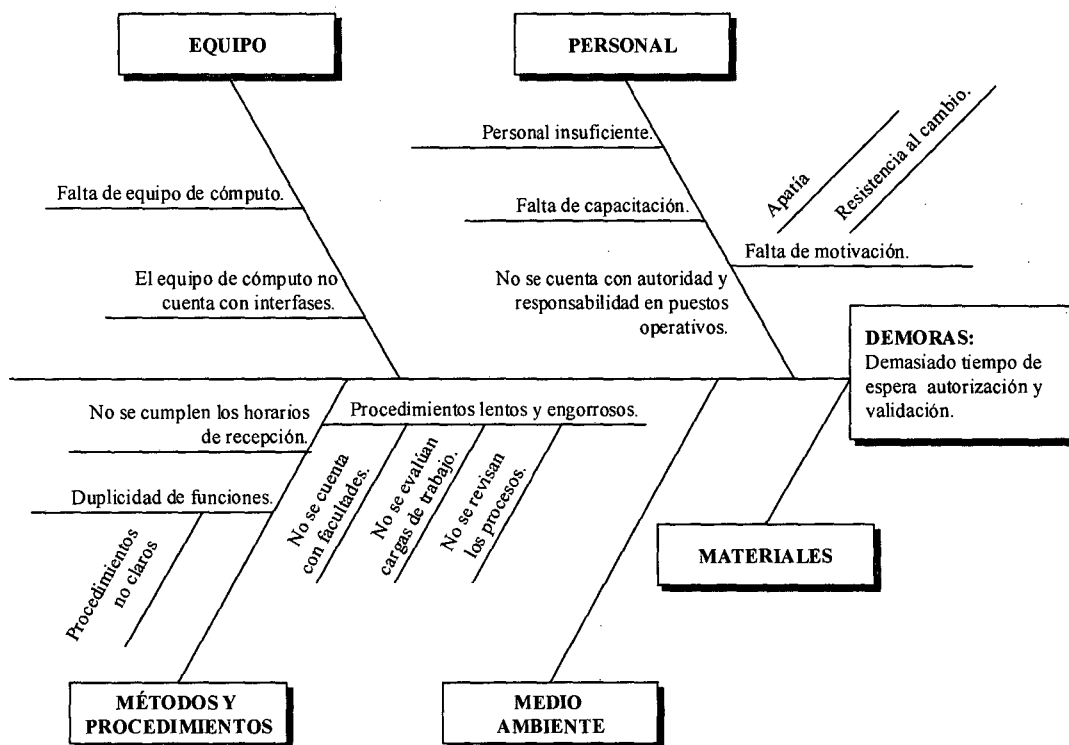
$$\frac{178 \text{ minutos}}{6,124 \text{ minutos}} \times 100 = 2.90\%$$

En otras palabras, solo el 2.90% de los recursos se están utilizando en actividades relacionadas con el servicio que el usuario requiere por parte de la institución; el resto es consumido por las demoras, verificaciones y traslados del proceso.

Supongamos que el presupuesto asignado a las áreas responsables de otorgar este servicio es \$100'000,000.00 al año, esto implicaría que \$97'100,000.00 se están desperdiciando, ya que son utilizados en la ejecución de actividades que no generan valor agregado.

DIAGRAMA DE CAUSA – EFECTO

En el diagrama de causa-efecto que se muestra a continuación, los equipos de análisis de procesos determinaron algunas de las situaciones que se presentan con mayor frecuencia y que provocan que el proceso se demore, ocasionando ineficiencia en la dependencia.



Posteriormente, los equipos de proyecto utilizando la técnica de lluvia de ideas identifican las acciones que podrían realizar a fin de disminuir o mejorar los problemas identificados.

- Facultar de autoridad y responsabilidad a puestos intermedios.
- Perfeccionar el sistema de cómputo.
- Capacitar al personal en aspectos legales, políticos, e interrelaciones del proceso.
- Motivar e incentivar al personal.
- Mejorar los procesos críticos o áreas de oportunidad.
- Capacitar para evitar la resistencia al cambio.
- Balancear cargas de trabajo.
- Modificar políticas relacionadas con los problemas identificados.
- Ampliar horarios.
- Reasignar personal.

PROCESO DEBER SER

Al revisar la información recabada, resulta evidente que se deben eliminar del proceso todas aquellas actividades que no contribuyen directamente en la transformación de un insumo para la obtención del bien o servicio.

Utilizando nuevamente como herramienta la hoja de análisis de procesos, los miembros de los equipos de análisis de procesos, incorporan algunas de las acciones de mejora propuestas, en especial aquellas que no generan aumento de recursos humanos, materiales o financieros y realizan una propuesta del nuevo flujo de las actividades.

#	PASOS	SIMBOLOS DE FLUJO	MINUTOS	○	➡	◩	◻	▽	Ⓜ
1	AFILIADO: Acude al mostrador y proporciona su nombre.	○	1 min.	●					
2	MOSTRADOR: Accesa a la base de datos con el nombre del afiliado y genera solicitud de pensión", la cual contiene la clave asignada en la base de datos.	○	2 min.	●					
3	Entrega "solicitud de pensión" al afiliado para su firma.	○	1 min.	●					
4	AFILIADO: Recibe "solicitud de pensión" y verifica datos.	◻	3 min.				●		
5	Firma, adjunta documentación y entrega al mostrador.	○	2 min.	●					
6	MOSTRADOR: Recibe "solicitud de pensión" junto con documentos, coteja datos de la "solicitud" contra documentos.	◻	5 min.				●		
7	Firma de Visto Bueno la "solicitud de pensión", entrega copia al afiliado e indica fecha de entrega del "cheque" de pensión.	○	2 min.	●					

#	PASOS	SIMBOLOS DE FLUJO	MINUTOS	○	➡	◻	◻	▽	Ⓜ
8	Archiva "solicitud de pensión".	▽	1 min.						
9	Accesa en el sistema clave personal.	○	1 min.	●					
10	Envía archivo electrónico de "solicitudes de pensión" al área de contabilidad.	➡	1 min.		●				
11	AUXILIAR DE CONTABILIDAD: Recibe archivo electrónico y afecta contablemente	○	3 min.	●					
12	Envía archivo electrónico al área de tesorería para la generación del cheque	➡	1 min.		●				
13	AUXILIAR DE TESORERIA: Recibe archivo electrónico de "cheques" a generar.	○	1 min.	●					
14	Accesa al módulo de cálculos de montos a pagar.	○	4 min.	●					
15	Genera archivo electrónico de cheques a imprimir y direcciona a terminal remota en mostrador.	○	2 min.	●					
16	MOSTRADOR: Recibe archivo electrónico de impresión y genera "cheque" con firma electrónica y contrarecibo.	○	3 min.	●					
17	Entrega "cheque" y contrarecibo al afiliado.	○	1 min.	●					
18	AFILIADO: Recibe "cheque" firma el contrarecibo y lo devuelve al mostrador.	○	2 min.	●					
19	MOSTRADOR: Recibe contrarecibo y archiva con la "solicitud de pensión".	▽	2 min.						

DIAGRAMA DE FLUJO DEBER SER

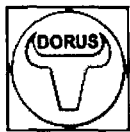
#	AFILIADO	MOSTRADOR	AUXILIAR DE CONTAB.	AUXILIAR DE TESORERIA
1	Acude a mostrador y proporciona su nombre.			
2		Accesa base de datos con el nombre del afiliado y genera "solicitud de pensión" la cual contiene la clave asignada en la base de datos.		
3		Entrega "solicitud de pensión" al afiliado para su firma.		
4	Recibe "solicitud de pensión" y verifica datos.			
5	Firma, adjunta documentación y entrega al mostrador.			
6		Recibe "solicitud de pensión" y documentos, coteja datos de la "solicitud" contra documentos.		
7		Firma de Visto Bueno la "solicitud de pensión", entrega copia al afiliado e indica fecha de entrega del "cheque de pensión".		
8		Archiva "solicitud de pensión".		
9		Accesa en el sistema clave personal.		
10		Envía archivo electrónico de "solicitud de pensión" al área de contabilidad.		
11			Recibe archivo electrónico y afecta contablemente.	
12			Envía archivo electrónico al área de tesorería para generar "cheque".	
13				Recibe archivo electrónico de cheques a generar.
14				Accesa al módulo de cálculo de montos a pagar.
15				Genera archivo electrónico de cheques a imprimir y direcciona a terminal remota en mostrador.
16		Recibe archivo electrónico de impresión y genera cheque con firma electrónica con su respectivo contrarecibo.		
17		Entrega cheque y contrarecibo al afiliado.		
18	Recibe cheque, firma contrarecibo y devuelve al mostrador			
19		Recibe contrarecibo y archiva junto con la "solicitud de pensión"		

Como se puede observar en el comparativo siguiente, con la propuesta del nuevo flujo, se reduce el número de pasos en un 61.22% lo que genera un ahorro en el tiempo del ciclo del proceso que ahora es de 38 minutos en lugar de 6,124 ya que se eliminaron 30 actividades.

La eficiencia del proceso se incrementa del 2.90% al 73.68% y con ello también el buen uso que se da a los recursos, ya que de 38 minutos que corresponde al tiempo total del ciclo del proceso, 25 minutos se ocupan en las operaciones que generan valor agregado. Se eliminaron por completo las demoras; al facultar al personal que está directamente relacionado con la operación, se disminuyen también las verificaciones en un 90% y con las adaptaciones que se realizaron a sistema de cómputo, el tiempo de traslados que antes ocupaba 2 horas, ahora solo requiere de 2 minutos.

PASO	SIMBOLO	ANTES		DESPUES	
		PASOS	MINUTOS	PASOS	MINUTOS
OPERACION	○	20	178 MIN.	13	25 MIN.
TRASLADO	➡	15	120 MIN.	2	2 MIN.
DEMORA	⏸	3	5,760 MIN.	0	0 MIN.
VERIFICACION	□	10	51 MIN.	2	8 MIN.
ARCHIVO	▽	1	15 MIN.	2	3 MIN.
TOTAL		49	102 HRS. 4 MIN.	19	38 MIN.

Los equipos de análisis de proceso listan las actividades necesarias para mejorar el proceso, asignándoles responsables y fecha programada para su realización.



Información Técnica

DORUS KL 4010

ADHESIVO EN EMULSION RETICULABLE MONOCOMPONENTE

DORUS KL 4010 es un adhesivo especialmente diseñado para enchapado, ensamble y armado de puertas Flash Doors. Posee un agresivo tack en húmedo y un tiempo abierto adecuado para ser usado en prensa fría, prensa caliente y Radio Frecuencia. Tiene una penetración regulada para impedir que el adhesivo migre a través de la chapa evitando problemas en el lacado.

DORUS KL 4010 cumple la especificación de la norma Ch 723 de uso exterior y NWWDA IS-1-87 Tipo I (Uso Exterior).

Estas normas se cumplen cuando se testean en la madera adecuada y bajo las condiciones requeridas.

• APLICACIÓN

Brocha, rodillo o aplicador de adhesivo.

• RENDIMIENTO

Superficies suaves: 125-175 g/m²

Superficies absorbentes: 175-250 g/m²

TEMPERATURA MINIMA FORMACION FILM (TMFF)*

DORUS KL 4010 > 5 [°C]

*Punto Blanco determinado en equipo MFFT-Bar 90. Valores varían según la humedad ambiental y de la madera.

Tiempo Abierto 10 minutos

Ensamble Cerrado 20 minutos

Tiempo Prensa 30 minutos (Prensa Fría)

3-5 minutos (Prensa Caliente – Platos a 80 °C)

En RF varía según la potencia de la prensa.

Estos valores varían de acuerdo a las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa. Se debe considerar también el % de humedad de madera.

Henkel Chile Ltda
Fono 56-2-381200
Laguna Sur 9551, Pudahuel, Santiago
www.Henkel.com

PROPIEDADES TÍPICAS

VISCOSIDAD

4500 ± 500 cps 25°C

PH

3,0 – 4,5

CONTENIDO SOLIDOS

47 ± 3 %

ESTABILIDAD

Producto estable.

Proteger de la Congelación.

PRECAUCIONES

Mantener el adhesivo tapado para evitar el secado y contaminación.

No mezclar con otros adhesivos.

Rotar stock, usar el más antiguo primero y luego el más nuevo.

PROTEGER DE TEMPERATURAS EXTREMAS!!!!

LIMPIEZA ADHESIVO

Film húmedo usar agua fría.

Film seco usar agua caliente



Technologies
Industrial Adhesives



TIEMPO DE CURADO

El tiempo de curado es el tiempo requerido para el desarrollo (por reacción química) de una unión completamente estable con el máximo de propiedades obtenibles. El adhesivo se cura o fragua parcialmente en prensa **pero el proceso de curado continuará a temperatura ambiente después de sacar de la prensa.**

VELOCIDAD DE SECADO

Tiempo requerido para formar una unión manipulable en una construcción en particular.

UNION MANIPULABLE

Unión suficientemente resistente para mantener la construcción junta durante la manipulación normal post prensa. Una unión manipulable no depende un curado completo del adhesivo.

VIDA UTIL ALMACENADO


DORUS KL 4010 es estable al menos 3 meses a temperatura entre 5 y 25 [°C] desde la fecha de fabricación si el adhesivo permanece cerrado y sellado. La estabilidad máxima del adhesivo es obtenida almacenando entre 10 y 15 [°C]. La viscosidad del adhesivo podría aumentar en el tiempo con un almacenamiento prolongado.

REQUERIMIENTOS DE PRESION

La presión requerida para asegurar un buen contacto entre las superficies a ser unidas es un factor importante para obtener buenas uniones. Para laminaciones planas, la presión en la línea de cola debería ser de 30 a 100 psi. Cuando se requieren presiones mayores (175-200 psi para maderas duras; 100-150 psi para maderas blandas); en pegado de canto o cara, los tiempos de ensamble abierto y/o cerrado deberían aumentar para prevenir líneas de cola separadas.

PERFORMANCE

La calidad de la unión que se obtiene es excelente en una amplia variedad de maderas. La resistencia que se obtenga es dependiente de la preparación de la unión y las condiciones de operación.

	FICHA TECNICA	VERSION: 0
	GLUKOLA UR código: 060101005	FECHA DE VIGENCIA: 01 04 2010

DESCRIPCION	Cola sintética de alta calidad con alto contenido de sólidos lo que le confiere una extraordinaria resistencia al despegue. Especialmente diseñada para trabajos de pegado donde se necesita secado rápido y gran resistencia. Una vez seca forma una película incolora.
--------------------	--

USOS	Pegado de todo tipo de maderas y aglomerados, contraplacados, juntas y uniones, espigados y machihembrados. Encolado y armado de puertas, sillas, tableros y todo tipo de muebles. Buen performance aún a bajas temperaturas de trabajo.
-------------	--

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS	ESPECIFICACIÓN	METODO
DENSIDAD (g/ml) @ 23 °C	1.05 -1.1	ASTM D1475
COLOR	BLANCO	VISUAL
% SOLIDOS EN PESO	49 - 51	ASTM D2369
VISCOSIDAD DE ENTREGA cps Brookfield RTV Spin 4, 5RPM, 23°C	10000 – 16000	ASTM D1824
Vida útil en almacenaje	Hasta 9 meses, en envase bien cerrado y no expuesto a temperaturas mayores a 25°C	

PAUTAS DE USO	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Las superficies a pegar deben estar exentas de suciedad u otra contaminación. ✓ Se puede aplicar con brocha, espátula o rodillo. Se puede aplicar sobre una o ambas superficies. ✓ Si se aplica sobre una superficie, unir rápidamente con la otra superficie y ejercer presión para asegurar una buena unión. ✓ Si se aplica sobre ambas superficies, dejarlas separadas por algunos y posteriormente unir las aplicando una presión entre 50 – 100 lb/pulg² por 40 min a 2horas. La mayor resistencia al despegue se presenta a partir de las 24 horas de unidas las superficies.
----------------------	---

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none">✓ Mantenga el envase correctamente cerrado.✓ Mantenga alejado del alcance de los niños.✓ Se recomienda utilizar guantes y lentes de seguridad.✓ Mantenga el producto lejos del fuego.✓ Después de usar lávese con agua y jabón.
-------------------------------------	---

PRESENTACION	Balde plástico de 4 kilos.
---------------------	----------------------------

IDENTIFICACION	Etiqueta con nombre del producto, número de lote de fabricación, fecha de fabricación y peso neto.
-----------------------	--