

## RESUMEN

En nuestro país, el uso de la madera como un elemento estructural ha sido visto con desconfianza e incertidumbre debido a la falta de normativas y conocimiento especializado acerca del tema. Por tal razón, a través del presente Proyecto de Tesis se ha realizado un estudio de investigación acerca del uso de las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey, como material estructural para la construcción. En virtud de lo anteriormente mencionado, se ha analizado las características físico – mecánicas de cada tipo de madera por medio de experimentación en laboratorio siguiendo normativas internacionales, COPANT y ASTM, con las cuales se lograron determinar los esfuerzos admisibles para el diseño en madera.

Por otro lado, se ha realizado el diseño estructural del paradero ubicado en el IASA II, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, utilizando Guayacán Pechiche como material estructural. Para el diseño de madera se ha tomando como base el Manual de Diseño de Madera del Grupo Andino (PADT REFORT), para la cimentación el manual de diseño de concreto ACI-99 y para el diseño de elementos de acero el manual de AISC 2005.

Finalmente se presentan planos estructurales de detalle para construcción. Los planos mencionados poseen vistas en planta, elevaciones, detalles constructivos y cantidades de material necesario para la construcción.

## CAPITULO I INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

En nuestro país, el diseño y construcción de edificaciones con madera se ha visto restringido por la escasez de conocimientos técnicos, infraestructura de producción adecuada, control de calidad en la materia prima, normas, y debido a la falta de confianza por parte de los usuarios en la implementación de este tipo de material como insumo estructural.

Hasta la actualidad, los proyectos de investigación científico – tecnológicos a nivel local, que buscan la obtención de datos para obtener bases técnicas que posibiliten la introducción de la madera en la construcción son muy pocas, por lo cual no se encuentra bibliografía confiable acerca del tema.

Por otro lado, el Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA II), ubicado en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Cantón Santo Domingo de los Colorados, Km. 24 vía Quevedo, Hacienda Zoila Luz o, se ha visto en la necesidad de generar un espacio adecuado para la comercialización de los diferentes productos que se generan en sus instalaciones por sus alumnos, que en la actualidad al no contar con un lugar específico para la exposición de sus productos muchas veces estos llegan a perecer. Razón por la que se realizan los estudios y diseños estructurales en madera

## **1.2 AREA DE INFLUENCIA**

El principal beneficiario con el presente Proyecto de Grado, es la colectividad relacionada directamente con la Ingeniería Civil a nivel nacional en la República del Ecuador, que se encarga del desarrollo de proyectos de infraestructura en madera, los mismos que son de gran beneficio para la comunidad en general, brindando desarrollo y bienestar a través de obras seguras y económicas.

Además, el IASA II al poseer áreas de bosques de madera dura, con el diseño propuesto en este Proyecto de Grado, podrá construir un paradero para el comercio de los productos que se generen dentro de sus instalaciones en Santo Domingo de los Colorados.

## **1.3 OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO**

Determinar las propiedades físico – mecánicas de las maderas tipo A: Guayacán, Colorado, Sande y Mascarey; y además generar el diseño estructural del paradero ubicado en el IASA II, como aplicación a los resultados obtenidos en laboratorio.

#### **1.4 JUSTIFICACION**

La madera, siendo un recurso renovable es una alternativa viable de construcción que brinda varios beneficios tanto físicos como estéticos. Por lo cual se la suele utilizar con mucha frecuencia en el campo de las construcciones civiles.

Para la ejecución de las distintas obras de infraestructura en base de madera se tiene como principal alternativa estructural a las maderas tipo A, debido a su gran resistencia a las distintas solicitaciones. Por lo tanto, es indispensable conocer mucho más a fondo el comportamiento físico – mecánico de las mismas, con lo cual, se facilitará los procesos de cálculo y brindará mayor seguridad al ingeniero calculista en sus distintos proyectos.

Además, el Ecuador al no poseer un código específico para el diseño en madera, este Proyecto de Grado puede ser un importante aporte para la generación del código mencionado.

Por otra parte, el IASA II se verá beneficiado directamente con la ejecución de este Proyecto de Grado, ya que podrá contar con un estudio real que logrará satisfacer sus necesidades actuales de promoción de sus productos. Y de esta manera poder mostrar a la colectividad el verdadero alcance de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (IASA II) como parte de la Escuela Politécnica del Ejército.

## **CAPÍTULO II GENERALIDADES**

### **2.1 ANTECEDENTES**

La madera es un material complejo, con unas propiedades y características que dependen no sólo de su composición sino de su constitución, o de la manera en que están colocados u orientados los diversos elementos que la forman. El cómo están colocados u ordenados estos elementos servirá para comprender mejor el comportamiento de este material.

En primer lugar se ha de recordar que la madera no es un material de construcción fabricado a propósito por el hombre, sino que es un material obtenido del tronco y las ramas de los árboles cuya finalidad es la de facilitar el crecimiento y supervivencia de este elemento vegetal.

La madera no es un material homogéneo, está formado por diversos tipos de células especializadas que forman tejidos. Estos tejidos sirven para realizar las funciones fundamentales del árbol: conducir la savia, transformar y almacenar los alimentos y por último formar la estructura resistente o portante del árbol.

El conocimiento sobre la naturaleza de la madera, características y comportamiento, es necesario para establecer y efectuar un buen uso de este material. Será interesante recordar algunos conceptos respecto a la composición, micro y macroestructura de la madera.

## **2.2 COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA MADERA**

### **2.2.1 COMPOSICION**

Es una sustancia fibrosa, organizada, esencialmente heterogénea, producida por un organismo vivo que es el árbol.

Sus propiedades y posibilidades de empleo son, en definitiva, la consecuencia de las características, organización y composición química de las células que la constituyen.

El origen vegetal de la madera, hace de ella un material con unas características peculiares que la diferencia de otros de origen mineral. Los elementos orgánicos de que se compone, son:

- Celulosa: 40-50%
- Lignina: 25-30%
- Hemicelulosa: 20-25%
- Resina, tanino, grasas: % restante

Estos elementos están compuestos de:

- Elementos esenciales (90%):
  - Carbono: 46-50%
  - Hidrógeno: 6%
  - Oxígeno: 38-42%
  - Nitrógeno: 1%

- Otros elementos (10%):
  - Cuerpos simples: Fósforo y azufre
  - Compuestos minerales: Potasa, calcio, sodio

### 2.2.2 ESTRUCTURA MACROSCÓPICA

Al observar un corte transversal de un tronco de madera, permitirá ver los diversos elementos característicos que la forman, y además, apreciar que no se trata de un material homogéneo. Además, se observa que tiene forma casi cilíndrica y que está formado por sucesivas capas superpuestas llamadas anillos.

A continuación, se analiza las diferentes partes que constituyen una sección normal al eje de un árbol.

La primera zona apreciable es la corteza, formada por materia muerta de aspecto resquebrajado, que se divide en **corteza exterior** y **corteza interior** (Figura 2.1).

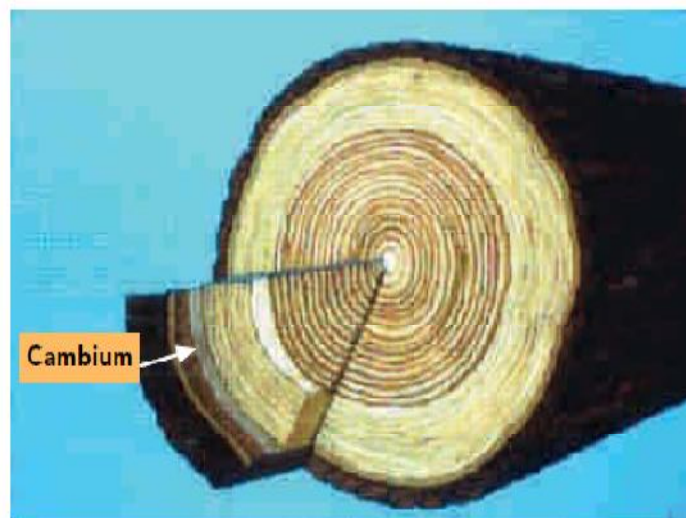


**Figura 2.1:** Corteza exterior y la corteza interior o floema.

La corteza exterior está compuesta por células muertas que cumplen la función de proteger la estructura interior frente a agentes climáticos y biológicos.

Siguiendo hacia dentro se encuentra la corteza interior, compuesta por células que trasladan savia elaborada.

Luego se presenta el **cambium** o cambio (Figura 2.2), zona que corresponde al tejido generador de células, es decir, donde se produce el crecimiento del árbol. Hacia el interior forma el xilema y hacia el exterior, forma el floema.



**Figura 2.2:** Cambium o cambio, que se encuentra adyacente al xilema y hacia la corteza.

El **xilema** es la parte maderable o leñosa del tronco, donde podemos distinguir la **albura** hacia el exterior (Figura 2.3), con células que cumplen la función de sostén y traslado de agua y nutrientes.





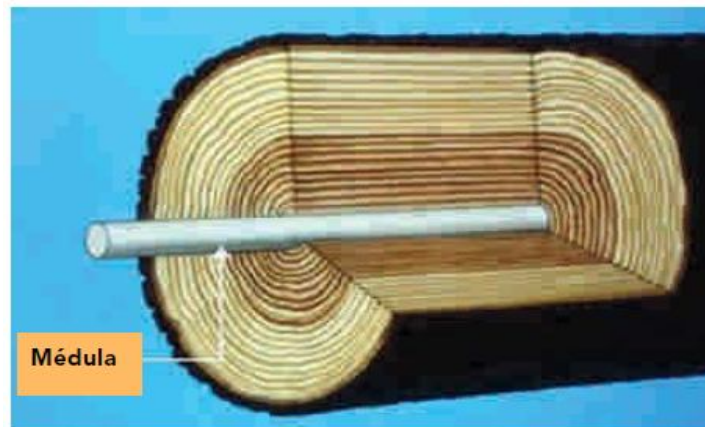
**Figura 2.3:** La zona al interior del cambium es la albura

Hacia el interior del xilema se forma el **duramen** (Figura 2.4), compuesto por células inactivas, y tiene como función proporcionar la resistencia para el soporte o sostén del árbol.



**Figura 2.4:** Al interior de la albura se encuentra el duramen

En el centro del árbol se encuentra la **médula** (Figura 2.5), tejido inactivo sin función específica.



**Figura 2.5:** En el centro se ubica la médula

Otra de las características relevantes del árbol en su sección transversal son los denominados **anillos concéntricos de crecimiento** (Figura 2.6), los cuales son apreciables a simple vista, dependiendo de la especie.



**Figura 2.6:** Anillo de crecimiento anual

Las especies madereras se clasifican en dos grandes grupos: **coníferas** y **latifoliadas**. En las primeras, los anillos de crecimiento son perfectamente diferenciables, mientras que en las segundas, no son tan apreciables.

En zonas tropicales, o en zonas donde prácticamente no se producen, variaciones climáticas con los cambios de estación. La actividad vital del árbol es continua, no se aprecian diferencias entre las distintas zonas de anillos de crecimiento anual.

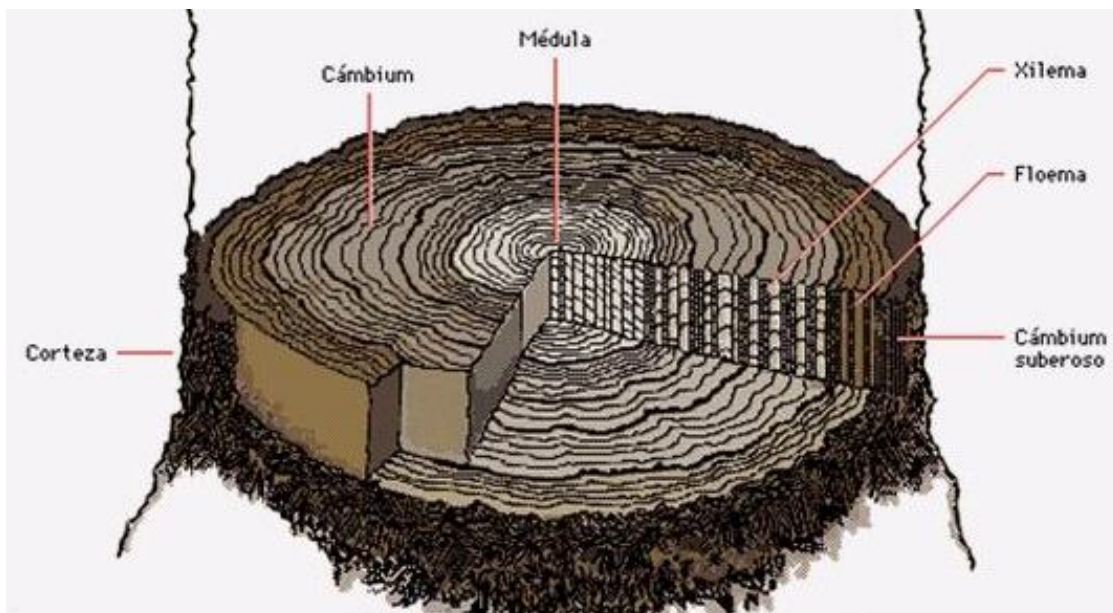
### **2.2.3 ESTRUCTURA MICROSCÓPICA**

Como se ha visto, la madera no es un material homogéneo, está formado por diversos tipos de células especializadas que forman tejidos. La heterogeneidad de la madera será, en parte, la causa de sus propiedades.

Se puede considerar la madera como un conjunto de células alargadas en forma de tubos, paralelos al eje del árbol, muy variables, tanto en longitud y forma, como en el espesor de sus paredes y en las dimensiones interiores.

Estas células están unidas entre sí por una sustancia llamada materia intercelular o laminilla media, y a su vez trabadas por otro tipo de células, colocadas perpendicularmente a las anteriores y en el sentido radial del tronco, formando los llamados radios leñosos.

Las paredes de los tubos (Figura 2.7) están formadas por una serie de capas compuestas por microfibrillas de celulosa enrolladas helicoidalmente alrededor del eje con inclinación diferente en cada capa, y todas ellas, embebidas en un material amorfo. Prácticamente insoluble, que es la lignina. Es muy habitual asimilar estas células a un pilar hueco de hormigón armado, en la que la lignina hace las veces de hormigón y las microfibrillas de celulosa las del acero.



**Figura 2.7:** Estructura de Madera

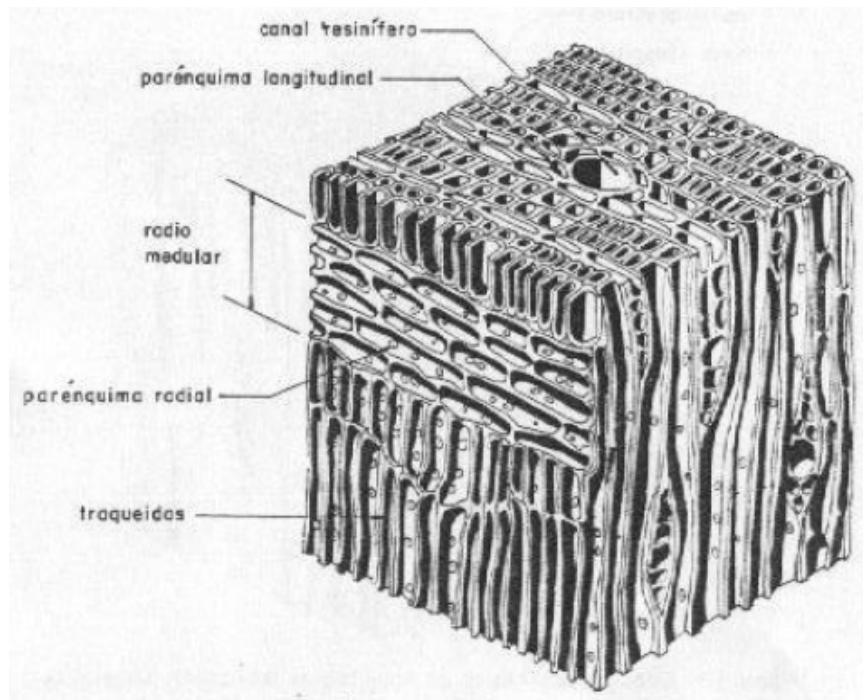
Todo ello hace de la madera un material resistente y ligero, que puede competir favorablemente con otros materiales utilizados en la construcción, en cuanto a la relación resistencia-peso específico.

Las células en coníferas pueden medir de 3 a 5 milímetros de largo, dependiendo de la especie. En el caso de latifoliadas, el largo puede llegar a 1 mm. (Figura 2.8).



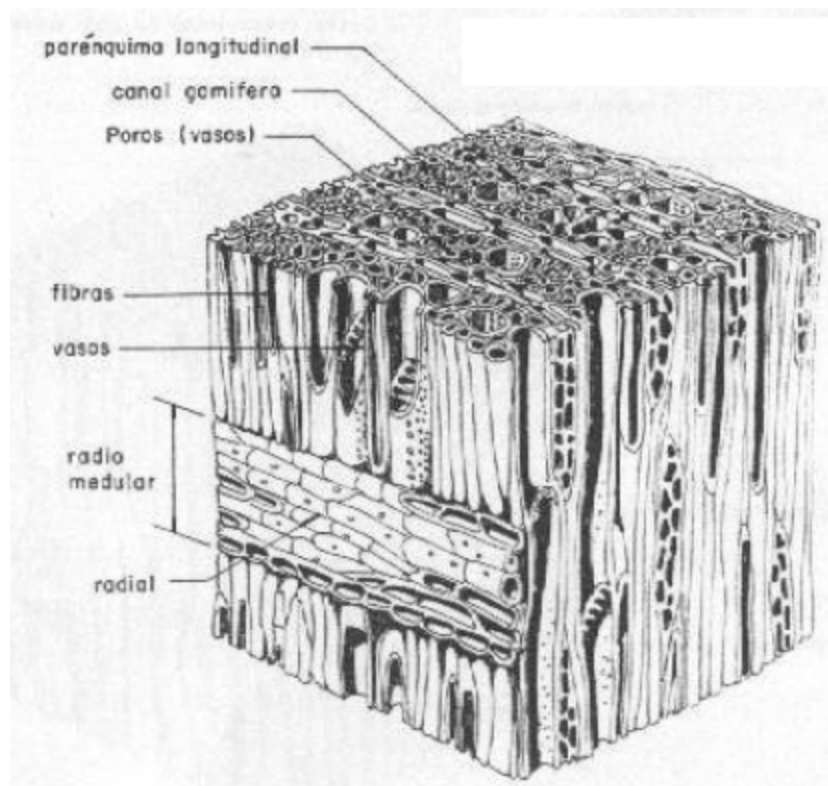
**Figura 2.8:** Dimensión de las células en coníferas y latifoliadas.

La madera de **coníferas** (Figura 2.9) está constituida esencialmente por células de características homogéneas, llamadas traqueidas; estas forman del 80 al 90 por ciento del volumen total de la madera y tienen la doble función: sostén del árbol y conducción de la savia. Así mismo, presenta células de parénquima en menor proporción.



**Figura 2.9:** Estructura anatómica de una conífera

La madera de **latifoliadas** (Figura 2.10) proviene del grupo de angiospermas, que posee una estructura anatómica heterogénea, constituida esencialmente por vasos o poros; células que forman del 6 al 50 por ciento del volumen total de la madera, los cuales realizan la función conductora de la savia. También existen fibras que son células adaptadas a la función mecánica, o sostén del árbol, y que forman el 50 por ciento o más del volumen de la madera; a mayor porcentaje de fibras mayor densidad y por tanto mayor resistencia mecánica. Así mismo, poseen células de parénquima que tienen la función de almacenamiento de sustancias de reserva.



**Figura 2.10:** Estructura anatómica de una latifoliada

## **2.3 ETAPAS DE CORTE**

Previo al análisis de las diferentes etapas de corte, se analizarán brevemente algunas condiciones generales que deben tenerse en cuenta durante la planificación de las operaciones a realizarse, debido a su influencia socio – económica.

### **2.3.1 GENERALIDADES DEL CORTE**

#### **2.3.1.1 ASPECTOS DE TRABAJO**

Es necesario evaluar las condiciones de trabajo para elegir los métodos mas apropiados. Esta evaluación debe tener en cuenta los siguientes puntos: características del árbol y de las trozas; topografía y condiciones del terreno; clima, distribución y cantidad de lluvia; y accesibilidad.

#### **2.3.1.2 ASPECTOS ECONÓMICOS**

Dentro de un análisis económico, el costo del equipo a utilizarse y la disponibilidad de capital son importantes consideraciones en el caso de contemplar el uso de recursos mecánicos dentro de un cierto nivel. Debe hacerse cuidadosos cálculos de costos para apreciar las diferentes alternativas.

#### **2.3.1.3 FUENTES DE TRABAJO**

En algunas zonas, el empleo en forestaría puede ser la única forma de ingresos. Debe considerarse muy cuidadosamente la situación local antes de hacer la

elección entre métodos manuales o mecanizados. Si existe desempleo, debe preferirse la primera alternativa. Deben ponerse rápidamente en práctica adecuados programas de capacitación, para permitir niveles de productividad y de ganancia más altos. Se debe aplicar normas de seguridad industrial para garantizar el bienestar físico de los trabajadores.

### **2.3.2 PROCESOS DE CORTE**

#### **2.3.2.1 APEO**

El apeo es el primer eslabón en la cadena de transporte, por lo que debe hacerse un proceso de corte dirigido a facilitar la extracción del producto. Los métodos de extracción empleados aumentarán de eficacia si se hacinan las trozas de forma correcta. La tala dirigida representara un menor esfuerzo cuando se ejecuta un arrastre manual, con lo que los árboles se dejan mas cerca al borde del camino.

El proceso de corte puede ser organizado asignando a cada cuadrilla fajas paralelas de 20 metros. El apeo puede hacerse hacia el centro de la faja, donde se apilan las cimas y las ramas para ser quemadas o evitar que dificulten las operaciones de extracción y desarrollado del proceso de tala.

Con un diámetro de 10 a 30 centímetros, un equipo de dos hombres con sierra mecánica de cadena puede cortar entre 300 a 500 árboles por día. Si los árboles o las trozas tienen que ser descortezados, puede ser ventajoso si la corteza es aflojada en bandas mientras el árbol esta aun en pie.



### **2.3.2.2 PODA Y DESMOCHE**

Las podas no requieren mucho trabajo, ya que, por lo general, hay pocas ramas finas sobre el tronco comercial. Algunos datos indican que, en extensiones con 1100 árboles por hectárea, se presenta ramas sobre el 40 a 50% del tronco comercial. Con 2300 árboles por hectárea, hay ramas en un solo 10% de los troncos comerciales. El desmoche puede hacerse fácilmente con el hacha o con una sierra de cadena ligera. Puesto que para la poda se usa generalmente el hacha, ambas operaciones pueden combinarse.

### **2.3.2.3 DESCORTEZADO**

La eliminación de la corteza dependerá del uso industrial final de la madera. Algunos tipos de elaboración rechazan la madera con la corteza adherida y, en este caso, el descortezado debe hacerse antes o después del troceado, dependiendo del tamaño de los árboles y de la posibilidad de que la corteza sea separada en tiras. Los postes tienen que ser descortezados antes del tratamiento de preservación.

El rendimiento del trabajo de descortezado a mano depende principalmente de la estación de tala, especies, edad de los árboles, el tiempo que pasa entre el corte y el descortezado. Las épocas de circulación de la savia facilitan el arranque de la corteza, las características de la corteza varían con las especies, el espesor de la corteza y las dificultades del descortezado aumentan con la edad, mientras que el

mayor lapso de tiempo entre en corte y el descortezado hace que la corteza se adhiera a la madera y el arranque se hace más difícil.

Las descortezadoras mecánicas anulares son difíciles de usar por las características fibrosas de la corteza, lo que retrasa la operación, ya que la corteza tiene que sacarse a mano cuando la máquina se obstruye.

Aparte del hacha pueden usarse otras herramientas manuales más especializadas como la hoz descortezadora y herramientas similares que pueden ser fabricadas localmente. Si se emplea el hacha el descortezado se combina con la poda. El rendimiento por día/hombre en la poda y descortezado con hacha varía de 20 a 50 árboles con un diámetro de 20 centímetros, a 60 a 100 árboles con un diámetro de 10 centímetros.

#### **2.3.2.4 TROCEADO**

Antes del troceado debe marcarse la posición de los cortes para obtener la mejor utilización del largo del árbol y de esta forma obtener diferentes productos tales como: postes, diferentes largos de trozas para aserrío y madera para pasta. Si se pide un solo tipo de producto el marcado se hará a largos constantes, según especifique la industria.

El troceado puede hacerse antes o después del arrastre; según se desee se puede optar por arrastre de la madera cortada o la troza entera. Para este fin se puede emplear herramientas como: sierras de cadena, de arco o la troceadora.

La productividad depende en parte del grado de estacionamiento de la madera. Cuando los rollos se trocean inmediatamente después del apeo, pueden ser de un 40% mayor que cuando se han secado.

## **2.4 SECADO**

Es uno de los procesos más exigentes en la preparación de la madera para usos industriales y domésticos es el secado. De hecho, de su correcto desarrollo depende que este material ofrezca buenos resultados durante y después del proceso de transformación.

Se busca la eliminación del agua que esta en exceso, para conseguir este fin se deben combinar las siguientes acciones:

- Suministrar el calor necesario para producir la evaporación del agua
- Mantener la circulación continua del agua del interior de la madera hacia el exterior
- Arrastrar el agua eliminada por la madera mediante la circulación forzada de aire

El secado correcto se basa en combinar las siguientes exigencias:

- La madera debe secarse en el menor tiempo posible
- La madera debe secarse sin daños
- La madera debe secarse lo más económicamente posible

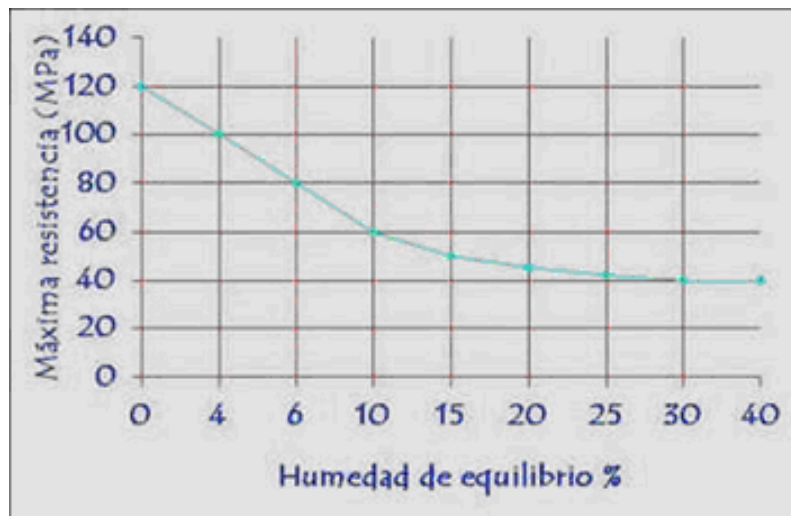
En el caso de que se requiere secar con excesiva rapidez, se corre el peligro de la aparición de grietas internas y externas; si se seca muy lentamente los costos pueden llegar a ser prohibitivos. Uno de los puntos más importantes, es que la madera a secar este libre de defectos en especial de nudos muertos que al desprenderse deja agujeros.

Además las zonas alrededor de ellos al tener las fibras en una dirección diferente, son propensas al fenómeno del colapso. Esta deformación ocurre particularmente cuando la madera comienza a secarse y se encuentra aún por encima del 30% de humedad. Las células sufren un aplastamiento el cual es recuperable mediante la aplicación de vapor.

El secado de la madera es un proceso que se justifica para toda pieza que tenga uso definitivo en el interior de la vivienda, sea con fines estructurales o de terminación. La utilización de madera seca aporta una serie de beneficios, entre los que se destaca:

- Mejora sus propiedades mecánicas: la madera seca es más resistente que la madera verde.
- Mejora su estabilidad dimensional.
- Aumenta la resistencia al ataque de agentes destructores.
- Aumenta la retención de clavos y tornillos.
- Disminuye considerablemente su peso propio, abarata el transporte y facilita la manipulación de herramientas.

- Mejora la resistencia de adhesivos, pinturas y barnices.
- Mejora su ductilidad, facilidad para cortar y pulir.
- Mejora la absorción de preservantes líquidos aplicados con presión.
- Aumenta la resistencia de las uniones de maderas encoladas.



**Figura 2.11:** Efecto del contenido de humedad en la resistencia de la madera

#### **2.4.1 TIPOS DE SECADO**

En general, existen varios sistemas de secado basados, casi todos, en el principio de equilibrado de la madera a las condiciones de la cámara, exceptuando el secado al vacío y el secado por radio frecuencia, sistemas cuyo principio y funcionamiento es muy diferentes a los tradicionales; pero los siguientes son los más empleados:

### **2.4.1.1 SECADO NATURAL**

Es el primero, el más antiguo y es considerado por muchos, el mejor; de hecho se aplica frecuentemente en distintos lugares del mundo y para diversos casos, pero en especial cuando no se cuenta con recursos para montar otros sistemas.

En realidad existen muchas maneras para secar naturalmente: desde los encastillados particulares o apilamiento de la madera.

Pese a lo popular de esta modalidad, el sistema tienen como principal inconveniente el elevado tiempo que demanda, difícil de establecer pues depende de variables como la cantidad de luz solar, la velocidad del viento, la exposición a puntos cardinales, la condensación y humedad relativa ambiental, entre otros y la reducida homogeneidad en los resultados, pues no toda la madera seca de igual forma, razón por la que no se puede establecer con exactitud la humedad final que generalmente, no baja del 20 por ciento con éste sistema.



**Figura 2.12:** Sistema de secado natural

### **2.4.1.2 SECADO CÁMARAS CONVENCIONALES**

Trabajan con temperatura media-alta y son las más usadas en el mundo, pues existe una gran variedad dentro del grupo, dependiendo de su configuración, aunque todas funcionan bajo un mismo principio.

Cuentan con una caldera de madera o carbón, que calienta el agua de 90° C a 100° C, para luego hacer pasar el líquido por unos intercambiadores de calor o radiadores instalados en el interior del horno, en donde también se instalan ventiladores de gran capacidad que generan una fuerte corriente de aire caliente, gracias al paso de éste por los radiadores.



**Figura 2.13:** Vista exterior de cámara convencional

Además, están provistos de unas boquillas de aspersion de agua usadas cuando es necesario humectar o aumentar la humedad relativa de la cámara, y unas chimeneas o ventilas ubicadas en ambos extremos del horno que pueden ser abiertas o cerradas para controlar, tanto la humedad como la temperatura y que además sacan el aire húmedo e introducen aire nuevo. En algunas cámaras la

humectación se logra con vapor de agua que cumple doble función: calentar y humedecer el ambiente. Vale señalar que para su calentamiento, algunas cámaras de éste tipo utilizan distintos sistemas como aceite térmico, quemadores de gas o calderas de fuego directo, que son éstas últimas, las menos usuales y a la vez, las más peligrosas.



**Figura 2.14** Vista interior de cámara convencional

#### **2.4.1.3 SECADO CÁMARAS DESHUMIDIFICADORAS**

Estas cuentan con todos los elementos de las convencionales como: ventiladores, humidificadores, controles, etc. pero incluyen adicionalmente unos equipos similares a los de aire acondicionado, dotados de unos serpentines por los cuales se pasa el aire para que, en vez de calentarlo, se enfríe. De esta forma se condensa la humedad que a su vez, se elimina por conductos para ese propósito.

#### **2.4.1.4 SECADO CÁMARAS DE RADIACIÓN SOLAR**

Funcionan aprovechando la energía calorífica del sol y la luz para ganar temperatura. En este grupo existen diversos tipos con varios grados de



tecnificación y tamaños. La principal ventaja de estos sistemas es el menor consumo energético y el respeto por el medio ambiente.

Sus desventajas: el proceso de secado se desarrolla más lentamente que usando cámaras convencionales o deshumidificadoras. Estas funcionan también controlando la temperatura, humedad y empleando ventiladores para forzar las corrientes de aire tal como sucede con las cámaras convencionales.



**Figura 2.15** Cámara de secado solar

#### **2.4.1.5 SECADO CÁMARAS DE VACÍO**

Parten de un principio de funcionamiento distinto a las anteriormente citadas, y que se resume en dos pasos aplicados consecutivamente hasta alcanzar la humedad deseada: primero, se aplica temperatura a la madera inyectándola a presión, para abrir el poro, luego se aplica el vacío succionando la humedad.

Estas cámaras que, generalmente se utilizan en cargas de madera relativamente pequeñas no sobrepasan el metro cúbico aunque también las hay de mayor

tamaño y tienen un alto costo en el mercado. Su mayor ventaja es la reducción de tiempo en el proceso comparado con otros sistemas y que además garantizan la calidad de la madera, sin sufrir alteraciones.



**Figura 2.16** Cámara de vacío

#### **2.4.1.6 SECADO POR RADIOFRECUENCIA**

Son ideales también para cargas pequeñas, éstas operan totalmente diferente a todas las anteriores gracias a que el principio de la radio frecuencia es casi exactamente como el de un horno microondas: las células con agua son obligadas a vibrar con alta frecuencia, para generar un calentamiento de las células que evapore el agua. Gracias a este sistema se obtienen tiempos de secado verdaderamente rápidos, sin embargo, tanto el consumo de energía, que es único medio para su funcionamiento como el costo de los equipos es muy alto.

## **2.5 PRESERVACIÓN**

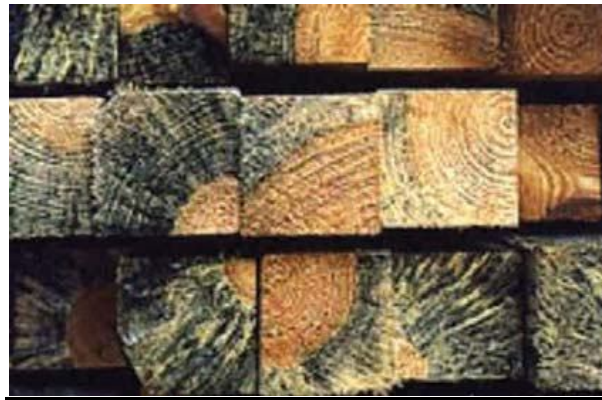
En primera instancia se trataran los aspectos que se refieren a los factores que afectan a la madera por el hecho de ser materia orgánica, susceptible al ataque de seres vivos que pueden provocar su total degradación, a la acción de agentes bióticos que pueden destruirla o degradarla y al tratamiento necesario en función de los requerimientos de durabilidad a que vaya a estar expuesta la madera en servicio para ser montada y formar parte de una estructura de una vivienda de madera.

Por estas razones, la imagen generalizada que se tiene de la madera es de un material poco durable, si se analiza que frente al oxígeno del aire la madera no reacciona, como sucede con los metales que se oxidan, o que es muy poco sensible a la luz que degrada los plásticos, se puede concluir que la madera es prácticamente inalterable por los agentes físicos del medio ambiente.

Por otro lado, con respecto a la presencia de insectos y hongos, la madera no es susceptible de ser atacada en todas las condiciones, existen soluciones que permiten evitarlo. La idea de durabilidad que se tiene de otros materiales es difícil compararla con la de la madera. Si bien la madera se degrada, se debe tener presente en qué condiciones esto ocurre, ya que existen un sinnúmero de protectores que garantizan su durabilidad.

### **2.5.1 AGENTES BIOTICOS**

La degradación de la madera se puede deber a diferentes causas y es importante saber en cada caso, el principal agente causante de dicha degradación, lo que permitirá elegir el modo de proteger la madera.



**Figura 2.17** Degradación de la madera

#### **2.5.1.1 HONGOS CROMÓGENOS**

Se caracterizan por alimentarse de las células vivas de la madera. El efecto importante que producen es un cambio de coloración, la madera toma un color azulado, pero en general no afecta a su resistencia, dado que no altera la pared celular.

Según lo expuesto, una madera azulada no debería depreciarse más que por su aspecto, pero la realidad es que el hecho de presentar dicha coloración, es signo de que la madera ha estado expuesta a condiciones favorables para el desarrollo de hongos de pudrición, y si bien todavía no es visible su ataque, probablemente éste se ha producido en alguna medida.

### **2.5.1.2 HONGOS DE PUDRICIÓN**

En este caso los hongos se alimentan de la pared celular, causando una severa pérdida de resistencia, impidiendo cualquier tipo de aplicación, ya que la madera puede desintegrarse por la simple presión de los dedos. En un ataque de pudrición se suelen desarrollar muchos tipos de hongos, cada uno de los cuales actúa en un determinado intervalo de degradación, dependiendo si el hongo se alimentó de la lignina o de la celulosa.

La pudrición blanca es causada por hongos que se alimentan de la lignina, dejando la celulosa de color blanco. En este caso la madera se rompe en fibras, por lo que también se denomina pudrición fibrosa. La pudrición parda es causada por hongos que se alimentan de la celulosa dejando la lignina, caracterizada por su color pardo. La madera se desgrana en cubos, por lo que también se le conoce como pudrición cúbica.

### **2.5.1.3 MOHOS**

Son hongos que tienen una apariencia de algodón fino. La extensión de estos depende fundamentalmente de la temperatura y de una humedad abundante. Afectan a la madera en su aspecto superficial y se pueden eliminar cepillando la pieza, no causan daños a la resistencia ni a otras propiedades. Si no se eliminan oportunamente puede que la pieza de madera sea fácilmente atacada por hongos de pudrición, ya que el crecimiento de mohos estimula su desarrollo.



**Figura 2.18** Piezas de madera atacadas por hongos de pudrición

#### **2.5.1.4 INSECTOS**

Existe una gran cantidad de insectos que usan la madera para reproducirse y vivir y se alimentan de la celulosa que ésta contiene. El daño se produce debido a que sus larvas, orugas y adultos abren galerías en la madera para obtener alimento y protección. Dentro de estos insectos figuran los siguientes:

- Coleópteros: Cerambicidos, Lictido, Anóbido
- Termitas

#### **2.5.2 AGENTES ABIOTICOS**

##### **2.5.2.1 DEGRADACIÓN POR LA LUZ**

El espectro ultravioleta de la luz descompone la celulosa de la madera produciendo su degradación. La acción de la luz es lenta y a medida que transcurre el tiempo la degradación no aumenta, dado que los primeros milímetros afectados sirven de protección al resto. Así, los efectos de la luz se hacen visibles entre el

primer y el séptimo año y la madera cambia de color, oscureciéndose o aclarándose, según el grado de exposición en que se encuentre. La degradación afecta los primeros milímetros de la madera, con mayor intensidad las zonas de primavera que las de otoño, y más la albura que el duramen.

La degradación por la luz es más rápida si se combina con el deslavado que puede producir la lluvia, que arrastra la celulosa descompuesta de la superficie, produciendo la degradación denominada madera meteorizada. El espectro infrarrojo afecta en la medida que calienta la madera, aumentando su incidencia cuanto mayor sea su exposición al sol y más oscura sea. Este calor puede producir secado y con ello merma de la madera, y por ende, agrietamientos en dirección de las vetas por las cuales penetra la humedad, favoreciendo la invasión de los hongos xilófagos.

### **2.5.2.2 HUMEDAD ATMOSFÉRICA**

La humedad atmosférica produce deterioro por los repetidos cambios de dimensiones que se producen en las capas superficiales de las piezas que se encuentran a la intemperie. Cabe recordar que la madera es una sustancia higroscópica, influida por los cambios de las condiciones de humedad atmosférica, produciéndose absorción de agua en las superficies que quedan expuestas, hinchándose con clima húmedo y lluvioso y contrayéndose en los períodos de sequía.

En todo caso, la penetración de agua por las razones expuestas es relativamente lenta y no se producen cambios en el contenido de humedad o en el volumen de la pieza, siempre que no haya una condición especial, en que el estado de humedad o sequedad se exceda de lo normal.

### **2.5.3 TRATAMIENTO DE LA MADERA**

En el tratamiento de la madera se deben definir los requerimientos de durabilidad que son necesarios, es decir, si la madera elegida tiene la capacidad para resistir el ataque de los diferentes agentes de destrucción, una vez puesta en servicio sin ningún tratamiento preservador. Sólo en caso de que no se puedan utilizar las especies adecuadas a la durabilidad exigida, se debe realizar el tratamiento que corresponda. Desde el punto de vista de diseño de estructuras de madera, la protección de la misma frente a agentes destructores adquiere vital relevancia al momento del diseño.

#### **2.5.3.1 TIPOS DE PRODUCTOS PROTECTORES**

Los productos protectores se clasifican según los siguientes aspectos:

**Por la acción protectora que realizan:**

- **Insecticidas:** protegen frente a la acción de los insectos xilófagos, destacan el tipo Piretrinas o Clorpirifos.
- **Fungicidas:** protegen frente a la acción de hongos xilófagos. Si es pudrición se emplean productos con contenidos de cromo, cobre y arsénico



cobre, azoles orgánicos; cobres, azoles orgánicos y boro; cobre y amonios cuaternarios y boro. Si se trata de mancha azul, los productos más utilizados son el tribromofenato de sodio, quinolatos de cobre y carbendazimas.

- **Ignífugos o retardadores de fuego:** protegen frente a la acción del fuego convirtiendo a la madera desde un material combustible, a uno difícilmente combustible. En este grupo se distinguen los que impiden que llegue oxígeno a la madera durante algunos minutos y los que basan su acción ignífuga en que reaccionan con el calor, emitiendo sustancias que acaparan el oxígeno del aire, impidiendo que la madera se quemara.
- **Protectores de la luz:** Pinturas con pigmentos metálicos que sellan la veta de la madera. Se mantiene la veta, oscureciéndola en algún grado.

#### **Por el tipo de preservante:**

- **Solventes orgánicos:** Son los protectores que con mayor facilidad penetran en la madera, no producen manchas y son compatibles con la mayoría de los barnices de fondo y acabados, lo que hace que sean los más utilizados en la carpintería de terminación. Son aplicados a maderas secas por su característica de no otorgar humedad a ésta.
- **Hidrosolubles:** el disolvente es el agua, se utiliza para el tratamiento industrial de maderas húmedas, bajo el 28%.

- **Creosotados:** Son derivados del petróleo y la hulla, su penetración en la madera es dificultosa y además la mancha, haciendo incompatible la madera tratada con cualquier terminación a la vista.

### **2.5.3.2 TIPOS DE TRATAMIENTO**

#### **Tratamientos Superficiales:**

Se caracterizan porque la penetración del protector en la madera apenas supera unos milímetros de profundidad. Son recomendables en la prevención de ataques superficiales como la mancha azul. No son indicados en los casos de ataques en profundidad, como es el caso de hongos a mediano y largo plazo, cuando vaya a estar expuesta a riesgos de humedades más o menos constantes, o del ataque de termitas, como es el caso de maderas situadas en el interior de la vivienda.

Estos tipos de tratamientos son aplicados mediante brochas, pulverizadores o inmersión rápida de la madera en un producto protector formado a partir de insecticidas y fungicidas. La penetración de unos milímetros del producto químico es suficiente como para evitar los ataques superficiales. La profundidad del tratamiento va a depender del tipo de producto, fundamentalmente del tipo de disolvente, la mayor o menor penetrabilidad de la madera y de las condiciones de ésta.

### **Tratamientos en Profundidad:**

Son los más indicados cuando la madera está expuesta a humedad del exterior, o en contacto con el suelo o bien que estando en el interior tenga el riesgo de ataques de termitas. Son variados los sistemas, de sustitución de savia, consiste en que se introduce la madera en un depósito por varios minutos para que el producto protector vaya ocupando la savia del árbol. Los productos utilizados son sales, los que con la humedad de la madera y con el movimiento de la savia se introducen al interior por difusión.

Este tratamiento se aplica a maderas que se utilizan en cierros y estacas en general. Otro sistema es el caliente y frío, en el que se introduce la madera en un depósito con agua caliente por algunos minutos para abrir los poros, lo que permite facilitar la entrada del producto protector y luego se introduce la madera por varias horas en otro depósito que contiene las sales protectoras.

Este tratamiento es utilizado para postes, vigas y piezas que en general quedarán a la intemperie. Existe un tratamiento en autoclave, el que por ser de carácter industrial, es el único que puede garantizar su profundidad, las retenciones del producto protector y con ello su eficiencia.

El autoclave es un sistema conformado por un cilindro de acero, una bomba de vacío y otra de presión. Con la bomba de vacío se extrae el aire de la madera conjuntamente con abrir los poros y con la bomba de presión se introduce el

producto protector. Según la facilidad o dificultad de tratamiento y el tipo de producto utilizado, será diferente el vacío, la presión y el tiempo de cada una de las fases del tratamiento.

## **2.6 DESCRIPCIÓN**

### **2.6.1 GUAYACÁN PECHICHE**



**Figura 2.19** Guayacán Pechiche

#### **2.6.1.1 TAXONOMÍA**

**Nombre Común:** Guayacán Pechiche (Ecuador)

**Nombre Comercial Internacional:** Cari – cuara (Bolivia), punte candado, guayacán negro, minche (Colombia); huacanpú (Perú); arekuma (Venezuela); acariguara (Brasil); black manu (Costa Rica); Wuamanía (Guayana); Manú (Nicaragua); y black manwood (Panamá).

**Nombre Científico:** *Minquartia guianensis* Aubl.

**Familia:** OLACACEAE

---

### **2.6.1.2 MORFOLOGÍA DE LA ESPECIE**

**Porte:** en los bosques naturales de Centro América, los árboles dominantes sobrepasan los 33 metros de altura y los 60 centímetros de diámetro, con fustes de igual o mayor altura que la copa.

**Copa:** algo globosa u oblonga, no compacta, con ramitas, pecíolos, yemas cubiertas con bellos estrellados amarillentos. Los ápices de las ramas gruesas exhiben abundantes y llamativos racimos de flores grandes amarillo brillantes que llama atención a lo lejos, especialmente, cuando se halla despojado de sus hojas. Esta característica de floración, ha dado lugar a que comúnmente también se le llame, el árbol de la primavera.

**Corteza:** son árboles de crecimiento simpódico que caracteriza ondulaciones en el fuste, los cuales deben coincidir con el largo de cada trozo al momento de racionar el fuste.

Corteza exterior lisa y blanquizca en árboles jóvenes, y marrón claro grisáceo y fisurado longitudinalmente en árboles maduros; en su parte interna es de color marrón claro, fibrosa y amarga. Además, tiene la capacidad de rebrote después del corte.

**Hojas:** opuestas; digitadas, esto es, palmaticompuestas, sin estípulas. Los folíolos son ovados, de 5 ó 20 centímetros de largo y de 2 a 8 centímetros de ancho, membranáceos, con borde irregularmente dentado, haz verde poco lustroso envés verde claro mate.

**Flores:** dispuestas en abundantes manojos cortos racemosos no ramificados, vellosos y terminales, con varias flores en pedúnculos cortos y peludos.

Las flores son grandes, de 5 a 6 centímetros de largo y 5 centímetros de ancho, vistosos por su color amarillo brillante, tubular y termina en 5 lóbulos ligeramente desiguales. Cáliz tubular verduzco, con lóbulos irregulares en el ápice.

**Frutos:** son cápsulas silicuoides, algo aplanadas, oblongas en sección transversal, apostilladas, largas y angostas, finamente vellosas, con unas once arrugas longitudinales y 2 celdas que se abren por dos líneas para liberar muchas semillas.

**Semillas:** aplanadas, achatadas y bordeadas con un ala membraneacea circular de 1.5 a 2 centímetros de largo. 1 Kilogramo contiene aproximadamente 20 000 semillas.

### **2.6.1.3 AUTOECOLOGÍA DE LA ESPECIE**

**Distribución de la especie:** la extensa área geográfica de distribución natural que ocupa el Guayacán Pechiche, se extiende desde honduras hasta Venezuela, sin embargo, hay la posibilidad que el área se amplíe hasta el sur de México por el norte y hasta la Guayana por el sur.

En otros países y en el noroccidente de Ecuador, se ha plantado hasta altitudes de 700 msnm., en climas más húmedos que el de su hábitat, pero siempre con estación seca aunque corta pero no muy intensa.

**Condiciones medioambientales:** los mejores rendimientos se obtienen con 23 a 27 °C de temperatura media y 1000 a 2000 milímetros de precipitación anual, o más, siempre que no haya menos de dos meses secos en los cuales se defolia para regular su fenología.

Los suelos ideales para el crecimiento del Guayacán Pechiche deben ser bien desarrollados, bien drenados y aireados, y, aún más fértiles si son aluviales volcánicos y profundos. Esta especie no resiste suelos anegados, pantanosos y compactados, el suelo puede ser ligeramente ácida pero no laterizado.

**Fenología:** florecen en la época seca, es decir, cuando se halla defoliado, y fructifica antes de que terminen de madurar las hojas, esto es en mayo o junio, según la zona.

**Durabilidad natural:** Resistente al ataque de hongos e insectos. Posee una duración en uso exterior de 10 a 15 años.

#### **2.6.1.4 SILVICULTURA**

**Regeneración natural:** para que exista una buena regeneración natural, se requiere campo abierto, puesto que se trata de una especie heliófila. Por su forma y peso, la semilla es dispersada fácilmente por el viento, proporcionando una regeneración natural abundante al caer en claros del bosque y en lugares abiertos con suelo de mantillo húmedo, en donde la maleza crezca a un ritmo inferior al del Guayacán Pechiche. Además, los tocones de los árboles jóvenes, tienen la capacidad de rebrotar.

**Plantación:** dos meses de antes de la temporada lluviosa, la preparación del sitio para plantaciones puras a campo abierto consiste en: desbroce y quema de la maleza, subsolado si es necesario, aradura total en sitios llanos, aradura en fajas a curvas de nivel en terrenos ondulados, terrazas individuales en lugares de topografía inclinada. La remoción del suelo mediante aradura o apertura de terrazas u hoyos debe ser profunda, de no menos de 25 centímetros.

Los grandes campos de plantación se deben dividir en lotes, separadas entre sí por calles de 10 metros de ancho, para el tránsito de vehículos y franjas corta fuegos. Si la plantación se hace con plántulas en masetas, estas deben seleccionarse, al salir del sombreado, con el fin de transportar solo las que serán empleadas en la plantación.

### **2.6.2 COLORADO**



**Figura 2.20** Colorado

#### **2.6.2.1 TAXONOMÍA**

**Nombre Común:** Colorado, palorojo (Ecuador)



**Nombre Comercial Internacional:** caimito colorado (Colombia); caimito (Perú); chupón rosado (Venezuela); cutitiriba (Brasil); wapi (Guayana).

**Nombre Científico:** *Pouteria sp*

**Familia:** SAPOTACEAE

### **2.6.2.2 MORFOLOGÍA DE LA ESPECIE**

**Porte:** en los bosques naturales de Sur América, los árboles dominantes sobrepasan los 20 metros, hasta los 40 metros de altura y el tronco de 30 a 40 centímetros de diámetro.

**Corteza:** la corteza externa es de color gris a café; apariencia de fisuras finas verticales y con verrugas pequeñas. La corteza interna es de color rosado a rojizo, vetada y presenta látex blanco insaboro. La albura es de color marrón claro, con transición gradual a duramen de color marrón rojizo. Olor y sabor ausentes o no distintivos. Brillo mediano. Grano de recto a entrecruzado. Textura fina. Veteado en arcos superpuestos, con jaspeado poco pronunciado.

**Hojas:** simples, alternas, elípticas, borde entero, ápice acuminado

**Flores:** pequeñas, dispuestas en grupos axilares.

**Frutos:** tipo drupa.

**Semillas:** cada fruto contiene de 7-10 semillas dispuestas en forma de estrella. De estas semillas, tan solo tres a cinco son viables.

### **2.6.2.3 AUTOECOLOGÍA DE LA ESPECIE**

**Distribución de la especie:** la extensión de distribución natural geográfica en donde se encuentra el Colorado, está constituida por Brasil, Colombia, Perú, Venezuela y Ecuador. En el Ecuador, crece silvestre hasta 1 200 msnm., pero con crecimiento más lento que en tierras bajas. Esta especie la podemos encontrar principalmente en los bosques de las provincias de Napo y Pastaza.

**Condiciones medioambientales:** es una especie propia de bosques húmedos tropicales y terrazas bajas. No es exigente con los suelos, pero crece mejor en suelos profundos, ricos en materia orgánica, y bien drenados. Puede crecer con precipitaciones de entre 800 a 3500 mm.

**Fenología:** La floración se presenta entre los meses de junio y octubre y fructifica seis meses después.

**Durabilidad natural:** Muy poco resistente al ataque de hongos e insectos. Posee una duración en uso exterior de uno a cinco años.

### **2.6.2.4 SILVICULTURA**

**Regeneración natural:** se recomienda la propagación por vía vegetativa, usando estacas bien leñosas y en lugares húmedos. La propagación por semilla conlleva una gran variabilidad en los árboles obtenidos, la semilla conserva su viabilidad por varios meses, éstas germinan a los 50 días de sembradas y el tiempo transcurrido desde la germinación al trasplante definitivo es de 90 días.

**Plantación:** dos meses antes del inicio de la temporada lluviosa, la preparación del sitio para plantaciones puras a campo abierto consiste en: desbroce y quema de la maleza; subsolado si es necesario; aradura total en sitios llanos; aradura en fajas a curvas de nivel en terrenos ondulados; terrazas individuales en lugares de topografía inclinada. La remoción del suelo, mediante aradura o apertura de terrazas u hoyos, debe ser profunda, de no menos de 25 centímetros.

### **2.6.3 SANDE**



**Figura 2.21** Sande

#### **2.6.3.1 TAXONOMÍA**

**Nombre Común:** Sande, sandi (Ecuador)

**Nombre Comercial Internacional:** lechero, sande, guáimaro, árbol vaca (Colombia); panguana (Perú); vacuno, sande, marina, palo de vaca (Venezuela); amapa (Brasil); palo de vaca (Costa Rica, Panamá).

**Nombre Científico:** *Brosimum utile* (H.B.K.) Pittier spp *utile*

**Familia:** MORACEAE

### **2.6.3.2 MORFOLOGÍA DE LA ESPECIE**

**Porte:** árbol dominante de fuste recto y cilíndrico. Presenta raíces tablares bajas y redondeadas. Árbol de aproximadamente 50 metros de altura total. Altura comercial promedio de 42 metros. Diámetro promedio a la altura del pecho de 70 centímetros.

**Copa:** Irregular y amplia. Presenta hojas alternas, oblongo elípticas, borde entero con pecíolos gruesos; flores agrupadas en capítulos y fruto tipo drupa múltiple.

**Corteza:** corteza externa de color marrón rojizo y pintas plateadas, con lenticelas abundantes y prominentes; apariencia lisa o finamente agrietada de 2 centímetros de espesor. Corteza interna de color anaranjado, exuda abundante látex blanco.

**Hojas:** hojas simples, alternas, con estípula terminal. Las hojas son grandes en estado de brinjal y cuando fustal son gruesas: miden unos 12 centímetros de longitud y 6 centímetros de ancho.

**Flores:** diminutas, dispuestas en la axila de la hoja.

**Frutos:** Infrutescencia globosa de aproximadamente 1.5 centímetros de diámetro.

**Semillas:** la recolección de semilla se realiza de febrero a abril. Hay aproximadamente 400 semillas por kilogramo. Su forma es redonda, algo aplanada por la base y el ápice. El tamaño de cada semilla es de 1.5 centímetros, es muy carnosa con látex blanco. Es recalcitrante, con poca viabilidad.

### **2.6.3.3 AUTOECOLOGÍA DE LA ESPECIE**

**Distribución de la especie:** la extensión de distribución natural geográfica en donde se encuentra el Sande, está constituida por Brasil, Centro América, Colombia, Perú, Venezuela y Ecuador.

El Sande es una de las especies más abundantes en los bosques noroccidentales del país, principalmente en el cantón de San Lorenzo, provincia de Esmeraldas. Inventarios forestales relativamente recientes muestran volúmenes por hectárea que alcanzan en los bosques primarios hasta un 40 a 50% del volumen total de madera en pie. Su regeneración es adecuada y su distribución diamétrica en el bosque muestra las posibilidades de preservar el Sande bajo sistemas de manejo sustentable.

**Condiciones medioambientales:** es una especie propia de bosques húmedos tropicales, terrazas bajas o suelos periódicamente inundados. Es poco tolerable a suelos ácidos y con alto contenido de hierro y aluminio.

En cuanto a su exigencia de luz, es una especie perteneciente al gremio de las esciófitas; tolerable a la sombra de bosques naturales; no recomendada para plantaciones abiertas pues ramifica y ocasiona deformaciones de fuste.

**Fenología:** florece aproximadamente en el mes de octubre. En cuanto a fructificación, los árboles producen semillas de enero a abril. Se ha detectado que los árboles fructifican cuando llegan a los 35 centímetros de diámetro a la altura del pecho.

**Durabilidad natural:** Es baja. No es resistente al ataque de hongos e insectos. En uso exterior su duración es menor de un año.

#### **2.6.3.4 SILVICULTURA**

**Regeneración natural:** es relativamente buena en los bosques naturales. Según inventarios forestales realizados, se encuentra un adecuado grado de proporcionalidad entre los brinzales, latizales y fustales. Bajo los árboles maduros y en áreas circundantes se aprecia abundante regeneración natural. La dispersión de la especie es evidencia en bosques intervenidos y no intervenidos, secundarios y en asocio con cultivos perennes. Por su alta regeneración natural y presencia en todos los estados de última sucesión, es importante desde el punto de vista del manejo silvicultural.

**Plantación:** el crecimiento inicial de las plántulas desde hacerse en umbráculos, lugar donde pueden alcanzar 50 centímetros en seis meses, tamaño en las que están listas para ser plantadas en el sitio definitivo. El Sande no es empleado en plantaciones abiertas ya que ramifica, crece encorvado y su fuste muestra deformaciones. Esta especie funciona bien en plantaciones de enriquecimiento con distancias de 10 metros entre plantas, en hileras. Para la instalación de plantaciones se deben usar preferentemente plantas, en envase de polietileno, de 40 a 50 centímetros de altura. Se debe mantener la vegetación original y la plantación en línea propicia de crecimiento sin ramificaciones.

En el bosque natural crece lento y sobrevive varios años esperando iluminación.

## 2.6.4 MASCAREY



**Figura 2.22** Mascarey

### 2.6.4.1 TAXONOMÍA

**Nombre Común:** mascarey, mascare, calum – calum, motilón, wintamoncalli, yackuchinum y puruancaspi (Ecuador)

**Nombre Comercial Internacional:** mascarey (Colombia); trompillo (Venezuela); aricuarana (Brasil).

**Nombre Científico:** *Hieronyma chocoensis* Cuatr.

**Familia:** EUPHORBIACEAE

### 2.6.4.2 MORFOLOGÍA DE LA ESPECIE

**Porte:** el árbol se lo encuentra en estado natural con más de 30 metros de altura y 100 centímetros de diámetro a la altura del pecho. Su altura comercial es de 15 metros. La copa del árbol adulto es grande, abierta, globosa, o algo alargada, con

ciertas hojas rojizas sobremaduras, sobre un fuste con aletones poco desarrollados.

**Copa:** la copa es globosa y abierta; presenta ramas gruesas cuando crece a campo abierto; ramificación verticilada, muy notoria en árboles jóvenes, en estratos de 4 a 5 ramas; ramitas terminales nudosas debido a las cicatrices dejadas al caer hojas y estípulas. Al final de las ramitas jóvenes gris – pardusco se agrupan las hojas en espiral, de las cuales llaman la atención ciertas hojas anaranjado – rojizas caducas.

**Corteza:** la superficie del tronco es de color crema oscura a marrón; en árboles jóvenes, el tronco presenta líneas sinuosas de lenticelas y cicatrices transversales dejadas por las hojas caídas; en árboles adultos se presentan cortas fisuras angostas o depresiones irregulares, debido a la erosión de las lenticelas; corteza muerta blanda desprendible en placas. Corteza viva sin sabor, arenosa y de color verde en la capa externa, cambiando a rojo oscuro, con exudación del mismo color hacia la capa interna. Tiene sabia rojiza en la madera o látex rojizo cristalino. La corteza en total puede tener hasta 1.5 centímetros de grosor.

**Hojas:** simples y alternas con estípulas, ovado – cordiforme, algo coriáceas, de borde liso, ápice corto, de gran tamaños con medidas de 15 a 30 centímetros longitud y de 10 a 28 centímetros de ancho, de color verde oscuro por la cara superior y de color amarillento o verde pardusco por la cara inferior; con pecíolo largo y grueso. Al envejecer, las hojas se vuelven rojizas y permanecen por un



tiempo prendidas a las ramas antes de caer. Las partes nuevas de las ramitas y las yemas se presentan densamente cubiertas de escamitas bronceadas diminutas.

**Flores:** agrupadas en manojos terminales poco ramificados de 8 a 20 centímetros de longitud. Flores diminutas, de 2 milímetros de longitud, de color crema amarillento; poco llamativas.

**Frutos:** son drupas uniloculares, globosas, verdes, de mesocarpo dulce y comestible, de unos 4 milímetros hasta el tamaño del grano de un maíz.

**Semillas:** dentro de los huesos, endocarpo, de las drupas, se aloja la semilla gris y pequeña, con un porcentaje de germinación del 65 al 70%.

#### **2.6.4.3 AUTOECOLOGÍA DE LA ESPECIE**

**Distribución de la especie:** el área de distribución natural, se enmarca en el trópico húmedo entre los 10° N y los 10°S, ya sea en la costa colombiana y ecuatoriana, o ya también desde la orinoquía hasta la amazonía colombiana, ecuatoriana, peruana, boliviana y brasileña; con la posibilidad de que se extienda a Centro América y el Caribe por el norte; o, a latitudes sureñas mayores.

En el Ecuador, crece silvestre entre 5 y 300 ó 600 msnm., pudiendo subir hasta 1 200 msnm., pero con crecimiento más lento que en tierras bajas.

**Condiciones medioambientales:** el Mascarey es propio del bosque de “guandal”, que forma parte del bosque húmedo tropical, sin embargo, puede crecer con

temperaturas de 20°C y precipitaciones de apenas 1 500 mm., o mayores a 4 000 mm. Se trata de una especie semitolerante a la sombra, que compite con la maleza cuando plántula, y cuando los árboles son jóvenes requiere de luz directa, generalmente más de 3 horas de sol por día.

La humedad relativa debe ser superior al 80% especialmente durante el período de actividad vegetativa. Fuera de este hábitat, su rendimiento final decae, aún cuando se establezca sobre suelos fértiles.

Si bien tolera todos los tipos de suelo comprendidos en el bosque húmedo tropical y las zonas de vida vecinas, para un crecimiento óptimo prefiere suelos profundos, francos y franco arcillosos, moderadamente a bien drenados y algo fértiles, de preferencia aluviales con ceniza volcánica reciente, sin capas endurecidas ni agua freática permanente a poca profundidad.

**Fenología:** generalmente florece, después de que termina un período seco y fructifica cuando se aproxima a un nuevo período de éstos; de manera que, la mayor floración ocurriría en septiembre y la fructificación más abundante en junio. Sin embargo esto es muy relativo, pues, hay años en los que se encuentra semilla durante 5 meses, entre abril y agosto.

**Durabilidad natural:** Resiste el ataque de hongos e insectos y posee una duración en uso exterior de 5 a 10 años.

#### **2.6.4.4 SILVICULTURA**

**Regeneración natural:** se produce con profusión en los claros del bosque y en lugares abiertos, con suelos húmedos, frescos, con luz y espacio para crecer, al extremo de poderse considerar como una especie precursora que compite con especies secundarias y se asocia con especies tolerantes. En las proximidades de los árboles productores de semilla se observan comúnmente, muchos brinzales que nacen con el inicio del período lluvioso. Justamente, se puede estimular la germinación y la supervivencia inicial, arando o cultivando los terrenos antes del inicio del período lluvioso.

**Plantación:** dos meses antes del inicio de la temporada lluviosa, la preparación del sitio para plantaciones puras a campo abierto consiste en: desbroce y quema de la maleza; subsolado si es necesario; aradura total en sitios llanos; aradura en fajas a curvas de nivel en terrenos ondulados; terrazas individuales en lugares de topografía inclinada. La remoción del suelo, mediante aradura o apertura de terrazas u hoyos, debe ser profunda, de no menos de 25 centímetros.

Los grandes campos de plantación se deben dividir en lotes, separados entre sí por calles de 10 metros de ancho, para el tránsito de vehículos y franjas contrafuegos. Las calles entre bosques deben converger a un camino principal de unos 20 metros de ancho, que pase, dentro de lo posible, por el centro de la plantación. Si la plantación se hace con plántulas en maceta, éstas deben seleccionarse, al salir del sombreado, con el fin de transportar sólo las que serán empleadas en la plantación.

## **CAPÍTULO III PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS MADERAS TIPO A: GUAYACÁN PECHICHE, COLORADO, SANDE Y MASCAREY**

### **3.1 ANTECEDENTES**

El primer procedimiento al que se somete un tronco luego de su extracción del bosque es el aserrado. Este se realiza mediante sierras de cinta o con sierras circulares de grandes dimensiones. La madera elaborada a través de un proceso de aserrío se denomina pieza de madera y posee propiedades definidas.

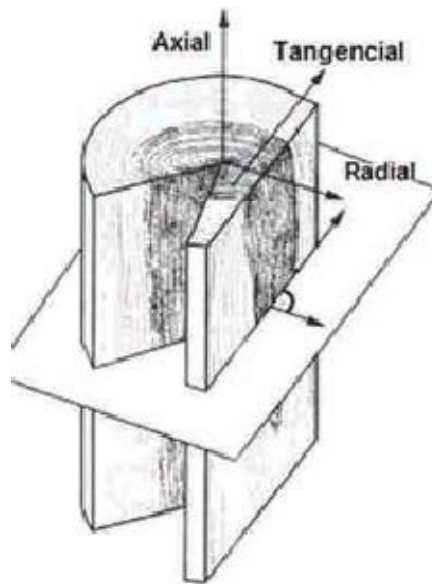
Independientemente de la especie, la madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico.

Es un **material biológico**, ya que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Gracias a su condición de madera elaborada, puede ser biodegradada por el ataque de hongos e insectos taladradores, como son las termitas. Por ello, a diferencia de otros materiales inorgánicos, como el ladrillo, acero y hormigón, la madera debe tener una serie de consideraciones de orden técnico que garanticen su durabilidad en el tiempo.

La madera es un **material anisotrópico**, gracias a que, según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados dispares y diferenciados.

Debido a este comportamiento estructural desigual, se ha definido tres tipos de ejes en un tronco de madera:

- Eje tangencial
- Eje radial; y
- Eje axial o longitudinal



**Figura 3.1** Ejes en una pieza de madera

La madera, al ser **material higroscópico**, tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera.

### **3.2 CONTENIDO DE HUMEDAD**

La estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad. Ésta contiene agua bajo tres formas: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución. El agua libre, se encuentra llenando las cavidades celulares. El agua higroscópica se halla contenida en las paredes celulares; y el agua de constitución se encuentra formando parte integrante de la estructura molecular.

Cuando se expone la madera al medio ambiente, empieza a perder agua gracias a que se inicia el proceso de secado. En el transcurso del secado se pierde primero el agua libre y después el agua higroscópica; el agua de constitución no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado, para la eliminación de la misma es necesaria una destrucción parcial de la madera por combustión.

En función de la cantidad de agua que contenga la madera pueden presentarse tres estados: verde, seco y anhidro.

Se la llama **madera verde** cuando ha perdido parte del agua libre. La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros. Al comenzar el proceso de secado, el agua libre se va perdiendo por evaporación. Este proceso se produce fácilmente, ya que el agua es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta que ya no contiene más agua de este tipo. En ese momento la madera presenta un contenido de humedad que varía entre el 25 al 35%, momento en el cual, la madera presenta paredes celulares completamente saturadas de agua y cavidades vacías.

Será **madera seca** cuando ha perdido la totalidad del agua libre y parte del agua higroscópica. Durante el secado de la madera, cuando ésta ha perdido su agua libre, por evaporación, y continúa secándose, la pérdida de agua ocurre con mayor lentitud hasta llegar a un estado de equilibrio higroscópico con la humedad relativa de la atmósfera. Para la mayoría de las especies, este equilibrio se encuentra entre un 12 a 18% de contenido de humedad, dependiendo del lugar donde se realiza el secado.

Finalmente, será **madera anhidra** cuando ha perdido toda el agua libre e higroscópica. El peso anhidro es conseguido mediante el uso de un horno a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ; también se lo llama peso seco al horno.

Para determinar la humedad en la madera, se establece una relación entre masa de agua libre e higroscópica contenida en una pieza con relación a la masa de la pieza anhidra, expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como contenido de humedad.

### **3.2.1 ENSAYO**

#### **3.2.1.1 ALCANCE**

Contenido de humedad para los ensayos mecánicos en las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey; después de la ejecución de cada uno de los mismos.

### 3.2.1.2 **OBJETIVO**

Determinar la pérdida de peso en porcentaje de muestras a masa constante de las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey; a través de secado en horno, de acuerdo a las Normas Técnicas Panamericanas, COPANT<sup>1</sup>; y Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM<sup>2</sup>.

### 3.2.1.3 **INSTRUMENTAL**

Para la aplicación de este método es necesario el instrumental siguiente:

- **Balanza electrónica:** con una precisión de 0.1 g.
- **Horno eléctrico:** provista de termostato que permita operar a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- **Taras**

### 3.2.1.4 **PREPARACIÓN DE PROBETAS**

Las piezas de madera a ser utilizadas como muestras para determinar el contenido de humedad de cada una de las maderas tipo A mencionadas, deben ser preparadas inmediatamente después de cada una de las pruebas mecánicas a las que deben ser sometidas. La cantidad necesaria de probetas para determinar un contenido de humedad, será igual al número de ensayos mecánicos a realizar.

De acuerdo a las normas COPANT y ASTM correspondientes, las probetas deben

---

<sup>1</sup> **COPANT 460:** Métodos de determinación de la humedad en maderas.

<sup>2</sup> **ASTM D143:** Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber  
**ASTM D2016:** Test Methods for Moisture Content of Wood



ser cortadas en una zona próxima a la rotura producida, y brindar condiciones adecuadas que garanticen la estabilidad del contenido de humedad de la muestra. Además, se establece que las medidas de las probetas de madera para determinar el contenido de humedad dependerán de la prueba mecánica a la que deba ser sometida cada probeta. Por tanto, tenemos las siguientes medidas:

- **Flexión estática:** un cubo de 25 mm de arista.
- **Compresión paralela a la fibra:** un cubo de 50 mm de arista.
- **Compresión perpendicular a la fibra:** un cubo de 50 mm de arista.
- **Corte paralelo a la fibra:** se tomará la porción menor separada debido al corte.
- **Tracción paralela a la fibra:** muestra con una longitud de 76 mm y una sección transversal igual a la sección reducida de la muestra original.
- **Tracción perpendicular a la fibra:** una pieza sobrante después de la falla de la probeta, o una pieza desprendida a lo largo de la sección de falla.

#### 3.2.1.5 PROCEDIMIENTO

- Una vez obtenida la muestra para determinar el contenido de humedad, es necesario remover las astillas de la superficie y luego pesar la probeta con una confiabilidad del 0.1%

- Luego, la muestra de madera seca, se introduce en un horno con termo regulador a una temperatura de  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , con lo cual se determinará la variación de peso en porcentaje.
- Después de transcurridas mínimo 24 horas, la muestra debe de ser analizada y verificada para poder determinar los pesos respectivos después del secado.
- Una vez transcurrido el tiempo señalado, se considera a la muestra Anhidra.



**Figura 3.2** Muestras en horno de secado

### 3.2.2 CÁLCULOS

El contenido de humedad de cada una de las probetas, se calcula como la pérdida de masa expresada en porcentaje de la masa seca al horno, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$CH \text{ \%} = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_2} \right) \times 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad, en porcentaje

P1 = Peso de la muestra como madera seca

P2 = Peso de la muestra como madera anhidra

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD GUAYACAN PECHICHE</b> |                   |                              |                                 |                                 |                               |                                |
|---|-------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>Ensayo</b>                                 | <b>Muestra No</b> | <b>Peso Madera Seca (gr)</b> | <b>Peso Madera Anhidra (gr)</b> | <b>Contenido de humedad (%)</b> | <b>CH Promedio Ensayo (%)</b> | <b>Desviación estándar (%)</b> |
| <b>Tracción perpendicular a la fibra</b>      | G I               | 55.80                        | 50.20                           | 11.16                           | 11.07                         | 0.12                           |
|   | G II              | 63.10                        | 56.80                           | 11.09                           |                               |                                |
|   | G III             | 68.50                        | 61.80                           | 10.84                           |                               |                                |
|   | G IV              | 68.60                        | 61.70                           | 11.18                           |                               |                                |
|   | G V               | 64.20                        | 57.80                           | 11.07                           |                               |                                |
| <b>Tracción paralela a la fibra</b>           | G I               | 61.90                        | 55.32                           | 11.89                           | 11.84                         | 0.38                           |
|   | G II              | 62.70                        | 56.10                           | 11.76                           |                               |                                |
|   | G III             | 63.30                        | 56.40                           | 12.23                           |                               |                                |
|   | G IV              | 62.80                        | 56.50                           | 11.15                           |                               |                                |
|   | G V               | 61.90                        | 55.20                           | 12.14                           |                               |                                |
| <b>Compresión perpendicular a la fibra</b>    | G I               | 127.20                       | 114.10                          | 11.48                           | 11.71                         | 0.31                           |
|   | G II              | 126.70                       | 113.40                          | 11.73                           |                               |                                |
|   | G III             | 127.70                       | 113.70                          | 12.31                           |                               |                                |
|   | G IV              | 129.20                       | 115.80                          | 11.57                           |                               |                                |
|   | G V               | 129.30                       | 116.00                          | 11.47                           |                               |                                |
| <b>Compresión paralela a la fibra</b>         | G I               | 129.50                       | 116.10                          | 11.54                           | 11.73                         | 0.20                           |
|   | G II              | 127.50                       | 114.30                          | 11.55                           |                               |                                |
|   | G III             | 128.90                       | 115.40                          | 11.70                           |                               |                                |
|   | G IV              | 127.20                       | 113.80                          | 11.78                           |                               |                                |
|   | G V               | 127.10                       | 113.40                          | 12.08                           |                               |                                |
| <b>Corte</b>                                  | G I               | 36.70                        | 33.10                           | 10.88                           | 11.14                         | 0.19                           |
|   | G II              | 45.90                        | 41.20                           | 11.41                           |                               |                                |
|   | G III             | 52.00                        | 46.80                           | 11.11                           |                               |                                |
|   | G IV              | 42.30                        | 38.10                           | 11.02                           |                               |                                |
|   | G V               | 40.40                        | 36.30                           | 11.29                           |                               |                                |
| <b>Flexión</b>                                | G I               | 16.60                        | 14.80                           | 12.16                           | 12.06                         | 0.10                           |
|   | G II              | 16.00                        | 14.30                           | 11.89                           |                               |                                |
|   | G III             | 15.80                        | 14.10                           | 12.06                           |                               |                                |
|   | G IV              | 14.90                        | 13.30                           | 12.03                           |                               |                                |
|   | G V               | 15.70                        | 14.00                           | 12.14                           |                               |                                |

**Tabla 3.1** Contenido de humedad Guayacán Pechiche

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD COLORADO</b>       |                   |                              |                                 |                                 |                              |                                |
|--|-------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| <b>Ensayo</b>                              | <b>Muestra No</b> | <b>Peso Madera Seca (gr)</b> | <b>Peso Madera Anhidra (gr)</b> | <b>Contenido de humedad (%)</b> | <b>CH Promedio Ensayo(%)</b> | <b>Desviación estándar (%)</b> |
| <b>Tracción perpendicular a la fibra</b>   | C I               | 35.40                        | 31.30                           | 13.10                           | 13.54                        | 0.46                           |
|  | C II              | 26.30                        | 23.30                           | 12.88                           |                              |                                |
|  | C III             | 31.20                        | 27.40                           | 13.87                           |                              |                                |
|  | C IV              | 34.20                        | 30.00                           | 14.00                           |                              |                                |
|  | C V               | 37.00                        | 32.50                           | 13.85                           |                              |                                |
| <b>Tracción paralela a la fibra</b>        | C I               | 36.70                        | 32.95                           | 11.38                           | 12.12                        | 0.43                           |
|  | C II              | 37.00                        | 33.00                           | 12.12                           |                              |                                |
|  | C III             | 32.20                        | 28.70                           | 12.20                           |                              |                                |
|  | C IV              | 33.70                        | 29.90                           | 12.71                           |                              |                                |
|  | C V               | 34.00                        | 30.30                           | 12.21                           |                              |                                |
| <b>Compresión perpendicular a la fibra</b> | C I               | 72.70                        | 64.50                           | 12.71                           | 12.50                        | 0.23                           |
|  | C II              | 65.50                        | 58.20                           | 12.54                           |                              |                                |
|  | C III             | 72.20                        | 64.40                           | 12.11                           |                              |                                |
|  | C IV              | 73.40                        | 65.30                           | 12.40                           |                              |                                |
|  | C V               | 72.50                        | 64.30                           | 12.75                           |                              |                                |
| <b>Compresión paralela a la fibra</b>      | C I               | 73.00                        | 64.90                           | 12.48                           | 12.11                        | 0.43                           |
|  | C II              | 70.20                        | 62.80                           | 11.78                           |                              |                                |
|  | C III             | 74.00                        | 66.00                           | 12.12                           |                              |                                |
|  | C IV              | 70.80                        | 63.50                           | 11.50                           |                              |                                |
|  | C V               | 69.40                        | 61.60                           | 12.66                           |                              |                                |
| <b>Corte</b>                               | C I               | 37.30                        | 33.00                           | 13.03                           | 13.03                        | 0.38                           |
|  | C II              | 33.20                        | 29.40                           | 12.93                           |                              |                                |
|  | C III             | 23.20                        | 20.40                           | 13.73                           |                              |                                |
|  | C IV              | 32.20                        | 28.60                           | 12.59                           |                              |                                |
|  | C V               | 24.50                        | 21.70                           | 12.90                           |                              |                                |
| <b>Flexión</b>                             | C I               | 9.50                         | 8.50                            | 11.76                           | 11.58                        | 0.63                           |
|  | C II              | 9.00                         | 8.10                            | 11.11                           |                              |                                |
|  | C III             | 8.70                         | 7.80                            | 11.54                           |                              |                                |
|  | C IV              | 9.20                         | 8.30                            | 10.84                           |                              |                                |
|  | C V               | 8.90                         | 7.90                            | 12.66                           |                              |                                |

**Tabla 3.2** Contenido de humedad Colorado

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD SANDE</b>          |                   |                              |                                 |                                 |                              |                                |
|--|-------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| <b>Ensayo</b>                              | <b>Muestra No</b> | <b>Peso Madera Seca (gr)</b> | <b>Peso Madera Anhidra (gr)</b> | <b>Contenido de humedad (%)</b> | <b>CH Promedio Ensayo(%)</b> | <b>Desviación estándar (%)</b> |
| <b>Tracción perpendicular a la fibra</b>   | S I               | 28.20                        | 25.10                           | 12.35                           | 12.27                        | 0.28                           |
|  | S II              | 24.20                        | 21.50                           | 12.56                           |                              |                                |
|  | S III             | 29.30                        | 26.10                           | 12.26                           |                              |                                |
|  | S IV              | 29.50                        | 26.40                           | 11.74                           |                              |                                |
|  | S V               | 22.60                        | 20.10                           | 12.44                           |                              |                                |
| <b>Tracción paralela a la fibra</b>        | S I               | 34.00                        | 30.00                           | 13.33                           | 12.66                        | 0.48                           |
|  | S II              | 35.70                        | 31.90                           | 11.91                           |                              |                                |
|  | S III             | 40.20                        | 35.70                           | 12.61                           |                              |                                |
|  | S IV              | 35.20                        | 31.30                           | 12.46                           |                              |                                |
|  | S V               | 33.10                        | 29.30                           | 12.97                           |                              |                                |
| <b>Compresión perpendicular a la fibra</b> | S I               | 68.20                        | 60.30                           | 13.10                           | 13.74                        | 0.62                           |
|  | S II              | 69.30                        | 60.90                           | 13.79                           |                              |                                |
|  | S III             | 69.00                        | 61.00                           | 13.11                           |                              |                                |
|  | S IV              | 70.40                        | 61.80                           | 13.92                           |                              |                                |
|  | S V               | 76.10                        | 66.30                           | 14.78                           |                              |                                |
| <b>Compresión paralela a la fibra</b>      | S I               | 71.20                        | 62.50                           | 13.92                           | 13.50                        | 0.24                           |
|  | S II              | 70.40                        | 62.10                           | 13.37                           |                              |                                |
|  | S III             | 70.30                        | 62.10                           | 13.20                           |                              |                                |
|  | S IV              | 68.80                        | 60.60                           | 13.53                           |                              |                                |
|  | S V               | 68.30                        | 60.20                           | 13.46                           |                              |                                |
| <b>Corte</b>                               | S I               | 28.30                        | 24.40                           | 15.98                           | 15.09                        | 0.58                           |
|  | S II              | 27.60                        | 23.90                           | 15.48                           |                              |                                |
|  | S III             | 27.60                        | 24.00                           | 15.00                           |                              |                                |
|  | S IV              | 27.50                        | 24.00                           | 14.58                           |                              |                                |
|  | S V               | 23.80                        | 20.80                           | 14.42                           |                              |                                |
| <b>Flexión</b>                             | S I               | 8.10                         | 7.30                            | 10.96                           | 11.81                        | 0.55                           |
|  | S II              | 9.30                         | 8.30                            | 12.05                           |                              |                                |
|  | S III             | 9.80                         | 8.70                            | 12.64                           |                              |                                |
|  | S IV              | 8.50                         | 7.60                            | 11.84                           |                              |                                |
|  | S V               | 10.60                        | 9.50                            | 11.58                           |                              |                                |

**Tabla 3.3** Contenido de humedad Sande

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD MASCAREY</b>       |                   |                              |                                 |                                 |                              |                                |
|--|-------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| <b>Ensayo</b>                              | <b>Muestra No</b> | <b>Peso Madera Seca (gr)</b> | <b>Peso Madera Anhidra (gr)</b> | <b>Contenido de humedad (%)</b> | <b>CH Promedio Ensayo(%)</b> | <b>Desviación estándar (%)</b> |
| <b>Tracción perpendicular a la fibra</b>   | M I               | 45.90                        | 40.90                           | 12.22                           | 12.43                        | 0.26                           |
|  | M II              | 45.90                        | 40.80                           | 12.50                           |                              |                                |
|  | M III             | 45.60                        | 40.40                           | 12.87                           |                              |                                |
|  | M IV              | 39.80                        | 35.50                           | 12.11                           |                              |                                |
|  | M V               | 44.30                        | 39.40                           | 12.44                           |                              |                                |
| <b>Tracción paralela a la fibra</b>        | M I               | 43.90                        | 39.10                           | 12.28                           | 12.49                        | 0.50                           |
|  | M II              | 42.10                        | 37.40                           | 12.57                           |                              |                                |
|  | M III             | 43.60                        | 38.90                           | 12.08                           |                              |                                |
|  | M IV              | 43.90                        | 38.70                           | 13.44                           |                              |                                |
|  | M V               | 46.30                        | 41.30                           | 12.11                           |                              |                                |
| <b>Compresión perpendicular a la fibra</b> | M I               | 90.40                        | 79.80                           | 13.28                           | 13.57                        | 0.30                           |
|  | M II              | 95.00                        | 83.90                           | 13.23                           |                              |                                |
|  | M III             | 91.00                        | 79.80                           | 14.04                           |                              |                                |
|  | M IV              | 88.80                        | 78.20                           | 13.55                           |                              |                                |
|  | M V               | 88.60                        | 77.90                           | 13.74                           |                              |                                |
| <b>Compresión paralela a la fibra</b>      | M I               | 90.40                        | 79.60                           | 13.57                           | 13.33                        | 0.37                           |
|  | M II              | 94.00                        | 83.20                           | 12.98                           |                              |                                |
|  | M III             | 92.90                        | 81.70                           | 13.71                           |                              |                                |
|  | M IV              | 93.40                        | 82.80                           | 12.80                           |                              |                                |
|  | M V               | 92.80                        | 81.70                           | 13.59                           |                              |                                |
| <b>Corte</b>                               | M I               | 32.50                        | 28.70                           | 13.24                           | 13.11                        | 0.21                           |
|  | M II              | 33.60                        | 29.70                           | 13.13                           |                              |                                |
|  | M III             | 35.40                        | 31.40                           | 12.74                           |                              |                                |
|  | M IV              | 39.80                        | 35.20                           | 13.07                           |                              |                                |
|  | M V               | 42.40                        | 37.40                           | 13.37                           |                              |                                |
| <b>Flexión</b>                             | M I               | 12.50                        | 11.00                           | 13.64                           | 13.07                        | 0.81                           |
|  | M II              | 12.50                        | 11.00                           | 13.64                           |                              |                                |
|  | M III             | 11.70                        | 10.30                           | 13.59                           |                              |                                |
|  | M IV              | 11.60                        | 10.40                           | 11.54                           |                              |                                |
|  | M V               | 12.20                        | 10.80                           | 12.96                           |                              |                                |

**Tabla 3.4** Contenido de humedad Mascarey

### 3.3 DENSIDAD

La densidad de un cuerpo es el cociente formado por masa y volumen. En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera.

Se establece las siguientes densidades de la madera, determinadas a partir del contenido de humedad de la pieza:

- **Densidad Anhidra:** relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra con la madera completamente seca.
- **Densidad Normal:** aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera con un contenido de humedad del 12%.
- **Densidad Básica:** relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con humedad igual o superior al 30%.
- **Densidad Nominal:** es la que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con un contenido de humedad del 12%.
- **Densidad de Referencia:** aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera ambos con igual contenido de humedad.



Fuentes (1990), menciona que la densidad verde, densidad básica, es útil cuando se desea saber cuanto pesará cierto volumen de madera, sobre todo, durante las operaciones de extracción y transporte de la madera con la finalidad de utilizar el debido equipo y maquinaria, mientras que la densidad climatizada, densidad normal, es útil cuando la madera se seca al aire libre o en estufa y se desea conocer su comportamiento bajo condiciones normales de uso que es aproximadamente del 12% de contenido de humedad y los valores anhidros son útiles en estudios tecnológicos donde se elimina la influencia de agua en la madera<sup>3</sup>.

Para el caso particular de la presente investigación se estudia la condición de **Densidad Normal**, debido a la necesidad de establecer las propiedades físicas de las maderas en estudio para un nivel de servicialidad, cumpliendo con los requisitos de las normas de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), y los Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM

### 3.3.1 ENSAYO

#### 3.3.1.1 ALCANCE

Densidad para los ensayos mecánicos y conocimiento de peso propio de las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey; después de la ejecución de cada uno de los mismos.

---

<sup>3</sup> J. A. Nájera Luna<sup>1</sup>, J. L. Escárpita Barraza<sup>2</sup>, J. A. Honorato Salazar<sup>3</sup>, F. J. Hernández<sup>1</sup>, J. de J. Graciano Luna<sup>1</sup> y R. de la Cruz Carrera<sup>4</sup>. 1959. "PROPIEDADES FISICOMECAÑICAS DE LA MADERA EN *Quercus sideroxylla* Hump & Bonpl. DE LA REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO". Pag 2 - 3.

### 3.3.1.2 OBJETIVO

Determinar la densidad de las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey.

### 3.3.1.3 INSTRUMENTAL

- **Balanza electrónica:** con una precisión de 0.1 g.
- **Probeta:** de 1000 mililitros de capacidad
- **Pinzas**

### 3.3.1.4 MATERIALES

- Probeta de madera tipo A
- Agua Destilada.
- Parafina.

### 3.3.1.5 PREPARACION DE LA PROBETA

Las probetas deberán poseer un contenido de humedad del  $12 \pm 2\%$ ; las dimensiones de las mismas serán de: 5 centímetros por 5 centímetros, por 15 centímetros, de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas Panamericanas, COPANT<sup>4</sup>; y Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM<sup>5</sup>. El método que se utilizó para el cálculo del peso específico aparente es el de inmersión en agua.

---

<sup>4</sup> **COPANT 461:** Método de determinación del peso específico aparente en maderas.



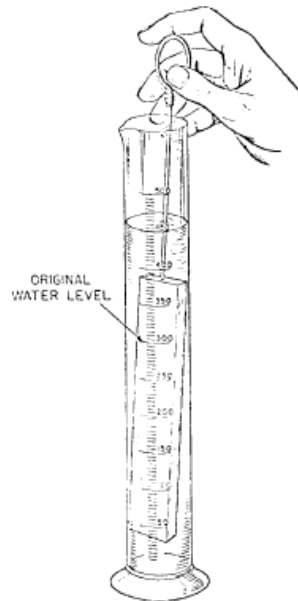
**Figura 3.3** Materiales para cálculo de densidad aparente

### 3.3.1.6 PROCEDIMIENTO

- Determinar el peso inicial del espécimen.
- El espécimen será bañado en parafina caliente antes de la determinación del volumen de la misma, para evitar la absorción de agua.
- Luego de haber sido sumergido en la parafina caliente, se volverá a pesar el espécimen, para de esta manera determinar el peso de la parafina adherida al elemento.
- Sumergir el espécimen en un recipiente alargado y graduado, que tenga la suficiente sección transversal para ingresar la muestra (Figura 3.4).
- Leer el nivel luego de haber sido ingresado del espécimen.

<sup>5</sup> ASTM D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

ASTM D2395: Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood – Based Materials



**Figura 3.4** Ilustración inmersión de muestra en agua

### 3.3.2 CALCULOS

La densidad de las probetas se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$sp - gr = \frac{KW}{V}$$

Donde:

sp gr = Densidad, en gr/cm<sup>3</sup>.

W: peso del espécimen al contenido de humedad deseado, en gramos

V: volumen del espécimen al contenido de humedad deseado, en cm<sup>3</sup>.

K: constante igual a 1, cuando W se expresa en gr. y V en cm<sup>3</sup>

|  | <b>GUAYACAN PECHICHE</b> |          |          |          |          |
|--|--------------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Muestra Número #</b>                      | <b>1</b>                 | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>Dimensiones</b>                           |                          |          |          |          |          |
| Altura (cm)                                  | 5.20                     | 5.35     | 5.20     | 5.35     | 5.31     |
| Ancho (cm)                                   | 5.36                     | 5.26     | 5.27     | 5.26     | 5.20     |
| Longitud (cm)                                | 15.40                    | 15.09    | 15.20    | 15.29    | 15.10    |
|  |                          |          |          |          |          |
| Volumen (cm <sup>3</sup> )                   | 426.00                   | 420.00   | 419.00   | 424.00   | 422.00   |
| Peso (gr)                                    | 372.84                   | 360.56   | 370.56   | 361.59   | 369.25   |
|  |                          |          |          |          |          |
| Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )               | 0.88                     | 0.86     | 0.88     | 0.85     | 0.88     |
| <b>Densidad Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>0.87</b>              |          |          |          |          |
| <b>Desviación Estándar</b>                   | <b>0.01</b>              |          |          |          |          |

**Tabla 3.5** Densidad Guayacán Pechiche

|  | <b>COLORADO</b> |          |          |          |          |
|--|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Muestra Número #</b>                      | <b>1</b>        | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>Dimensiones</b>                           |                 |          |          |          |          |
| Altura (cm)                                  | 5.26            | 5.32     | 5.19     | 5.35     | 5.31     |
| Ancho (cm)                                   | 5.36            | 5.29     | 5.36     | 5.36     | 5.29     |
| Longitud (cm)                                | 15.35           | 15.15    | 15.26    | 15.34    | 15.14    |
|  |                 |          |          |          |          |
| Volumen (cm <sup>3</sup> )                   | 432.00          | 438.00   | 435.00   | 434.00   | 440.00   |
| Peso (gr)                                    | 220.39          | 218.26   | 226.12   | 228.14   | 217.89   |
|  |                 |          |          |          |          |
| Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )               | 0.51            | 0.50     | 0.52     | 0.53     | 0.50     |
| <b>Densidad Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>0.51</b>     |          |          |          |          |
| <b>Desviación Estándar</b>                   | <b>0.01</b>     |          |          |          |          |

**Tabla 3.6** Densidad Colorado

|  | <b>SANDE</b> |          |          |          |          |
|--|--------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Muestra Número #</b>                      | <b>1</b>     | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>Dimensiones</b>                           |              |          |          |          |          |
| Altura (cm)                                  | 5.15         | 5.27     | 5.02     | 5.19     | 5.29     |
| Ancho (cm)                                   | 5.25         | 5.19     | 5.39     | 5.28     | 5.19     |
| Longitud (cm)                                | 15.35        | 15.20    | 15.30    | 15.34    | 15.14    |
| Volumen (cm <sup>3</sup> )                   | 414.00       | 426.00   | 420.00   | 421.00   | 418.00   |
| Peso (gr)                                    | 202.36       | 202.59   | 200.36   | 205.36   | 204.58   |
| Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )               | 0.49         | 0.48     | 0.48     | 0.49     | 0.49     |
| <b>Densidad Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>0.48</b>  |          |          |          |          |
| Desviación Estándar                          | <b>0.01</b>  |          |          |          |          |

**Tabla 3.7** Densidad Sande

|  | <b>MASCAREY</b> |          |          |          |          |
|--|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Muestra Número #</b>                      | <b>1</b>        | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>Dimensiones</b>                           |                 |          |          |          |          |
| Altura (cm)                                  | 5.26            | 5.32     | 5.19     | 5.35     | 5.31     |
| Ancho (cm)                                   | 5.36            | 5.29     | 5.36     | 5.36     | 5.29     |
| Longitud (cm)                                | 15.35           | 15.15    | 15.26    | 15.34    | 15.14    |
| Volumen (cm <sup>3</sup> )                   | 432.00          | 420.00   | 428.00   | 430.00   | 425.00   |
| Peso (gr)                                    | 285.69          | 283.96   | 280.56   | 283.59   | 286.45   |
| Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )               | 0.66            | 0.68     | 0.66     | 0.66     | 0.67     |
| <b>Densidad Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>0.67</b>     |          |          |          |          |
| Desviación Estándar                          | <b>0.01</b>     |          |          |          |          |

**Tabla 3.8** Densidad Mascarey

## **CAPÍTULO IV PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS TIPO A: GUAYACÁN PECHICHE, COLORADO, SANDE Y MASCAREY**

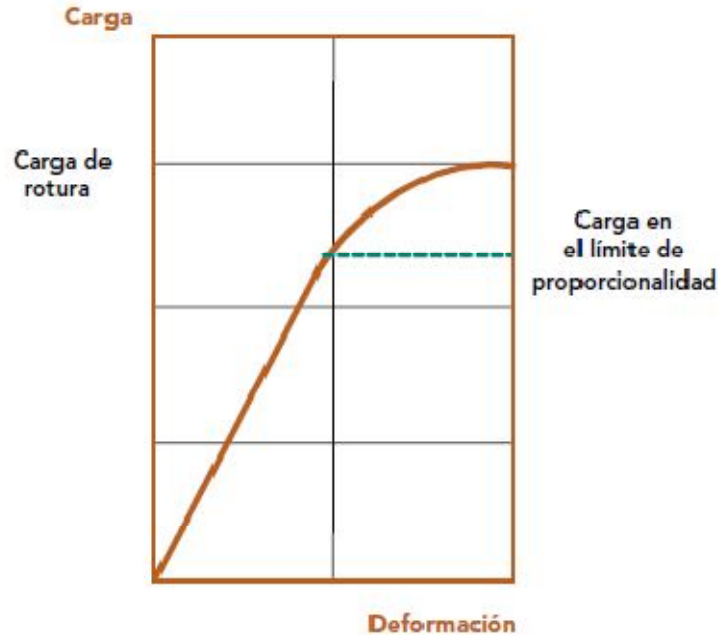
### **4.1 GENERALIDADES**

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida. El esfuerzo que soporta un cuerpo por unidad de superficie es la llamada tensión unitaria.

Cuando la carga aplicada a un cuerpo aumenta, se produce una deformación que se incrementa paulatinamente. Esta relación entre la carga aplicada y la deformación que sufre un cuerpo se puede representar gráficamente por una recta (Figura 4.1), hasta el punto donde se inicia el límite elástico del material ensayado. Si se sigue aumentando la carga, se logra la rotura del material.

El límite elástico se define como el esfuerzo por unidad de superficie, en que la deformación aumenta en mayor proporción que la carga que se aplica.



**Figura 4.1** Gráfica Carga – Deformación

El esfuerzo necesario para solicitar un material hasta el límite elástico, determina la tensión en el límite de proporcionalidad, que es la carga máxima a que se puede someter sin que se produzcan deformaciones permanentes.

La rigidez de un cuerpo se define como la propiedad que tiene para resistir la deformación al ser solicitado por fuerzas externas. La medida de rigidez de la madera se conoce como módulo de elasticidad o coeficiente de elasticidad, calculado por la razón entre esfuerzo por unidad de superficie y deformación por unidad de longitud. Cuando la carga resulta mayor a la del límite elástico, la pieza continúa deformándose hasta llegar a colapsar, obteniendo la tensión de rotura de la pieza de madera.



Las principales propiedades resistentes de la madera son: resistencia a la compresión paralela y perpendicular al grano, resistencia a la tracción paralela y perpendicular al grano, resistencia al corte paralelo al grano y flexión estática.

Los ensayos de resistencia a las solicitaciones antes mencionadas, se han realizado bajo las normas de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas, COPANT, y los Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM; las mismas que detallan características de muestras, materiales, equipos y procedimientos para obtener los esfuerzos últimos, al igual que el módulo de elasticidad mínimo y promedio para las especies de madera tipo A en estudio. Características de los materiales necesarios para realizar el cálculo estructural a través de ETABS.

Los métodos establecidos dentro de las normas anteriormente mencionadas son la consecuencia de la experiencia obtenida gracias a miles de ensayos realizados por el Departamento Forestal de Estados Unidos (U.S. Forest Service), del antiguo Laboratorio de Productos Forestales de Canadá (Forest Products Laboratories of Canada), ahora el Forintek Canada Corp.; y organizaciones americanas y europeas similares. El uso general de estos ensayos busca generar una unificación mundial de resultados e información acerca de las diferentes especies de madera a nivel mundial.

Las probetas para los diferentes ensayos mecánicos deberán ser secadas al aire hasta alcanzar un estado de masa constante, con un contenido de humedad entre el 12 al 15%. Al momento de realizar los ensayos, las probetas se deberán ensayar a una temperatura ambiental del  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

## 4.2 COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección paralela a las fibras, la que se realiza en columnas cortas para determinar la tensión de rotura, tensión en el límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad.

La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Esta proviene del hecho que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o que está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. Esta es la capa de mayor espesor de las fibras. La resistencia a la compresión paralela a las fibras, en la madera, es aproximadamente la mitad que su resistencia a la tracción.



**Figura 4.2** Esquema de ensayo de compresión paralela a las fibras

#### 4.2.1 ENSAYO

##### 4.2.1.1 ALCANCE

Obtención de esfuerzo último para compresión paralela a la fibra, y módulo de elasticidad de las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey; controlando factores como son el contenido de humedad, temperatura del ambiente y dimensiones de probetas.

##### 4.2.1.2 OBJETIVO

Realizar los ensayos de laboratorio correspondientes según las normas COPANT y ASTM para determinar el esfuerzo último para compresión paralela a la fibra, y módulo de elasticidad de las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey.

##### 4.2.1.3 INSTRUMENTAL

- **Prensa:** máquina de ensayo universal, provista de mecanismo que permita regular la velocidad de ascenso del tambor.
- **Calibrador:** con precisión de 0.01 mm.
- **Deflectómetro:** en caso de que la prensa provista no tenga los dispositivos necesarios para registrar las deflexiones en la probeta, será necesario la colocación extra de un dispositivo que sea capaz de medir la misma.

##### 4.2.1.4 MATERIALES

- Probeta de madera tipo A



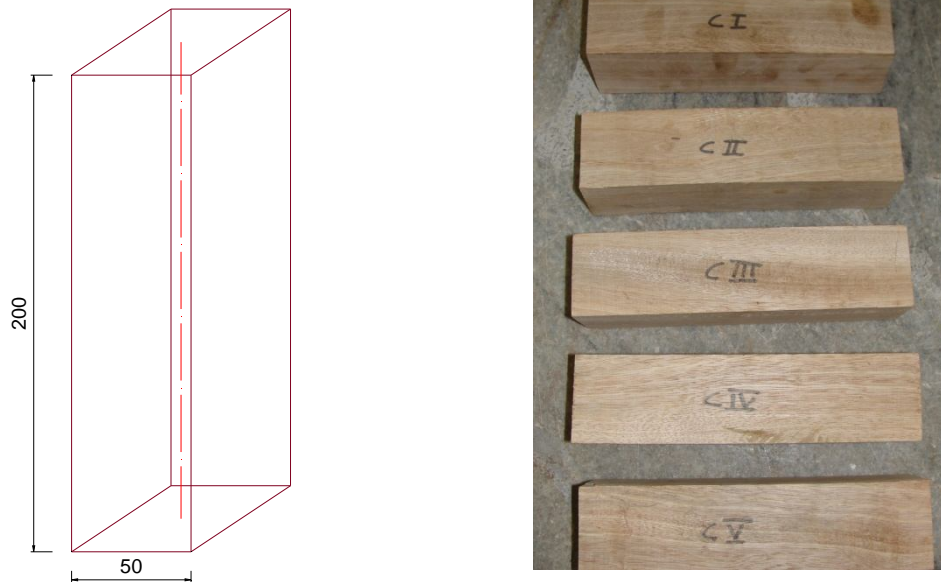
**Figura 4.3** Prensa de compresión lista para ensayo

#### **4.2.1.5 PREPARACION DE LA PROBETA**

Las probetas son de forma prismática con sección rectangular de 5 centímetros por 5 centímetros, y una longitud de 20 centímetros (Figura 4.4), de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas Panamericanas, COPANT<sup>6</sup>; y Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM<sup>7</sup>. Se debe tener especial cuidado en la preparación de estas probetas, y asegurar que los extremos de las probetas sean paralelos entre si, y en ángulo recto al eje longitudinal. El eje longitudinal de la probeta debe ser paralelo a la dirección general del grano. En los extremos de las probetas se debe colocar placas para ayudar a distribuir uniformemente la carga.

<sup>6</sup> **COPANT 464:** Métodos de ensayo de la compresión axial o paralela al grano

<sup>7</sup> **ASTM D143:** Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber



**Figura 4.4** Probeta para compresión paralela al grano

#### 4.2.1.6 PROCEDIMIENTO

- Se miden el ancho útil y altura de la probeta en su sección transversal, y su longitud, con una precisión de 0.01 mm.
- A continuación se coloca el deflectómetro,
- Se aplica la carga en forma continua sobre los extremos del prisma durante todo el ensayo, con una velocidad de 0.6 mm/min para la probeta de 5 centímetros por 5 centímetros.
- Se hace una descripción de la falla de la probeta. Para obtener resultados confiables es necesario que las roturas se produzcan en el centro de la probeta.
- Se anota la carga máxima obtenida cuando falla la probeta.

#### 4.2.1.7 TIPOS DE FALLAS

A continuación se muestra los tipos de fallas producidos por el ensayo de compresión paralela al grano:



**Aplastante (Crushing):** Este término debe ser usado cuando el plano de ruptura es aproximadamente horizontal



**Cuña partida (Wedge splits):** la dirección de la rajadura debe ser anotada así sea radial o tangencial.



**Corte (Shearing):** este término debe ser utilizado cuando el plano de ruptura genera un ángulo de más de 45 grados con la parte superior de la muestra



**Partición (Splitting):** este tipo de fallas ocurre frecuentemente en probetas que poseen defectos internos previos al ensayo, lo cual debe ser una base para la selección de la muestra.



**Compresión y corte paralelo a la fibra:** este tipo de fallas ocurre en muestras con secciones transversales en contra fibra.



**Astillado (Brooming or End rolling):** este tipo de falla es asociado con el exceso de humedad en los extremos de las probetas, incorrecto corte de la probeta, o ambos. Este no es un tipo de falla aceptable; se lo asocia con una carga reducida.

Figura 4.5 Tipos de fallas a compresión



**Figura 4.6** Falla por corte diagonal

#### **4.2.2 CALCULOS**

El esfuerzo último se debe calcular mediante el uso de la siguiente fórmula:

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

Donde:

$\sigma_{ult}$  : esfuerzo último a compresión perpendicular, en kg/cm<sup>2</sup>

$F_{ult}$  : carga de rotura, en kg

A : sección de falla por compresión, en cm<sup>2</sup>

Para calcular el Módulo de Elasticidad a compresión de una probeta analizada, se debe realizar un cuadro que analice la carga y la deformación de la probeta, que se transformará en esfuerzo y deformación unitaria. A través de la fórmula de la Ley de Hooke se establecerá el Módulo de Elasticidad:

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Donde:

$\sigma$  : esfuerzo en kg/cm<sup>2</sup>

E: módulo de Elasticidad en kg/cm<sup>2</sup>

$\varepsilon$  : deformación unitaria



| <b>COMPRESION PARALELA A LA FIBRA</b>        |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>GUAYACÁN PECHICHE</b>                     |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>G I</b> | <b>G II</b> | <b>G III</b> | <b>G IV</b> | <b>G V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 49.86      | 50.11       | 50.17        | 49.91       | 50.04      |
| Altura (mm)                                  | 50.19      | 50.06       | 50.00        | 50.25       | 50.08      |
| Longitud (mm)                                | 20.00      | 20.00       | 20.00        | 20.00       | 20.00      |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 25.02      | 25.09       | 25.09        | 25.08       | 25.06      |
| Fuerza (kg)                                  | 25721.00   | 20271.00    | 19795.00     | 24992.00    | 25927.00   |
| Fuerza (N)                                   | 252323.01  | 198858.51   | 194188.95    | 245171.52   | 254343.87  |
| Tipo de falla:                               | Corte      | Aplastante  | Partición    | Corte       | Corte      |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 100.84     | 79.27       | 77.41        | 97.76       | 101.49     |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 91.36      |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 10.72      |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 931.25     |             |              |             |            |

**Tabla 4.1** Esfuerzo último a compresión paralela al grano – Guayacán Pechiche

| <b>COMPRESION PARALELA A LA FIBRA</b>        |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>COLORADO</b>                              |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>C I</b> | <b>C II</b> | <b>C III</b> | <b>C IV</b> | <b>C V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 50.20      | 50.38       | 50.20        | 50.56       | 50.35      |
| Altura (mm)                                  | 50.25      | 50.38       | 50.36        | 50.33       | 50.20      |
| Longitud (mm)                                | 200.00     | 200.00      | 200.00       | 200.00      | 200.00     |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 25.23      | 25.38       | 25.28        | 25.44       | 25.28      |
| Fuerza (kg)                                  | 11092.00   | 9935.00     | 10401.00     | 10638.00    | 9252.00    |
| Fuerza (N)                                   | 108812.52  | 97462.35    | 102033.81    | 104358.78   | 90762.12   |
| Tipo de falla:                               | Corte      | Corte       | Corte        | Corte       | Aplastante |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 43.14      | 38.41       | 40.36        | 41.01       | 35.91      |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 39.77      |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 2.45       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 405.36     |             |              |             |            |

**Tabla 4.2** Esfuerzo último a compresión paralela al grano – Colorado

| <b>COMPRESION PARALELA A LA FIBRA</b>        |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>SANDE</b>                                 |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>S I</b> | <b>S II</b> | <b>S III</b> | <b>S IV</b> | <b>S V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 50.04      | 49.91       | 49.75        | 49.79       | 49.91      |
| Altura (mm)                                  | 50.09      | 50.08       | 50.07        | 49.86       | 49.98      |
| Longitud (mm)                                | 200.00     | 200.00      | 200.00       | 200.00      | 200.00     |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 25.06      | 24.99       | 24.91        | 24.82       | 24.94      |
| Fuerza (kg)                                  | 11108.00   | 11454.00    | 11327.00     | 11067.00    | 11084.00   |
| Fuerza (N)                                   | 108969.48  | 112363.74   | 111117.87    | 108567.27   | 108734.04  |
| Tipo de falla:                               | Corte      | Corte       | Corte        | Corte       | Corte      |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 43.48      | 44.96       | 44.61        | 43.74       | 43.59      |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 44.08      |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 0.59       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 449.31     |             |              |             |            |

**Tabla 4.3** Esfuerzo último a compresión paralela al grano – Sande

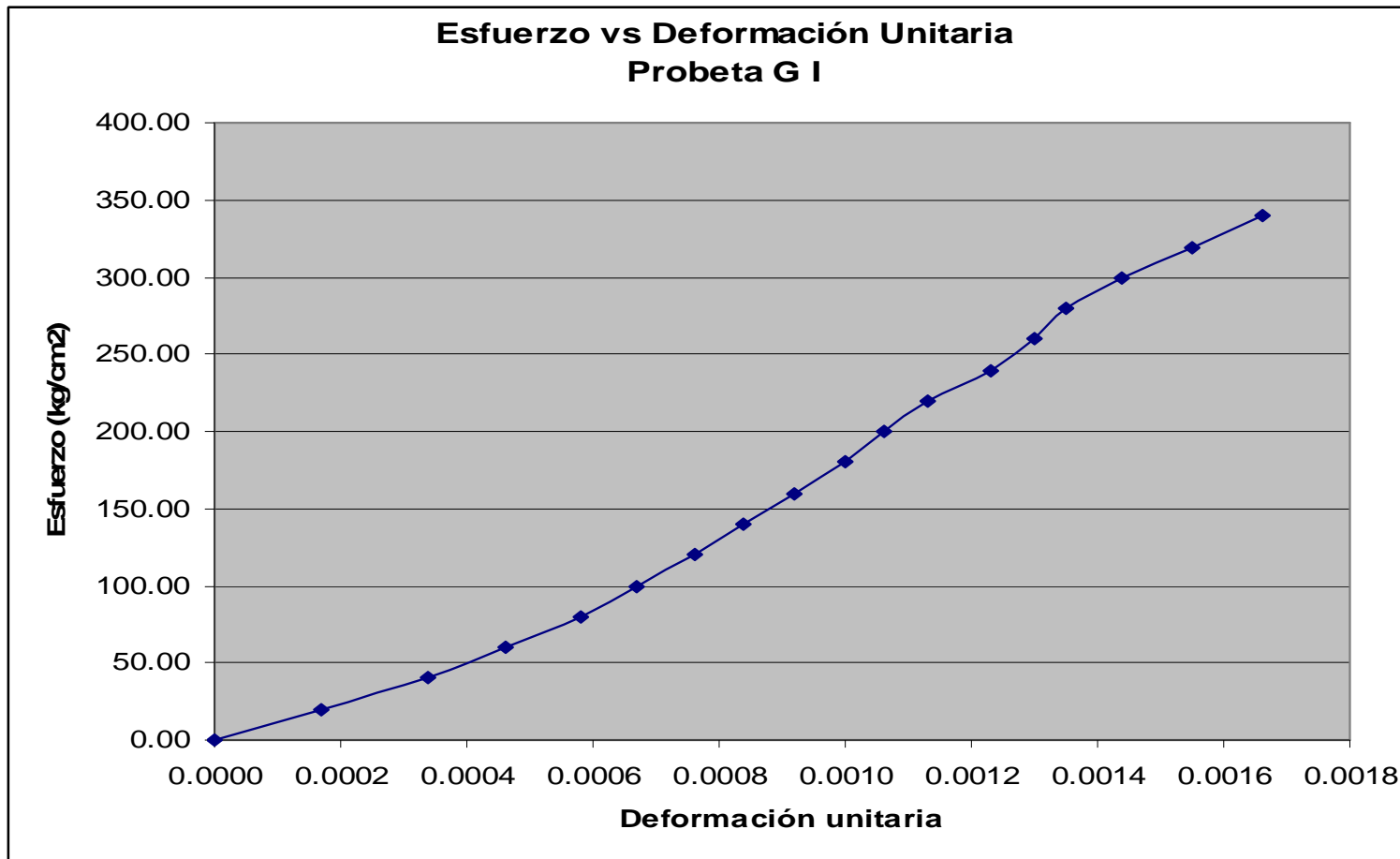
| <b>COMPRESION PARALELA A LA FIBRA</b>        |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>MASCAREY</b>                              |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>M I</b> | <b>M II</b> | <b>M III</b> | <b>M IV</b> | <b>M V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 50.53      | 50.19       | 50.18        | 50.15       | 50.21      |
| Altura (mm)                                  | 50.32      | 50.22       | 50.19        | 50.25       | 50.01      |
| Longitud (mm)                                | 200.00     | 200.00      | 200.00       | 200.00      | 200.00     |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 25.42      | 25.20       | 25.18        | 25.20       | 25.11      |
| Fuerza (kg)                                  | 13250.00   | 12799.00    | 13949.00     | 13170.00    | 12855.00   |
| Fuerza (N)                                   | 129982.50  | 125558.19   | 136839.69    | 129197.70   | 126107.55  |
| Tipo de falla:                               | Corte      | Aplastante  | Corte        | Corte       | Corte      |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 51.13      | 49.82       | 54.34        | 51.27       | 50.22      |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 51.36      |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 1.59       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 523.51     |             |              |             |            |

**Tabla 4.4** Esfuerzo último a compresión paralela al grano – Mascarey

| MODULO DE ELASTICIDAD - PROBETA G I |       |          |                    |          |                       |        |        |            |          |                       |
|-------------------------------------|-------|----------|--------------------|----------|-----------------------|--------|--------|------------|----------|-----------------------|
| P                                   | P     | $\delta$ | Área               | $\sigma$ | $\sigma$              | Lo     | Lf     | $\epsilon$ | E        | E                     |
| (kg)                                | (N)   | (mm)     | (mm <sup>2</sup> ) | (MPa)    | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (mm)   | (mm)   |            | (MPa)    | (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 0                                   | 0     | 0.00     | 2502.22            | 0.000    | 0.000                 | 200.00 | 200.00 | 0.0000     | 0.00     | 0.00                  |
| 500                                 | 4900  | 0.03     | 2502.22            | 1.958    | 19.974                | 200.00 | 199.83 | 0.000170   | 11519.17 | 117495.55             |
| 1000                                | 9800  | 0.07     | 2502.22            | 3.917    | 39.948                | 200.00 | 199.66 | 0.000340   | 11519.17 | 117495.55             |
| 1500                                | 14700 | 0.09     | 2502.22            | 5.875    | 59.923                | 200.00 | 199.54 | 0.000460   | 12771.26 | 130266.80             |
| 2000                                | 19600 | 0.12     | 2502.22            | 7.833    | 79.897                | 200.00 | 199.42 | 0.000580   | 13505.24 | 137753.40             |
| 2500                                | 24500 | 0.13     | 2502.22            | 9.791    | 99.871                | 200.00 | 199.33 | 0.000670   | 14613.87 | 149061.52             |
| 3000                                | 29400 | 0.15     | 2502.22            | 11.750   | 119.845               | 200.00 | 199.24 | 0.000760   | 15459.94 | 157691.39             |
| 3500                                | 34300 | 0.17     | 2502.22            | 13.708   | 139.820               | 200.00 | 199.16 | 0.000840   | 16318.83 | 166452.03             |
| 4000                                | 39200 | 0.18     | 2502.22            | 15.666   | 159.794               | 200.00 | 199.08 | 0.000920   | 17028.34 | 173689.07             |
| 4500                                | 44100 | 0.20     | 2502.22            | 17.624   | 179.768               | 200.00 | 199.00 | 0.001000   | 17624.33 | 179768.19             |
| 5000                                | 49000 | 0.21     | 2502.22            | 19.583   | 199.742               | 200.00 | 198.94 | 0.001060   | 18474.14 | 188436.26             |
| 5500                                | 53900 | 0.23     | 2502.22            | 21.541   | 219.717               | 200.00 | 198.87 | 0.001130   | 19062.70 | 194439.54             |
| 6000                                | 58800 | 0.25     | 2502.22            | 23.499   | 239.691               | 200.00 | 198.77 | 0.001230   | 19104.97 | 194870.67             |
| 6500                                | 63700 | 0.26     | 2502.22            | 25.457   | 259.665               | 200.00 | 198.70 | 0.001300   | 19582.59 | 199742.43             |
| 7000                                | 68600 | 0.27     | 2502.22            | 27.416   | 279.639               | 200.00 | 198.65 | 0.001350   | 20307.87 | 207140.30             |
| 7500                                | 73500 | 0.29     | 2502.22            | 29.374   | 299.614               | 200.00 | 198.56 | 0.001440   | 20398.53 | 208065.03             |
| 8000                                | 78400 | 0.31     | 2502.22            | 31.332   | 319.588               | 200.00 | 198.45 | 0.001550   | 20214.29 | 206185.74             |
| 8500                                | 83300 | 0.33     | 2502.22            | 33.290   | 339.562               | 200.00 | 198.34 | 0.001660   | 20054.46 | 204555.50             |

**Tabla 4.5** Módulo de elasticidad a compresión paralela al grano – Probeta G I

|   |           |
|---|-----------|
| <b>E<sub>prom</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 172535.82 |
| <b>E<sub>min</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 117495.55 |

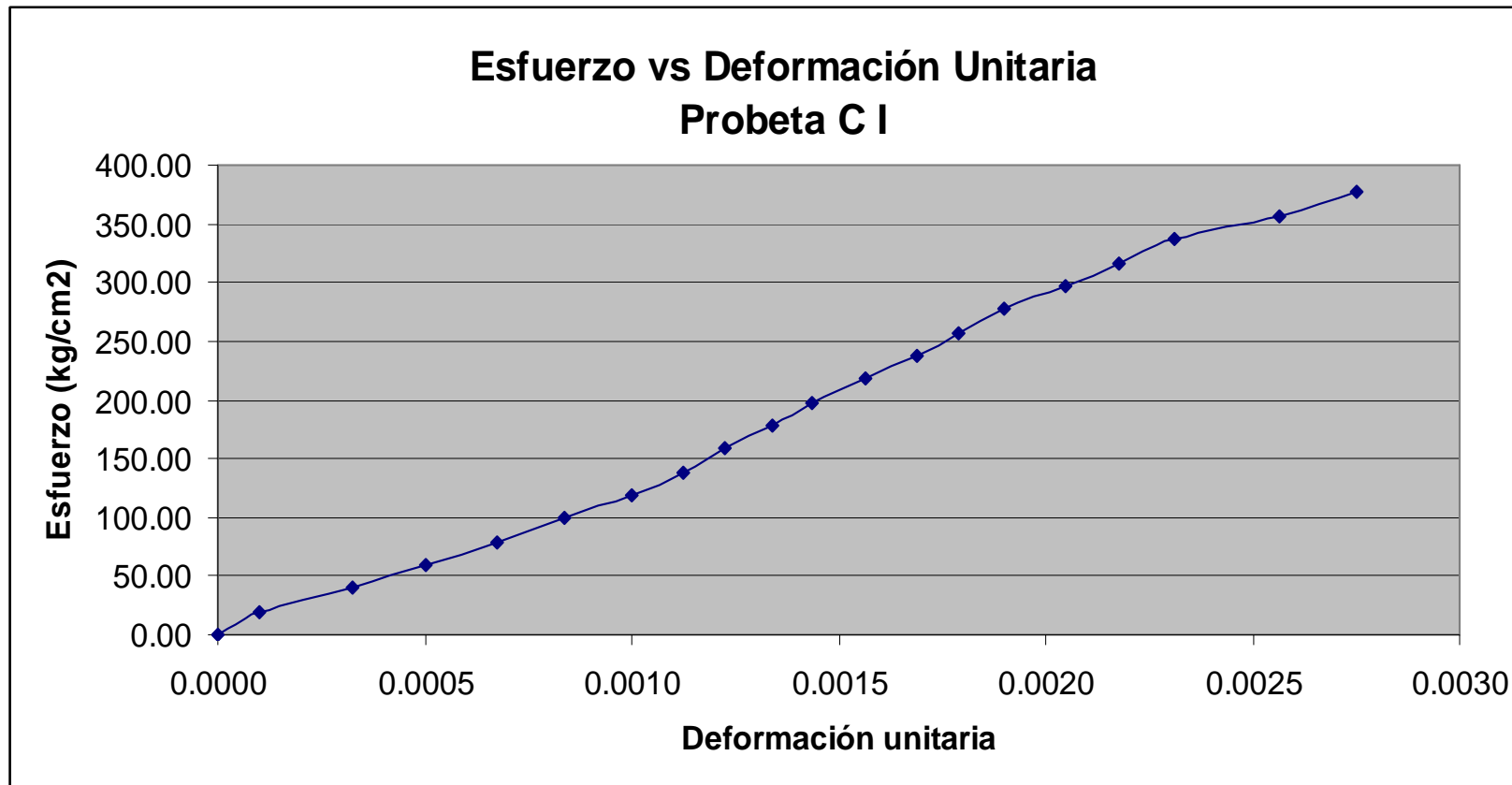


**Cuadro 4.1** Módulo de elasticidad a compresión paralela al grano – Probeta G I

| MODULO DE ELASTICIDAD - PROBETA C I |       |          |                    |          |                       |        |        |            |          |                       |
|-------------------------------------|-------|----------|--------------------|----------|-----------------------|--------|--------|------------|----------|-----------------------|
| P                                   | P     | $\delta$ | Área               | $\sigma$ | $\sigma$              | Lo     | Lf     | $\epsilon$ | E        | E                     |
| (kg)                                | (N)   | (mm)     | (mm <sup>2</sup> ) | (MPa)    | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (mm)   | (mm)   |            | (MPa)    | (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 0                                   | 0     | 0.00     | 2522.55            | 0.000    | 0.000                 | 200.00 | 200.00 | 0.0000     | 0.00     | 0.00                  |
| 500                                 | 4900  | 0.02     | 2522.55            | 1.942    | 19.813                | 200.00 | 199.92 | 0.000100   | 19424.79 | 198132.84             |
| 1000                                | 9800  | 0.07     | 2522.55            | 3.885    | 39.627                | 200.00 | 199.74 | 0.000325   | 11953.72 | 121927.90             |
| 1500                                | 14700 | 0.10     | 2522.55            | 5.827    | 59.440                | 200.00 | 199.60 | 0.000500   | 11654.87 | 118879.71             |
| 2000                                | 19600 | 0.14     | 2522.55            | 7.770    | 79.253                | 200.00 | 199.46 | 0.000675   | 11510.99 | 117412.05             |
| 2500                                | 24500 | 0.17     | 2522.55            | 9.712    | 99.066                | 200.00 | 199.33 | 0.000838   | 11596.89 | 118288.26             |
| 3000                                | 29400 | 0.20     | 2522.55            | 11.655   | 118.880               | 200.00 | 199.20 | 0.001000   | 11654.87 | 118879.71             |
| 3500                                | 34300 | 0.23     | 2522.55            | 13.597   | 138.693               | 200.00 | 199.10 | 0.001125   | 12086.54 | 123282.66             |
| 4000                                | 39200 | 0.25     | 2522.55            | 15.540   | 158.506               | 200.00 | 199.02 | 0.001225   | 12685.58 | 129392.88             |
| 4500                                | 44100 | 0.27     | 2522.55            | 17.482   | 178.320               | 200.00 | 198.93 | 0.001338   | 13070.89 | 133323.03             |
| 5000                                | 49000 | 0.29     | 2522.55            | 19.425   | 198.133               | 200.00 | 198.85 | 0.001438   | 13512.90 | 137831.54             |
| 5500                                | 53900 | 0.31     | 2522.55            | 21.367   | 217.946               | 200.00 | 198.75 | 0.001563   | 13675.05 | 139485.52             |
| 6000                                | 58800 | 0.34     | 2522.55            | 23.310   | 237.759               | 200.00 | 198.65 | 0.001688   | 13813.18 | 140894.47             |
| 6500                                | 63700 | 0.36     | 2522.55            | 25.252   | 257.573               | 200.00 | 198.57 | 0.001788   | 14127.12 | 144096.61             |
| 7000                                | 68600 | 0.38     | 2522.55            | 27.195   | 277.386               | 200.00 | 198.48 | 0.001900   | 14313.00 | 145992.62             |
| 7500                                | 73500 | 0.41     | 2522.55            | 29.137   | 297.199               | 200.00 | 198.36 | 0.002050   | 14213.26 | 144975.25             |
| 8000                                | 78400 | 0.44     | 2522.55            | 31.080   | 317.013               | 200.00 | 198.26 | 0.002175   | 14289.50 | 145752.90             |
| 8500                                | 83300 | 0.46     | 2522.55            | 33.022   | 336.826               | 200.00 | 198.15 | 0.002313   | 14279.84 | 145654.41             |
| 9000                                | 88200 | 0.51     | 2522.55            | 34.965   | 356.639               | 200.00 | 197.95 | 0.002563   | 13644.73 | 139176.24             |
| 9500                                | 93100 | 0.55     | 2522.55            | 36.907   | 376.452               | 200.00 | 197.80 | 0.002750   | 13420.76 | 136891.78             |

**Tabla 4.6** Módulo de elasticidad a compresión paralela al grano – Probeta C I

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| <b>Eprom (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 133452.09 |
| <b>Emin (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 117412.05 |

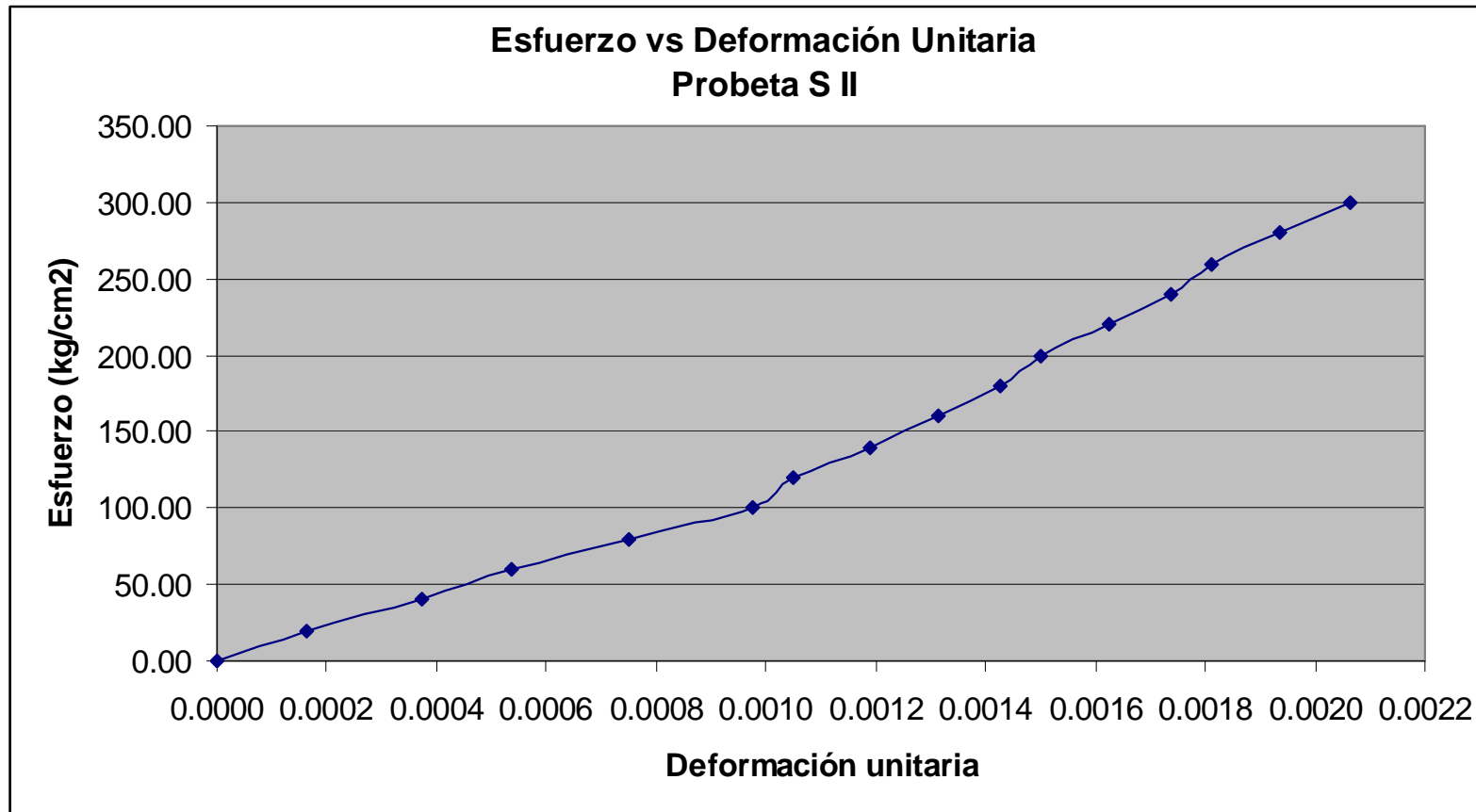


**Cuadro 4.2** Módulo de elasticidad a compresión paralela al grano – Probeta C I

| MODULO DE ELASTICIDAD - PROBETA S II |       |          |                    |          |                       |        |        |            |          |                       |
|--------------------------------------|-------|----------|--------------------|----------|-----------------------|--------|--------|------------|----------|-----------------------|
| P                                    | P     | $\delta$ | Área               | $\sigma$ | $\sigma$              | Lo     | Lf     | $\epsilon$ | E        | E                     |
| (kg)                                 | (N)   | (mm)     | (mm <sup>2</sup> ) | (MPa)    | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (mm)   | (mm)   |            | (MPa)    | (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 0                                    | 0     | 0.00     | 2499.24            | 0.000    | 0.000                 | 200.00 | 200.00 | 0.0000     | 0        |                       |
| 500                                  | 4900  | 0.03     | 2499.24            | 1.961    | 19.998                | 200.00 | 199.87 | 0.000163   | 12065.19 | 123064.94             |
| 1000                                 | 9800  | 0.08     | 2499.24            | 3.921    | 39.996                | 200.00 | 199.70 | 0.000375   | 10456.50 | 106656.28             |
| 1500                                 | 14700 | 0.11     | 2499.24            | 5.882    | 59.994                | 200.00 | 199.57 | 0.000538   | 10942.85 | 111617.04             |
| 2000                                 | 19600 | 0.15     | 2499.24            | 7.842    | 79.992                | 200.00 | 199.40 | 0.000750   | 10456.50 | 106656.28             |
| 2500                                 | 24500 | 0.20     | 2499.24            | 9.803    | 99.990                | 200.00 | 199.22 | 0.000975   | 10054.33 | 102554.12             |
| 3000                                 | 29400 | 0.21     | 2499.24            | 11.764   | 119.988               | 200.00 | 199.16 | 0.001050   | 11203.39 | 114274.59             |
| 3500                                 | 34300 | 0.24     | 2499.24            | 13.724   | 139.986               | 200.00 | 199.05 | 0.001188   | 11557.18 | 117883.26             |
| 4000                                 | 39200 | 0.26     | 2499.24            | 15.685   | 159.984               | 200.00 | 198.95 | 0.001313   | 11950.28 | 121892.90             |
| 4500                                 | 44100 | 0.29     | 2499.24            | 17.645   | 179.982               | 200.00 | 198.86 | 0.001425   | 12382.70 | 126303.50             |
| 5000                                 | 49000 | 0.30     | 2499.24            | 19.606   | 199.981               | 200.00 | 198.80 | 0.001500   | 13070.62 | 133320.36             |
| 5500                                 | 53900 | 0.33     | 2499.24            | 21.567   | 219.979               | 200.00 | 198.70 | 0.001625   | 13271.71 | 135371.44             |
| 6000                                 | 58800 | 0.35     | 2499.24            | 23.527   | 239.977               | 200.00 | 198.61 | 0.001738   | 13540.79 | 138116.05             |
| 6500                                 | 63700 | 0.36     | 2499.24            | 25.488   | 259.975               | 200.00 | 198.55 | 0.001813   | 14062.19 | 143434.31             |
| 7000                                 | 68600 | 0.39     | 2499.24            | 27.448   | 279.973               | 200.00 | 198.45 | 0.001938   | 14166.87 | 144502.06             |
| 7500                                 | 73500 | 0.41     | 2499.24            | 29.409   | 299.971               | 200.00 | 198.35 | 0.002063   | 14258.86 | 145440.39             |

**Tabla 4.7** Módulo de elasticidad a compresión paralela al grano – Probeta S II

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| <b>Eprom (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 124858.76 |
| <b>Emin (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 102554.12 |



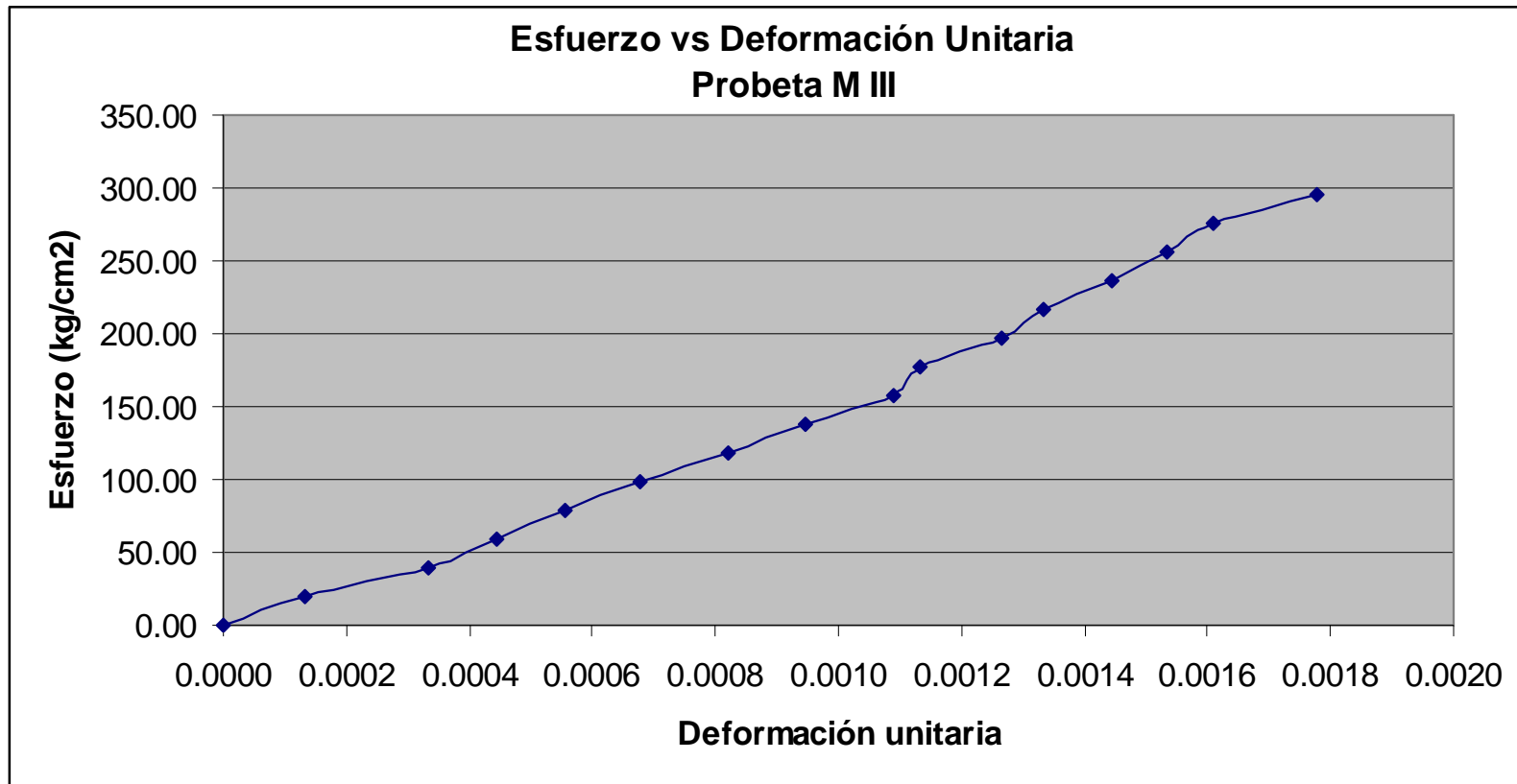
**Cuadro 4.3** Módulo de elasticidad a compresión paralela al grano – Probeta S II



| MODULO DE ELASTICIDAD - PROBETA M III |       |          |                    |          |                       |        |        |            |          |                       |
|---------------------------------------|-------|----------|--------------------|----------|-----------------------|--------|--------|------------|----------|-----------------------|
| P                                     | P     | $\delta$ | Área               | $\sigma$ | $\sigma$              | Lo     | Lf     | $\epsilon$ | E        | E                     |
| (kg)                                  | (N)   | (mm)     | (mm <sup>2</sup> ) | (MPa)    | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (mm)   | (mm)   |            | (MPa)    | (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 0                                     | 0     | 0.00     | 2542.42            | 0.000    | 0.000                 | 200.00 | 200.00 | 0.0000     | 0        | 0                     |
| 500                                   | 4900  | 0.03     | 2542.42            | 1.927    | 19.66                 | 200.00 | 199.88 | 0.000133   | 14454.74 | 147438.38             |
| 1000                                  | 9800  | 0.07     | 2542.42            | 3.855    | 39.32                 | 200.00 | 199.70 | 0.000333   | 11563.79 | 117950.71             |
| 1500                                  | 14700 | 0.09     | 2542.42            | 5.782    | 58.98                 | 200.00 | 199.60 | 0.000444   | 13009.27 | 132694.55             |
| 2000                                  | 19600 | 0.11     | 2542.42            | 7.709    | 78.63                 | 200.00 | 199.50 | 0.000556   | 13876.55 | 141540.85             |
| 2500                                  | 24500 | 0.14     | 2542.42            | 9.636    | 98.29                 | 200.00 | 199.39 | 0.000678   | 14217.78 | 145021.36             |
| 3000                                  | 29400 | 0.16     | 2542.42            | 11.564   | 117.95                | 200.00 | 199.26 | 0.000822   | 14064.07 | 143453.56             |
| 3500                                  | 34300 | 0.19     | 2542.42            | 13.491   | 137.61                | 200.00 | 199.15 | 0.000944   | 14284.69 | 145703.81             |
| 4000                                  | 39200 | 0.22     | 2542.42            | 15.418   | 157.27                | 200.00 | 199.02 | 0.001089   | 14159.75 | 144429.44             |
| 4500                                  | 44100 | 0.23     | 2542.42            | 17.346   | 176.93                | 200.00 | 198.98 | 0.001133   | 15305.02 | 156111.23             |
| 5000                                  | 49000 | 0.25     | 2542.42            | 19.273   | 196.58                | 200.00 | 198.86 | 0.001267   | 15215.52 | 155198.30             |
| 5500                                  | 53900 | 0.27     | 2542.42            | 21.200   | 216.24                | 200.00 | 198.80 | 0.001333   | 15900.22 | 162182.22             |
| 6000                                  | 58800 | 0.29     | 2542.42            | 23.128   | 235.90                | 200.00 | 198.70 | 0.001444   | 16011.41 | 163316.36             |
| 6500                                  | 63700 | 0.31     | 2542.42            | 25.055   | 255.56                | 200.00 | 198.62 | 0.001533   | 16340.14 | 166669.48             |
| 7000                                  | 68600 | 0.32     | 2542.42            | 26.982   | 275.22                | 200.00 | 198.55 | 0.001611   | 16747.56 | 170825.16             |
| 7500                                  | 73500 | 0.36     | 2542.42            | 28.909   | 294.88                | 200.00 | 198.40 | 0.001778   | 16261.59 | 165868.18             |

**Tabla 4.8** Módulo de elasticidad a compresión paralela al grano – Probeta M III

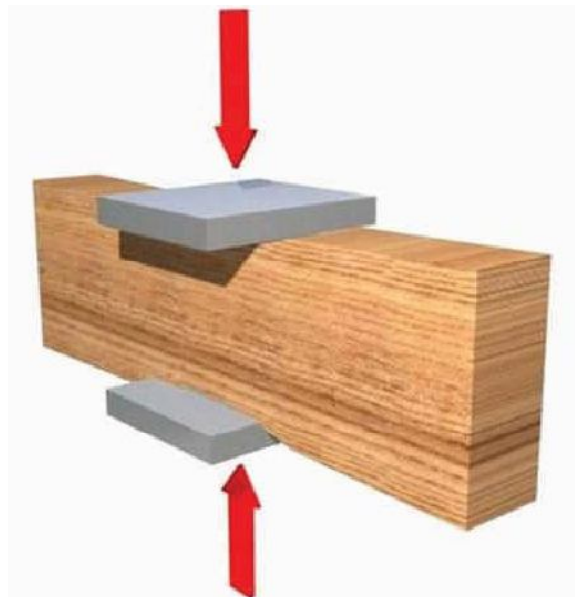
|   |           |
|---|-----------|
| <b>E<sub>prom</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 150560.24 |
| <b>E<sub>min</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 117950.71 |



**Cuadro 4.4** Módulo de elasticidad a compresión paralela al grano – Probeta M III

### **4.3 COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA**

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección normal a las fibras, aplicada en una cara radial, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad y tensión máxima.



**Figura 4.7** Esquema de Ensayo de Compresión Perpendicular a la Fibra

#### **4.3.1 ENSAYO**

##### **4.3.1.1 ALCANCE**

Obtención de esfuerzo último para compresión perpendicular a la fibra que soportan las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey; controlando factores como son el contenido de humedad, temperatura del ambiente y dimensiones de probetas.

#### 4.3.1.2 OBJETIVO

Realizar los ensayos de laboratorio correspondientes según las normas COPANT y ASTM para determinar el esfuerzo último para compresión perpendicular a la fibra, y módulo de elasticidad de las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey.

#### 4.3.1.3 INSTRUMENTAL

- **Prensa:** provista de regulador de la velocidad para ascenso del tambor.
- **Deflectómetro:** en caso de que la prensa provista no tenga los dispositivos necesarios para registrar las deflexiones en la probeta, será necesario la colocación extra de un dispositivo que sea capaz de medir la misma.
- **Placa de acero:** de 5 centímetros por 5 centímetros con un espesor de 0.5 centímetros.



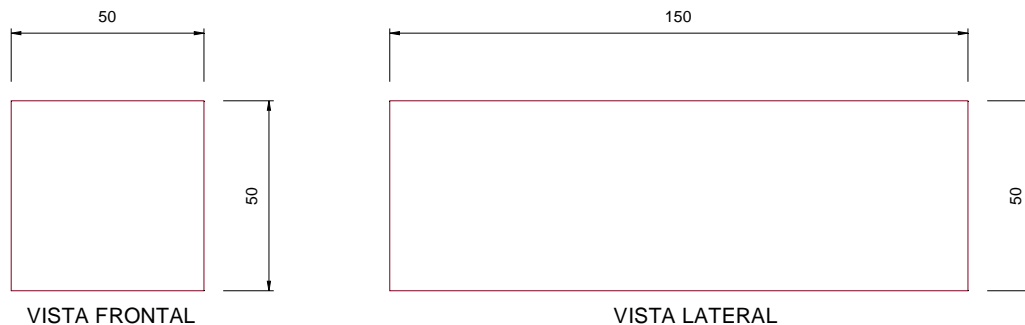
**Figura 4.8** Prensa de compresión lista para ensayo

#### 4.3.1.4 MATERIALES

- Probeta de madera tipo A

#### 4.3.1.5 PREPARACION DE LA PROBETA

Las dimensiones de las mismas serán de: 5 centímetros por 5 centímetros, en su sección transversal, y de 15 centímetros de longitud, de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas Panamericanas, COPANT<sup>8</sup>; y Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM<sup>9</sup>; la probeta no deberá tener: nudos sueltos, rajaduras, grietas, fibras hinchadas, perforaciones, alabeos; puesto que las mismas comprometerán la confiabilidad del ensayo.



**Figura 4.9** Dimensiones de Compresión Perpendicular

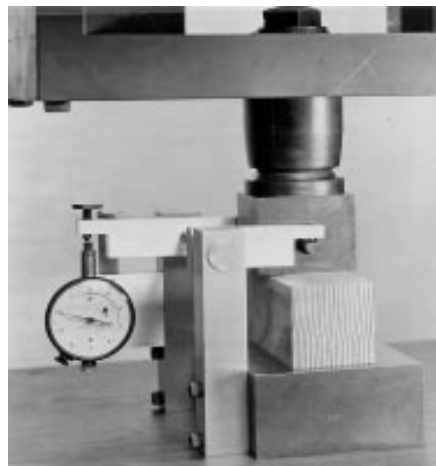
#### 4.3.1.6 PROCEDIMIENTO

- Se debe tomar las medidas del ancho, altura y longitud de la probeta antes de iniciar el ensayo.

<sup>8</sup> COPANT 466: Maderas. Método de determinación de la compresión perpendicular al grano

<sup>9</sup> ASTM D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

- Se colocará la probeta centrada sobre el tambor de la prensa de manera que la fuerza sea aplicada sobre la cara radial. Por encima de la probeta se coloca la pieza de presión, perfectamente centrada con la probeta y se hacen descansar sobre su cilindro basculante los extremos de los brazos, uno de los cuales acciona el deflectómetro.
- Se acciona la prensa de modo que la parte fija de la prensa toque ligeramente la pieza de presión hasta ajustarse, en este instante, se ajusta el deflectómetro, de modo que todas sus manecillas indiquen cero. se acciona nuevamente la prensa a la velocidad de ensayo de 0.3mm/min. Esta velocidad debe mantenerse constante a lo largo del ensayo.
- El ensayo terminará cuando la pieza de presión penetre la probeta a una profundidad de 2.5 mm.



**Figura 4.10** Ensayo de Compresión Perpendicular al Grano<sup>10</sup>

<sup>10</sup> **ASTM D143:** Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.

#### 4.3.1.7 TIPO DE FALLA

La falla se producirá cuando la placa de presión sobre la que se aplica la fuerza ingrese 2.5 mm a la probeta ensayada.



**Figura 4.11** Probetas ensayadas

#### 4.3.2 CALCULOS

- **Cálculo de la resistencia al límite proporcional:** para el cálculo se aplica la fórmula siguiente:

$$RLP = \frac{P1}{S}$$

Donde:

RLP: la resistencia al límite proporcional, en kg/cm<sup>2</sup>

P1: la carga al límite proporcional, en kg

S: es la superficie impresa sobre la probeta por la placa de presión, en cm<sup>2</sup>

- **Cálculo de la resistencia unitaria máxima:** para el cálculo se aplica la fórmula siguiente:

$$RUM = \frac{P}{S}$$

Donde:

RUM: la resistencia unitaria máxima, en kg/cm<sup>2</sup>

P: la carga utilizada para obtener la penetración de 2.5mm, en kg

S: es la superficie impresa sobre la probeta por la placa de presión, cm<sup>2</sup>



| <b>COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>   |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>GUAYACÁN PECHICHE</b>                     |            |             |              |             |            |
| <b>SECCIÓN DE PLACA (cm<sup>2</sup>)</b>     | 27.00      |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>G I</b> | <b>G II</b> | <b>G III</b> | <b>G IV</b> | <b>G V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 50.24      | 50.38       | 50.34        | 50.25       | 50.31      |
| Altura (mm)                                  | 50.14      | 49.99       | 50.31        | 50.26       | 50.16      |
| Longitud (mm)                                | 151.78     | 151.73      | 151.51       | 151.73      | 151.46     |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 27.00      | 27.00       | 27.00        | 27.00       | 27.00      |
| Fuerza (kg)                                  | 9903.00    | 9862.00     | 9707.00      | 10410.00    | 10194.00   |
| Fuerza (N)                                   | 97148.43   | 96746.22    | 95225.67     | 102122.10   | 100003.14  |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 38.57      | 38.41       | 37.61        | 40.44       | 39.64      |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 38.93      |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 0.99       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 370.93     |             |              |             |            |

**Tabla 4.9** Esfuerzo último a compresión perpendicular al grano – Guayacán Pechiche

| <b>COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>   |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>COLORADO</b>                              |            |             |              |             |            |
| <b>SECCIÓN DE PLACA (cm<sup>2</sup>)</b>     | 27.00      |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>C I</b> | <b>C II</b> | <b>C III</b> | <b>C IV</b> | <b>C V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 50.17      | 50.39       | 50.22        | 50.05       | 50.27      |
| Altura (mm)                                  | 50.24      | 50.33       | 50.16        | 50.20       | 50.21      |
| Longitud (mm)                                | 151.94     | 151.59      | 151.35       | 151.06      | 151.63     |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 27.00      | 27.00       | 27.00        | 27.00       | 27.00      |
| Fuerza (kg)                                  | 2910.00    | 3238.00     | 3238.00      | 3190.00     | 3368.00    |
| Fuerza (N)                                   | 28547.10   | 31764.78    | 31764.78     | 31293.90    | 33040.08   |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 11.33      | 12.53       | 12.61        | 12.46       | 13.09      |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 12.40      |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 0.58       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 118.10     |             |              |             |            |

**Tabla 4.10** Esfuerzo último a compresión perpendicular al grano – Colorado

| COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA     |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| SANDE                                   |          |          |          |          |          |
| SECCIÓN DE PLACA (cm <sup>2</sup> )     | 27.00    |          |          |          |          |
| Muestra                                 | S I      | S II     | S III    | S IV     | S V      |
| Ancho (mm)                              | 49.41    | 49.64    | 49.65    | 49.55    | 49.79    |
| Altura (mm)                             | 49.87    | 49.93    | 50.04    | 49.95    | 50.07    |
| Longitud (mm)                           | 151.82   | 152.06   | 151.94   | 151.98   | 152.08   |
| Área (cm <sup>2</sup> )                 | 27.00    | 27.00    | 27.00    | 27.00    | 27.00    |
| Fuerza (kg)                             | 3022.00  | 3041.00  | 3110.00  | 2983.00  | 3070.00  |
| Fuerza (N)                              | 29645.82 | 29832.21 | 30509.10 | 29263.23 | 30116.70 |
| Esfuerzo máximo (MPa)                   | 12.03    | 12.04    | 12.28    | 11.82    | 12.08    |
| Esfuerzo promedio (MPa)                 | 12.05    |          |          |          |          |
| Desviación estándar                     | 0.15     |          |          |          |          |
| Esfuerzo promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) | 112.79   |          |          |          |          |

Tabla 4.11 Esfuerzo último a compresión perpendicular al grano – Sande

| COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA     |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MASCAREY                                |          |          |          |          |          |
| SECCIÓN DE PLACA (cm <sup>2</sup> )     | 27.00    |          |          |          |          |
| Muestra                                 | M I      | M II     | M III    | M IV     | M V      |
| Ancho (mm)                              | 50.09    | 50.14    | 50.26    | 50.15    | 50.18    |
| Altura (mm)                             | 50.18    | 50.11    | 50.27    | 50.12    | 50.23    |
| Longitud (mm)                           | 152.07   | 151.71   | 151.84   | 151.61   | 151.78   |
| Área (cm <sup>2</sup> )                 | 27.00    | 27.00    | 27.00    | 27.00    | 27.00    |
| Fuerza (kg)                             | 4319.00  | 6212.00  | 3726.00  | 5841.00  | 5693.00  |
| Fuerza (N)                              | 42369.39 | 60939.72 | 36552.06 | 57300.21 | 55848.33 |
| Esfuerzo máximo (MPa)                   | 16.86    | 24.26    | 14.47    | 22.80    | 22.16    |
| Esfuerzo promedio (MPa)                 | 20.11    |          |          |          |          |
| Desviación estándar                     | 3.77     |          |          |          |          |
| Esfuerzo promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) | 191.04   |          |          |          |          |

Tabla 4.12 Esfuerzo último a compresión perpendicular al grano – Mascarey

#### **4.4 TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA**

Es la resistencia a una carga de tracción en dirección paralela a las fibras. La resistencia a la tracción paralela en especies libre de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela. Además, la resistencia a la tracción paralela es afectada significativamente por la inclinación del grano.



**Figura 4.12** Esquema de ensayo de tracción paralela a las fibras

##### **4.4.1 ENSAYO**

###### **4.4.1.1 ALCANCE**

Obtención de esfuerzo último para tracción paralela a la fibra y módulo de elasticidad para las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey; controlando factores como son el contenido de humedad, temperatura del ambiente y dimensiones de probetas.

#### 4.4.1.2 OBJETIVO

Realizar los ensayos de laboratorio correspondientes según las normas COPANT y ASTM para determinar el esfuerzo último para tracción paralela a la fibra, y módulo de elasticidad de las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey.

#### 4.4.1.3 INSTRUMENTAL

- **Prensa universal:** provista de dos crucetas, una móvil y otra fija, y un mecanismo que permita regular la velocidad de la cruceta (Figura 4.12).



**Figura 4.13** Prensa universal de ensayos

- **Mordazas:** son dos piezas idénticas cuya forma y dimensiones se indica en la Figura 4.13. Una de ellas se asegura a una cruceta fija y la otra a una cruceta móvil.

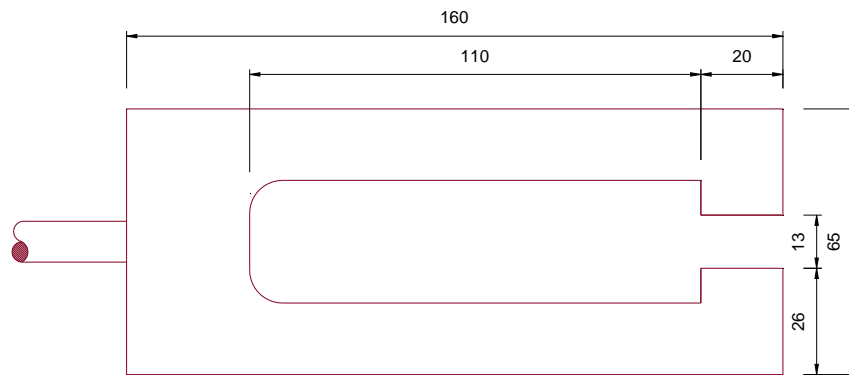


Figura 4.14 Mordazas para tracción paralela al grano

- **Calibrador:** con precisión de 0.01 mm.

#### 4.4.1.4 MATERIALES

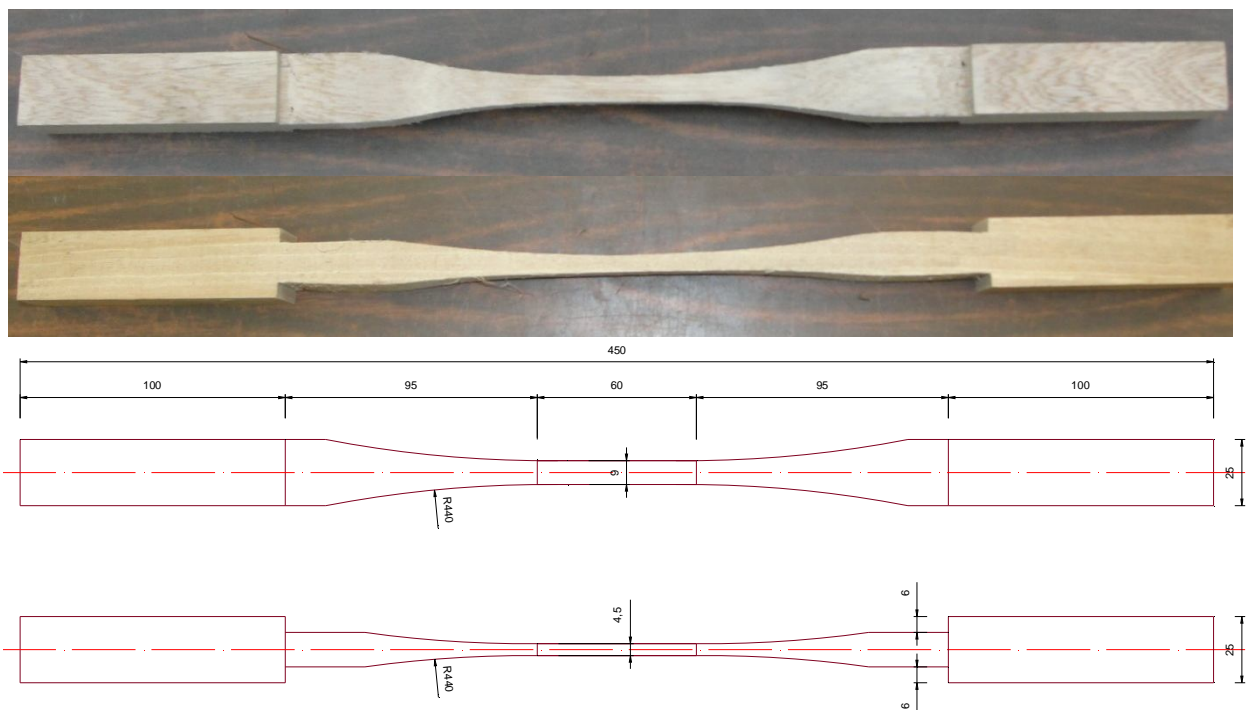
- Probeta de madera tipo A



Figura 4.15 Probeta para tracción paralela al grano

#### 4.4.1.5 PREPARACION DE LA PROBETA

Las probetas son de forma particular que se muestra en la Figura 4.15, de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas Panamericanas, COPANT<sup>11</sup>; y Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM<sup>12</sup>. La probeta se elabora de tal forma que la dirección de los anillos de crecimiento, en la zona de sección reducida, sea perpendicular a la mayor dimensión de dicha sección. Las dimensiones de las probetas en la sección reducida se comprueban en el momento del ensayo con una exactitud de  $\pm 0,3 \%$ . Las probetas deben presentar un contenido de humedad de acuerdo a lo señalado en las generalidades del presente trabajo, y sin ninguna anomalía, rajaduras, pudrición, etc.



**Figura 4.16** Dimensiones probeta para tracción paralela al grano, en mm

<sup>11</sup> COPANT 742: Métodos de ensayo de tracción paralela al grano

<sup>12</sup> ASTM D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

#### 4.4.1.6 PROCEDIMIENTO

- Con la ayuda del calibrador se toma las dimensiones de los espesores en la mitad de la probeta a ensayar.
- Se colocan las mordazas en la prensa universal de ensayos.
- Ubicar la probeta en las mordazas en forma vertical.
- Las probetas se colocan y mantienen durante todo el ensayo, en tal forma que la cruceta móvil se desplace con una velocidad de  $1.00 \text{ mm/min} \pm 0.25 \text{ mm/min}$  y de modo que las mordazas, con la probeta montada, tiendan a separarse entre sí. El ajuste de las mordazas debe ser de tal forma que las partes extremas de la probeta queden alineadas para asegurar que la falla se produzca en la zona central de la misma, evitando concentración de esfuerzos en las zonas de transición.
- Se coloca una hoja de papel milimetrado para obtener la gráfica fuerzas – desplazamiento del cabezal.
- Se procede a someter a la probeta a las sollicitaciones correspondientes.
- El ensayo debe continuar hasta producir la rotura de la probeta.
- Posteriormente, se realiza la gráfica de la curva carga – deformación, la cual servirá de ayuda para la obtención de los valores necesarios.



Figura 4.17 Ensayo de tracción paralela al grano

#### 4.4.1.7 TIPOS DE FALLAS

A continuación se muestra el tipo de falla producido por el ensayo de tracción paralela al grano.



**Astillado (Splintering tensión):** este tipo de falla que se debe presentar en la probeta para que el ensayo sea exitoso



Figura 4.18 Tipo de falla a tracción paralela al grano



#### 4.4.2 CÁLCULOS

- El esfuerzo unitario máximo se calcula con la fórmula siguiente:

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{A}$$

Donde:

$\sigma_{\max}$  : esfuerzo unitario máximo, en kg/cm<sup>2</sup>

$P_{\max}$  : carga máxima soportada por la probeta, en kg

A: área de la sección mínima de la probeta en cm<sup>2</sup>

- El esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad se calcula con la fórmula siguiente:

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{A}$$

Donde:

$\sigma_1$  : esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad, en kg/cm<sup>2</sup>

$P_1$  : carga al límite de proporcionalidad, en kg

A: área de la sección mínima de la probeta en cm<sup>2</sup>

- El módulo de elasticidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\sigma_2}{\varepsilon}$$

Donde:

$E$  : módulo de elasticidad, en kg/cm<sup>2</sup>

$\sigma_2$  : esfuerzo correspondiente a la deformación, en kg/cm<sup>2</sup>

$\varepsilon$  : Deformación unitaria

| <b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>          |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>GUAYACÁN PECHICHE</b>                     |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>G I</b> | <b>G II</b> | <b>G III</b> | <b>G IV</b> | <b>G V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 5.34       | 5.67        | 6.13         | 5.28        | 5.935      |
| Altura (mm)                                  | 9.38       | 9.59        | 9.38         | 9.58        | 10.45      |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 0.50       | 0.54        | 0.57         | 0.51        | 0.62       |
| Fuerza (kg)                                  | 1423.00    | 1478.00     | 1458.00      | 1372.00     | 1450.00    |
| Fuerza (N)                                   | 13959.63   | 14499.18    | 14302.98     | 13459.32    | 14224.50   |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 278.70     | 266.89      | 248.95       | 266.09      | 229.35     |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 257.99     |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 17.18      |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 2631.54    |             |              |             |            |

**Tabla 4.13** Esfuerzo último a tracción paralela al grano – Guayacán Pechiche

| <b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>          |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>COLORADO</b>                              |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>C I</b> | <b>C II</b> | <b>C III</b> | <b>C IV</b> | <b>C V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 6.32       | 6.45        | 6.20         | 6.10        | 5.27       |
| Altura (mm)                                  | 9.04       | 10.01       | 9.40         | 9.34        | 9.38       |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 0.57       | 0.64        | 0.58         | 0.57        | 0.49       |
| Fuerza (kg)                                  | 500.00     | 488.00      | 548.00       | 394.00      | 422.00     |
| Fuerza (N)                                   | 4905.00    | 4787.28     | 5375.88      | 3865.14     | 4139.82    |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 85.92      | 74.24       | 92.37        | 67.93       | 83.75      |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 80.84      |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 8.69       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 824.58     |             |              |             |            |

**Tabla 4.14** Esfuerzo último a tracción paralela al grano – Colorado

| <b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>          |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>SANDE</b>                                 |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>S I</b> | <b>S II</b> | <b>S III</b> | <b>S IV</b> | <b>S V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 5.53       | 6.13        | 5.19         | 5.91        | 5.84       |
| Altura (mm)                                  | 8.65       | 8.74        | 9.77         | 9.44        | 9.635      |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 0.48       | 0.54        | 0.51         | 0.56        | 0.56       |
| Fuerza (kg)                                  | 485.00     | 422.00      | 513.00       | 594.00      | 442.00     |
| Fuerza (N)                                   | 4757.85    | 4139.82     | 5032.53      | 5827.14     | 4336.02    |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 99.55      | 77.38       | 99.25        | 104.59      | 77.06      |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 91.57      |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 11.87      |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 933.98     |             |              |             |            |

Tabla 4.15 Esfuerzo último a tracción paralela al grano – Sande

| <b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>          |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>MASCAREY</b>                              |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>M I</b> | <b>M II</b> | <b>M III</b> | <b>M IV</b> | <b>M V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 5.84       | 5.37        | 4.52         | 6.61        | 4.5        |
| Altura (mm)                                  | 9.93       | 9.63        | 9.36         | 9.31        | 8.5        |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 0.58       | 0.52        | 0.42         | 0.62        | 0.38       |
| Fuerza (kg)                                  | 520.00     | 660.00      | 510.00       | 542.00      | 486.00     |
| Fuerza (N)                                   | 5101.20    | 6474.60     | 5003.10      | 5317.02     | 4767.66    |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 88.04      | 125.38      | 118.39       | 86.40       | 125.82     |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 108.81     |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 17.83      |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 1109.83    |             |              |             |            |

Tabla 4.16 Esfuerzo último a tracción paralela al grano – Mascarey

### CONSIDERACIONES DE LABORATORIO

Peso de cabezal (kg): 140.00

Constante Máquina Universal: 2.50

Lo (mm): 210.00

| MUESTRA                          | GUAYACÁN PECHICHE |           |           |           |           |
|----------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                  | G I               | G II      | G III     | G IV      | G V       |
| Ancho (mm)                       | 5.34              | 5.67      | 6.13      | 5.28      | 5.94      |
| Altura (mm)                      | 9.38              | 9.59      | 9.38      | 9.58      | 10.45     |
| Deformación (mm)                 | 16.00             | 11.00     | 14.26     | 14.00     | 13.26     |
| Deformación Real (mm)            | 6.40              | 4.40      | 5.70      | 5.60      | 5.30      |
| P ult (Kg)+ P Cabezal (kg)       | 1563.00           | 1618.00   | 1598.00   | 1512.00   | 1590.00   |
| P ult (Kg)                       | 1423.00           | 1478.00   | 1458.00   | 1372.00   | 1450.00   |
| Deformación (mm)                 | 11.25             | 7.85      | 8.00      | 11.00     | 9.50      |
| Deformación Real (mm)            | 4.50              | 3.14      | 3.20      | 4.40      | 3.80      |
| P 1 (Kg)+ P Cabezal (kg)         | 800.00            | 1000.00   | 500.00    | 1000.00   | 900.00    |
| P 1 (Kg)                         | 660.00            | 860.00    | 360.00    | 860.00    | 760.00    |
| ε ult                            | 0.03              | 0.02      | 0.03      | 0.03      | 0.03      |
| ε 1                              | 0.02              | 0.01      | 0.02      | 0.02      | 0.02      |
| σ ult (Kg/cm <sup>2</sup> )      | 2840.93           | 2720.54   | 2537.75   | 2712.41   | 2337.93   |
| σ 1 (Kg/cm <sup>2</sup> )        | 1317.65           | 1583.00   | 626.60    | 1700.20   | 1225.40   |
| E (Kg/cm <sup>2</sup> )          | 168362.80         | 189591.43 | 160279.65 | 177136.71 | 155340.08 |
| E Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | 170142.13         |           |           |           |           |
| E Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )   | 155340.08         |           |           |           |           |
| Desviación Estándar              | 12220.76          |           |           |           |           |

**Tabla 4.17** Módulo de elasticidad – Guayacán Pechiche

| MUESTRA                               | COLORADO |          |          |          |           |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|                                       | C I      | C II     | C III    | C IV     | C V       |
| Ancho (mm)                            | 6.32     | 6.45     | 6.20     | 6.10     | 5.27      |
| Altura (mm)                           | 9.04     | 10.01    | 9.40     | 9.34     | 9.38      |
| Deformación (mm)                      | 10.00    | 9.80     | 9.40     | 14.00    | 9.50      |
| Deformación Real (mm)                 | 4.00     | 3.92     | 3.76     | 5.60     | 3.80      |
| P ult (Kg)+ P Cabezal (kg)            | 640.00   | 628.00   | 688.00   | 534.00   | 562.00    |
| P ult (Kg)                            | 500.00   | 488.00   | 548.00   | 394.00   | 422.00    |
| Deformación (mm)                      | 7.00     | 7.20     | 6.50     | 11.50    | 7.00      |
| Deformación Real (mm)                 | 2.80     | 2.88     | 2.60     | 4.60     | 2.80      |
| P 1 (Kg)+ P Cabezal (kg)              | 400.00   | 400.00   | 400.00   | 350.00   | 300.00    |
| P 1 (Kg)                              | 260.00   | 260.00   | 260.00   | 210.00   | 160.00    |
| ε ult                                 | 0.02     | 0.02     | 0.02     | 0.03     | 0.02      |
| ε 1                                   | 0.01     | 0.01     | 0.01     | 0.02     | 0.01      |
| σ ult (Kg/cm <sup>2</sup> )           | 875.85   | 756.80   | 941.55   | 692.48   | 853.69    |
| σ 1 (Kg/cm <sup>2</sup> )             | 455.44   | 403.21   | 446.72   | 369.09   | 323.67    |
| <b>E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>          | 73571.14 | 71397.14 | 89580.96 | 67912.40 | 111303.07 |
| <b>E Promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 82752.94 |          |          |          |           |
| <b>E Mínimo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 67912.40 |          |          |          |           |
| <b>Desviación Estándar</b>            | 16094.92 |          |          |          |           |

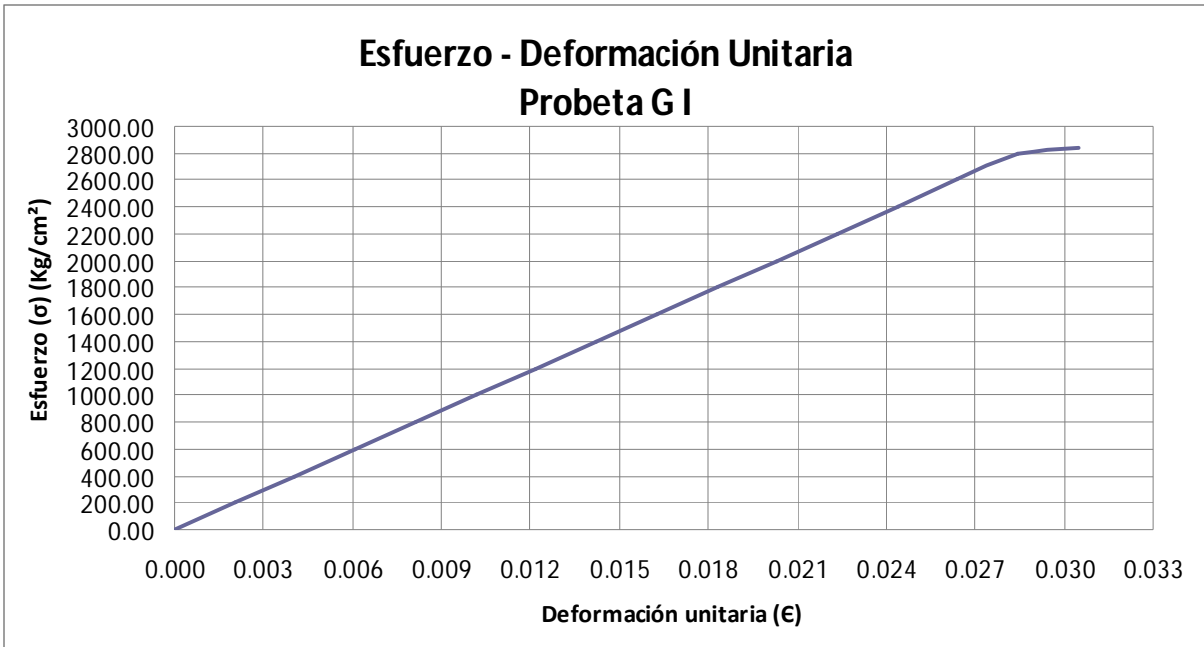
Tabla 4.18 Módulo de elasticidad – Colorado

| MUESTRA                          | SANDE    |          |           |           |          |
|----------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
|                                  | S I      | S II     | S III     | S IV      | S V      |
| Ancho (mm)                       | 5.53     | 6.13     | 5.19      | 5.91      | 5.84     |
| Altura (mm)                      | 8.65     | 8.74     | 9.77      | 9.44      | 9.64     |
| Deformación (mm)                 | 15.00    | 9.00     | 13.00     | 9.50      | 7.50     |
| Deformación Real (mm)            | 6.00     | 3.60     | 5.20      | 3.80      | 3.00     |
| P ult (Kg)+ P Cabezal (kg)       | 625.00   | 562.00   | 653.00    | 734.00    | 582.00   |
| P ult (Kg)                       | 485.00   | 422.00   | 513.00    | 594.00    | 442.00   |
| Deformación (mm)                 | 11.50    | 5.00     | 10.50     | 7.50      | 4.50     |
| Deformación Real (mm)            | 4.60     | 2.00     | 4.20      | 3.00      | 1.80     |
| P 1 (Kg)+ P Cabezal (kg)         | 400.00   | 300.00   | 400.00    | 500.00    | 300.00   |
| P 1 (Kg)                         | 260.00   | 160.00   | 260.00    | 360.00    | 160.00   |
| ε ult                            | 0.03     | 0.02     | 0.02      | 0.02      | 0.01     |
| ε 1                              | 0.02     | 0.01     | 0.02      | 0.01      | 0.01     |
| σ ult (Kg/cm <sup>2</sup> )      | 1014.83  | 788.76   | 1011.71   | 1066.17   | 785.52   |
| σ 1 (Kg/cm <sup>2</sup> )        | 544.03   | 299.05   | 512.76    | 646.16    | 284.35   |
| E (Kg/cm <sup>2</sup> )          | 70619.62 | 64273.45 | 104779.88 | 110251.21 | 87704.64 |
| E Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | 87525.76 |          |           |           |          |
| E Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )   | 64273.45 |          |           |           |          |
| Desviación Estándar              | 18114.47 |          |           |           |          |

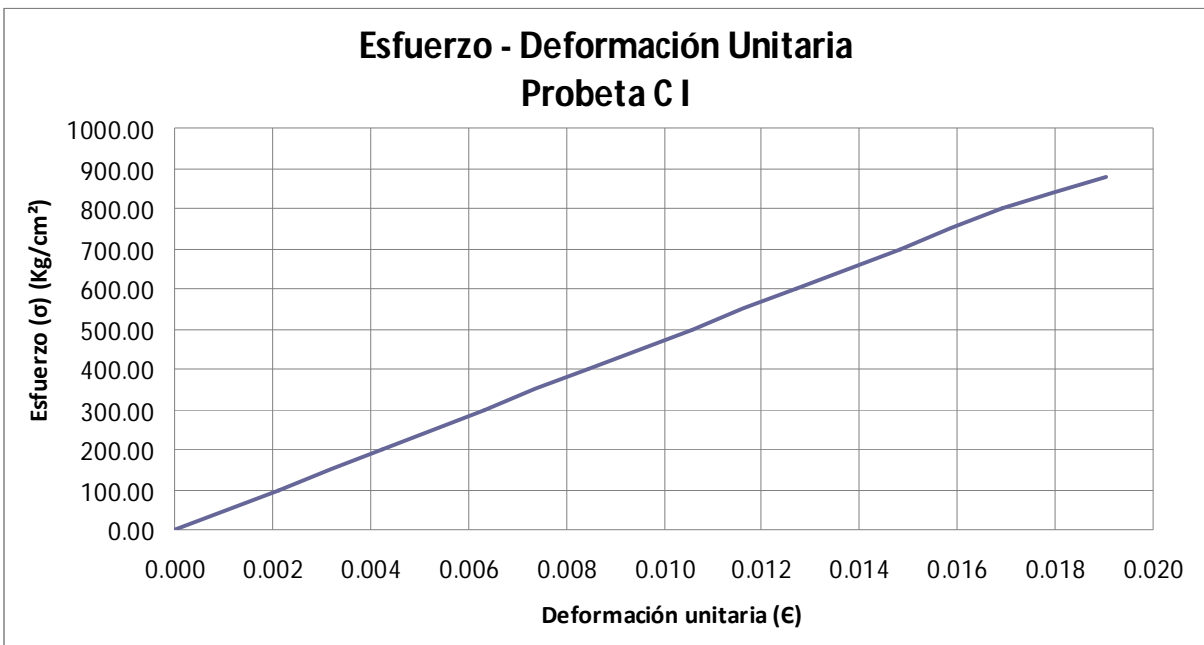
Tabla 4.19 Módulo de elasticidad – Sande

| MUESTRA                               | MASCAREY  |           |           |          |           |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
|                                       | I         | II        | III       | IV       | V         |
| Ancho (mm)                            | 5.84      | 5.37      | 4.52      | 6.61     | 4.45      |
| Altura (mm)                           | 9.93      | 9.63      | 9.36      | 9.31     | 8.52      |
| Deformación (mm)                      | 10.80     | 14.23     | 8.02      | 8.50     | 13.20     |
| Deformación Real (mm)                 | 4.32      | 5.69      | 3.21      | 3.40     | 5.28      |
| P ult (Kg)+ P Cabezal (kg)            | 660.00    | 800.00    | 650.00    | 682.00   | 626.00    |
| P ult (Kg)                            | 520.00    | 660.00    | 510.00    | 542.00   | 486.00    |
| Deformación (mm)                      | 8.40      | 12.50     | 5.00      | 6.80     | 10.50     |
| Deformación Real (mm)                 | 3.36      | 5.00      | 2.00      | 2.72     | 4.20      |
| P 1 (Kg)+ P Cabezal (kg)              | 350.00    | 600.00    | 400.00    | 500.00   | 400.00    |
| P 1 (Kg)                              | 210.00    | 460.00    | 260.00    | 360.00   | 260.00    |
| ε ult                                 | 0.02      | 0.03      | 0.02      | 0.02     | 0.03      |
| ε 1                                   | 0.02      | 0.02      | 0.01      | 0.01     | 0.02      |
| σ ult (Kg/cm <sup>2</sup> )           | 897.46    | 1278.13   | 1206.80   | 880.74   | 1282.60   |
| σ 1 (Kg/cm <sup>2</sup> )             | 362.43    | 890.81    | 615.23    | 584.99   | 686.17    |
| <b>E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>          | 117036.05 | 117536.49 | 102839.22 | 91333.61 | 115973.65 |
| <b>E Promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 108943.80 |           |           |          |           |
| <b>E Mínimo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 91333.61  |           |           |          |           |
| <b>Desviación Estándar</b>            | 10354.92  |           |           |          |           |

Tabla 4.20 Módulo de elasticidad – Mascarey

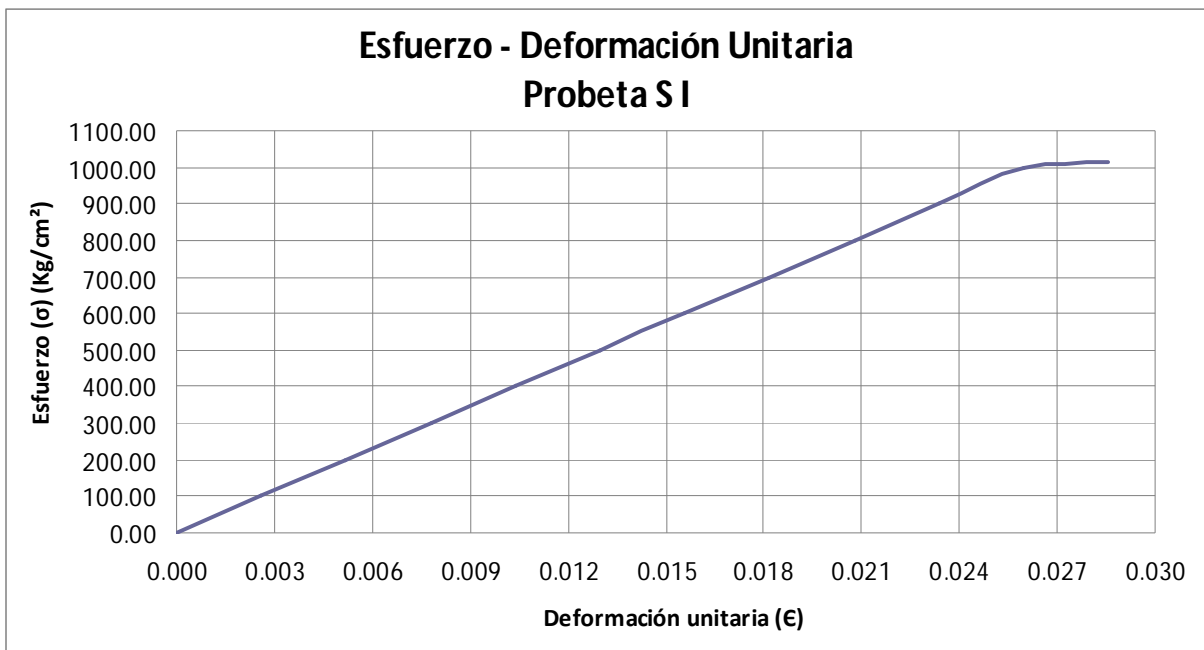


**Cuadro 4.5** Módulo de elasticidad - Probeta G I

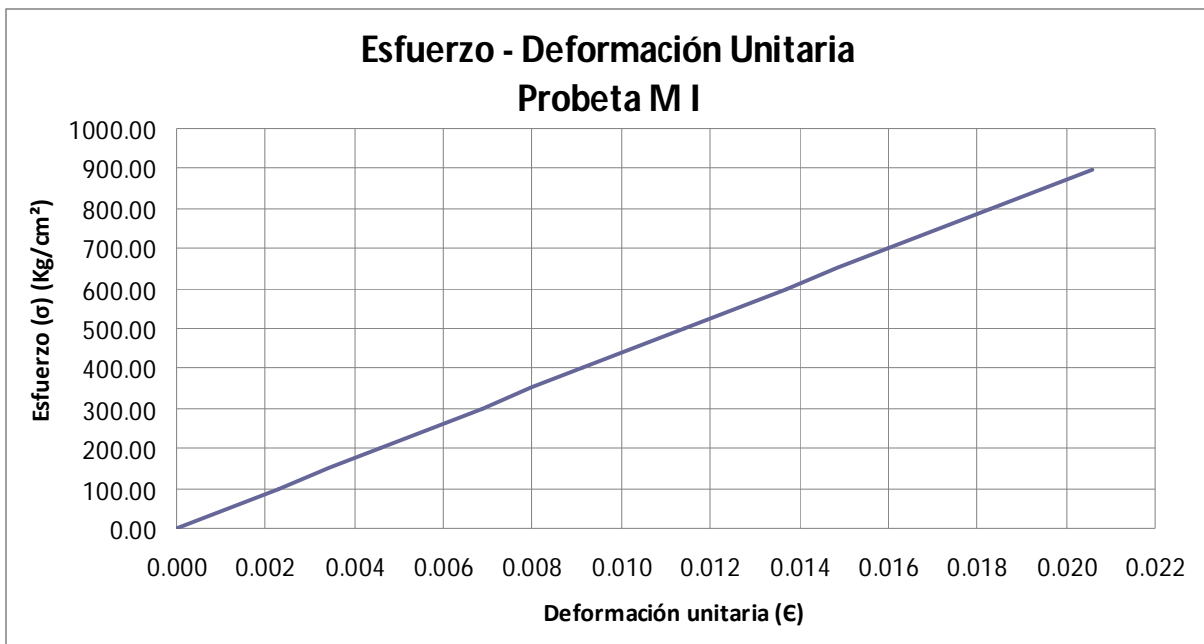


**Cuadro 4.6** Módulo de elasticidad - Probeta C I





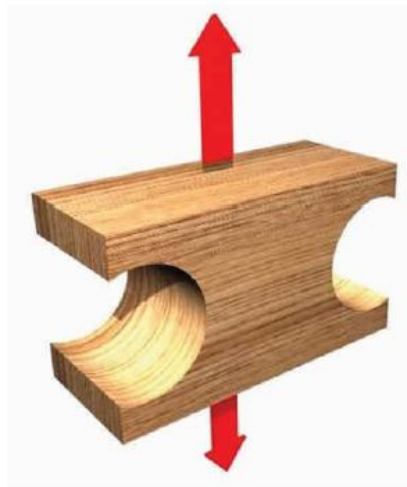
**Cuadro 4.7** Módulo de elasticidad - Probeta S I



**Cuadro 4.8** Módulo de elasticidad - Probeta M I

## 4.5 TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Es la resistencia que opone la madera a una carga de tracción en la dirección normal a las fibras. Según la posición del plano de falla con respecto a los anillos de crecimiento, se puede distinguir la tracción normal tangencial y la tracción normal radial.



**Figura 4.19** Esquema de tracción perpendicular a la fibra

### 4.5.1 ENSAYO

#### 4.5.1.1 ALCANCE

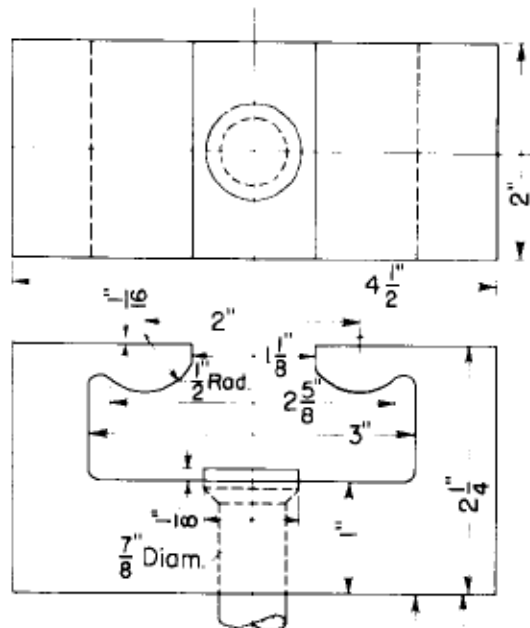
Obtención de esfuerzos último para tracción perpendicular a la fibra que soportan las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey; controlando factores como son el contenido de humedad, temperatura del ambiente y dimensiones de probetas.

#### 4.5.1.2 OBJETIVO

Realizar los ensayos de laboratorio correspondientes según las normas COPANT y ASTM para determinar el esfuerzo último para tracción perpendicular a la fibra que soportan las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey.

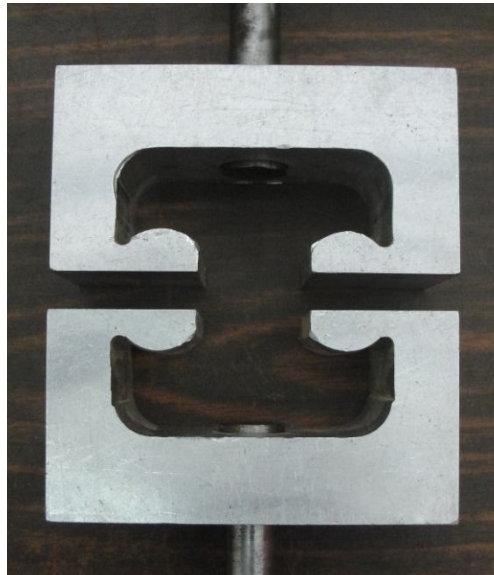
#### 4.5.1.3 INSTRUMENTAL

- **Prensa:** provista de dos crucetas, una móvil y otra fija, y un mecanismo que permita regular la velocidad de la cruceta.
- **Mordazas:** son dos piezas idénticas cuya forma y dimensiones se indica en las Figuras 4.19 y 4.20. Una de ellas se asegura a una cruceta fija y la otra a una cruceta móvil.



**Figura 4.20** Dimensiones mordaza para tracción perpendicular al grano<sup>13</sup>

<sup>13</sup> ASTM D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.



**Figura 4.21** Mordazas para tracción perpendicular al grano

- **Calibrador:** con precisión de 0.1 mm.

#### 4.5.1.4 MATERIALES

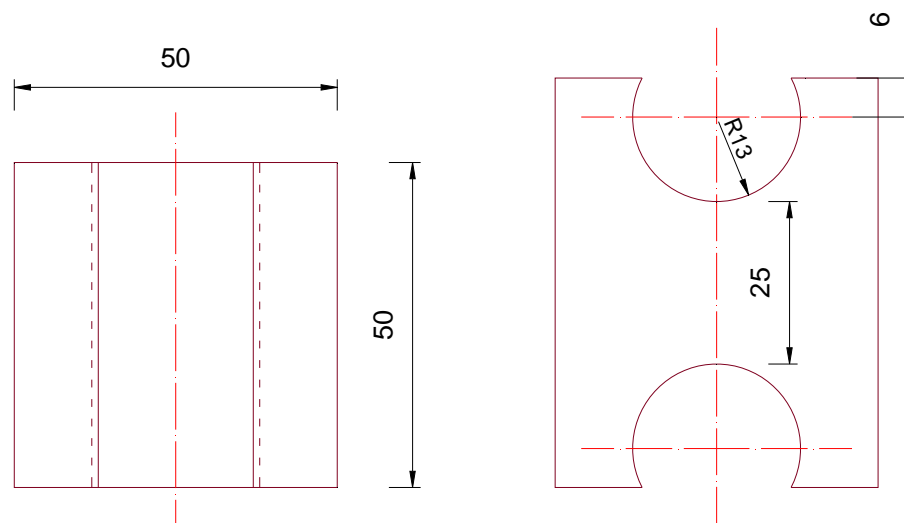
- Probeta de madera tipo A



**Figura 4.22** Probeta para tracción perpendicular al grano

#### 4.5.1.5 PREPARACION DE LA PROBETA

Las probetas son de forma particular que se muestra en la Figura 4.22, de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas Panamericanas, COPANT<sup>14</sup>; y Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM<sup>15</sup>. Las dimensiones de las probetas se comprueban en el momento del ensayo con una exactitud de  $\pm 0.3\%$ . Las probetas deben presentar un contenido de humedad de acuerdo a lo señalado en las generalidades del presente, y sin ninguna anomalía, rajaduras, pudrición, etc.



**Figura 4.23** Probeta para ensayo de tracción perpendicular, en mm

#### 4.5.1.6 PROCEDIMIENTO

- Con la ayuda del calibrador se toma las dimensiones del ancho y longitud de la sección mínima.
- Se colocan las mordazas en la prensa universal de ensayos.

<sup>14</sup> COPANT 743: Métodos de ensayo de tracción perpendicular al grano

<sup>15</sup> ASTM D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

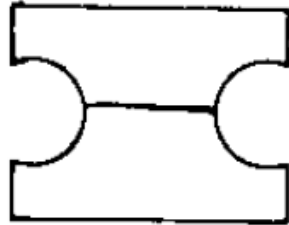
- Se ubica la probeta en las mordazas en forma vertical.
- Las probetas se colocan y mantienen durante todo el ensayo, en tal forma que la cruceta móvil se desplace con una velocidad de  $2.50 \text{ mm/min} \pm 0.6 \text{ mm/min}$  y de modo que las mordazas, con la probeta montada, tiendan a separarse entre sí.
- Se procede a someter a la probeta a las sollicitaciones correspondientes.
- El ensayo debe continuar hasta producir la rotura de la probeta.
- La carga que se debe registrar es la máxima soportada antes de la rotura.



**Figura 4.24** Ensayo de tracción perpendicular al grano

#### 4.5.1.7 TIPOS DE FALLA

El tipo de falla que se debe presentar en la probeta es el siguiente:



**División:** este tipo de falla que se debe presentar en la probeta para que el ensayo sea exitoso

Figura 4.25 Tipo de falla a tracción paralela al grano



Figura 4.26 Probeta ensayada

#### 4.5.2 CÁLCULOS

Para obtener el esfuerzo último se debe aplicar la siguiente fórmula:

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

Donde:

$\sigma_{\max}$  : Esfuerzo máximo a tracción perpendicular, en N/cm<sup>2</sup>

$F_{\max}$  : Carga de rotura, en N

A: Sección de falla por tracción, en cm<sup>2</sup>

| <b>TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>     |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>GUAYACÁN PECHICHE</b>                     |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>G I</b> | <b>G II</b> | <b>G III</b> | <b>G IV</b> | <b>G V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 22.82      | 21.57       | 22.46        | 22.09       | 22.84      |
| Altura (mm)                                  | 45.10      | 45.15       | 45.40        | 45.24       | 45.34      |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 10.29      | 9.74        | 10.20        | 9.99        | 10.35      |
| Fuerza (kg)                                  | 666.00     | 710.00      | 588.00       | 519.00      | 596.00     |
| Fuerza (N)                                   | 6533.46    | 6965.10     | 5768.28      | 5091.39     | 5846.76    |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 6.35       | 7.15        | 5.66         | 5.10        | 5.65       |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 5.98       |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 0.71       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 60.99      |             |              |             |            |

**Tabla 4.21** Esfuerzo último a tracción perpendicular al grano – Guayacán Pechiche

| <b>TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>     |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>COLORADO</b>                              |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>C I</b> | <b>C II</b> | <b>C III</b> | <b>C IV</b> | <b>C V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 21.76      | 22.37       | 21.75        | 22.46       | 21.897     |
| Altura (mm)                                  | 44.28      | 42.53       | 42.75        | 42.76       | 43.785     |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 9.64       | 9.52        | 9.30         | 9.61        | 9.59       |
| Fuerza (kg)                                  | 488.00     | 370.00      | 638.00       | 325.00      | 510.00     |
| Fuerza (N)                                   | 4787.28    | 3629.70     | 6258.78      | 3188.25     | 5003.10    |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 4.97       | 3.81        | 6.73         | 3.32        | 5.22       |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 4.81       |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 1.19       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 49.06      |             |              |             |            |

**Tabla 4.22** Esfuerzo último a tracción perpendicular al grano – Colorado



| <b>TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>     |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>SANDE</b>                                 |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>S I</b> | <b>S II</b> | <b>S III</b> | <b>S IV</b> | <b>S V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 22.64      | 22.75       | 22.25        | 22.40       | 22.8375    |
| Altura (mm)                                  | 45.20      | 45.27       | 45.32        | 45.30       | 45.171     |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 10.23      | 10.30       | 10.08        | 10.15       | 10.32      |
| Fuerza (kg)                                  | 320.00     | 402.00      | 494.00       | 350.00      | 441.00     |
| Fuerza (N)                                   | 3139.20    | 3943.62     | 4846.14      | 3433.50     | 4326.21    |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 3.07       | 3.83        | 4.81         | 3.38        | 4.19       |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 3.86       |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 0.61       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 39.33      |             |              |             |            |

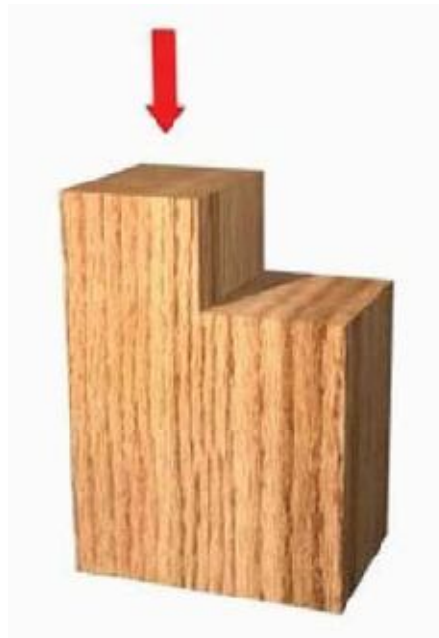
Tabla 4.23 Esfuerzo último a tracción perpendicular al grano – Sande

| <b>TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>     |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>MASCAREY</b>                              |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>M I</b> | <b>M II</b> | <b>M III</b> | <b>M IV</b> | <b>M V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 22.57      | 23.10       | 23.64        | 21.07       | 21.9       |
| Altura (mm)                                  | 44.86      | 45.06       | 45.06        | 44.78       | 44.9       |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 10.12      | 10.41       | 10.65        | 9.44        | 9.83       |
| Fuerza (kg)                                  | 482.00     | 405.00      | 418.00       | 366.00      | 420.00     |
| Fuerza (N)                                   | 4728.42    | 3973.05     | 4100.58      | 3590.46     | 4120.20    |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 4.67       | 3.82        | 3.85         | 3.81        | 4.19       |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 4.07       |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 0.33       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 41.48      |             |              |             |            |

Tabla 4.24 Esfuerzo último a tracción perpendicular al grano – Mascarey

## 4.6 CORTE

Es la medida de la capacidad de la pieza para resistir fuerzas que tienden a causar deslizamiento de una parte de la pieza sobre otra.



**Figura 4.27** Esquema de Ensayo de Corte

### 4.6.1 ENSAYO

#### 4.6.1.1 ALCANCE

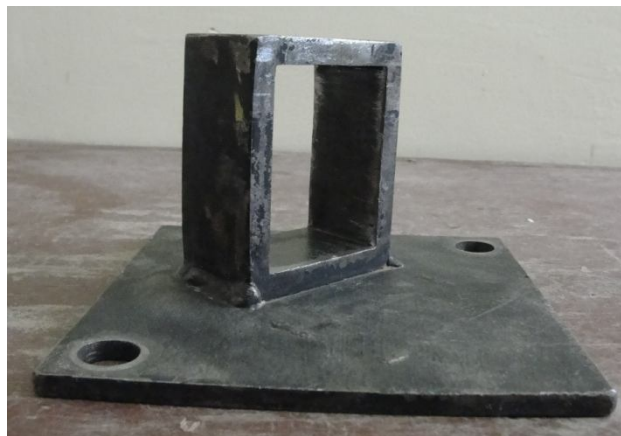
Obtención de esfuerzo último para corte paralelo a la fibra que soportan las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey; controlando factores como son el contenido de humedad, temperatura del ambiente y dimensiones de probetas.

#### 4.6.1.2 OBJETIVO

Realizar los ensayos de laboratorio correspondientes según las normas COPANT y ASTM para determinar el esfuerzo último para corte paralelo a la fibra que soportan las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey.

#### 4.6.1.3 INSTRUMENTAL

- **Prensa:** provista de dos crucetas, una móvil y otra fija, y un mecanismo que permita regular la velocidad de la cruceta.
- **Mordaza:** pieza cuya forma se indica en la Figura 4.27.

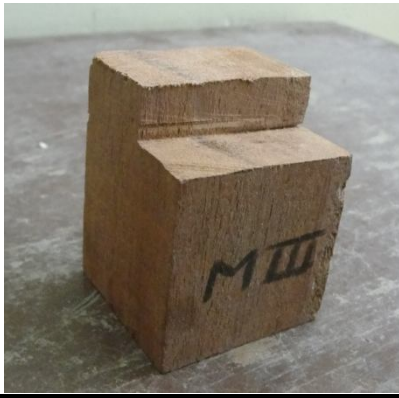


**Figura 4.28** Mordaza de Ensayo de Corte

- **Placa de distribución de carga**

#### 4.6.1.4 MATERIALES

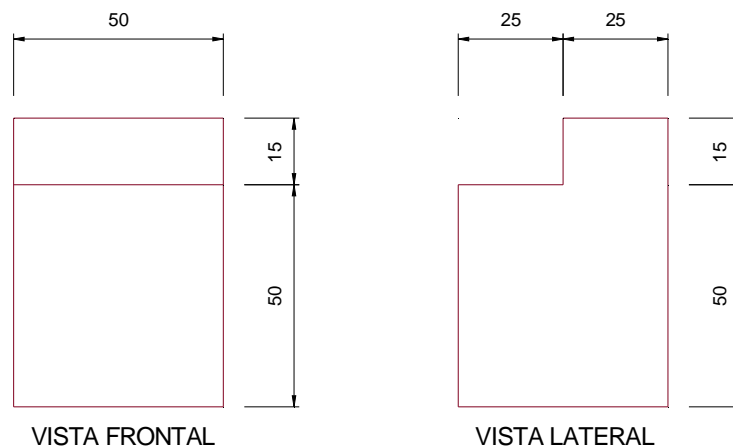
- Probeta de madera tipo A



**Figura 4.29** Probeta para Ensayo de Corte

#### 4.6.1.5 PREPARACION DE LA PROBETA

Las dimensiones de las mismas serán de: 5 centímetros por 5 centímetros, por 6.5 centímetros, de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas Panamericanas, COPANT<sup>16</sup>; y Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM<sup>17</sup>; la probeta no deberá tener: nudos sueltos, rajaduras, grietas, fibras hinchadas, perforaciones, alabeos; puesto que las mismas comprometerán la confiabilidad del ensayo.



**Figura 4.30** Dimensiones de Probeta de Corte

<sup>16</sup> COPANT 463: Maderas. Método de determinación del cizallamiento paralelo al grano

<sup>17</sup> ASTM D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

#### 4.6.1.6 PROCEDIMIENTO

- Se debe tomar las medidas del ancho, altura y longitud de la probeta antes de iniciar el ensayo
- Se colocará la probeta en la mordaza de corte dejando un espacio de 3mm entre el lado interno de la probeta y la superficie de corte. Es necesario que los lados verticales de la probeta se encuentren bien ajustados a la mordaza de corte para generar una superficie de corte paralela al grano.
- Se colocará el dispositivo del ensayo de corte, la velocidad con que se aplicará la carga será de 0.6 mm/min, la misma que transmitirá una carga constante al elemento a ser ensayado.
- El ensayo terminará cuando la cara de la pieza sometida a la carga se desprenda de la probeta.



**Figura 4.31** Ensayo de Corte

#### 4.6.1.7 TIPO DE FALLA

La falla producida por el elemento ensayado se producirá, cuando parte de la pieza se desprenda por la acción de la carga.



**Figura 4.32** Probeta ensayada

#### 4.6.2 CÁLCULOS

A continuación se muestra la fórmula para el cálculo del esfuerzo último por corte

$$\tau_{ult} = \frac{V_{ult}}{A}$$

Donde:

$\tau_{ult}$ : esfuerzo último a corte, en kg/cm<sup>2</sup>

$V_{ult}$ : cortante último, en kg

A: sección que falla por tracción, en cm<sup>2</sup>

| <b>CORTE PARALELO A LA FIBRA</b>             |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>GUAYACÁN PECHICHE</b>                     |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>G I</b> | <b>G II</b> | <b>G III</b> | <b>G IV</b> | <b>G V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 51.79      | 51.94       | 51.07        | 51.17       | 51.96      |
| Altura (mm)                                  | 50.24      | 50.36       | 50.34        | 50.27       | 50.13      |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 26.02      | 26.16       | 25.71        | 25.72       | 26.05      |
| Fuerza (kg)                                  | 4620.00    | 3130.00     | 3930.00      | 4110.00     | 4080.00    |
| Fuerza (N)                                   | 45322.20   | 30705.30    | 38553.30     | 40319.10    | 40024.80   |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 17.42      | 11.74       | 15.00        | 15.67       | 15.37      |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 15.04      |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 1.85       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 153.40     |             |              |             |            |

Tabla 4.25 Esfuerzo último a corte paralelo al grano – Guayacán Pechiche

| <b>CORTE PARALELO A LA FIBRA</b>             |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>COLORADO</b>                              |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>C I</b> | <b>C II</b> | <b>C III</b> | <b>C IV</b> | <b>C V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 50.50      | 51.51       | 51.07        | 51.50       | 51.30      |
| Altura (mm)                                  | 50.52      | 50.36       | 50.50        | 50.39       | 50.42      |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 25.51      | 25.94       | 25.79        | 25.95       | 25.87      |
| Fuerza (kg)                                  | 1960.00    | 2245.00     | 2110.00      | 2085.00     | 2150.00    |
| Fuerza (N)                                   | 19227.60   | 22023.45    | 20699.10     | 20453.85    | 21091.50   |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 7.54       | 8.49        | 8.03         | 7.88        | 8.15       |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 8.02       |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 0.31       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 81.79      |             |              |             |            |

Tabla 4.26 Esfuerzo último a corte paralelo al grano – Colorado

| <b>CORTE PARALELO A LA FIBRA</b>             |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>SANDE</b>                                 |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>S I</b> | <b>S II</b> | <b>S III</b> | <b>S IV</b> | <b>S V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 52.47      | 51.58       | 51.94        | 51.99       | 51.095     |
| Altura (mm)                                  | 49.38      | 48.83       | 49.54        | 48.70       | 49.545     |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 25.91      | 25.18       | 25.73        | 25.32       | 25.32      |
| Fuerza (kg)                                  | 1860.00    | 1345.00     | 1930.00      | 1770.00     | 1270.00    |
| Fuerza (N)                                   | 18246.60   | 13194.45    | 18933.30     | 17363.70    | 12458.70   |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 7.04       | 5.24        | 7.36         | 6.86        | 4.92       |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 6.28       |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 1.00       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 64.10      |             |              |             |            |

Tabla 4.27 Esfuerzo último a corte paralelo al grano – Sande

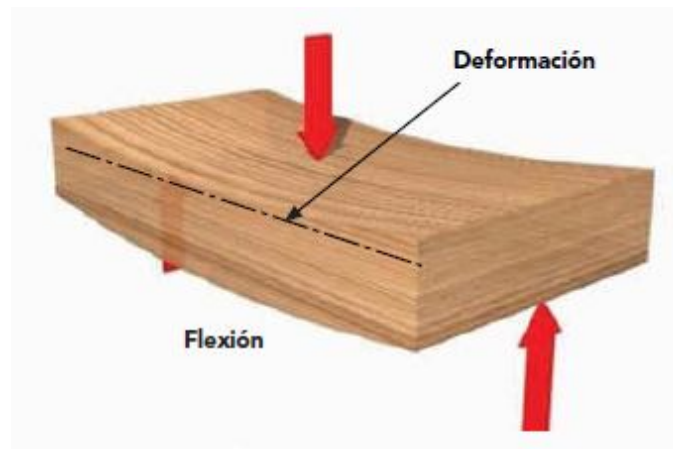
| <b>CORTE PARALELO A LA FIBRA</b>             |            |             |              |             |            |
|--|------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>MASCAREY</b>                              |            |             |              |             |            |
| <b>Muestra</b>                               | <b>M I</b> | <b>M II</b> | <b>M III</b> | <b>M IV</b> | <b>M V</b> |
| Ancho (mm)                                   | 51.84      | 51.65       | 51.74        | 51.44       | 51.5       |
| Altura (mm)                                  | 50.04      | 50.00       | 50.09        | 50.19       | 49.4       |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 25.94      | 25.82       | 25.91        | 25.82       | 25.46      |
| Fuerza (kg)                                  | 3110.00    | 3430.00     | 2610.00      | 2920.00     | 2460.00    |
| Fuerza (N)                                   | 30509.10   | 33648.30    | 25604.10     | 28645.20    | 24132.60   |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 11.76      | 13.03       | 9.88         | 11.10       | 9.48       |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 11.05      |             |              |             |            |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 1.29       |             |              |             |            |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 112.70     |             |              |             |            |

Tabla 4.28 Esfuerzo último a corte paralelo al grano – Mascarey

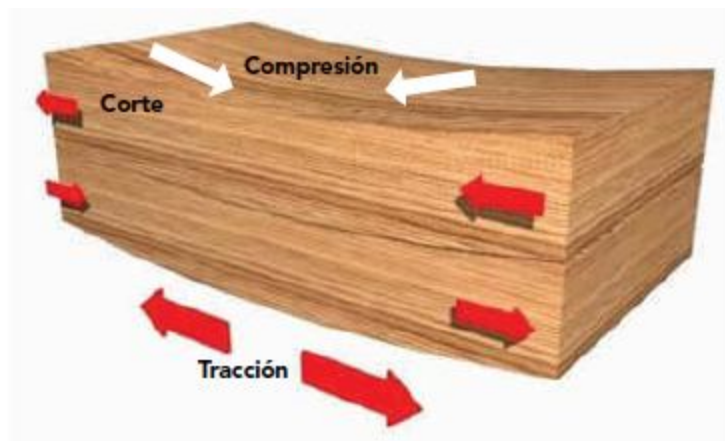


## 4.7 FLEXIÓN ESTÁTICA

La flexión estática se define como la resistencia de la viga de madera a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad.



**Figura 4.33** Aplicación de fuerzas en viga



**Figura 4.34** Esfuerzos en el ensayo de Flexión Estática

#### **4.7.1 ENSAYO**

##### **4.7.1.1 ALCANCE**

Obtención de esfuerzo último para flexión estática, y módulo de elasticidad para las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey; controlando factores como son el contenido de humedad, temperatura del ambiente y dimensiones de probetas.

##### **4.7.1.2 OBJETIVO**

Realizar los ensayos de laboratorio correspondientes según las normas COPANT y ASTM para determinar el esfuerzo último para flexión estática y módulo de elasticidad para las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey.

##### **4.7.1.3 INSTRUMENTAL**

- **Prensa:** máquina de ensayo universal, provista de mecanismo que permita regular la velocidad de descenso del cabezal.
- **Deflectómetro:** en caso de que la prensa provista no tenga los dispositivos necesarios para registrar las deflexiones en la probeta, será necesario la colocación extra de un dispositivo que sea capaz de medir la misma.
- **Cabezal o bloque de carga**

##### **4.7.1.4 MATERIALES**

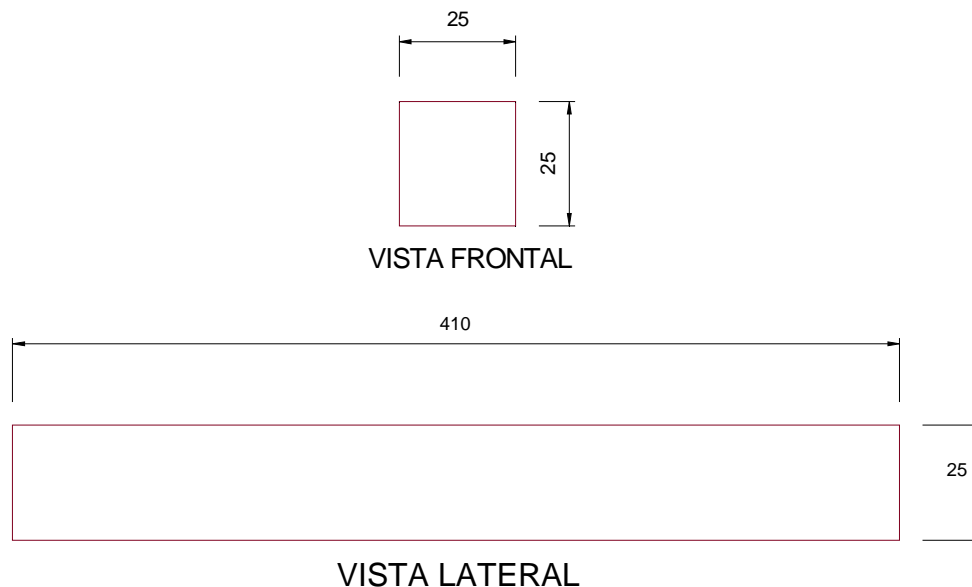
- Probeta de madera tipo A



**Figura 4.35** Probeta para ensayo de Flexión Estática

#### 4.7.1.5 PREPARACION DE LA PROBETA

Las dimensiones de las mismas serán de: 2.5 centímetros por 2.5 centímetros, por 41 centímetros, de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas Panamericanas, COPANT<sup>18</sup>; y Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM<sup>19</sup>; la probeta no deberá tener: nudos sueltos, rajaduras, grietas, fibras hinchadas, perforaciones, alabeos.



**Figura 4.36** Dimensiones de Probeta de Flexión Estática

<sup>18</sup> COPANT 555: Método de Ensayo de Flexión Estática

<sup>19</sup> ASTM D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

#### 4.7.1.6 PROCEDIMIENTO

- Se miden el ancho útil y altura de la probeta en su sección transversal, y su longitud.
- Se coloca la probeta sobre los apoyos, de modo que la carga aplicada mediante el cabezal, coincida con el punto medio de la luz de la misma.
- Se aplica la carga en forma continua, con una velocidad de 1 mm/min para la probeta de 2.5 centímetros por 2.5 centímetros.
- Cuando se utilice el deflectómetro se miden las flechas producidas en la mitad de la luz para cargas progresivas, con el intervalo que se crea conveniente.

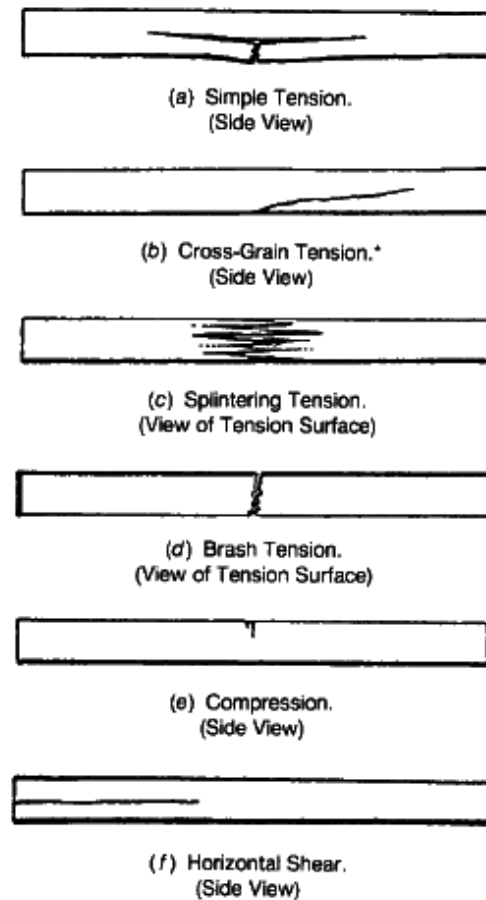


**Figura 4.37** Ensayo de Flexión Estática

- Se hace una descripción de la falla de la probeta de la probeta.
- Se anota la carga máxima obtenida durante el ensayo de la probeta hasta su falla.

#### 4.7.1.7 TIPOS DE FALLAS

A continuación se muestra los tipos de fallas producidos por el ensayo de flexión estática.



**Figura 4.38** Tipos de falla en Flexión Estática

- **a** = tensión simple
- **b** = tensión cruzando el grano (vista lateral)
- **c** = tensión de astilla (vista en la superficie de tensión)
- **d** = tensión quebradizo (vista en la superficie de tensión)
- **e** = compresión (vista lateral)
- **f** = corte horizontal (vista lateral)



**Figura 4.39** Probetas ensayadas

#### 4.7.2 CÁLCULOS

- **Cálculo del esfuerzo unitario en el límite de la proporcionalidad:** para el cálculo se aplica la fórmula siguiente:

$$ELPf = \frac{3 * P2 * L}{2 * b * h^2}$$

Donde:

ELPf: el esfuerzo unitario en el límite de proporcional, en kg/cm<sup>2</sup>

P2: la carga en el límite de proporcionalidad, en kg

L: la luz de la probeta, es decir la separación entre apoyos, en centímetros

b: el ancho de la probeta, en centímetros

h: la altura de la probeta, en centímetros

- **Cálculo del esfuerzo unitario máximo:**

El esfuerzo unitario máximo se calcula con la formula siguiente

$$EMf = \frac{3 * Pm * L}{2 * b * h^2}$$

Donde:

EMf: el esfuerzo unitario máximo, en kg/cm<sup>2</sup>

Pm: la carga máxima obtenida, en kg

L: la luz de la probeta, es decir la separación entre apoyos, en centímetros

b: el ancho de la probeta, en centímetros

h: la altura de la probeta, en centímetros

- **Cálculo del módulo de elasticidad:**

El cálculo del módulo de elasticidad se realiza con la formula siguiente:

$$MOEf = \frac{P2 * L^3}{4 * d1 * b * h^3}$$

Donde:

MOEf: es el módulo de elasticidad, en kg/cm<sup>2</sup>

d1: el valor de la deformación o flecha de la probeta en el límite de proporcionalidad, en centímetros

P2: la carga en el límite de proporcionalidad, en kg

L: la luz de la probeta, es decir la separación entre apoyos, en centímetros

b: el ancho de la probeta, en centímetros

h: la altura de la probeta, en centímetros.



| <b>ENSAYO DE FLEXIÓN</b>                     |                |                    |                |                          |                |
|--|----------------|--------------------|----------------|--------------------------|----------------|
| <b>GUAYACÁN PECHICHE</b>                     |                |                    |                |                          |                |
| <b>Muestra</b>                               | <b>G I</b>     | <b>G II</b>        | <b>G III</b>   | <b>G IV</b>              | <b>G V</b>     |
| Ancho (mm)                                   | 25.68          | 25.67              | 25.71          | 25.93                    | 25.84          |
| Altura (mm)                                  | 25.77          | 25.69              | 25.62          | 25.70                    | 25.73          |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 6.62           | 6.59               | 6.59           | 6.66                     | 6.65           |
| Longitud (mm)                                | 410.00         | 410.00             | 410.00         | 410.00                   | 410.00         |
| Distancia entre apoyos (mm)                  | 360.00         | 360.00             | 360.00         | 360.00                   | 360.00         |
| Inercia (cm <sup>4</sup> )                   | 3.66           | 3.63               | 3.60           | 3.67                     | 3.67           |
| Fuerza (kg)                                  | 630.00         | 720.00             | 669.00         | 596.00                   | 541.00         |
| Fuerza (N)                                   | 6180.30        | 7063.20            | 6562.89        | 5846.76                  | 5307.21        |
| Tipo de falla                                | Tensión simple | Tensión de astilla | Tensión simple | Tensión cruzada al grano | Tensión simple |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 195.81         | 225.18             | 210.09         | 184.35                   | 167.53         |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 196.59         |                    |                |                          |                |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 19.97          |                    |                |                          |                |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 2005.22        |                    |                |                          |                |

**Tabla 4.29** Esfuerzo último a flexión – Guayacán

| <b>ENSAYO DE FLEXIÓN</b>                     |                |                 |                |                 |                |
|--|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>COLORADO</b>                              |                |                 |                |                 |                |
| <b>Muestra</b>                               | <b>C I</b>     | <b>C II</b>     | <b>C III</b>   | <b>C IV</b>     | <b>C V</b>     |
| Ancho (mm)                                   | 25.96          | 25.68           | 25.71          | 26.04           | 25.51          |
| Altura (mm)                                  | 25.94          | 25.90           | 25.81          | 25.76           | 25.64          |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 6.73           | 6.65            | 6.63           | 6.71            | 6.54           |
| Longitud (mm)                                | 410.00         | 410.00          | 410.00         | 410.00          | 410.00         |
| Distancia entre apoyos (mm)                  | 360.00         | 360.00          | 360.00         | 360.00          | 360.00         |
| Inercia (cm <sup>4</sup> )                   | 3.78           | 3.72            | 3.68           | 3.71            | 3.58           |
| Fuerza (kg)                                  | 250.00         | 172.00          | 237.00         | 234.00          | 178.00         |
| Fuerza (N)                                   | 2452.50        | 1687.32         | 2324.97        | 2295.54         | 1746.18        |
| Tipo de falla                                | Tensión simple | Tensión cruzada | Tensión simple | Tensión cruzada | Tensión simple |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 75.83          | 52.90           | 73.32          | 71.78           | 56.26          |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 66.02          |                 |                |                 |                |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 9.49           |                 |                |                 |                |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 673.38         |                 |                |                 |                |

**Tabla 4.30** Esfuerzo último a flexión – Colorado

| <b>ENSAYO DE FLEXIÓN</b>                     |                |                |                    |                |                |
|--|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
| <b>SANDE</b>                                 |                |                |                    |                |                |
| <b>Muestra</b>                               | <b>S I</b>     | <b>S II</b>    | <b>S III</b>       | <b>S IV</b>    | <b>S V</b>     |
| Ancho (mm)                                   | 25.06          | 25.38          | 25.44              | 25.48          | 25.27          |
| Altura (mm)                                  | 25.58          | 25.22          | 25.33              | 25.53          | 25.47          |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 6.41           | 6.40           | 6.44               | 6.50           | 6.44           |
| Longitud (mm)                                | 410.00         | 410.00         | 410.00             | 410.00         | 410.00         |
| Distancia entre apoyos (mm)                  | 360.00         | 360.00         | 360.00             | 360.00         | 360.00         |
| Inercia (cm <sup>4</sup> )                   | 3.49           | 3.39           | 3.44               | 3.53           | 3.48           |
| Fuerza (kg)                                  | 247.00         | 289.00         | 280.00             | 253.00         | 254.00         |
| Fuerza (N)                                   | 2423.07        | 2835.09        | 2746.80            | 2481.93        | 2491.74        |
| Tipo de falla                                | Tensión simple | Tensión simple | Tensión quebradizo | Tensión simple | Tensión simple |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 79.81          | 94.86          | 90.93              | 80.72          | 82.11          |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 85.68          |                |                    |                |                |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 6.06           |                |                    |                |                |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 873.98         |                |                    |                |                |

**Tabla 4.31** Esfuerzo último a flexión – Sande

| <b>ENSAYO DE FLEXIÓN</b>                     |                |                |                 |                |                |
|--|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| <b>MASCAREY</b>                              |                |                |                 |                |                |
| <b>Muestra</b>                               | <b>M I</b>     | <b>M II</b>    | <b>M III</b>    | <b>M IV</b>    | <b>M V</b>     |
| Ancho (mm)                                   | 25.58          | 25.67          | 25.60           | 25.31          | 25.32          |
| Altura (mm)                                  | 25.55          | 25.71          | 25.62           | 25.56          | 25.59          |
| Área (cm <sup>2</sup> )                      | 6.54           | 6.60           | 6.56            | 6.47           | 6.48           |
| Longitud (mm)                                | 410.00         | 410.00         | 410.00          | 410.00         | 410.00         |
| Distancia entre apoyos (mm)                  | 360.00         | 360.00         | 360.00          | 360.00         | 360.00         |
| Inercia (cm <sup>4</sup> )                   | 3.56           | 3.63           | 3.59            | 3.52           | 3.53           |
| Fuerza (kg)                                  | 350.00         | 370.00         | 361.00          | 370.00         | 362.00         |
| Fuerza (N)                                   | 3433.50        | 3629.70        | 3541.41         | 3629.70        | 3551.22        |
| Tipo de falla                                | Tensión simple | Tensión simple | Tensión cruzada | Tensión simple | Tensión simple |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                 | 111.03         | 115.54         | 113.85          | 118.56         | 115.70         |
| <b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>               | 114.94         |                |                 |                |                |
| <b>Desviación estándar</b>                   | 2.47           |                |                 |                |                |
| <b>Esfuerzo promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 1172.35        |                |                 |                |                |

**Tabla 4.32** Esfuerzo último a flexión – Mascarey

### CONSIDERACIONES DE LABORATORIO

**Peso de cabezal (kg):** 140.00

**Constante Máquina Universal:** 2.50

| MUESTRA                               | GUAYACÁN PECHICHE |           |           |           |           |
|---------------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                       | G I               | G II      | G III     | G IV      | G V       |
| Ancho (mm)                            | 25.68             | 25.67     | 25.71     | 25.93     | 25.84     |
| Altura (mm)                           | 25.77             | 25.69     | 25.62     | 25.70     | 25.73     |
| Deformación (mm)                      | 11.32             | 12.63     | 11.52     | 12.53     | 11.05     |
| P ult (Kg)+ P Cabezal (kg)            | 770.00            | 860.00    | 809.00    | 736.00    | 681.00    |
| P ult (Kg)                            | 630.00            | 720.00    | 669.00    | 596.00    | 541.00    |
| <b>E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>          | 147822.57         | 152806.94 | 156760.27 | 126049.41 | 129739.03 |
| <b>E promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 142635.64         |           |           |           |           |
| <b>E Mínimo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 126049.41         |           |           |           |           |
| <b>Desviación Estandar</b>            | 12420.07          |           |           |           |           |

**Tabla 4.33** Módulo de elasticidad a flexión – Guayacán Pechiche

| MUESTRA                               | COLORADO |          |          |          |          |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                       | C I      | C II     | C III    | C IV     | C V      |
| Ancho (mm)                            | 25.96    | 25.68    | 25.71    | 26.04    | 25.51    |
| Altura (mm)                           | 25.94    | 25.90    | 25.81    | 25.76    | 25.64    |
| Deformación (mm)                      | 9.41     | 9.69     | 9.24     | 10.06    | 9.03     |
| P ult (Kg)+ P Cabezal (kg)            | 390.00   | 312.00   | 377.00   | 374.00   | 318.00   |
| P ult (Kg)                            | 250.00   | 172.00   | 237.00   | 234.00   | 178.00   |
| <b>E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>          | 68401.71 | 46413.30 | 67692.77 | 60999.06 | 53512.40 |
| <b>E Promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 59403.85 |          |          |          |          |
| <b>E Mínimo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 46413.30 |          |          |          |          |
| <b>Desviación Estandar</b>            | 8434.17  |          |          |          |          |

**Tabla 4.34** Módulo de elasticidad a flexión – Colorado

| MUESTRA                               | SANDE    |          |          |          |          |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                       | M I      | M II     | M III    | M IV     | M V      |
| Ancho (mm)                            | 25.06    | 25.38    | 25.44    | 25.48    | 25.27    |
| Altura (mm)                           | 25.58    | 25.22    | 25.33    | 25.53    | 25.47    |
| Deformación (mm)                      | 10.69    | 12.36    | 11.58    | 11.58    | 12.09    |
| P ult (Kg)+ P Cabezal (kg)            | 387.00   | 429.00   | 420.00   | 393.00   | 394.00   |
| P ult (Kg)                            | 247.00   | 289.00   | 280.00   | 253.00   | 254.00   |
| <b>E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>          | 64264.44 | 67001.66 | 68267.95 | 60116.38 | 58724.41 |
| <b>E promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 63674.97 |          |          |          |          |
| <b>E Mínimo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 58724.41 |          |          |          |          |
| <b>Desviación Estandar</b>            | 3733.13  |          |          |          |          |

Tabla 4.35 Módulo de elasticidad a flexión – Sande

| MUESTRA                               | MASCAREY |          |          |          |          |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                       | M I      | M II     | M III    | M IV     | M V      |
| Ancho (mm)                            | 25.58    | 25.67    | 25.60    | 25.31    | 25.32    |
| Altura (mm)                           | 25.55    | 25.71    | 25.62    | 25.56    | 25.59    |
| Deformación (mm)                      | 11.51    | 12.36    | 11.58    | 11.96    | 12.03    |
| P ult (Kg)+ P Cabezal (kg)            | 490.00   | 510.00   | 501.00   | 510.00   | 502.00   |
| P ult (Kg)                            | 350.00   | 370.00   | 361.00   | 370.00   | 362.00   |
| <b>E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>          | 83131.76 | 80054.04 | 84512.92 | 85394.36 | 82769.53 |
| <b>E promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 83172.52 |          |          |          |          |
| <b>E Mínimo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 80054.04 |          |          |          |          |
| <b>Desviación Estandar</b>            | 1823.30  |          |          |          |          |

Tabla 4.36 Módulo de elasticidad a flexión – Mascarey

## CAPÍTULO V ESFUERZOS ADMISIBLES PARA DISEÑO

### 5.1 ANTECEDENTES

Históricamente, los reglamentos de diseño se han basado en la experiencia profesional, el juicio y la intuición de los calculistas. Sin embargo, a pesar de los avances recientes en computación aplicada a la ingeniería, las complejas interrelaciones entre cargas y resistencias son todavía difíciles de predecir con exactitud<sup>20</sup>. Las incertidumbres más importantes están relacionadas con la variabilidad en las cargas, la variabilidad en la resistencia, la variabilidad en las dimensiones de los elementos, la súbita aparición de riesgos naturales como sismos, los riesgos por actividades humanas que son enormemente difíciles de predecir, el conocimiento insuficiente acerca del comportamiento de los materiales y los inevitables errores humanos en el diseño y la construcción.

Con el advenimiento de los primeros métodos de diseño desarrollados en el siglo XIX, se introdujo el concepto de factor de seguridad. Estos métodos estuvieron basados en conceptos elásticos y tomaron la forma de lo que ahora se conocen como métodos de diseño por esfuerzos permisibles. La idea básica de estos métodos fue y todavía es, seleccionar las cargas de manera conservadora, calcular los esfuerzos elásticos, y verificar que estos esfuerzos fueran menores que una fracción considerada segura de los esfuerzos resistentes.

---

<sup>20</sup> Raymundo Davalos, "DISEÑO PROBABILISTICO DE ESTRUCTURAS DE MADERA EN NORTEAMERICA", 1996. Pág.: 10

El factor de seguridad representa el nivel de confianza que se tiene en los métodos de diseño de vigor, así como en el conocimiento del comportamiento de los materiales. Los valores de los factores de seguridad han ido disminuyendo en forma continua desde finales del siglo XIX.

Los procedimientos basados en la confiabilidad para el diseño de estructuras están siendo desarrollados y logrando la aceptación de los organismos responsables de los reglamentos de construcción en todo el mundo. Estos reglamentos contienen cláusulas para garantizar que la estructura sea segura bajo la acción de cargas extremas y que permanezca funcional bajo las cargas de servicio.

La madera presenta una serie de problemas como un material estructural que no enfrentan ni el concreto ni el acero. Tal vez el principal de ellos sea la gran variabilidad inherente del material, la cual se logra reducir, únicamente en parte, con la clasificación estructural. Por otro lado, la construcción con madera incluye una amplia gama de productos con propiedades estructurales bastante diferentes. Además, muchas de las ecuaciones que se emplean en el diseño de miembros y conexiones son obsoletas.

Otro aspecto particular de la madera lo constituye el efecto de duración de carga sobre la resistencia. Desde hace varias décadas se sabe que la madera es un material sensitivo a la tasa de aplicación de la carga así como a la duración misma de la carga, asociándose una mayor resistencia a tasas más rápidas y duraciones

más cortas. Tradicionalmente, en muchos reglamentos de diseño del mundo, se han utilizado como base los resultados de los experimentos de Wood en 1951 para cuantificar el efecto de la duración de la carga sobre la resistencia.

Estos experimentos se hicieron con pequeños elementos a flexión libres de defectos. En la década de los 70's, se empezó a acumular evidencia que este efecto era diferente para las pequeñas probetas y para la madera comercial con defectos<sup>21</sup>. Desde entonces, varios programas de investigación han desarrollado enfoques diferentes para tratar este problema como: Barrett y Foschi, 1979; Nielsen, 1984, Gerhards y Link, 1986.

## 5.2 **ESFUERZOS ADMISIBLES**

Los esfuerzos admisibles se han determinado basados en resultados de ensayos con probetas pequeñas libres de defectos. Estos ensayos se han realizado de acuerdo con las normas del Comité Panamericano de Normas Técnicas (COPANT) y de la American Society for Testing and Materials (ASTM D- 143).

Para cada especie se han ensayado 5 probetas, considerándose como esfuerzo último lo siguiente:

- **Flexión:** esfuerzo de rotura (Módulo de rotura o MOR).
- **Compresión paralela a las fibras:** esfuerzo de aplastamiento

---

<sup>21</sup> Raymundo Davalos, "DISEÑO PROBABILISTICO DE ESTRUCTURAS DE MADERA EN NORTEAMERICA", 1996. Pág.: 12

- **Compresión perpendicular a las fibras:** esfuerzo en el límite de proporcionalidad.
- **Tracción paralela a las fibras:** esfuerzo de rotura.
- **Tracción perpendicular a las fibras:** esfuerzo de rotura.
- **Corte paralelo a las fibras:** esfuerzo de rotura.

La resistencia de la madera presenta una variabilidad natural, resultante de las condiciones climáticas locales y las características de crecimiento del árbol.

De acuerdo a estudios estadísticos realizados, se ha determinado que el esfuerzo resistente en condiciones últimas es aquel correspondiente al límite de exclusión del 5%, es decir que se espera que de toda la población existente de dicha especie solamente el 5% tenga una resistencia menor que este valor.

Considerando cada grupo por separado, se ha seleccionado los esfuerzos últimos, como se definió anteriormente, para cada especie con valor menor en cada caso. Estos se han utilizado para determinar los esfuerzos admisibles.

Los esfuerzos admisibles o de diseño se obtuvieron modificando las resistencias últimas mínimas de la siguiente forma:

$$\text{Esfuerzo Admisible} = \frac{F. C. \times F. T.}{F. S. \times F. D. C.} \times \text{Esfuerzo último}$$



Donde:

F.C. = Factor de reducción por calidad

F.T. = Factor de reducción por tamaño

F.S. = Factor de servicio y seguridad

F.D.C.= Factor de duración de la carga

### **5.3 FACTORES DE SEGURIDAD**

#### **Factor de reducción por calidad, F.C.:**

Este factor relaciona defectos en la norma COPANT de clasificación visual y por tamaño de las mismas. Por comparación realizada por las normas COPANT entre la resistencia obtenida en vigas y en probetas pequeñas libres de defectos, se obtuvieron valores del factor de calidad, se recomienda un factor de 0.8 igual para todos los grupos de maderas.

#### **Factor de servicio y seguridad, F.S.:**

Como el diseño se efectúa para condiciones de servicio, los esfuerzos últimos deben ser reducidos también a estas condiciones por debajo del límite de proporcionalidad. Esto garantiza un comportamiento adecuado de las estructuras en condiciones normales, así como la validez por lo medos aproximada de las hipótesis de comportamiento lineal y elástico.

Los esfuerzos en condiciones de servicio se obtienen dividiendo los correspondientes esfuerzos últimos entre un factor de seguridad y servicio que considera las incertidumbres respecto a:

1. Conocimiento de las propiedades del material y su variabilidad.
2. La confiabilidad de los ensayos para evaluar adecuadamente las características resistentes del material.
3. La presencia de defectos no detectados al momento de la clasificación visual.
4. El tipo de falla, frágil o dúctil, que pueda presentarse al sobre esforzar el material.
5. La evaluación de las cargas aplicadas y la determinación de los esfuerzos internos producidos por estas cargas en los elementos estructurales.
6. Dimensiones reales de los elementos con respecto a las supuestas en el análisis y el diseño.
7. Calidad de la mano de obra para una construcción adecuada.
8. Deterioro del material con el uso.
9. El riesgo de falla en función de la importancia del elemento o de la edificación y su relación con las vidas humanas.
10. El aumento de las cargas por posibles cambios en el destino o uso de la edificación.

### **Factor de reducción por tamaño, F.T.:**

En elementos de madera se observa una disminución del esfuerzo de rotura en flexión a medida que se consideran secciones de mayor tamaño. El tamaño también influye en los esfuerzos de rotura en tracción paralela a las fibras y en menor grado en la resistencia a otros tipos de sollicitación.

### **Factor de duración de la carga, F.D.C:**

Los esfuerzos de rotura de la madera disminuyen con la duración de la aplicación de la carga. Tradicionalmente se han considerado factores de reducción tan altos como 1.78. Sin embargo, investigaciones recientes han puesto en duda la influencia de la duración de la carga en los esfuerzos admisibles. Para niveles de esfuerzos correspondientes al límite de exclusión del 5%, la reducción encontrada es del orden de 14%. Para esfuerzos del orden de los esfuerzos admisibles es razonable esperar reducciones aún menores, de ahí que algunos investigadores propongan su eliminación definitiva.

|               | <b>FLEXIÓN</b> | <b>COMPRESIÓN PARALELA</b> | <b>CORTE PARALELO</b> | <b>COMPRESIÓN PERPENDICULAR</b> |
|---------------|----------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| <b>F.C.</b>   | 0,80           | -                          | -                     | -                               |
| <b>F.T.</b>   | 0,90           | -                          | -                     | -                               |
| <b>F.S.</b>   | 2,00           | 1,60                       | 4,00                  | 1,60                            |
| <b>F.D.C.</b> | 1,15           | 1,25                       | -                     | -                               |

**Tabla 5.1:** Factores de Reducción

Los factores de la Tabla 5.1 para disminución de los esfuerzos últimos por duración de la carga, aplican para condiciones **normales de carga**. La aplicación normal de cargas, contempla elementos estructurales resistiendo los esfuerzos admisibles en su totalidad debido a la aplicación de la máxima carga admisible de diseño, por un periodo de duración aproximado de 10 años, en forma continua o acumulativa, o por la aplicación del 90% de la máxima carga admisible por el tiempo restante de vida de la estructura; o por la acción de ambas<sup>22</sup>. Los esfuerzos admisibles deberán ser incrementados en un 100% para elementos que soporten cargas de impacto ocasional, brindando de igual forma seguridad para cargas estáticas. Por otro lado, las normas ASTM proponen que las propiedades mecánicas deben ser divididas para los factores dados en la Tabla 5.2, lo cual proporciona a los esfuerzos la condición de admisibles o de servicio para maderas. Estos incluyen ajustes por duración normal de carga y de seguridad.

TABLE 8 Adjustment Factors to Be Applied to the Clear Wood Properties

|           | Bending Strength | Modulus of Elasticity in Bending | Tensile Strength Parallel to Grain | Compressive Strength Parallel to Grain | Horizontal Shear Strength | Proportional Limit and Stress at Deformation in Compression Perpendicular to Grain |
|-----------|------------------|----------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------|--|
| Softwoods | 2.1              | 0.04                             | 2.1                                | 1.0                                    | 2.1                       | 1.67   |
| Hardwoods | 2.3              | 0.91                             | 2.3                                | 2.1                                    | 2.3                       | 1.67   |

Tabla 5.2: Factores de ajuste<sup>23</sup>

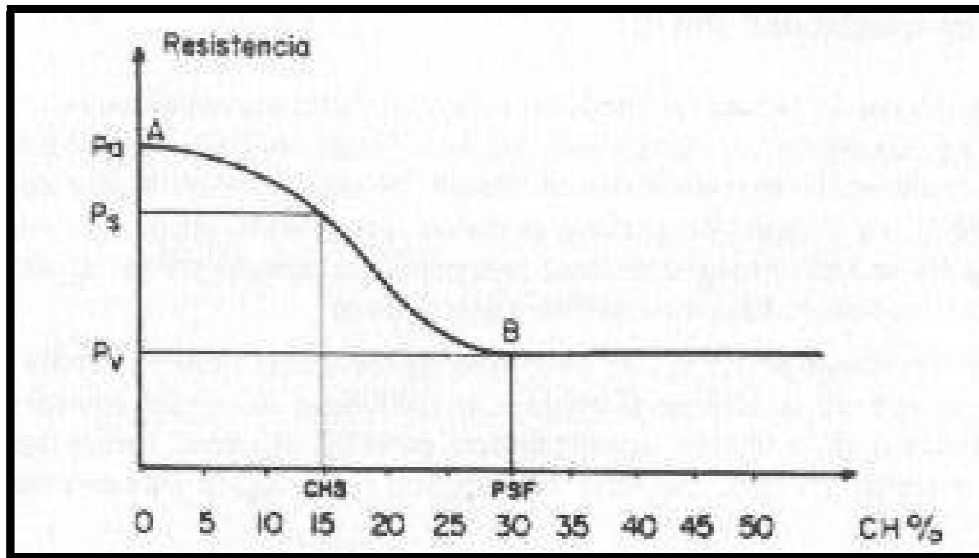
<sup>22</sup> ASTM D 245: Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber. Pag. 13.

<sup>23</sup> ASTM D 245: Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber. Pag. 11.

Como se puede observar de la Tabla 5.2, los factores de reducción son similares a los propuestos al Manual de diseño en madera del Grupo Andino, con excepción del corte, que no considera disminución por efecto de concentración de esfuerzos, que tiene un valor de 2. Por esta razón, los coeficientes de ajuste para obtener los esfuerzos admisibles a partir de los esfuerzos últimos son los propuestos por el Grupo Andino.

#### **5.4 RELACIÓN HUMEDAD – RESISTENCIA**

El contenido de humedad tiene una relación directa con la resistencia y rigidez de la madera, razón principal por la que varios autores escogen el 30% de humedad para la obtención de esfuerzos admisibles y demás propiedades. En la Figura 5.1. se puede observa que a partir del 30% de humedad, que es el punto de saturación de las fibras, la resistencia de la madera se mantiene constante; mientras que al 12% de contenido de humedad, las propiedades mecánicas son mayores, el cual se obtiene debido al contenido de humedad del ambiente y condiciones de servicio, como se explicó anteriormente.



**Figura 5.1:** Influencia del contenido de humedad en propiedades mecánicas

En el capítulo anterior "Propiedades Mecánicas de la madera tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey", los valores correspondientes a los esfuerzos de rotura o últimos resultaron ser mayores que los propuestos por varios textos o autores, como es el caso del Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, principal guía para la presente tesis; esta diferencia entre los resultados de esfuerzos tiene una razón fundamental que se basa en la diferencia del contenido de humedad.

En el caso del Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad determinados para cada uno de los diferentes tipos de madera han sido obtenidos a través de ensayos de probetas con un contenido de humedad al 30%, punto de saturación de las fibras, es decir con

madera en estado verde. Al realizar ensayos con probetas que contengan contenido de humedad mucho menor al mencionado, se obtendrán resultados de resistencias mayores. Por lo tanto, al construir con madera seca ( $Ch = 12\%$ ) tenemos un factor de seguridad adicional a los anteriormente explicados.

Para la presente investigación se ensayaron probetas con un contenido de humedad al 12%, debido a que esta humedad resulta óptima para la construcción en condiciones de servicialidad; y de esta forma las propiedades mecánicas resultan ideales al tener una mayor cantidad de resistencia a: compresión, tracción, flexión y corte. La humedad presente en la madera siempre tenderá a equilibrarse con la humedad del medio ambiente, dependiendo del lugar que nos encontremos estará en el orden del 12 al 18%.

Dentro de algunas normas sobre diseño y construcción en madera dentro de Latinoamérica, se manejan consideraciones específicas con respecto al contenido de humedad al momento de construcción y en condiciones de servicialidad. A continuación se muestra las condiciones que se pueden considerar al momento de determinar las tensiones admisibles y módulo de elasticidad, durante la construcción y en servicio de la estructura.

| Item | Condición de humedad de la madera |                 | Condición considerada para la madera en la determinación de su(s) |                       |
|------|-----------------------------------|-----------------|---|-----------------------|
|      | Durante la construcción           | En servicio     | Tensiones admisibles  | Módulo de elasticidad |
| 1    | $H_c \geq 20\%$                   | $H_s \geq 20\%$ | Verde   | Verde                 |
| 2    | $H_c \geq 20\%$                   | $H_s \leq 12\%$ | Seca ( $H = 12\%$ )   | Seca ( $H = 12\%$ )   |
| 3    | $H_c \leq 12\%$                   | $H_s \leq 12\%$ | Seca ( $H = 12\%$ )   | Seca ( $H = 12\%$ )   |
| 4    | $H_c \leq 12\%$                   | $H_s \geq 20\%$ | Verde   | Seca ( $H = 12\%$ )   |

NOTA - Para valores intermedios considerar 5.2.8.

$H_c$  : humedad de construcción.

$H_s$  : humedad de servicio.

**Tabla 5.3:** Condiciones de construcción y servicio<sup>24</sup>

Como podemos observar, los esfuerzo admisibles y módulo de elasticidad calculados al 12% son los que rigen en su mayoría dentro de los diferentes casos. Dentro de escenarios particulares se debe utilizar los esfuerzos y módulo de elasticidad determinados en madera verde, lo cual brinda esfuerzos más conservadores.

El Manual de diseño en madera del Grupo Andino, al presentar sus esfuerzos admisibles calculados con madera verde, sugiere que dichos esfuerzos sean utilizados para el diseño con madera seca.

Dentro del presente trabajo de grado se hará una estimación aproximada de las resistencias en madera verde basados en los resultados obtenidos en madera seca mediante procesos establecidos dentro del Manual del Grupo Andino.

<sup>24</sup> NORMA CHILENA NCh1198-2006: Madera – Construcciones en Madera – Cálculo. Pag: 8



Existen varios métodos para realizar comparaciones entre los valores de esfuerzos a: compresión paralela, tracción paralela, corte, flexión y módulo de elasticidad, con diferentes contenidos de humedad bajo el punto de saturación de las fibras, contenido de humedad del 30%, que es con la que trabaja el Manual de diseño para maderas del Grupo Andino.

El primer método se basa en la interpolación lineal, en la cual se obtienen valores al 30% del contenido de humedad, para luego obtener valores al 0% de contenido de humedad, es decir madera anhidra. Luego se aplican las siguientes fórmulas:

$$P = P_s * \left( \frac{P_s}{P_v} \right)^{-k}$$

$$k = \frac{CH - CHS}{PSF - CHS}$$

Donde:

P : valor de la propiedad a un contenido de humedad dado

Ps : valor de la propiedad a un contenido de humedad en estado seco

Pv : valor de la propiedad en estado verde

CH : contenido de humedad

CHS : contenido de humedad en estado seco

PSF : punto de saturación de las fibras

El segundo método se basa en porcentajes de reducción de resistencia por unidad de contenido de humedad dependiendo del tipo de esfuerzo, es decir que por cada unidad de contenido de humedad que se dese aumentar la resistencia deberá ser reducida un porcentaje de su total.

En la tabla 5.3 se muestra el porcentaje de reducción de esfuerzos en función de la variación unitaria en el contenido de humedad para cada tipo de esfuerzo.

| PROPIEDAD             | % DE VARIACIÓN |
|-----------------------|----------------|
| COMPRESIÓN PARALELA   | 4.-6.          |
| TRACCIÓN PARALELA     | 3              |
| CORTE                 | 3              |
| FLEXIÓN               | 4              |
| MODULO DE ELASTICIDAD | 2              |

**Tabla 5.4:** Variación de las propiedades mecánicas para una variación unitaria en el contenido de humedad

Para este caso en particular, se estima la resistencia de las maderas tipo A: Guayacán Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey con contenido de humedad al 30%, basados en los resultados obtenidos en laboratorio con probetas de madera seca, con un contenido de humedad aproximado del 12%, y de esta manera poder realizar una comparación real entre los esfuerzos obtenidos en laboratorio con los presentados en el Manual de diseño para maderas del Grupo Andino.

## COMPRESION PARALELA A LA FIBRA

- Guayacán Pechiche

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                      |        |
|--|--------|
| <b>Muestra</b>                                     | G III  |
| <b>% Variación</b>                                 | 4      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                    | 11.70  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 789.61 |
| <b>Esfuerzo en madera verde(kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 211.61 |

**Tabla 5.5:** Esfuerzo último mínimo a compresión paralela a la fibra - Guayacán  
Pechiche

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                    |        |
|--|--------|
| <b>% Variación</b>                                 | 4      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                    | 11.73  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 931.82 |
| <b>Esfuerzo en madera verde(kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 250.85 |

**Tabla 5.6:** Esfuerzo último promedio a compresión paralela a la fibra - Guayacán  
Pechiche

- Colorado

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                      |        |
|--|--------|
| <b>Muestra</b>                                     | C V    |
| <b>% Variación</b>                                 | 4      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                    | 12.66  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 366.27 |
| <b>Esfuerzo en madera verde(kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 112.23 |

**Tabla 5.7:** Esfuerzo último mínimo a compresión paralela a la fibra – Colorado

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                    |        |
|--|--------|
| <b>% Variación</b>                                 | 4      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                    | 12.11  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 405.61 |
| <b>Esfuerzo en madera verde(kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 115.36 |

**Tabla 5.8:** Esfuerzo último promedio a compresión paralela a la fibra – Colorado

- Sande

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                      |        |
|--|--------|
| <b>Muestra</b>                                     | S I    |
| <b>% Variación</b>                                 | 4      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                    | 13.92  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 443.49 |
| <b>Esfuerzo en madera verde(kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 158.24 |

**Tabla 5.9:** Esfuerzo último mínimo a compresión paralela a la fibra – Sande

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                    |        |
|--|--------|
| <b>% Variación</b>                                 | 4      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                    | 13.50  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 449.59 |
| <b>Esfuerzo en madera verde(kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 152.86 |

**Tabla 5.10:** Esfuerzo último promedio a compresión paralela a la fibra – Sande

- **Mascarey**

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                      |        |
|--|--------|
| <b>Muestra</b>                                     | M II   |
| <b>% Variación</b>                                 | 4      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                    | 12.98  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 508.20 |
| <b>Esfuerzo en madera verde(kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 162.22 |

**Tabla 5.11:** Esfuerzo último mínimo a compresión paralela a la fibra – Mascarey

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                    |        |
|--|--------|
| <b>% Variación</b>                                 | 4      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                    | 13.33  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 523.84 |
| <b>Esfuerzo en madera verde(kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 174.54 |

**Tabla 5.12:** Esfuerzo último promedio a compresión paralela a la fibra – Mascarey

## **COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA**

- **Guayacán Pechiche**

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                       |        |
|---|--------|
| <b>Muestra</b>                                      | G III  |
| <b>Variación (%)</b>                                | 4      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.31  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 383.60 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 112.21 |

**Tabla 5.13:** Esfuerzo último mínimo a compresión perpendicular a la fibra -  
Guayacán Pechiche

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                     |        |
|---|--------|
| <b>Variación (%)</b>                                | 4      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 11.71  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 370.93 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 99.59  |

**Tabla 5.14:** Esfuerzo último promedio a compresión perpendicular a la fibra -  
Guayacán Pechiche

- **Colorado**

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                       |        |
|---|--------|
| <b>Muestra</b>                                      | C I    |
| <b>Variación (%)</b>                                | 4      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.71  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 115.52 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 35.64  |

**Tabla 5.15:** Esfuerzo último mínimo a compresión perpendicular a la fibra -  
Colorado

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                     |        |
|---|--------|
| <b>Variación (%)</b>                                | 4      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.50  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 118.10 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 35.45  |

**Tabla 5.16:** Esfuerzo último promedio a compresión perpendicular a la fibra -  
Colorado

- Sande

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                       |        |
|---|--------|
| <b>Muestra</b>                                      | S IV   |
| <b>Variación (%)</b>                                | 4      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 13.92  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 120.61 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 43.01  |

**Tabla 5.17:** Esfuerzo último mínimo a compresión perpendicular a la fibra - Sande

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                     |        |
|---|--------|
| <b>Variación (%)</b>                                | 4      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 13.74  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 112.79 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 39.44  |

**Tabla 5.18:** Esfuerzo último promedio a compresión perpendicular a la fibra -  
Sande

- **Mascarey**

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                       |        |
|---|--------|
| <b>Muestra</b>                                      | M III  |
| <b>Variación (%)</b>                                | 4      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 14.04  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 147.59 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 53.34  |

**Tabla 5.19:** Esfuerzo último mínimo a compresión perpendicular a la fibra -

Mascarey

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                     |        |
|---|--------|
| <b>Variación (%)</b>                                | 4      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 13.57  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 191.04 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 65.47  |

**Tabla 5.20:** Esfuerzo último promedio a compresión perpendicular a la fibra -

Mascarey



## TRACCION PARALELA A LA FIBRA

- **Guayacán Pechiche**

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                       |         |
|---|---------|
| <b>Muestra</b>                                      | G V     |
| <b>Variación (%)</b>                                | 3       |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.14   |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 2339.38 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 1085.78 |

**Tabla 5.21:** Esfuerzo último mínimo a tracción paralela a la fibra – Guayacán  
Pechiche

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                     |         |
|---|---------|
| <b>Variación (%)</b>                                | 3       |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 11.84   |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 2631.54 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 1197.58 |

**Tabla 5.22:** Esfuerzo último promedio a tracción paralela a la fibra – Guayacán  
Pechiche

- **Colorado**

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                       |        |
|---|--------|
| <b>Muestra</b>                                      | C IV   |
| <b>Variación (%)</b>                                | 3      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.71  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 692.91 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 333.48 |

**Tabla 5.23:** Esfuerzo último mínimo a tracción paralela a la fibra – Colorado

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                     |        |
|---|--------|
| <b>Variación (%)</b>                                | 3      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.12  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 824.58 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 382.36 |

**Tabla 5.24:** Esfuerzo último promedio a tracción paralela a la fibra – Colorado

- Sande

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                       |        |
|---|--------|
| <b>Muestra</b>                                      | S V    |
| <b>Variación (%)</b>                                | 3      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.97  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 786.01 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 384.42 |

**Tabla 5.25:** Esfuerzo último mínimo a tracción paralela a la fibra – Sande

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                     |        |
|---|--------|
| <b>Variación (%)</b>                                | 3      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.66  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 933.98 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 448.01 |

**Tabla 5.26:** Esfuerzo último promedio a tracción paralela a la fibra – Sande

- Mascarey

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                       |        |
|---|--------|
| <b>Muestra</b>                                      | M IV   |
| <b>Variación (%)</b>                                | 3      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 13.44  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 881.29 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 443.38 |

**Tabla 5.27:** Esfuerzo último mínimo a tracción paralela a la fibra – Mascarey

---

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                     |         |
|---|---------|
| <b>Variación (%)</b>                                | 3       |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.49   |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 1109.83 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 526.96  |

**Tabla 5.28:** Esfuerzo último promedio a tracción paralela a la fibra – Mascarey

## TRACCION PERPENDICULAR A LA FIBRA

- **Guayacán Pechiche**

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                       |       |
|---|-------|
| <b>Muestra</b>                                      | G IV  |
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 11.18 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 51.98 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 22.63 |

**Tabla 5.29:** Esfuerzo último mínimo a tracción perpendicular a la fibra – Guayacán Pechiche

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                     |       |
|---|-------|
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 11.07 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 60.99 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 26.36 |

**Tabla 5.30:** Esfuerzo último promedio a tracción perpendicular a la fibra – Guayacán Pechiche

- **Colorado**

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                       |       |
|---|-------|
| <b>Muestra</b>                                      | C IV  |
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 14.00 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 33.85 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 17.60 |

**Tabla 5.31:** Esfuerzo último mínimo a tracción perpendicular a la fibra – Colorado

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                     |       |
|---|-------|
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 13.54 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 49.06 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 24.84 |

**Tabla 5.32:** Esfuerzo último promedio tracción perpendicular a la fibra – Colorado

- Sande

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                       |       |
|---|-------|
| <b>Muestra</b>                                      | S I   |
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 12.35 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 31.30 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 18.51 |

**Tabla 5.33:** Esfuerzo último mínimo a tracción perpendicular a la fibra – Sande

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                     |       |
|---|-------|
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 12.27 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 39.33 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 18.41 |

**Tabla 5.34:** Esfuerzo último promedio a tracción perpendicular a la fibra – Sande

- Macarey

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                       |       |
|---|-------|
| <b>Muestra</b>                                      | M IV  |
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 12.11 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 38.81 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 17.98 |

**Tabla 5.35:** Esfuerzo último mínimo a tracción perpendicular a la fibra – Mascarey

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                     |       |
|---|-------|
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 12.43 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 41.48 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 19.62 |

**Tabla 5.36:** Esfuerzo último promedio tracción perpendicular a la fibra –Mascarey

## CORTE

- Guayacán Pechiche

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                       |        |
|---|--------|
| <b>Muestra</b>                                      | G II   |
| <b>% Variación</b>                                  | 3      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 11.41  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 119.74 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 52.96  |

Tabla 5.37: Esfuerzo último mínimo corte paralelo a la fibra – Guayacán Pechiche

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                     |        |
|---|--------|
| <b>% Variación</b>                                  | 3      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 11.14  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 153.40 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 66.61  |

Tabla 5.38: Esfuerzo último promedio corte paralelo a la fibra – Guayacán Pechiche

- Colorado

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                       |       |
|---|-------|
| <b>Muestra</b>                                      | C I   |
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 13.03 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 76.89 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 37.74 |

Tabla 5.39: Esfuerzo último mínimo corte paralelo a la fibra – Colorado

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                     |       |
|---|-------|
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 13.03 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 81.79 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 40.15 |

**Tabla 5.40:** Esfuerzo último promedio corte paralelo a la fibra – Colorado

- Sande

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                       |       |
|---|-------|
| <b>Muestra</b>                                      | S V   |
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 14.42 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 50.20 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 34.14 |

**Tabla 5.41:** Esfuerzo último mínimo corte paralelo a la fibra – Sande

| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                     |       |
|---|-------|
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 15.09 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 64.10 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 35.43 |

**Tabla 5.42:** Esfuerzo último promedio corte paralelo a la fibra – Sande

- Mascarey

| <b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>                       |       |
|---|-------|
| <b>Muestra</b>                                      | M III |
| <b>% Variación</b>                                  | 3     |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 12.74 |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 96.68 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 46.62 |

**Tabla 5.43:** Esfuerzo último mínimo corte paralelo a la fibra – Mascarey



| <b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>                     |        |
|---|--------|
| <b>% Variación</b>                                  | 3      |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                     | 13.11  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 112.70 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 55.60  |

**Tabla 5.44:** Esfuerzo último promedio corte paralelo a la fibra – Mascarey

## FLEXIÓN

- Guayacán Pechiche

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                       |         |
|---|---------|
| <b>Muestra</b>                                      | G V     |
| <b>Variación (%)</b>                                | 4       |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.14   |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 1708.79 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 488.23  |

Tabla 5.45: Esfuerzo último mínimo flexión estática – Guayacán Pechiche

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                     |         |
|---|---------|
| <b>Variación (%)</b>                                | 4       |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 12.06   |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 2005.22 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 565.95  |

Tabla 5.46: Esfuerzo último promedio flexión estática – Guayacán Pechiche

- Colorado

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                       |        |
|---|--------|
| <b>Muestra</b>                                      | C II   |
| <b>Variación (%)</b>                                | 4      |
| <b>Contenido de humedad (%)</b>                     | 11.11  |
| <b>Esfuerzo en madera seca (kg/cm<sup>2</sup>)</b>  | 539.61 |
| <b>Esfuerzo en madera verde (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 131.91 |

Tabla 5.47: Esfuerzo último mínimo flexión estática – Colorado

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                |        |
|--|--------|
| Variación (%)                                  | 4      |
| Contenido de humedad (%)                       | 11.58  |
| Esfuerzo en madera seca (kg/cm <sup>2</sup> )  | 673.38 |
| Esfuerzo en madera verde (kg/cm <sup>2</sup> ) | 177.32 |

**Tabla 5.48:** Esfuerzo último promedio flexión estática – Colorado

- Sande

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                  |        |
|--|--------|
| Muestra  | S I    |
| Variación (%)                                  | 4      |
| Contenido de humedad (%)                       | 10.96  |
| Esfuerzo en madera seca (kg/cm <sup>2</sup> )  | 814.07 |
| Esfuerzo en madera verde (kg/cm <sup>2</sup> ) | 194.04 |

**Tabla 5.49:** Esfuerzo último mínimo flexión estática – Sande

| <b>Esfuerzo último promedio</b>                |        |
|--|--------|
| Variación (%)                                  | 4      |
| Contenido de humedad (%)                       | 11.81  |
| Esfuerzo en madera seca (kg/cm <sup>2</sup> )  | 873.98 |
| Esfuerzo en madera verde (kg/cm <sup>2</sup> ) | 238.23 |

**Tabla 5.50:** Esfuerzo último promedio flexión estática – Sande

- Mascarey

| <b>Esfuerzo último mínimo</b>                  |         |
|--|---------|
| Muestra  | M I     |
| Variación (%)                                  | 4       |
| Contenido de humedad (%)                       | 13.64   |
| Esfuerzo en madera seca (kg/cm <sup>2</sup> )  | 1132.53 |
| Esfuerzo en madera verde (kg/cm <sup>2</sup> ) | 391.24  |

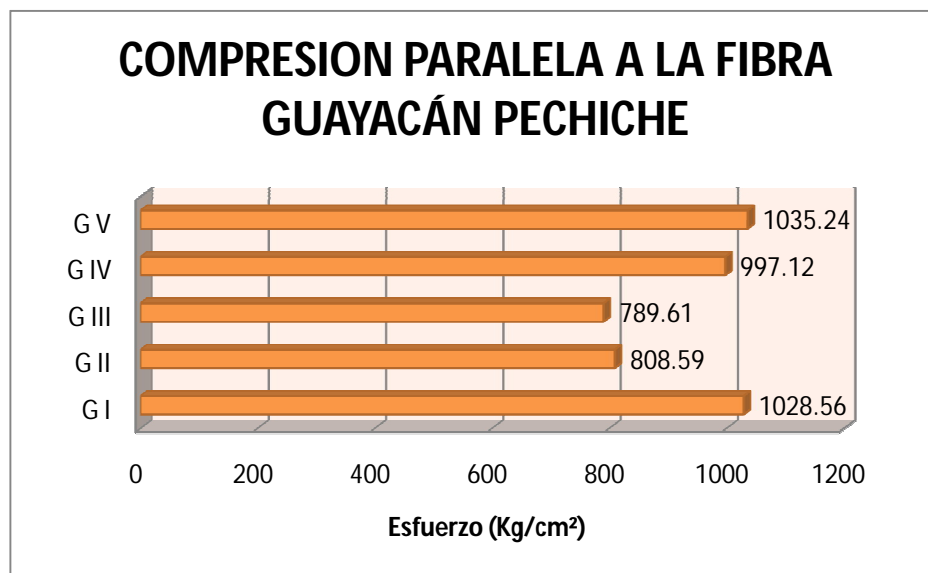
**Tabla 5.51:** Esfuerzo último mínimo flexión estática – Mascarey

| Esfuerzo último promedio                       |         |
|--|---------|
| Variación (%)                                  | 4       |
| Contenido de humedad (%)                       | 13.07   |
| Esfuerzo en madera seca (kg/cm <sup>2</sup> )  | 1172.35 |
| Esfuerzo en madera verde (kg/cm <sup>2</sup> ) | 378.59  |

**Tabla 5.52:** Esfuerzo último promedio flexión estática – Mascarey

## 5.5 ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESION PARALELA A LA FIBRA

A partir de los esfuerzos de rotura obtenidos en laboratorio podemos determinar el mínimo esfuerzo para cada una de las especies en estudio, el mismo que será afectado con los coeficientes de reducción ya mencionados, y son:



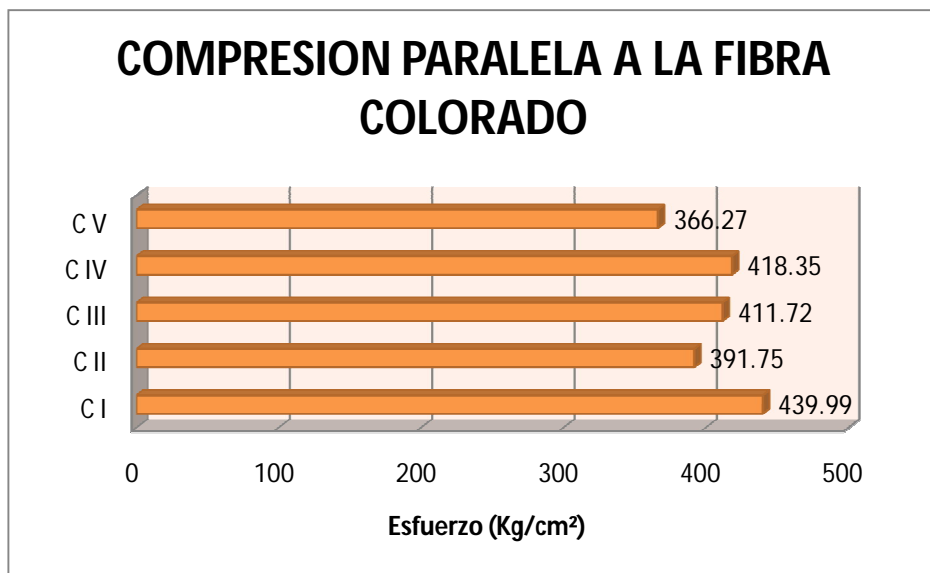
**Cuadro 5.1:** Esfuerzos Últimos Guayacán Pechiche

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S. \times F.D.C.} \times \text{Esfuerzo Último Mínimo}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.60 \times 1.25} \times 789.61 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 394.81 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 38.71 \text{ (Mpa)}$$

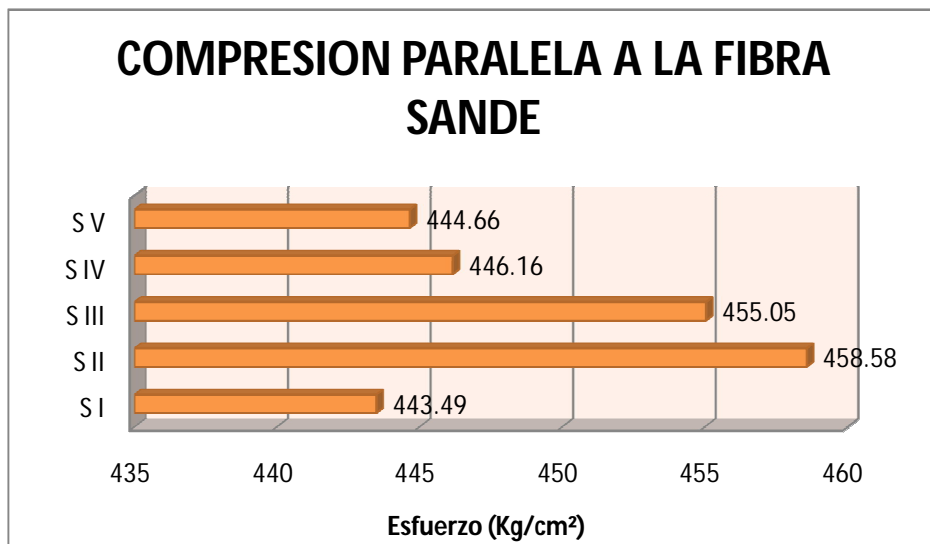


**Cuadro 5.2:** Esfuerzos Últimos Colorado

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.60 \times 1.25} \times 366.27 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 183.14 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 17.95 \text{ (Mpa)}$$

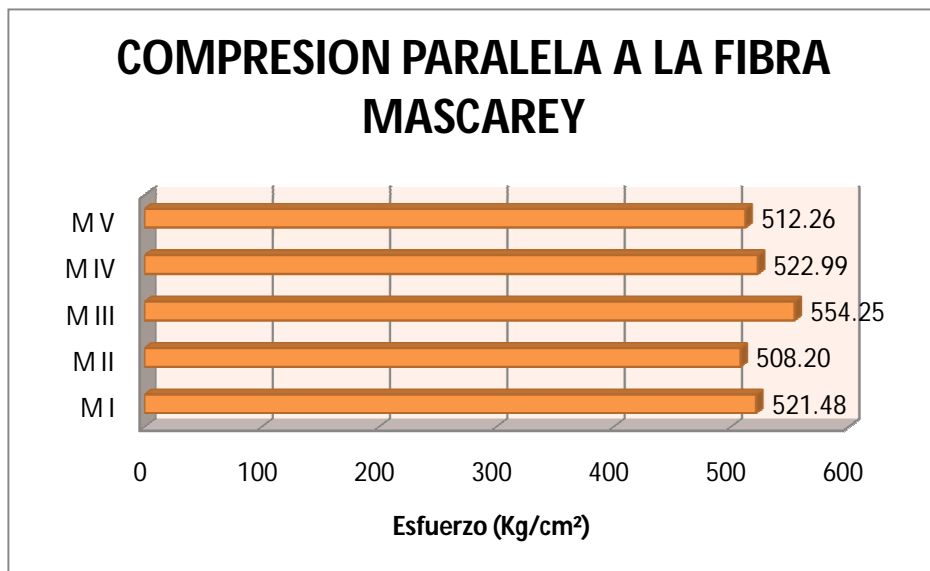


**Cuadro 5.3:** Esfuerzos Últimos Sande

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.60 \times 1.25} \times 443.49 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 221.75 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 21.74 \text{ (Mpa)}$$



**Cuadro 5.4:** Esfuerzos Últimos Mascarey

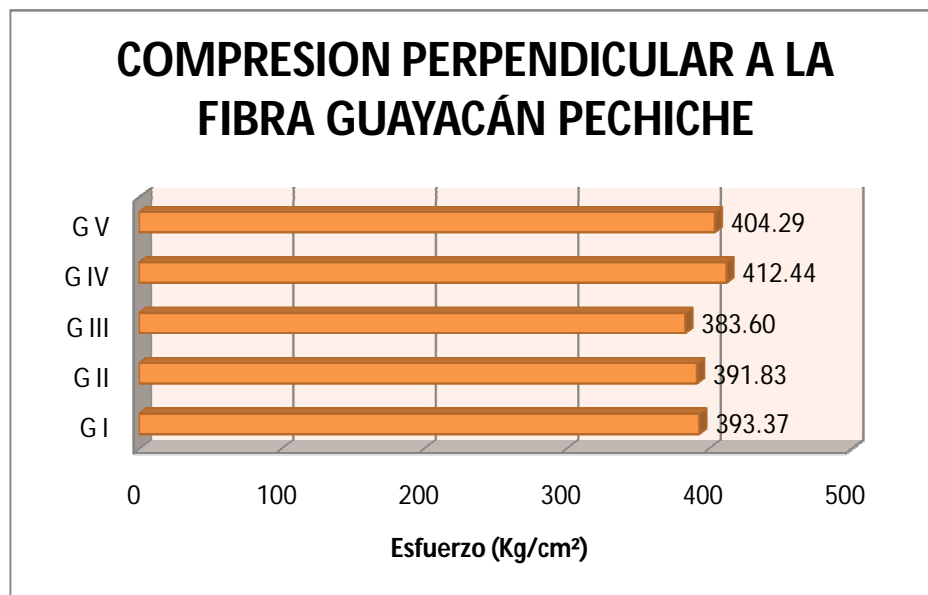
$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.60 \times 1.25} \times 508.20 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 254.10 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 24.91 \text{ (Mpa)}$$

## 5.6 ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA

A partir de los esfuerzos de rotura obtenidos en laboratorio podemos determinar el mínimo esfuerzo para cada una de las especies en estudio, el mismo que será afectado con los coeficientes de reducción ya mencionados, y son:



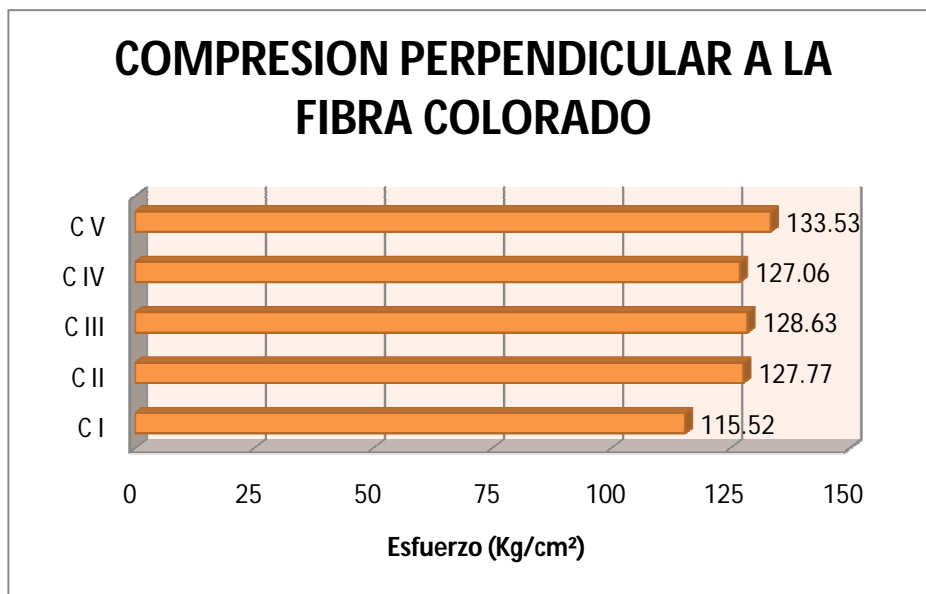
**Cuadro 5.5:** Esfuerzos Últimos Guayacán Pechiche

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.} \times \text{Esfuerzo Último Mínimo}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.60} \times 383.60 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 239.75 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 23.50 \text{ (Mpa)}$$



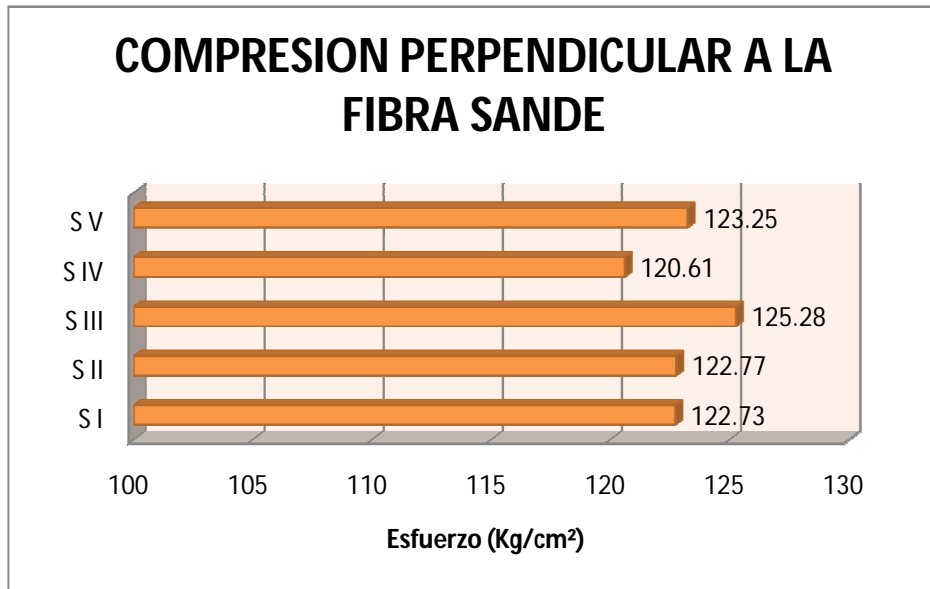
**Cuadro 5.6** Esfuerzos Últimos Colorado

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.60} \times 115.52 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 72.20 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 7.07 \text{ (Mpa)}$$



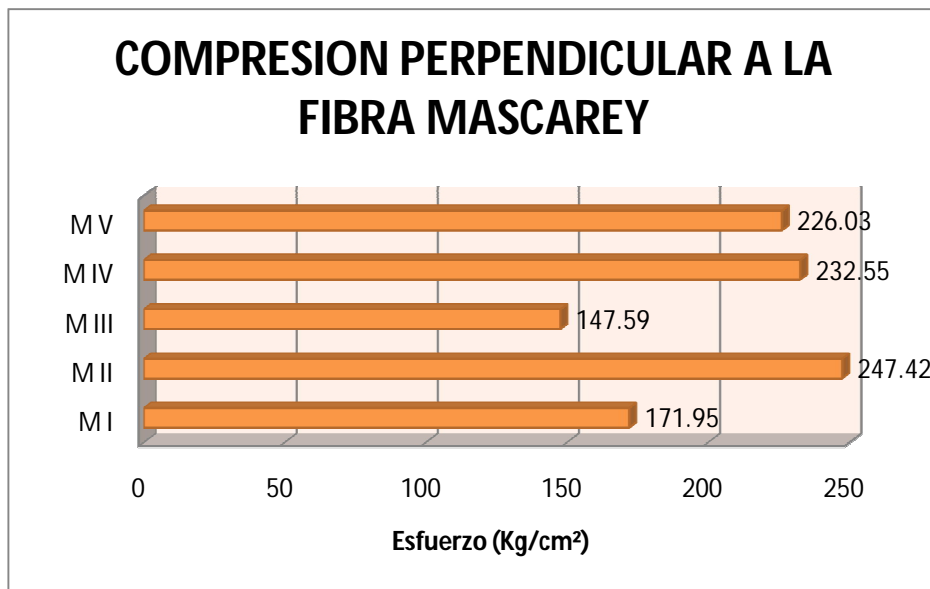


**Cuadro 5.7** Esfuerzos Últimos Sande

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.60} \times 120.61 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 75.38 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 7.39 \text{ (Mpa)}$$



**Cuadro 5.8** Esfuerzos Últimos Mascarey

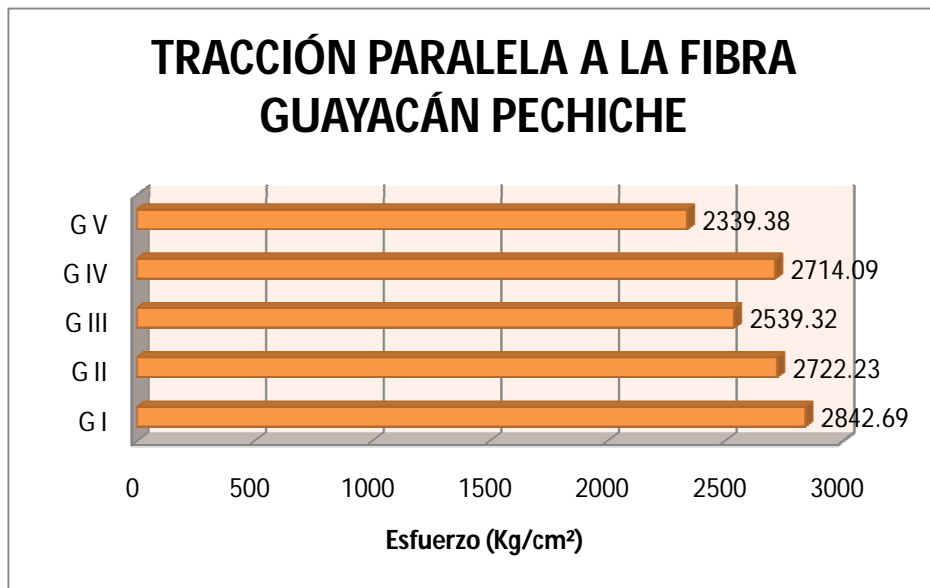
$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.60} \times 147.59 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 92.24 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 9.04 \text{ (Mpa)}$$

### 5.7 ESFUERZO ADMISIBLE DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

A partir de los esfuerzos de rotura obtenidos en laboratorio podemos determinar el mínimo esfuerzo para cada una de las especies en estudio, el mismo que será afectado con los coeficientes de reducción ya mencionados, y son:



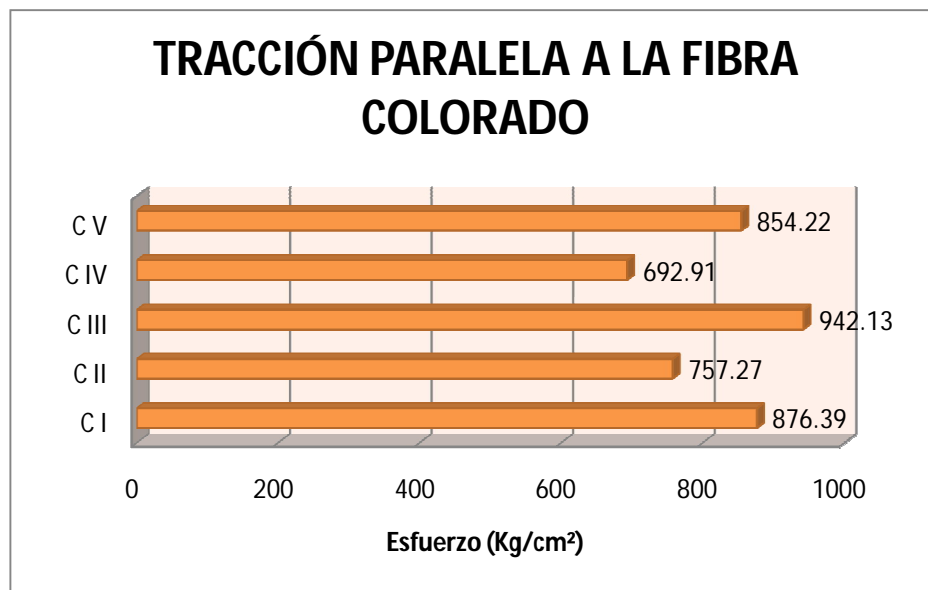
**Cuadro 5.9:** Esfuerzos Últimos Guayacán Pechiche

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{2.3} \times \text{Esfuerzo Último Mínimo}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{2.3} \times 2339.38 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 1017.12 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 99.72 \text{ (Mpa)}$$

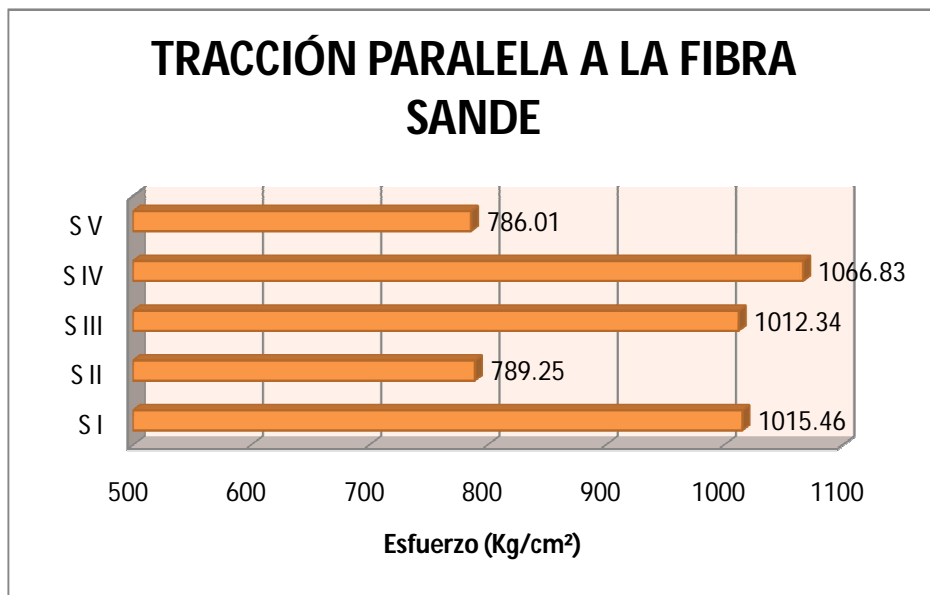


**Cuadro 5.10:** Esfuerzos Últimos Colorado

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{2.3} \times 692.91 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 301.27 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 29.54 \text{ (Mpa)}$$

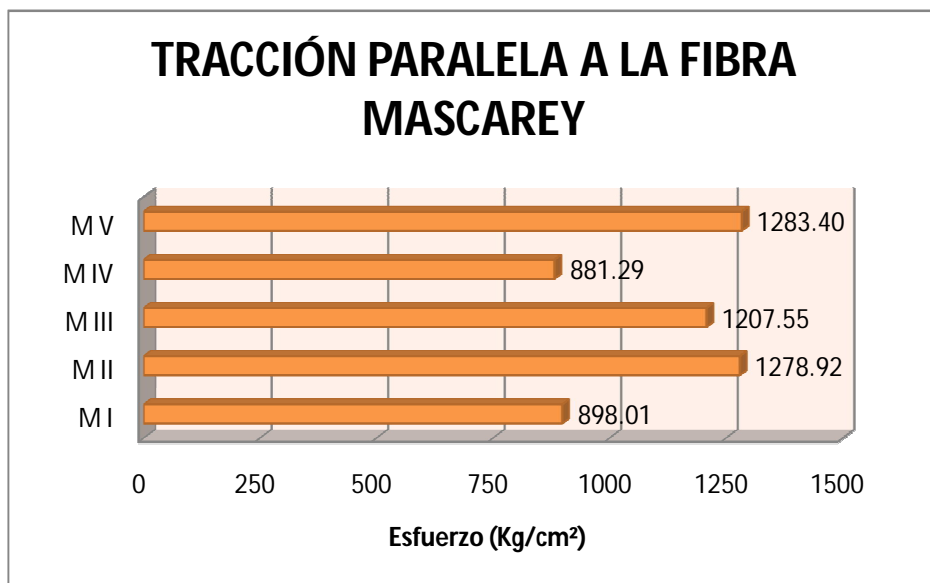


**Cuadro 5.11:** Esfuerzos Últimos Sande

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{2.3} \times 786.01 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 341.74 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 33.50 \text{ (Mpa)}$$



**Cuadro 5.12:** Esfuerzos Últimos Mascarey

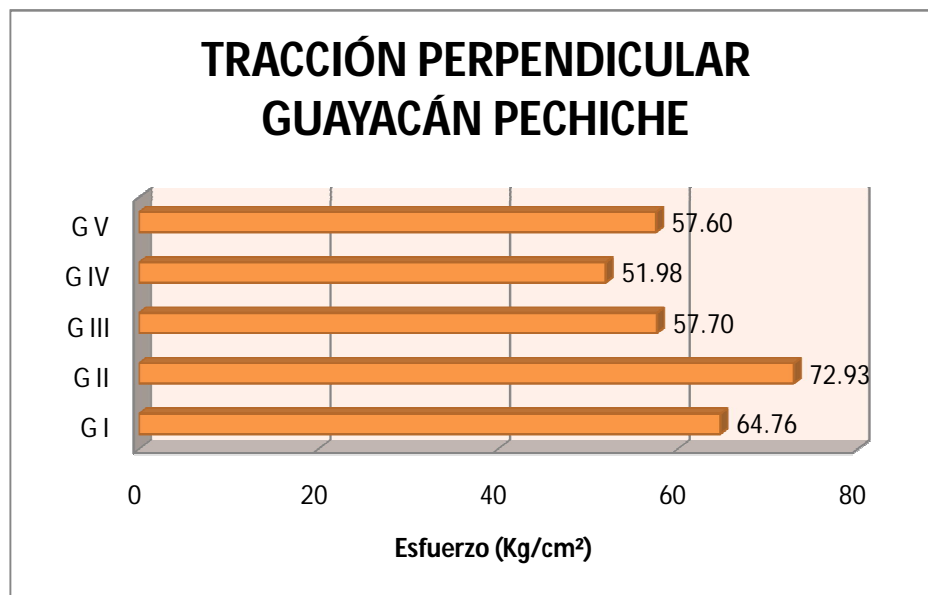
$$\sigma_{adm} = \frac{1}{2.3} \times 881.29 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 383.17 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 37.57 \text{ (Mpa)}$$

## 5.8 ESFUERZO ADMISIBLE DE TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

A partir de los esfuerzos de rotura obtenidos en laboratorio podemos determinar el mínimo esfuerzo para cada una de las especies en estudio, el mismo que será afectado con los coeficientes de reducción ya mencionados, y son:



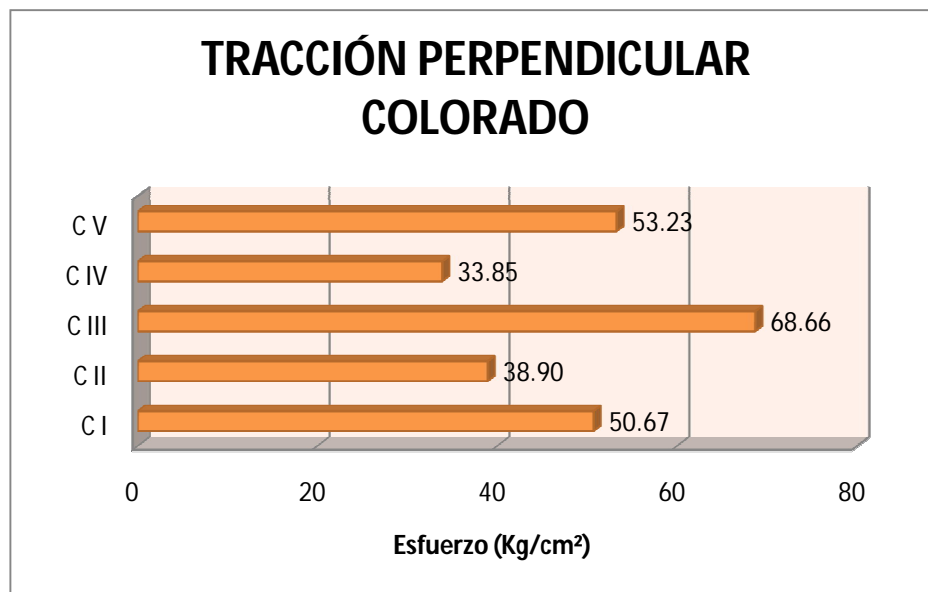
**Cuadro 5.13:** Esfuerzos Últimos Guayacán Pechiche

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{2.3} \times \text{Esfuerzo Último Mínimo}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{2.3} \times 51.98 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 22.60 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 2.22 \text{ (Mpa)}$$

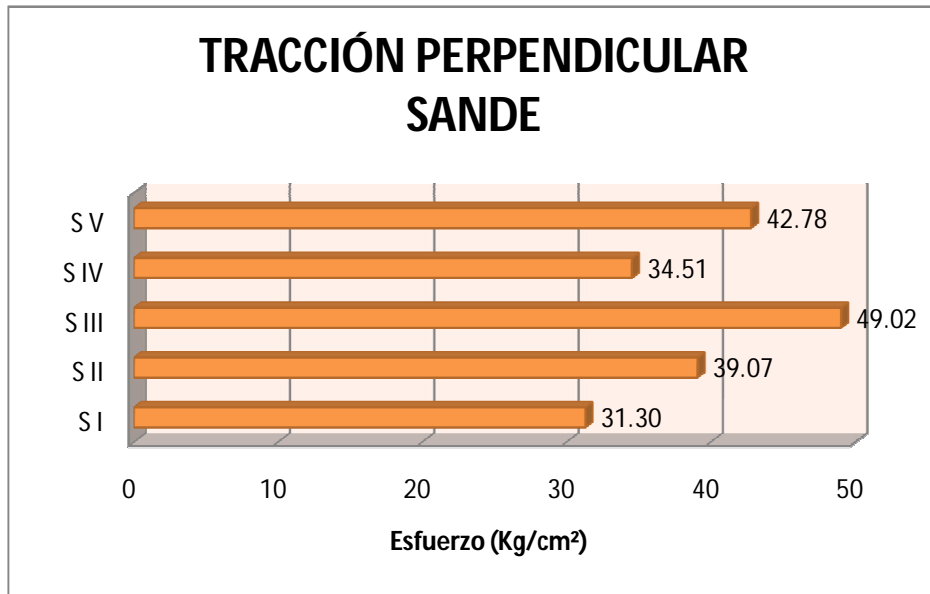


**Cuadro 5.14:** Esfuerzos Últimos Colorado

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{2.3} \times 33.85 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 14.72 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 1.44 \text{ (Mpa)}$$

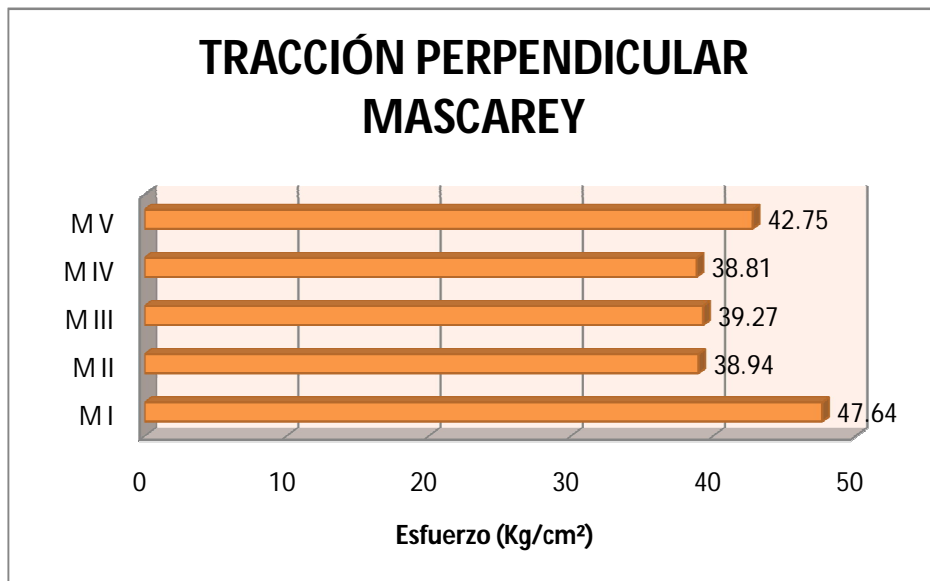


**Cuadro 5.15:** Esfuerzos Últimos Sande

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{2.3} \times 31.30 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 13.61 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 1.33(\text{Mpa})$$



**Cuadro 5.16:** Esfuerzos Últimos Mascarey

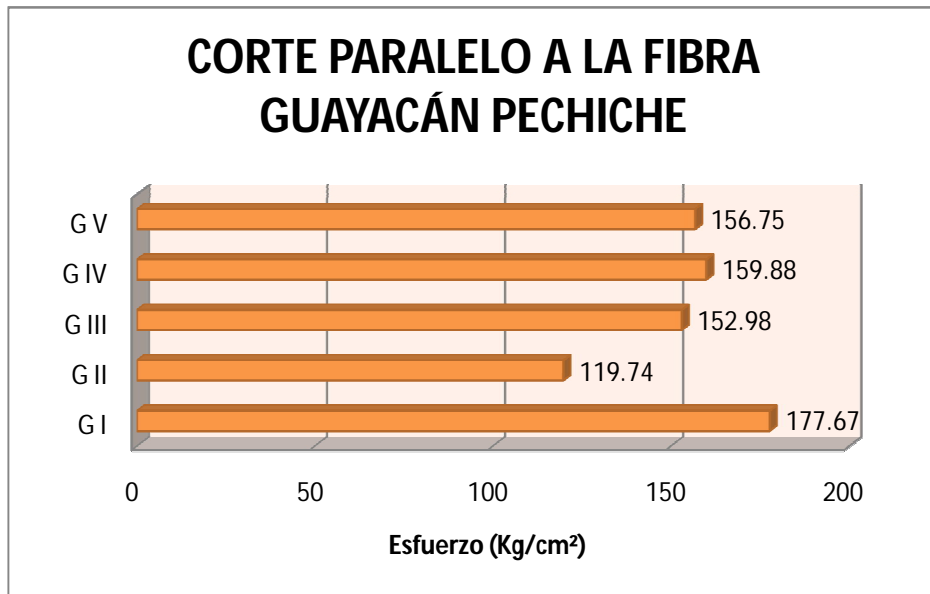
$$\sigma_{adm} = \frac{1}{2.3} \times 38.81 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 16.87 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 1.65(\text{Mpa})$$

### 5.9 ESFUERZO ADMISIBLE DE CORTE PARALELO AL GRANO

A partir de los esfuerzos de rotura obtenidos en laboratorio podemos determinar el mínimo esfuerzo para cada una de las especies en estudio, el mismo que será afectado con los coeficientes de reducción ya mencionados, y son:



**Cuadro 5.17:** Esfuerzos Últimos Guayacán Pechiche

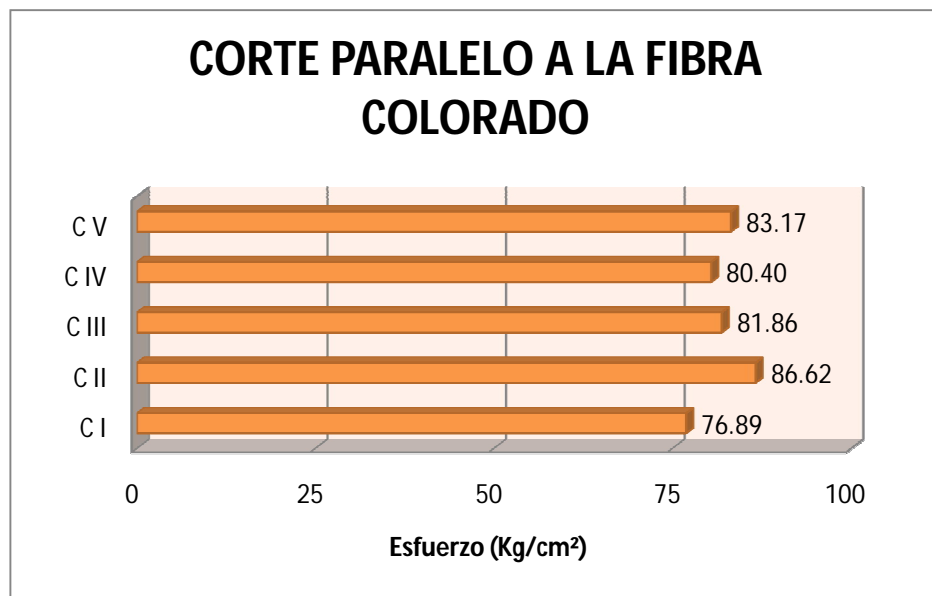


$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.} \times \text{Esfuerzo Último Mínimo}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{4} \times 119.74 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 29.94 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 2.93 \text{ (Mpa)}$$

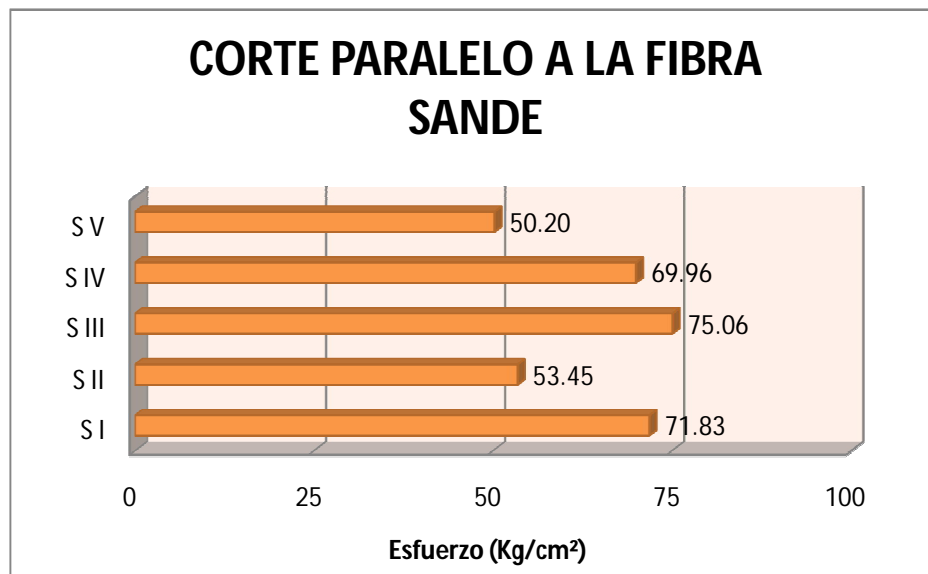


**Cuadro 5.18:** Esfuerzos Últimos Colorado

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{4} \times 76.89 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 19.22 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 1.88 \text{ (Mpa)}$$

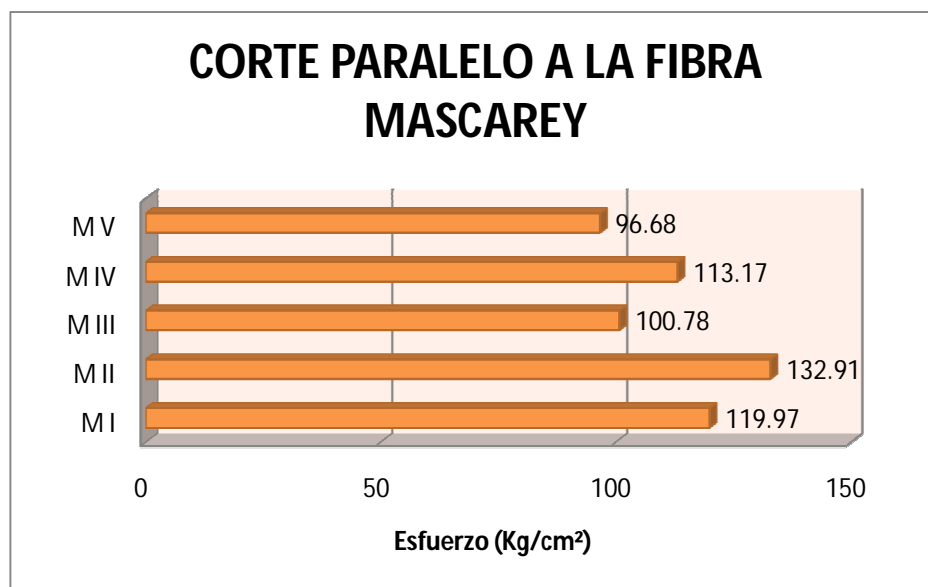


**Cuadro 5.19:** Esfuerzos Últimos Sande

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{4} \times 50.20 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 12.55 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 1.23(\text{Mpa})$$



**Cuadro 5.20:** Esfuerzos Últimos Mascarey

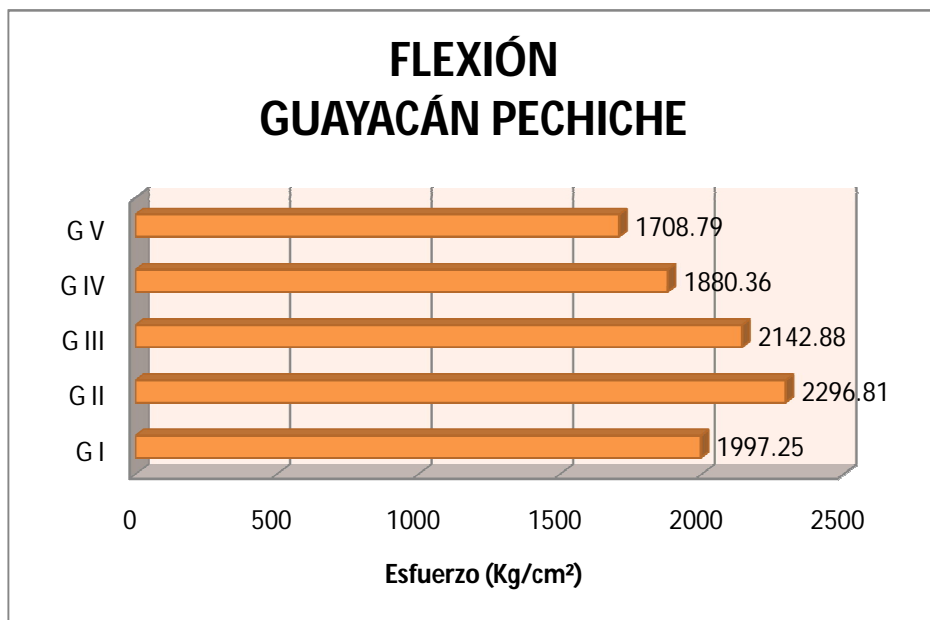
$$\sigma_{adm} = \frac{1}{4} \times 96.68 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 24.17 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 2.37(\text{Mpa})$$

## 5.10 ESFUERZO ADMISIBLE DE FLEXIÓN

A partir de los esfuerzos de rotura obtenidos en laboratorio podemos determinar el mínimo esfuerzo para cada una de las especies en estudio, el mismo que será afectado con los coeficientes de reducción ya mencionados, y son:



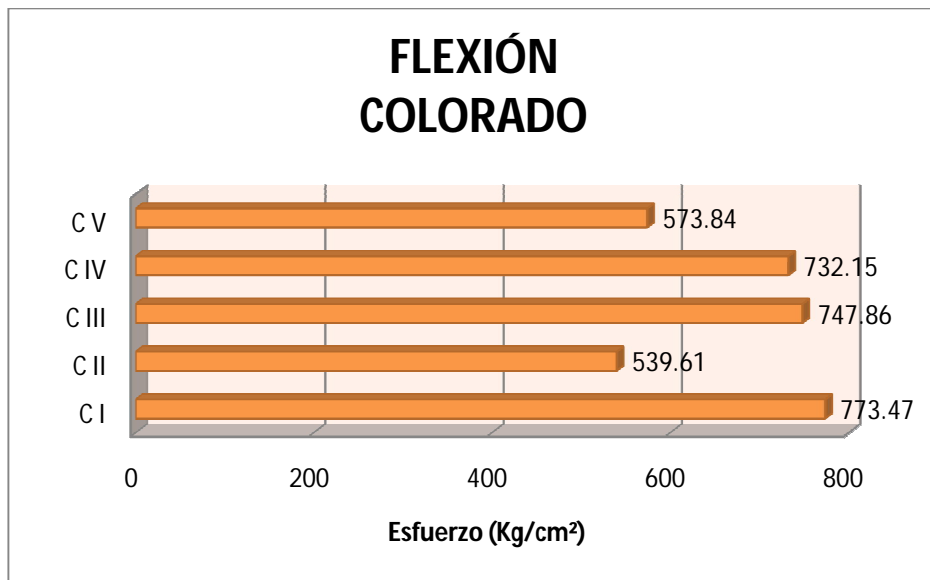
**Cuadro 5.21:** Esfuerzos Últimos Guayacán Pechiche

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C. \times F.T.}{F.S. \times F.D.C.} \times \text{Esfuerzo Último M\u00ednimo}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{0.80 \times 0.90}{2.00 \times 1.15} \times 1708.79 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 534.93 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 52.44 \text{ (Mpa)}$$

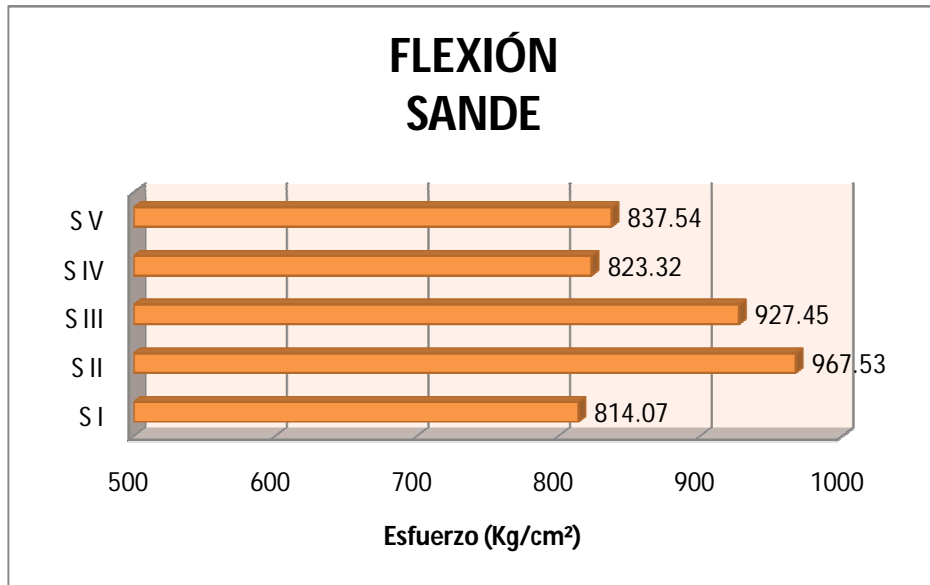


**Cuadro 5.22:** Esfuerzos \u00cdltimos Colorado

$$\sigma_{adm} = \frac{0.80 \times 0.90}{2.00 \times 1.15} \times 539.61 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 168.92 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 16.56 \text{ (Mpa)}$$

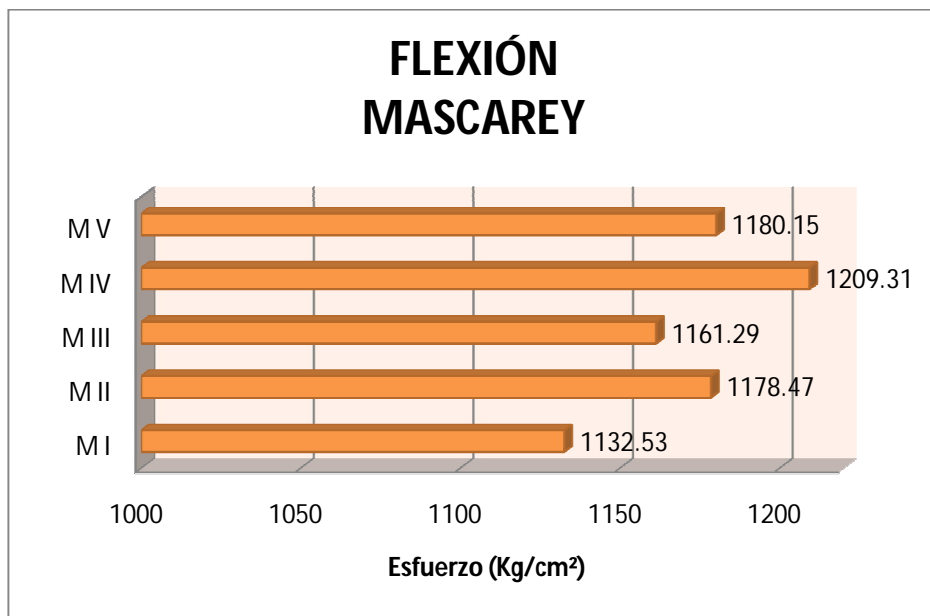


**Cuadro 5.23:** Esfuerzos Últimos Sande

$$\sigma_{adm} = \frac{0.80 \times 0.90}{2.00 \times 1.15} \times 814.07 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 254.80 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 24.98 \text{ (Mpa)}$$



**Cuadro 5.24:** Esfuerzos Últimos Mascarey

$$\sigma_{adm} = \frac{0.80 \times 0.90}{2.00 \times 1.15} \times 1132.53 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 354.48 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 34.75 \text{ (Mpa)}$$

## 5.11 TABLAS DE RESUMEN

A continuación se muestran los esfuerzos admisibles de cada tipo de madera tipo A, luego de haber realizado los análisis correspondientes a los mismos:

| Guayacán Pechiche        | Madera Seca                           |   | Madera Verde                          |   |
|--------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|
|                          | Esfuerzo Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Compresión Paralela      | 394,80                                | 465,91                                  | 105,81                                | 125,42                                  |
| Compresión Perpendicular | 239,75                                | 231,83                                  | 70,13                                 | 62,24                                   |
| Tracción Paralela        | 1017,12                               | 1144,15                                 | 472,07                                | 520,69                                  |
| Tracción Perpendicular   | 22,60                                 | 26,52                                   | 9,84                                  | 11,46                                   |
| Corte                    | 29,93                                 | 38,35                                   | 13,24                                 | 16,65                                   |
| Flexión                  | 534,85                                | 627,63                                  | 152,81                                | 177,14                                  |

Tabla 5.53: Esfuerzos Admisibles – Guayacán Pechiche

| COLORADO                 | Madera Seca                           |   | Madera Verde                          |   |
|--------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|
|                          | Esfuerzo Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Compresión Paralela      | 183,14                                | 202,81                                  | 56,11                                 | 57,68                                   |
| Compresión Perpendicular | 72,20                                 | 73,81                                   | 22,28                                 | 22,16                                   |
| Tracción Paralela        | 301,27                                | 358,51                                  | 144,99                                | 166,24                                  |
| Tracción Perpendicular   | 14,72                                 | 21,33                                   | 7,65                                  | 10,80                                   |
| Corte                    | 19,22                                 | 20,44                                   | 9,43                                  | 10,04                                   |
| Flexión                  | 168,90                                | 210,77                                  | 41,29                                 | 55,50                                   |

Tabla 5.54: Esfuerzos Admisibles – Colorado

| SANDE                    | Madera Seca                           |   | Madera Verde                          |   |
|--------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|
|                          | Esfuerzo Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Compresión Paralela      | 221,74                                | 224,79                                  | 79,12                                 | 76,43                                   |
| Compresión Perpendicular | 75,38                                 | 70,49                                   | 26,88                                 | 24,65                                   |
| Tracción Paralela        | 341,74                                | 406,07                                  | 167,14                                | 194,79                                  |
| Tracción Perpendicular   | 13,61                                 | 17,10                                   | 8,04                                  | 8,00                                    |
| Corte                    | 12,55                                 | 16,03                                   | 8,54                                  | 8,85                                    |
| Flexión                  | 254,81                                | 273,56                                  | 60,73                                 | 74,56                                   |

**Tabla 5.55:** Esfuerzos Admisibles – Sande

| MASCAREY                 | Madera Seca                           |   | Madera Verde                          |   |
|--------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|
|                          | Esfuerzo Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Compresión Paralela      | 254,10                                | 261,92                                  | 81,11                                 | 87,27                                   |
| Compresión Perpendicular | 92,25                                 | 119,40                                  | 33,33                                 | 40,92                                   |
| Tracción Paralela        | 383,17                                | 482,54                                  | 192,77                                | 229,11                                  |
| Tracción Perpendicular   | 16,88                                 | 18,04                                   | 7,82                                  | 8,53                                    |
| Corte                    | 24,17                                 | 28,17                                   | 11,65                                 | 13,90                                   |
| Flexión                  | 354,48                                | 366,95                                  | 122,46                                | 118,50                                  |

**Tabla 5.56:** Esfuerzos Admisibles – Mascarey

De igual manera se realizó el análisis correspondiente para el Módulo de Elasticidad de los cuatro tipos de maderas; debido a que la madera es un material ortotrópico tiene módulos de elasticidad en las direcciones paralela y perpendicular al grano, por lo cual se obtuvieron ambos valores.

En el caso de la dirección paralela al grano se tomó el promedio de los módulos de elasticidad a partir de los ensayos de compresión y tracción paralela al grano,

en el módulo de elasticidad perpendicular al grano únicamente se determinó mediante la fórmula correspondiente en el ensayo de flexión.

Como se indica en la siguiente tabla se han determinado los módulos de elasticidad en madera seca y se ha estimado los valores para madera verde:

| Guayacán Pechiche                | Madera Seca                    |                                  | Madera Verde                   |                                  |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|                                  | E mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| <b>E paralelo tracción</b>       | 155340,08                      | 170142,13                        | 99852,61                       | 108346,51                        |
| <b>E paralelo compresión</b>     | 117495,55                      | 172535,82                        | 74116,19                       | 109491,23                        |
| <b>E paralelo promedio</b>       | 136417,82                      | 171338,98                        | 86984,40                       | 108918,87                        |
| <b>E perpendicular - flexión</b> | 126049,41                      | 142635,64                        | 80747,25                       | 91457,97                         |

**Tabla 5.57:** Módulos de Elasticidad – Guayacán Pechiche

| Colorado                         | Madera Seca                    |                                  | Madera Verde                   |                                  |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|                                  | E mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| <b>E paralelo tracción</b>       | 67912,40                       | 82752,94                         | 44428,29                       | 53160,49                         |
| <b>E paralelo compresión</b>     | 117412,05                      | 133452,09                        | 76270,87                       | 85702,93                         |
| <b>E paralelo promedio</b>       | 92662,23                       | 108102,52                        | 60349,58                       | 69431,71                         |
| <b>E perpendicular - flexión</b> | 46413,30                       | 59403,85                         | 28878,35                       | 37519,47                         |

**Tabla 5.58:** Módulos de Elasticidad – Colorado



| Sande                            | Madera Seca                    |                                  | Madera Verde                   |                                  |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|                                  | E mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| <b>E paralelo tracción</b>       | 64273,45                       | 87525,76                         | 41019,31                       | 57171,83                         |
| <b>E paralelo compresión</b>     | 102554,12                      | 124858,76                        | 68444,62                       | 83655,37                         |
| <b>E paralelo promedio</b>       | 83413,79                       | 106192,26                        | 54731,97                       | 70413,60                         |
| <b>E perpendicular - flexión</b> | 58724,41                       | 63674,97                         | 37090,34                       | 40510,02                         |

**Tabla 5.59:** Módulos de Elasticidad – Sande

| Mascarey                         | Madera Seca                    |                                  | Madera Verde                   |                                  |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|                                  | E mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| <b>E paralelo tracción</b>       | 91333,61                       | 108943,80                        | 61083,92                       | 70791,68                         |
| <b>E paralelo compresión</b>     | 117950,71                      | 150560,24                        | 79522,37                       | 100363,46                        |
| <b>E paralelo promedio</b>       | 104642,16                      | 129752,02                        | 70303,15                       | 85577,57                         |
| <b>E perpendicular - flexión</b> | 80054,04                       | 83172,52                         | 53860,36                       | 55010,31                         |

**Tabla 5.60:** Módulos de Elasticidad – Mascarey

Para finalizar se muestra la comparación entre los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad estimados en madera verde en relación a los propuestos en el Manual de diseño de maderas del Grupo Andino.

| GRUPO | Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tracción Paralela (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Compresión Paralela (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Compresión Perpendicular (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Corte (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------------------------|---|---|--|-----------------------------|
| A     | 210                           | 145                                     | 145                                       | 40   | 15                          |
| B     | 150                           | 105                                     | 110                                       | 28   | 12                          |
| C     | 100                           | 75                                      | 80  | 15   | 8                           |

**ESFUERZOS ADMISIBLES EN MADERA VERDE**

|                  |        |        |        |       |       |
|------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Guayacán Pechice | 152,81 | 472,07 | 105,81 | 70,13 | 13,24 |
| Colorado         | 41,29  | 144,99 | 56,11  | 22,28 | 9,43  |
| Sande            | 60,73  | 167,14 | 79,12  | 26,88 | 8,54  |
| Mascarey         | 122,46 | 192,77 | 81,11  | 33,33 | 11,65 |

**Tabla 5.61:** Comparación de Esfuerzos Admisibles

| GRUPO | E min (Kg/cm <sup>2</sup> ) | E prom (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------|-----------------------------|------------------------------|
| A     | 95000                       | 130000                       |
| B     | 75000                       | 100000                       |
| C     | 55000                       | 90000                        |

**MODULOS DE ELASTICIDAD MADERA VERDE**

|                  |           |           |
|------------------|-----------|-----------|
| Guayacán Pechice | 86984,4   | 108918,87 |
| Colorado         | 60349,58  | 69431,71  |
| Sande            | 54731,965 | 70413,6   |
| Mascarey         | 70303,145 | 85577,57  |

**Tabla 5.62:** Comparación de Módulos de Elasticidad

## CAPÍTULO VI DISEÑO DE APLICACIÓN

### 6.1 ANTECEDENTES

Con los datos obtenidos en base a experimentación se ha realizado el diseño estructural en madera para del paradero del IASA II, el cual se verá beneficiado directamente con la ejecución de este Proyecto de Grado, ya que podrá contar con un estudio real que logrará satisfacer sus necesidades actuales de promoción para sus productos. Y de esta manera poder mostrar a la colectividad el verdadero alcance de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (IASA II) como parte de la Escuela Politécnica del Ejército

El IASA II al poseer áreas de bosques de madera dura, con el diseño propuesto en este Proyecto de Grado, podrá construir un paradero para el comercio de los productos que se generen dentro de sus instalaciones en Santo Domingo de los Colorados.

En el presente capítulo se muestra un proceso completo para la ejecución del diseño estructural del paradero mencionado. Se presenta una descripción del lugar de emplazamiento de la estructura, de los materiales que deben ser utilizados y que se han considerado para el diseño, de los tipos de cargas y condiciones de uso analizadas, para finalmente realizar una descripción completa y detallada del diseño estructural del paradero. El diseño propuesto se lo ha

realizado en base a normativas locales e internacionales, garantizando seguridad en los procedimientos y cálculos efectuados.

Para el análisis estructural se ha utilizado la herramienta computacional ETABS, el cual es un sistema completamente integrado. Detrás de una interface intuitiva y simple, encaja poderosos métodos numéricos, procedimientos de diseño y códigos internacionales de diseño, que funcionan juntos desde una base de datos comprensiva. Esta integración significa que al crear solo un sistema de modelo de piso y sistemas de barras verticales y laterales para analizar, se obtiene resultados en base a una distribución espacial de elementos con lo cual se puede diseñar la estructura propuesta. Las convenciones de entrada y de salida usadas corresponden a la terminología común de edificaciones. Con ETABS, el modelo se ha definido de forma lógica: viga por viga, columna por columna, tramo por tramo y no como corrientes de puntos y elementos no descritos como lo hacen la mayoría de los programas para fines generales. Así la definición estructural es simple, ordenada y significativa.

Como ayuda para el diseño en madera de la estructura se ha empleado hojas de cálculo en Excel, las mismas que nos brindan una amplia variedad de herramientas matemáticas dentro de una plataforma amigable; es una herramienta que se sujeta a nuestras necesidades de cálculo. En consecuencia, estas han sido utilizadas para desarrollar procedimientos fundamentados en cálculos repetitivos, y de esta forma ahorrar tiempo al momento del diseño, con lo cual es posible centrar mayor atención en la aplicación de criterio estructural, lo cual es

fundamental tanto al momento de ingresar datos como al momento de interpretar resultados, y de esta manera obtener un diseño óptimo, es decir, presentar una estructura racionalmente estable bajo consideraciones estáticas y dinámicas de carga, además de ser económicamente viable.

## **6.2 GENERAL**

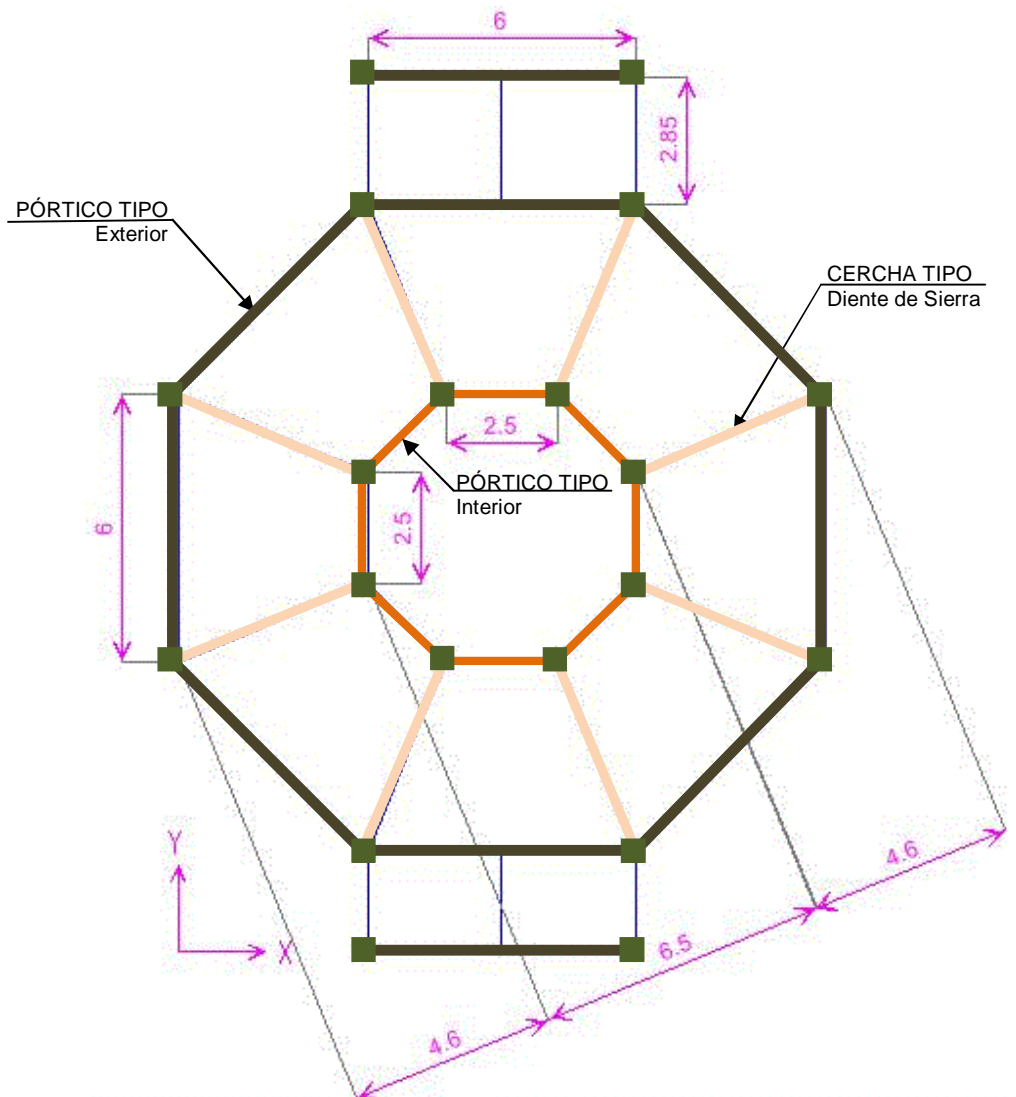
### **6.2.1 OBJETO**

El presente capítulo tiene como fin establecer los requisitos e hipótesis de cálculo a utilizarse en el diseño de la estructura del Paradero para el IASA II, como aplicación dentro del presente Proyecto de Grado.

### **6.2.2 DESCRIPCIÓN**

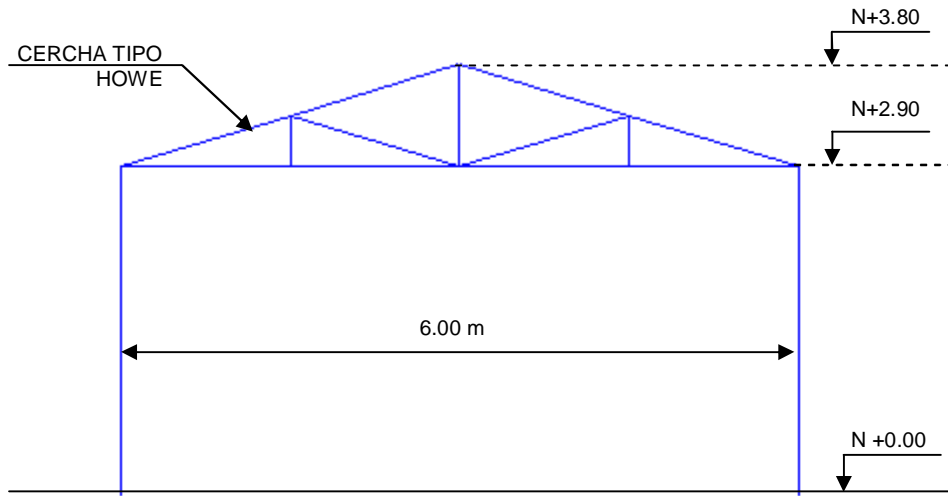
La estructura del Paradero para el IASA II posee una disposición de pórticos formados por vigas y columnas de madera, que desde una vista superior genera una forma octogonal.

Esta forma octogonal se encuentra basada en la disposición interna y externa de columnas. En la parte central del paradero se presentan ocho columnas, unidas entre sí por medio de vigas, formando un octógono con una separación entre columnas de 2.50m, ver Figura 6.1.



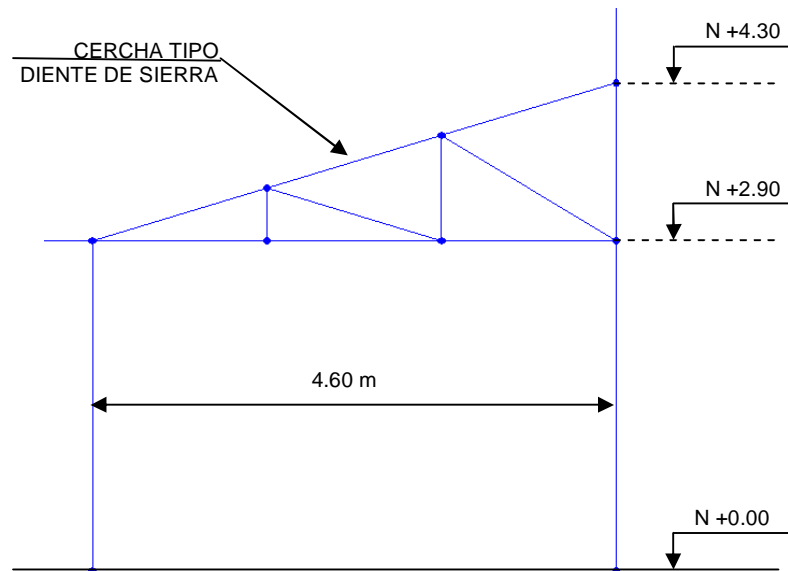
**Figura 6.1** Vista en Planta Nivel +2.90

En la parte exterior de la estructura, se encuentran de igual forma ocho columnas, unidas entre sí por medio de cerchas tipo Howe, con una separación de 6.00 metros ver Figura 6.2.



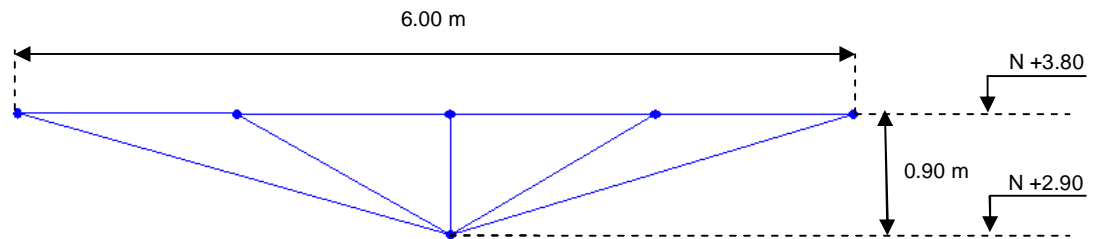
**Figura 6.2** Pórtico Tipo Exterior

Además, las columnas internas se unen a través de cerchas tipo Diente de Sierra a las externas (Figura 6.3), generando conectividad entre los pórticos que generan los octógonos externos e internos.



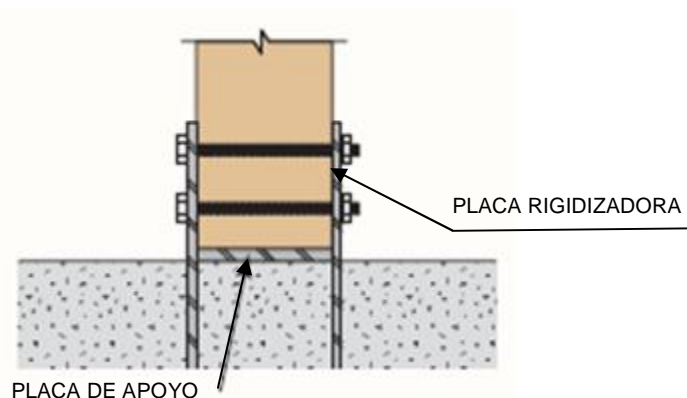
**Figura 6.3** Cercha Tipo Diente de Sierra

Por otro lado, la cubierta que se presenta entre los pórticos tipo exterior e interior, se sostendrá por medio de una cercha tipo Howe invertida de 6.00 m de longitud, la cual dará soporte a la mencionada cubierta (Figura 6.4).



**Figura 6.4** Cercha Tipo Howe invertida

Los pórticos mencionados se conforman con perfiles rectangulares tanto para columnas como para vigas y diagonales. Las conexiones entre los diferentes elementos de madera son a través de pernos tratados para evitar oxidación, de igual forma que las placas de conexión. Las columnas se apoyan sobre la placa metálica de apoyo que se coloca entre la cara de apoyo de la columna y el pedestal de concreto. Además, se colocan placas paralelas en dos de las caras de la columna con el fin de rigidizar el apoyo de la columna (Figura 6.5).



**Figura 6.5** Apoyo de columna



El detalle de la estructura (plantas, elevación, despiece, conexiones, etc.) se presenta en los planos estructurales de detalle correspondientes.

### **6.3 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO**

#### **6.3.1 CÓDIGOS Y NORMAS APLICABLES**

Básicamente se cumplirá la Normativa Ecuatoriana en el diseño de estructuras y elementos de obra civil, por tanto, las normas y códigos de aplicación son:

- CEC2001 (Código Ecuatoriano de la Construcción)
- Manual de diseño para maderas del Grupo Andino

Además, se han tomado como referencia los códigos internacionales:

- ASCE – 05 (Cargas mínimas para el diseño de edificios y otras estructuras)
- ACI 318 – 99 (Normas de Concreto Estructural para Edificios)
- UBC – 97 (Código Uniforme de la Edificación)

También, se tomará en cuenta las especificaciones establecidas en el ANEXO.

#### **6.3.2 CONDICIONES DE EMPLAZAMIENTO DE LA EDIFICACIÓN**

##### **6.3.2.1 UBICACIÓN**

Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA II), ubicado en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Cantón Santo Domingo de los Colorados, Km. 24 vía Quevedo, Hacienda Zoila Luz.

### **6.3.2.2 CONDICIONES AMBIENTALES DEL SITIO PARA EL CASO**

- **Altura sobre nivel del mar:** 625 msnm.
- **Temperatura media:** la zona en análisis tiene una temperatura media anual de 22.9° C, con tendencia a disminuir muy poco en la época seca. Mientras más radical es el cambio de la topografía la región se vuelve más lluviosa. La temperatura media anual decrece regularmente con el incremento de la altitud, mientras que las precipitaciones aumentan.

### **6.3.2.3 CONDICIONES METEOROLÓGICAS DEL SITIO**

La zona tiene las características climáticas de la región calificada como bosque muy húmedo propio de la región sub tropical, con una estación lluviosa de diez meses, septiembre a octubre, y una estación seca de dos meses, julio y agosto.

- **Velocidad de viento:** para el presente análisis se adoptará una velocidad de viento de 100 km/h.
- **Precipitación anual:** 3000 – 4000 mm.

### **6.3.2.4 CONDICIONES SÍSMICAS**

Teniendo en cuenta el Reglamento CEC2000 se establecen las siguientes condiciones:

- **Zona de peligrosidad sísmica:** III
- **Tipo de suelo:** S3 (Suelos blandos y estrato profundo)

- **Coeficiente S:** 1.5
- **Coeficiente Cm:** 2.8

### 6.3.2.5 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE CIMENTACIÓN

- **Tipo de suelo:** Limo arcilloso blando saturado
- **Capacidad portante (qa):** 0.5 kg/cm<sup>2</sup>

### 6.3.3 MATERIALES

#### 6.3.3.1 HORMIGONES

El hormigón consistirá de cemento Portland, agregados finos, agregados gruesos y agua mezclados de acuerdo con una proporción adecuada y amasados mecánicamente hasta producir una masa plástica cuyo grado de trabajabilidad esté de acuerdo al uso que se le dé.

Se realizarán los ensayos para establecer la resistencia de cada tipo de hormigón a los 7, 14 y 28 días utilizando los materiales propuestos, incluyendo los aditivos si fuera el caso. Los diseños y ensayos deberán ser realizados por un laboratorio con probada experiencia. Para el presente proyecto se utilizarán los hormigones que se señalan a continuación:

- Hormigón simple para replantillo y con una resistencia cilíndrica a la compresión a los 28 días de 140 kg/cm<sup>2</sup>.

- Hormigón estructural para obras de cimentación, plintos, cadenas, con una resistencia cilíndrica a la compresión a los 28 días de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

### 6.3.3.2 MORTEROS

Para el presente proyecto se utilizarán los morteros que se señalan a continuación:

| MORTEROS |         |       |
|----------|---------|-------|
| Tipo     | Cemento | Arena |
| A        | 1       | 5     |
| B        | 1       | 6     |
| C        | 1       | 4     |
| D        | 1       | 3     |

**Tabla 6.1** Tipo de morteros

**Tipo A:** Cimientos y mampostería de bloque.

**Tipo B:** Enlucidos sobre paredes.

**Tipo C:** Masilla para alisado de contrapiso.

**Tipo D:** Cajas de revisión

### 6.3.3.3 ACERO DE REFUERZO PARA HORMIGÓN ARMADO

El hierro que se use en la construcción de los elementos estructurales consistirá en varilla normal de construcción cuyas características mecánicas estén controladas por las normas INEN 102. Se usarán varillas de construcción cuyo límite de fluencia sea de 4200 kg/cm<sup>2</sup>. Las barras de refuerzo no tendrán desperfectos y estarán libres de descamaciones, oxidación suelta, aceite, grasa, o cualquier otro recubrimiento que pueda reducir o destruir su adherencia al hormigón. No se aceptarán acero endurecido por torsión. Se utilizará maquinaria adecuada para el corte de las varillas de hierro.

#### **6.3.3.4 MADERA ESTRUCTURAL**

La madera establecida para el presente diseño es Guayacán Pechiche, que de acuerdo al estudio realizado por la Junta de Cartagena, GRUPOS DE ESPECIES ESTUDIADAS EN EL PADT-REFORT PARA MADERA ESTRUCTURAL, pertenece al grupo de maderas Tipo A, consideradas maderas duras.

Para la construcción de la estructura se utilizará el tipo de madera antes mencionada, u otra especie de similares características físico – mecánicas, de acuerdo a las normas ASTM D-143.

La madera deberá someterse a procesos de secado y preservación de acuerdo a los procedimientos y requerimientos establecidos en las especificaciones presentadas en el ANEXO.



**Figura 6.6** Madera estructural

### 6.3.3.5 PERNOS DE UNIÓN

Los pernos y platinas metálicas para uniones deben ser de acero de grado estructural, con un esfuerzo de fluencia no menor a 2.300 kg/cm<sup>2</sup>. Deben colocarse arandelas o platinas metálicas entre la cabeza del perno y la madera, y entre la tuerca y la madera, para evitar esfuerzos de aplastamiento excesivos.

Todos los elementos metálicos a utilizarse en contacto con madera húmeda o en condiciones ambientales desfavorables deberán tener un tratamiento anticorrosivo.



**Figura 6.7** Perno de unión

### 6.3.3.6 TECHADO

Para las cubiertas metálicas se utilizarán planchas de acero AR2000 de NOVACERO o similar de 0.35 mm de espesor. Estas planchas deberán ser las de mayor dimensión posible para satisfacer las separaciones de correas establecidas en el diseño, y para disminuir traslapes y evitar filtraciones.

Los paneles AR2000 poseen un sistema de instalación en base a tornillos auto perforantes para madera. La utilización de este sistema en la instalación de Estilpanel, establece el principio de cubierta flotante; es decir, que se adapta a la contracción y dilatación del acero, producto de los cambios de temperatura.

Este sistema está diseñado para soportar cargas de succión de viento y para absorber los desplazamientos producidos por los sismos.



**Figura 6.8** Panel AR-2000

#### **6.3.3.7 MAMPOSTERÍA**

Los materiales para el mortero: agua, cemento portland y arena, cumplirán con lo que se establece en las secciones pertinentes de estas especificaciones. El mortero a utilizarse deberá tener una relación cemento - arena de 1-5. Para paredes se utilizará bloque tipo de 20 x 40 x 15 cm o similar.

Los bloques se transportarán y se almacenarán de tal manera que se eviten fracturas, despostillamiento y rotura de piezas. Se considerará de rechazo los bloques que presenten estos defectos.



**Figura 6.9** Bloques de mampostería

#### **6.3.4 CARGAS**

En primera instancia se definirá bajo que cargas se debe diseñar el paradero ubicado en el IASA II, las estructuras deben diseñarse para soportar las cargas provenientes de:

- Peso propio y otras cargas permanentes o cargas muertas, considerando un estimado apropiado de la densidad el material, e incluyendo las cargas provenientes del peso de otros componentes de la edificación, estructurales o no.
- Sobrecargas de servicio o cargas vivas, es decir, todas aquellas cargas que no forman parte del peso propio de la edificación pero que la estructura está destinada a resistir.
- Fuerzas provenientes de sismos, viento, ceniza. Estas deben considerarse de acuerdo a los reglamentos y códigos vigentes en el Ecuador.



Cuando las sobrecargas de servicio o cargas vivas sean de aplicación continua o de larga duración con relación a la vida útil de la estructura, estas deben considerarse como cargas muertas para efectos de la determinación de deformaciones diferidas.

#### **6.3.4.1 CARGAS PERMANENTES (D)**

Las cargas definidas como cargas muertas o permanentes provienen del peso propio de los materiales con los cuales se diseñará la edificación en cuestión, para el caso particular del paradero ubicado en el IASA II se ha tomado en cuenta los siguientes materiales:

- **Techado:**

Panel Metálico AR - 2000 (e = 0.35mm) : 3.15 kg/m<sup>2</sup>

- **Vigas:**

Guayacán Pechiche (Madera Tipo A) : 0.87 gr/cm<sup>3</sup>

- **Columnas:**

Guayacán Pechiche (Madera Tipo A) : 0.87 gr/cm<sup>3</sup>

- **Correas:**

Guayacán Pechiche (Madera Tipo A) : 0.87 gr/cm<sup>3</sup>

- **Cerchas:**

Guayacán Pechiche (Madera Tipo A) : 0.87 gr/cm<sup>3</sup>

Con los valores propuestos se obtendrá el peso propio de la estructuras dependiendo de la cantidad de material que se necesitará, cabe aclarar que el cálculo del peso de la carga muerta se lo realizará a través del programa computacional ETABS.

#### **6.3.4.2 SOBRECARGAS (L)**

La carga viva será aplicada únicamente en el techado de la edificación para luego transmitirse a los elementos estructurales que son: correas, vigas y columnas. Se debe suponer que las cargas vivas actúan verticalmente sobre el área proyectada en un plano horizontal.

Cuando se incluyan cargas uniformes de techo en el diseño de elementos estructurales dispuestos para crear continuidad, la consideración puede limitar a las cargas muertas totales en todas las luces en combinación con las cargas vivas totales en las luces contiguas y en las luces alternas.

La carga viva a ser calculada provendrá de una serie de parámetros que se deben considerar en el diseño estructural, estas cargas se las clasifica como tal al no encontrarse permanentemente en la estructura, estas son:

- **Carga Lluvia**

Todos los techos deben diseñarse con suficiente pendiente o contraflecha para asegurar un desagüe suficiente después de la deflexión a largo plazo debido a la carga muerta, es por esto que el paradero tiene una pendiente de 30%, suficiente

para evitar este tipo de problema. Además, la pendiente establecida para la cubierta evitará problemas de filtraciones en la cubierta por capilaridad.

La carga por lluvia resulta ser muy importante por varias razones, entre las principales se encuentra la ubicación geográfica de la estructura, al encontrarse en la zona de Santo Domingo de los Colorados. Ésta es considerada como una zona con alto porcentaje de lluvias durante el año teniendo una precipitación de 3000 a 4000 mm, con temperatura media de 22.9 °C, es decir, un clima sub - tropical<sup>25</sup>.

El material de la cubierta al poseer capacidad de absorción genera un incremento de carga por unidad de área. Incremento de carga que se lo determina así:

C. Lluvia : % de absorción \* peso de la cubierta

C. Lluvia : 0.10 \* 3.15 kg/m<sup>2</sup>

C. Lluvia : 0.315 kg/m<sup>2</sup>

Por otro lado, cada porción del techo debe ser diseñada para soportar cargas de acumulación de agua si existiera alguna obstrucción en el sistema de drenaje principal de la cubierta<sup>26</sup>. Para determinar esta carga se utiliza la siguiente fórmula:

$$R = 0.0098(d_s + d_h)$$

Donde:

dh= Altura de acumulación de agua ocasionada por bloqueo del sistema principal de drenaje de cubierta. (mm)

ds= Altura de acumulación de agua ocasionada por bloqueo de sistemas secundario de drenaje sobre el nivel de acumulación existente. (mm)

R= Carga por acumulación de lluvia (KN/m<sup>2</sup>)

<sup>25</sup>[http://www.santodomingo.gov.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6&Itemid=8](http://www.santodomingo.gov.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=8)

<sup>26</sup> ASCE7-05: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Pag. 95.

Para la cubierta del paradero del IASA II es fundamental establecer un sistema de drenaje principal que se encargue de canalizar las aguas lluvias para evitar problemas de servicialidad y de acumulación excesiva de agua. Este sistema de drenaje consiste en una disposición lateral de canales capaces de dirigir las aguas lluvias a bajantes ubicadas en columnas.

Para determinar esta carga se adopta una altura crítica de acumulación de agua (dh) de 50 mm, que puede producirse por el bloque de los canales de drenaje. Al no poseer un sistema de drenaje secundario, el valor de acumulación por bloqueo de éste (dh) es igual a cero. Por tanto:

$$R = 0.0098(d_s + d_h)$$

$$R = 0.0098(0 + 50)$$

$$R = 490 \frac{N}{m^2} \quad \text{ó} \quad R = 50 \text{ kg/m}^2$$

En conclusión, la carga ocasionada debido a la presencia de lluvia está compuesta por el aumento de peso del material de la cubierta por absorción, y debido a presión ejercida por acumulación de agua sobre la misma. Por tanto, la carga de lluvia es:

$$C. \text{ lluvia} = 0.315 \text{ kg/m}^2 + 50.00 \text{ kg/m}^2$$

|   |
|---|
| <b>Carga de Lluvia = 50.32 kg/m<sup>2</sup></b> |
|---|

- **Ceniza:**

El Ecuador se encuentra dentro del cinturón de fuego del pacífico, es por esto que en nuestro territorio existen gran cantidad de volcanes activos, teniendo como antecedente la erupción del volcán Tungurahua en la cual la ceniza llegó hasta la ciudad de Santo Domingo y otras ciudades ubicadas en la costa ecuatoriana.

Para el cálculo de la carga generada por la presión de acumulación de ceniza en cubiertas con las características establecidas para el presente proyecto (AR2000, con pendiente=30%), se ha establecido una altura de acumulación de 0.7 a 0.8 cm de ceniza<sup>27</sup>.

Debido a que Santo Domingo de los Colorados se encuentra en una zona alejada de la zona de erupción del volcán Tungurahua, se utiliza el peso específico mínimo, igual a 2.47 T/m<sup>3</sup>.

C. Ceniza: Peso específico de la Ceniza \* Altura de Acumulación

C. Ceniza: 2.47 T/m<sup>3</sup> \* 0.0080 m

**C. Ceniza: 0.019 T/m<sup>2</sup> ó 20 kg/m<sup>2</sup>**

- **Mantenimiento:**

La carga de mantenimiento se la describe como, el peso que se produce un hombre promedio al momento de realizar reparaciones, limpieza y mantenimiento de la estructura en general, se ha asumido el siguiente peso por área<sup>28</sup>:

**C. Mantenimiento: 0.96 kN/m<sup>2</sup> ≅ 100 kg/m<sup>2</sup>**

<sup>27</sup> Determinación del valor de carga para considerar en el diseño de cubiertas debido a la ceniza emitida por el volcán Tungurahua. XIX JORNADAS ESTRUCTURALES, Riobamba 2007. Pag. 8

<sup>28</sup> ASCE7-05: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Pag. 13.

Al tratarse de una estructura de una sola planta en la cual no se pretende realizar ampliaciones a un segundo piso, no es necesario tomar cargas adicionales, por lo tanto la carga viva será de:

$$\text{CARGA VIVA} = 120 \text{ kg/m}^2$$

#### **6.3.4.3 CARGAS DE VIENTO (W)**

En el Ecuador no se dispone de una norma propia para el diseño de viento por lo que se debe utilizar normas internacionales, obviamente aplicadas a nuestra realidad.

Las cargas ocasionadas por el viento son de naturaleza dinámica pero para facilitar el diseño se utilizan aproximaciones con cargas estáticas equivalentes. EN este proyecto al tratar con una estructura simple no es necesario realizar un análisis dinámico de cargas de viento, necesario para casos especiales.

Todas las edificaciones deben diseñarse y construirse para resistir los efectos del viento, por tanto se debe asumir que el viento proviene de cualquier dirección horizontal. No se debe considerar ninguna reducción de presión de viento por el efecto de protección de estructuras colindantes.

Se asume que la edificación asume una posición deformada debido a la velocidad constante y que vibra a partir de esta posición debido a la turbulencia.

El viento que impacta en la estructura impone cargas en la misma que varían tanto espacial como temporalmente. La fluctuación en la velocidad de viento se traduce en presiones positivas distribuidas en el edificio en la cara de barlovento; las correspondientes presiones negativas se dan en la cara de sotavento de la estructura.

Para determinar la presión que ejerce el viento sobre la estructura es necesario determinar una serie de parámetros que se explicarán a continuación:

- **Grado de Exposición:**

Este valor nos indica el entorno en el cual la estructura va ser edificada.

1. **Exposición B:** tiene suelo con edificaciones, bosques o irregularidades superficiales que cubre por los menos el 20 por ciento del área a nivel del suelo extendiéndose 1.61 km o más desde el lugar.
2. **Exposición C:** tiene suelo que es plano y generalmente abierto, extendiéndose 0.81 km o más desde el lugar en cualquier cuadrante completo.
3. **Exposición D:** representa la exposición más crítica en áreas con velocidades del viento de 129 km/h o mayores y tiene un terreno plano y sin obstrucciones frente a grandes cuerpo de agua de 1.61 km o mayores en ancho relativo a cualquier cuadrante del lugar de la edificación. La exposición D se extiende al interior desde la costa a 0.40 km o a veces la altura de la edificación lo que resulte mayor.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> UBC 97: Uniform Building Code - Español , Sección 1616, pag. 16-8

Para nuestro caso se ha comprobado las condiciones geográficas del lugar, teniendo como resultado que el **grado de exposición es B**.

- **Presiones del viento de diseño:**

Las presiones de diseño de viento para edificaciones y elementos de las mismas se deben determinar para cualquier altura de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$P = C_e * C_q * q_s * I_w$$

Donde:

C<sub>e</sub>: altura combinada, coeficiente de exposición y de factor de ráfaga.  
(Ver tabla 6.3)

C<sub>q</sub>: coeficiente de presión para la estructura o la parte de la misma bajo consideración. (Ver tabla 6.4)

I<sub>w</sub>: factor de importancia.

P: presión de diseño de viento

q<sub>s</sub>: presión del viento a la altura estándar de 10 m. . (Ver tabla 6.2)

Para el diseño existen dos métodos de análisis que propone el UBC 97; se escogió el primero que nos dice:

**Método 1 (Método de Fuerza Normal):** este método debe utilizarse para el diseño de estructuras rígidas con techos a dos aguas y **puede utilizarse para**



**cualquier estructura.** En este método debe asumirse que la presión del viento actúa simultáneamente en dirección perpendicular a todas las superficies exteriores. Para las presiones en los techos y muros en sotavento, deben evaluarse  $C_e$  a la altura promedio del techo.

|  |        |        |        |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Velocidad básica del viento (km/h)</b>          | 112,70 | 128,80 | 144,90 | 161,00 | 177,10 | 193,20 | 209,30 |
| <b>Presión <math>q_s</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b> | 61,49  | 80,03  | 101,50 | 124,93 | 151,28 | 180,07 | 211,30 |

Fuente: UBC 97 – Uniform Building Code – Español. Pag. 16 - 33

**Tabla 6.2** Presiones de Remanso del Viento ( $q_s$ ) a la altura estándar de 10 m

| <b>Altura sobre el nivel promedio del terreno colindante (h) en m</b> | <b>Exposición D</b> | <b>Exposición C</b> | <b>Exposición B</b> |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 - 4,58  | 1,39                | 1,06                | 0,62                |
| 6,10  | 1,45                | 1,13                | 0,67                |
| 7,62  | 1,50                | 1,19                | 0,72                |
| 9,14  | 1,54                | 1,23                | 0,76                |
| 12,19   | 1,62                | 1,31                | 0,84                |
| 18,29   | 1,73                | 1,43                | 0,95                |
| 24,38   | 1,81                | 1,53                | 1,04                |
| 30,48   | 1,88                | 1,61                | 1,13                |
| 36,58   | 1,93                | 1,67                | 1,20                |
| 48,77   | 2,02                | 1,79                | 1,31                |
| 60,96   | 2,10                | 1,87                | 1,42                |
| 91,44   | 2,23                | 2,05                | 1,63                |
| 121,92  | 2,34                | 2,19                | 1,80                |

Fuente: UBC 97 – Uniform Building Code – Español. Pag. 16 - 33

**Tabla 6.3** Coeficiente  $C_e$ , combinado de altura, exposición y factor de ráfaga

| Estructura o parte de la misma                                  | Descripción   | Factor C <sub>q</sub>   |
|---|---|---|
| Estructuras y sistemas primarios                                | <p>Muros:</p> <p>Muro en barlovento<br/>Muro en sotavento</p> <p>Techos:</p> <p>Viento perpendicular a la cumbrera<br/>Techo en sotavento o techo piano</p> <p>Techo en barlovento:<br/>Menos de 16,7%<br/>Pendiente 16,7% a menos 75%<br/>Pendiente 75% a menos 100%<br/>Pendiente &gt; 100%</p> <p>Viento paralelo a la cumbrera y techos planos</p>  | <p>0,8 hacia adentro<br/>0,5 hacia afuera</p> <p>0,7 hacia afuera</p> <p>0,7 hacia afuera<br/>0,9 hacia afuera o 0,3 hacia adentro</p> <p>0,4 hacia adentro<br/>0,2 hacia adentro</p> <p>0,7 hacia afuera</p> |
| Elementos y componentes que no están en áreas de discontinuidad | <p>Elementos de muros</p> <p>Todas las estructuras<br/>Estructuras encerradas y no encerradas<br/>Estructuras parcialmente encerradas</p> <p>Parapetos</p> <p>Elementos de techos:</p> <p>Estructuras encerradas y no encerradas<br/>Pendiente &lt;58,3%<br/>Pendiente 58,3% a 100%<br/>Estructuras parcialmente encerradas<br/>Pendiente &lt;16,7%</p> | <p>1,2 hacia adentro</p> <p>1,2 hacia afuera<br/>1,6 hacia afuera<br/>1,3 hacia adentro y hacia afuera</p> <p>1,3 hacia afuera<br/>1,3 hacia adentro o hacia afuera</p> <p>1.7 hacia afuera</p>               |

| Estructura o parte de la misma  | Descripción  | Factor Cq                             |
|---|--|---------------------------------------|
| Elementos y componentes que no están en áreas de discontinuidad<br><br>(Continuación) | Pendiente 16,7% a 58,3%  | 1,6 hacia afuera o 0,8 hacia adentro  |
|   | Pendiente 58,3% a 100%   | 1,7 hacia afuera o hacia adentro      |
| Elementos y componentes en áreas de discontinuidad                                    | Esquinas de muros<br>Aleros de techos, cornisas inclinadas o cumbreras sin voladizos | 1,5 hacia afuera o 1,2 hacia adentro  |
|   | Pendiente <16,7%   | 2,3 hacia arriba                      |
|   | Pendiente 16,7% a 58,3%  | 2,6 hacia afuera                      |
|   | Para pendientes menores a 16,7%  | 1,6 hacia afuera                      |
|   | Voladizos en aleros de techos cornisas inclinadas o cumbreras y toldos               | 0,5 añadidos a los valores anteriores |
| Chimeneas, tanques y torres sólidas   | Cuadrado o rectangular   | 1,4 en cualquier dirección            |
|   | Hexagonal y octogonal  | 1,1 en cualquier dirección            |
|   | Redondo o elíptico   | 0,8 en cualquier dirección            |
| Torres de estructuras abiertas  | Cuadrado o rectangular   |                                       |
|   | Diagonal   | 4                                     |
|   | Normal   | 3,6                                   |
|   | Triangular   | 3,2                                   |
| Accesorios de torres  | Elementos cilíndricos  |                                       |
|   | 51 mm o menos de diámetro  | 1                                     |
|   | Más de 51 mm de diámetro   | 0,8                                   |
|   | Miembros planos o angulares  | 1,3                                   |

Fuente: UBC 97 – Uniform Building Code – Español. Pag. 16 - 33

**Tabla 6.4** Coeficiente de presión (Cq)

La presión de viento será determinada a partir de los valores correspondientes a la estructura en análisis de los parámetros antes mencionados. Estos valores serán ingresados por medio del programa ETABS, el cual realiza la distribución de cargas de acuerdo al área de cubierta seleccionada, y bajo las consideraciones de barlovento y sotavento, correspondientes.

Los parámetros de diseño a vientos establecidos de acuerdo a UBC – 97 son:

- **Grado de exposición:** B
- **Coefficiente de presión ( $C_q$ ):**
  - Para techo en barlovento con pendiente del 30%: 0.3
  - Para techo en sotavento: 0.7
- **Iw:** 1.00 (Estructuras para destinos estándar)
- **Velocidad básica del viento:** 100 km/h

#### **6.3.4.4 CARGAS SÍSMICAS (E)**

El efecto del sismo que se produciría sobre la estructura se ha tomado del Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC), al ser la normativa vigente para el diseño y construcción en el Ecuador. El modelo matemático de la estructura debe ser capaz de representar el comportamiento real, y por tanto, debe tomar en cuenta la distribución espacial de masas y rigidez de todos los elementos del sistema estructural del paradero.

### Procedimiento de cálculo de fuerzas estáticas:

- **Cortante Basal de Diseño V:**

Se lo define como la fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducciones, de acuerdo con las especificaciones que brinda el Código Ecuatoriano de la Construcción.

El cortante basal total de diseño V, que será aplicado a una estructura en una dirección dada, se determinará mediante las siguientes expresiones:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

$$C = \frac{1.25 * S^S}{T}$$

Donde:

C: no se debe exceder del valor de Cm, no debe ser menor a 0.5 y puede utilizarse para cualquier otra estructura

S: su valor y el de su exponente se obtienen de acuerdo al procedimiento explicado más adelante.

R: factor de reducción de respuesta estructural

$\phi_p$ ,  $\phi_e$ : factores de configuración estructural en planta y en elevación.

Los valores de  $C_m$  y  $S$ , provienen de los valores de aceleraciones espectrales máximas esperados para los valores de  $Z$  y de tipo de suelo críticos. Adicionalmente, la intersección entre el valor de  $C$  y de su límite superior  $C_m$ , define la frecuencia de esquina o de corte que separa la zona de periodos con aceleración constante con la zona de períodos de velocidad constante, dependiendo del tipo de suelo.

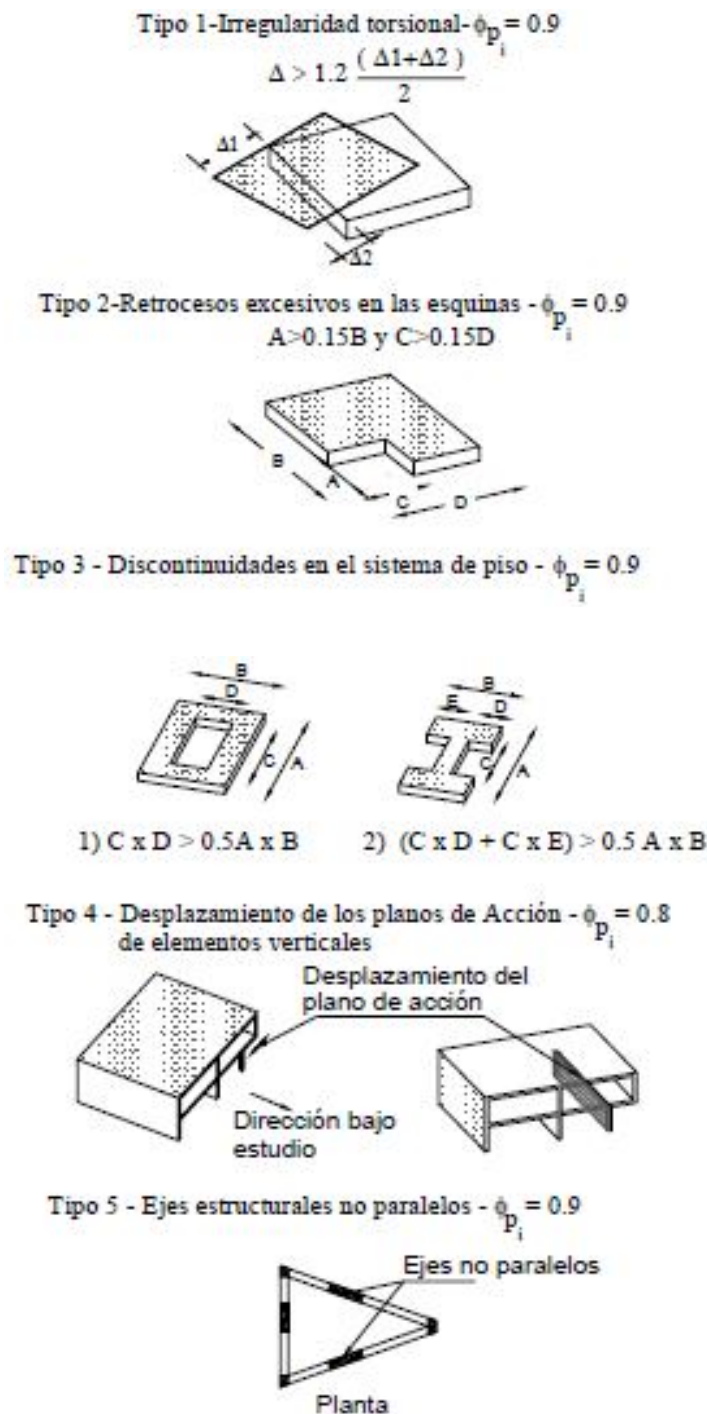
- **Coefficiente de configuración estructural en planta  $\varphi_P$ :**

El código penaliza al diseño de estructuras irregulares tanto en planta como en elevación, debido a que la presencia de dichas irregularidades usualmente causa problemas en las estructuras ante la ocurrencia de un sismo, para determinar el valor se presenta la siguiente tabla en la cual se explica los casos en que este coeficiente será aplicado:

| TIPO | Descripción de las irregularidades en planta               | $\varphi_P$ |
|------|--|-------------|
| 1    | Irregularidad Torsional                                    | 0,90        |
| 2    | Entrantes excesivos en las esquinas                        | 0,90        |
| 3    | Discontinuidad en el sistema de piso                       | 0,90        |
| 4    | Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales | 0,80        |
| 5    | Ejes estructurales no paralelos                            | 0,90        |
| 6    | Sistema de Piso flexible                                   | -           |

**Fuente:** Código Ecuatoriano de la Construcción 2001

**Tabla 6.5** Descripción de Irregularidades en planta ( $\varphi_P$ )



Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción 2001

Figura 6.10 Descripción de Irregularidades en planta ( $\phi_P$ )

- **Coefficiente de configuración estructural en elevación  $\phi_E$ :**

De igual manera para el caso anterior, se castiga el cálculo de estructuras que sean irregulares en elevación, como se explica en la siguiente tabla:

| TIPO | Descripción de las irregularidades en elevación | Pórticos espaciales y pórticos con vigas banda<br>$\phi_e$ | Sistemas duales con diagonales<br>$\phi_e$ |
|------|---|--|--|
| 1    | Piso blando (irregularidad en rigidez)          | 0,90   | 1,00                                       |
| 2    | Irregularidades en la distribución de masas     | 0,90   | 1,00                                       |
| 3    | Irregularidad geométrica                        | 0,90   | 1,00                                       |
| 4    | Desalineamiento de ejes                         | 0,80   | 0,90                                       |
| 5    | Piso débil - discontinuidad en la resistencia   | 0,80   | 1,00                                       |
| 6    | Columnas cortas                                 | -  | -  |

**Fuente:** Código Ecuatoriano de la Construcción 2001

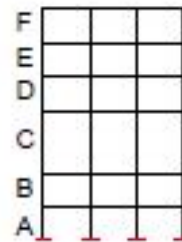
**Tabla 6.6** Descripción de Irregularidades en elevación ( $\phi_E$ )

Tipo 1 - Piso flexible -  $\phi_{E1} = 0.9$

$$\text{Rigidez } K_c < 0.70 \text{ Rigidez } K_D$$

ó

$$\text{Rigidez } K_c < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$$

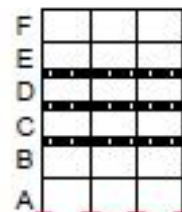


Tipo 2 - Distribución de masas -  $\phi_{E1} = 0.9$

$$m_D > 1.50 m_E$$

ó

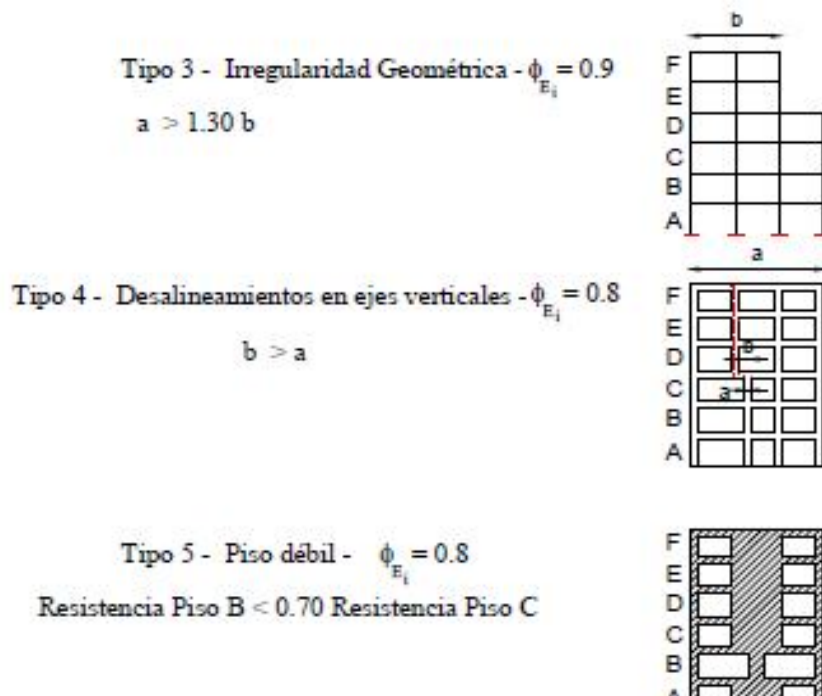
$$m_D > 1.50 m_C$$



**Fuente:** Código Ecuatoriano de la Construcción 2001

**Figura 6.11** Descripción de Irregularidades en elevación ( $\phi_E$ )





Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción 2001

Figura 6.11 Descripción de Irregularidades en elevación ( $\phi_E$ ) (Continuación)

- **Período de vibración T:**

Es el período fundamental de vibración que posee cada estructura, para el cálculo del mismo se utilizara un valor referencial simplificado, que resulta útil para el cálculo sísmico estático. La siguiente fórmula explica la obtención del período de vibración.

$$T = C_t * (h_n)^{3/4}$$

Donde:

$h_n$ : altura máxima de la edificación, medida desde la base de estructura

$C_t$ : 0.06 para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales o con diagonales **y para otras estructuras.**

- **Factor de reducción de resistencia sísmica R:**

Para la definición del factor de reducción de resistencia R, se tomaron como criterios, tanto las recomendaciones de los códigos UBC-94 y UBC-97, este factor depende a su vez de muchos otros como son: del tipo de estructura, tipo de suelo, periodo de vibración considerado y de los factores de ductilidad, sobre resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite, se ha determinado un parámetro constante que depende únicamente de la tipología estructural. A continuación se muestra los coeficientes de reducción de respuesta estructural de acuerdo al sistema estructural:

| <b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>  | <b>R</b> |
|---|----------|
| Sistemas de pórticos espaciales sismo - resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales) | 12       |
| Sistemas de pórticos espaciales sismo - resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.  | 10       |
| Sistemas de pórticos espaciales sismo - resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales)  | 10       |
| Sistemas de pórticos espaciales sismo - resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras.   | 10       |
| Sistemas de pórticos espaciales sismo - resistentes, de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras.   | 9        |
| Sistemas de pórticos espaciales sismo - resistentes, de hormigón armado con vigas banda.  | 8        |
| Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio  | 7        |
| <b>Estructuras de madera</b>  | <b>7</b> |
| Estructuras de mampostería reforzada o confinada  | 5        |
| Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada   | 3        |

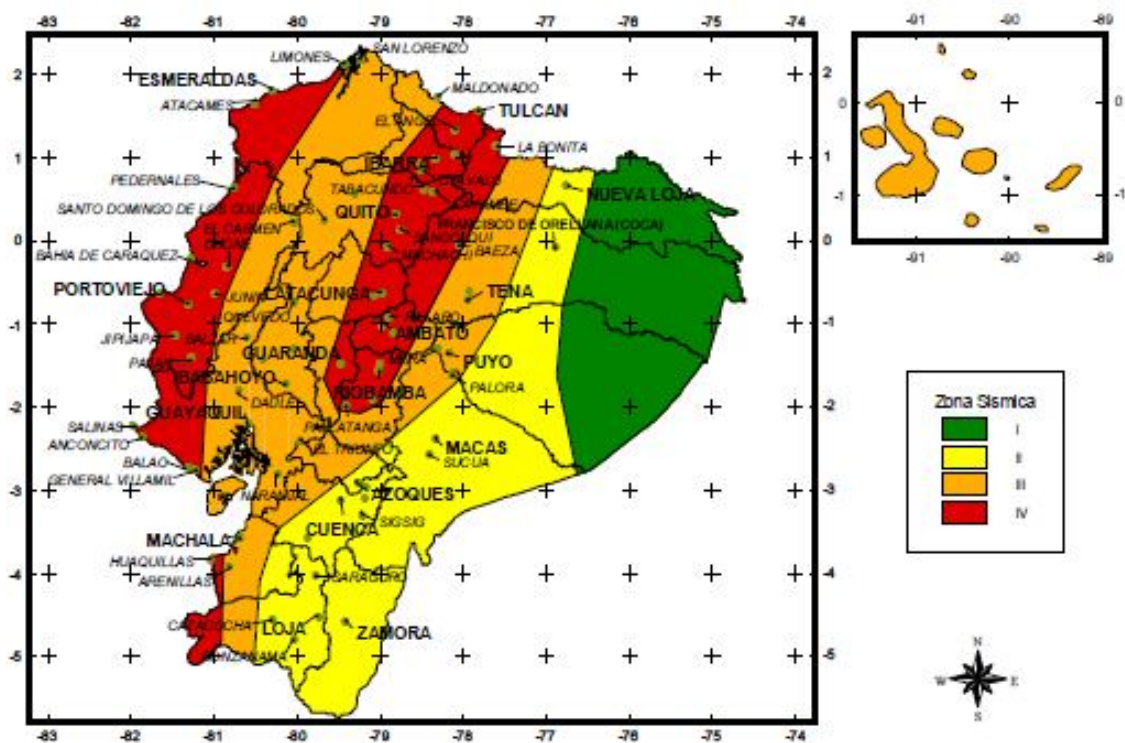
**Fuente:** Código Ecuatoriano de la Construcción 2001

**Tabla 6.7** Coeficientes de reducción de respuesta estructural R

- **Zonas sísmicas y factor de zona Z:**

El sitio donde se construirá la estructura determinará una de las cuatro zonas sísmicas del Ecuador; el valor de Z de cada zona representa la aceleración máxima efectiva en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como aceleración de la gravedad. Para la zona de Santo Domingo de los Colorados se ha determinado que es zona III.

**Z = 0.30 (Santo Domingo de los Colorados)**



Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción 2001

**Figura 6.12** Zonas sísmicas para propósitos de diseño

- **Geología local y perfiles de suelo. Coeficientes S y Cm**

Las condiciones geotécnicas de los sitios o perfiles de suela se las clasifica de acuerdo con las propiedades mecánicas del sitio, los espesores de los estratos y la velocidad de propagación de las ondas de corte.

a) **Perfil tipo S1:** roca o suelo firme. A este grupo corresponde las rocas y los suelos endurecidos con velocidades de ondas de corte similares a las de una roca, mayores a 750 m/s, con periodos fundamentales de vibración menores a 0.20 s. Se incluyen los siguientes tipos de suelos:

- Roca sana o parcialmente alterada
- Gravas arenosas, limosas o arcillosas, densas y secas.
- Arenas densas con número de golpes SPT:  $N > 50$
- Suelos y depósitos de origen volcánico firmemente cementados.

b) **Perfil tipo S2:** suelos intermedios. Suelos con características intermedias o que no se ajustan a los perfiles de suelos tipo S1 y S3.

c) **Perfil tipo S3:** suelos blandos o estratos profundos. En este grupo se incluyen los perfiles de suelos blandos o estratos de gran espesor en los períodos fundamentales de vibración son mayores a 0.6 s, incluyendo:

| Suelos Cohesivos | Velocidad de ondas de corte V (m/s) | Resistencia al corte no drenada. S (kPa) | Espesor del estrato(m) |
|------------------|-------------------------------------|--|------------------------|
| Blandos          | <200                                | <25                                      | >20                    |
| Semi blandos     | 200-400                             | 25-50                                    | >25                    |
| Duros            | 400-750                             | 50-100                                   | >40                    |
| Muy Duros        | >750                                | 100-200                                  | >60                    |

**Fuente:** Código Ecuatoriano de la Construcción 2001

**Tabla 6.8** Tipos de Suelos Perfil S3

d) **Perfil tipo S4:** condiciones especiales de evaluación del suelo. En este grupo se incluyen los siguientes tipos:

- Suelos con alto potencial de licuefacción, colapsibles y sensitivos.
- Turbas, lodos y suelos orgánicos.
- Rellenos colocados sin control ingenieril.
- Arcillas y limos de alta plasticidad ( $IP > 75$ ).
- Arcillas suaves y medio duras con espesor mayor a 30 m.

Los perfiles de este grupo incluyen los suelos altamente compresibles y donde las condiciones geológicas y/o topográficas sean especialmente desfavorables, que requieran estudios geotécnicos no rutinarios para determinar sus características mecánicas.

El coeficiente  $C_m$  está relacionado con la definición del espectro del sismo de diseño, que dependen directamente del tipo de suelo a utilizar, como se muestra en la siguiente tabla:

| <b>Perfil Tipo</b> | <b>Descripción</b>                       | <b>S</b>   | <b>C<sub>m</sub></b> |
|--------------------|--|------------|----------------------|
| S1                 | Roca o suelo firme                       | 1,0        | 2,5                  |
| S2                 | Suelos Intermedios                       | 1,2        | 3,0                  |
| <b>S3</b>          | <b>Suelos Blandos y estrato profundo</b> | <b>1,5</b> | <b>2,8</b>           |
| S4                 | Condiciones especiales de suelo          | 2,0        | 2,5                  |

**Fuente:** Código Ecuatoriano de la Construcción 2001

**Tabla 6.9** Coeficientes de suelo S y  $C_m$

- **Tipo de uso, destino e importancia de la estructura I:**

La estructura a construirse se deberá clasificar de acuerdo con la siguiente tabla:

| <b>Categoría</b>                        | <b>Tipo de uso, destino e importancia</b>   | <b>Factor I</b> |
|---|---|-----------------|
| Edificaciones esenciales y/o peligrosas | Hospitales, clínicas. Centros de salud o de emergencia sanitaria, etc.                                  | 1.5             |
| Estructuras de ocupación especial       | Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas | 1.3             |
| <b>Otras estructuras</b>                | <b>Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifiquen dentro de categorías anteriores</b>  | <b>1</b>        |

**Fuente:** Código Ecuatoriano de la Construcción 2001

**Tabla 6.10** Factores de Importancia de las estructuras

- **Carga sísmica reactiva W:**

Esta carga representa la carga muerta total de la estructura.

**Procedimiento de cálculo de fuerzas dinámicas:**

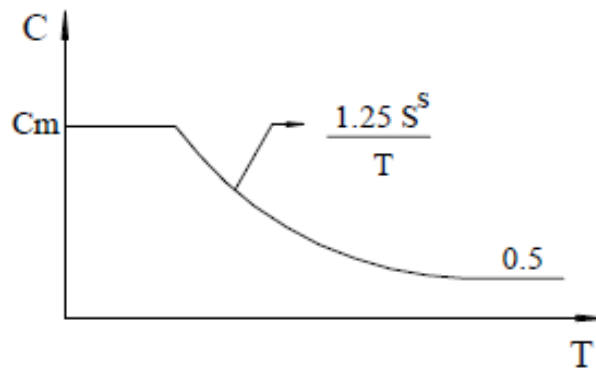
Para estructuras de edificación, la acción sísmica utilizada debe representar, como mínimo, a un sismo con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, sin la aplicación del factor de reducción de respuesta R. Para el presente Proyecto de Grado, se opta por utilizar el espectro de respuesta elástico normalizado proporcionado en la Figura 6.13, consistente con el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura.

**Modelo Matemático:** El modelo matemático de la estructura incluirá todos los elementos que conforman el sistema estructural resistente, así como también la distribución espacial de las masas y rigideces en la estructura, con una

aproximación tal que sea capaz de capturar las características más significativas del comportamiento dinámico. Para el análisis dinámico de estructuras irregulares se utilizará un modelo tridimensional.

- **Descripción de los Procedimientos de Análisis:**

**Análisis dinámico espectral:** Constituye un análisis dinámico elástico de la estructura, que utiliza la máxima respuesta de todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura. Las respuestas modales máximas son calculadas utilizando las ordenadas de un espectro de respuesta apropiado, que corresponden a los períodos de los modos de vibración. Las contribuciones modales máximas son combinadas de una forma estadística para obtener una aproximación de la respuesta estructural total.



**Figura 6.13** Espectro sísmico elástico - CEC, que representa el sismo de diseño

### **Cortante Basal**

Como se definió previamente, el cortante basal depende de factores que se determina a partir de las características del lugar de emplazamiento de la estructura. El cálculo del cortante basal para la estructura en análisis es el siguiente:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * W \qquad C = \frac{1.25 * S^S}{T}$$

- $T = C_t * (h_n)^{3/4}$   
 $T = 0.06 * (6.30)^{3/4}$   
 $T = 0.24s$

- $C = \frac{1.25 * S^S}{T}$   
 $C = \frac{1.25 * 1.5^{1.5}}{0.24}$   
 $C = 9.56 > 2.80 \rightarrow C = 2.80$

- $T = \frac{1.25 * S^S}{C}$   
 $T = \frac{1.25 * 1.5^{1.5}}{2.80}$   
 $T = 0.82s$

- $V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * W$   
 $V = \frac{0.3 * 1 * 2.80}{7 * 1 * 1} * W$

$V = 0.12W$

Este valor de cortante basal es con el cual se realiza el análisis dinámico estático de la estructura, a través del programa ETABS.

### **Espectro inelástico**

En la Figura 6.13 se presenta el espectro inelástico del CEC – 2001. Al hacer el análisis sísmico con este espectro se espera que la estructura no sufra daño. Por

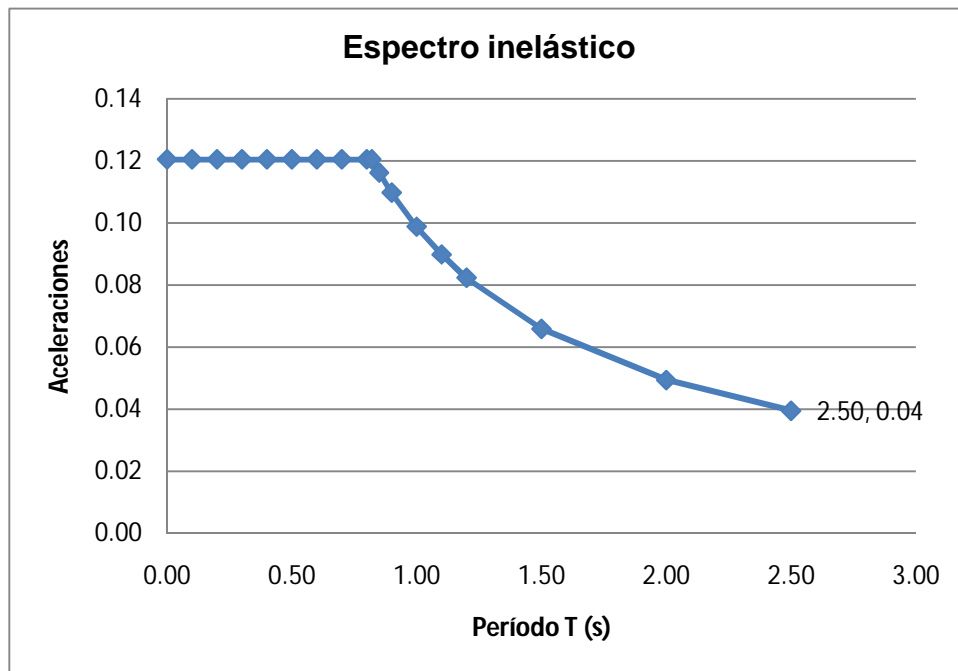


tanto, siempre trabajará en el rango elástico pero esto no es adecuado, ya que el espectro elástico del CEC-2001 posee un período de retorno de 475 años, es decir que la probabilidad de que éste ocurra es muy baja. Estas condiciones generarían que la estructura sea muy costosa con grandes dimensiones en sus elementos.

Por consiguiente, la estructura se la diseña considerando un espectro inelástico, el mismo que se obtiene dividiendo las ordenas espectrales para  $R\phi_p\phi_e$ . Donde R es el factor de reducción de las fuerzas sísmicas debido al comportamiento inelástico de la estructura, y  $\phi_p$  &  $\phi_e$  son factores de irregularidad en planta y elevación.

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>a</b> | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.07 |
| <b>T</b> | 0.00 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.82 | 0.85 | 0.90 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.50 |

**Tabla 6.11** Periodos y aceleraciones de espectro inelástico



**Figura 6.14** Espectro sísmico inelástico

### 6.3.5 COMBINACIONES DE CARGA

Las combinaciones de cargas mostradas a continuación son las propuestas por ASCE 7-05, tomando en consideración que se utilizará el método de los esfuerzos admisibles las combinaciones de carga se encuentran sin mayorar, es decir, cargas de servicio<sup>30</sup>:

1. D
2. D + L
3. D + R
4. D + 0.75 L + 0.75 R
5. D + (W o 0.7E)
6. D + 0.75(W o 0.7E) + 0.75 L + 0.75 R
7. 0.6 D + W
8. 0.6 D + 0.7 E

Donde:

- D: carga muerta
- L: carga viva
- E: carga sísmica
- W: carga de viento
- R: carga de lluvia

Los efectos más desfavorables de viento y sismo deben ser considerados, cuando sea apropiado, pero no se debe suponer una acción simultánea de ambas.

---

<sup>30</sup> ASCE7-05: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Pag. 5.

### **6.3.6 RESISTENCIA DE DISEÑO**

En este tipo de diseño un elemento es seleccionado de tal manera que las propiedades de la sección transversal del miembro, tales como el momento de inercia, sean lo suficientemente grandes para prevenir al máximo que las cargas axiales, de corte o momento flector aplicadas excedan los valores permisibles.

Este valor admisible se lo obtiene a partir de la relación entre el valor nominal, o teórico, de la fuerza y un factor de seguridad, así:

Fuerza requerida  $\leq$  Fuerza permitida

$$\text{Fuerza permitida} = \frac{\text{Fuerza nominal}}{\text{Factor de seguridad}}$$

El diseño a través de esfuerzos admisibles es también conocido como diseño elástico, debido a que este diseño se lo realiza en el rango elástico del material del elemento. Los esfuerzos últimos son los que resultan a partir de las cargas que se hayan aplicado, y estas cargas se las conocen como Cargas de Servicio.

### **6.3.7 CONTROL DE FLECHAS Y SERVICIALIDAD**

Las deflexiones admisibles en el caso de vigas dependen del uso al que se destine la edificación. Las deformaciones deben limitarse para que la estructura o elemento cumpla con su función adecuadamente, para evitar daños a elementos no estructurales y acabados, así como para evitar efectos perjudiciales a la estructura misma y a su apariencia.

Las deflexiones pueden calcularse para los siguientes casos:

- Combinación más desfavorable de cargas permanentes y sobrecargas de servicio
- Sobrecargas de servicio actuando solas.

A continuación se muestran las deflexiones máximas admisibles mediante el cálculo de esfuerzos admisibles:

| <b>Carga Actuante</b>            | <b>Con cielo raso de yeso</b> | <b>Sin cielo raso de yeso</b> |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Cargas Permanentes + sobrecargas | L/300                         | L/250                         |
| Sobrecarga                       | L/350                         | L/350                         |

**Fuente:** Manual de diseño para maderas del Grupo Andino – Pag. 8-3

**Tabla 6.12** Deflexiones Máximas Permisibles

$$\Delta_{max} = \frac{L}{K}$$

L es la luz entre caras de apoyos o la distancia de la cara del apoyo extremo, en el caso de volados. Los valores indicados con cielo raso de yeso deben ser utilizados cuando tengas cielos rasos de yeso y otros acabados que pudieran ser afectados por las deformaciones; en otros casos deben utilizarse los valores de la columna sin cielo raso de yeso.

Las deflexiones en vigas deben ser calculadas con el módulo de elasticidad  $E_{mín}$  del grupo de la madera estructural especificada.

Las deflexiones en viguetas y elementos similares pueden también determinarse con Epromedio, siempre y cuando se tengan por lo menos cuatro elementos similares, y sea posible una redistribución de la carga.

Para el chequeo por servicialidad de la estructura, es necesario realizar un análisis de las derivas generadas por la estructura, de acuerdo al CEC – 2001.

Para el análisis de derivas, es necesario determinar los desplazamientos inelásticos que se generan en la estructura. Debido a que el modelo matemático se ha examinado a través de un análisis lineal, las deformaciones obtenidas directamente del modelo son deformaciones elásticas, las cuales deberán ser convertidas en inelásticas. Para lo cual se utiliza la siguiente fórmula<sup>31</sup>:

$$q_{ine} = (R\phi_p\phi_e)q_e$$

Donde:

R: coeficiente de reducción de respuesta estructural

$\phi_p$ : coeficiente de configuración en planta

$\phi_e$ : coeficiente de configuración en elevación

Debido a que la estructura analizada posee una sola planta, el cálculo de la deriva de piso se efectúa con la siguiente fórmula:

$$\gamma_i = \frac{q_{ine(i)}}{h_i}$$

---

<sup>31</sup> Dr. Ing. Roberto Aguiar. "Análisis sísmico de edificios". Pag. 153

Donde:

$q_{ine(i)}$ : desplazamiento inelástico del nivel superior

$h_i$ : altura de piso

$\gamma_i$ : distorsión de piso

De acuerdo a lo establecido en el CEC 2001, la distorsión inelástica de piso no debe exceder el valor de 0.020, para estructuras de madera.

## **6.4 DISEÑO ESTRUCTURAL**

### **6.4.1 VIGAS Y VIGUETAS**

#### **REQUISITOS DE RESISTENCIA**

##### **FLEXIÓN**

Los esfuerzos de compresión o de tracción producidos por flexión, no deben exceder el esfuerzo admisible, para el grupo de madera estructural especificado.

Con las hipótesis mencionadas al inicio de ese capítulo, el máximo esfuerzo normal se produce en la fibra más alejada del plano neutro. Para elementos cargados en la dirección de uno de los ejes principales de la sección.

$$\sigma_m = \frac{M}{I}$$

$$c = \frac{M}{Z} < fm$$

Donde:

M : es el momento aplicado

I : es el momento de inercia de la sección transversal con relación al eje alrededor del cual se produce la flexión

c : es la distancia del plano neutro a la fibra más alejada

Z : es el correspondiente módulo de sección.

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

$$Z = \frac{b * h^2}{6}$$

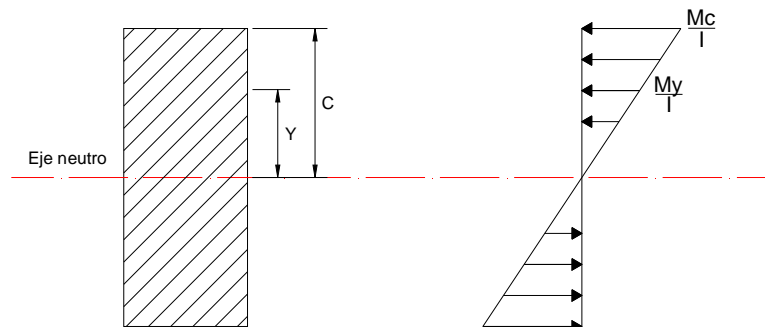
$$c = \frac{h}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{6 * M}{b * h^2} < f_m$$

Donde:

b : base de la sección transversal

h : altura de la sección transversal



**Figura 6.15** Distribución de esfuerzos normales producidos por flexión

## **CORTE**

Los esfuerzos cortantes no deben exceder el esfuerzo máximo admisible para corte paralelo a las fibras. La resistencia al corte en la dirección perpendicular a las fibras es mucho mayor y por lo tanto no requiere verificarse.

El esfuerzo de corte en una sección transversal de un elemento sometido a flexión y a una cierta distancia del plano neutro se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{V * S}{b * I}$$

Donde:

V : es la fuerza cortante de la sección

S : es el momento estático de la parte de la sección transversal por encima de las fibras para las que  $\tau$  se está determinando.

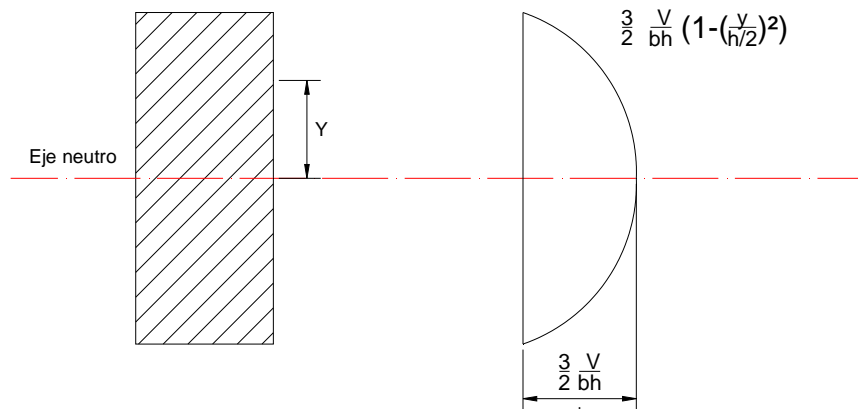
b : es el ancho de la sección a la altura de esas fibras

I : es el momento de inercia

Si b es constante el máximo esfuerzo de corte ocurre en el plano neutro, como se aprecia en la siguiente gráfica:

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{V}{b * h} < fv$$





**Figura 6.16** Distribución de esfuerzos de corte en elementos de sección rectangular

### **COMPRESION PERPENDICULAR A LAS FIBRAS**

Es el esfuerzo de compresión promedio en la dirección perpendicular a las fibras debe verificarse en los apoyos y otros puntos donde hay cargas concentradas en áreas pequeñas. El esfuerzo de compresión promedio, calculado como:

$$\sigma_c = \frac{R}{b * a}$$

Donde:

R : es la fuerza o reacción

b y a : es el área de contacto o apoyo, no debe exceder los límites, fc.

## **ESTABILIDAD**

Las vigas y elementos similares deben arriostrarse adecuadamente para evitar el pandeo lateral de las fibras en compresión.

Para elementos de sección rectangular los requisitos pueden relacionarse con la relación peralte a ancho,  $h/b$ . Se recomienda usar los siguientes criterios empíricos, basados en dimensiones comerciales de la sección transversal.

$$\text{relación } \frac{\text{alto}}{\text{ancho}} = \frac{h}{b}$$

$$\frac{h}{b} = 2$$

No se necesita apoyo lateral

$$\frac{h}{b} = 3$$

Restricción del deslizamiento lateral en apoyos (translación y rotación)

$$\frac{h}{b} = 4$$

Restricción del desplazamiento lateral en apoyos elemento mantenido en posición por correas o viguetas.

$$\frac{h}{b} = 5$$

Restricción del desplazamiento lateral en apoyos, borde de compresión conectado directamente con entablado o viguetas.

$$\frac{h}{b} = 6$$

Adicionalmente a los requisito para  $h/b=5$  colocar arriostramiento cruzado entre elementos a distancias menores que ocho veces su ancho.

## 6.4.2 COLUMNAS

### LONGITUD EFECTIVA

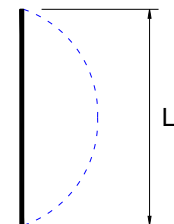
El diseño de elementos sometidos a compresión o flexo - compresión deben hacerse tomando en cuenta su longitud efectiva  $L_{ef}$ . Longitud efectiva es la longitud teórica de una columna equivalente con articulaciones en sus extremos. Esta longitud de la columna doblemente articulada es la que interviene en la determinación de la carga máxima de pandeo que puede soportar una columna.

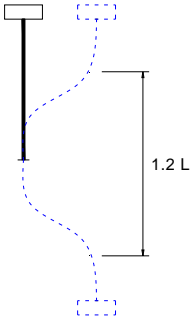
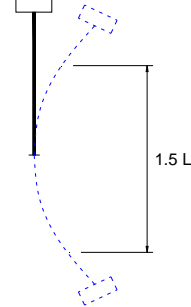
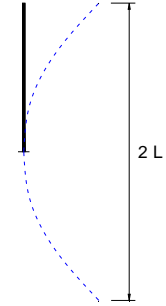
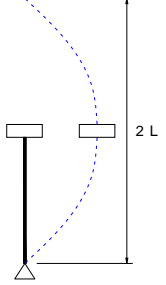
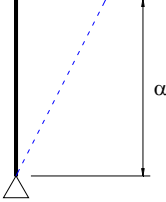
Esta se obtiene multiplicando la longitud no arriostrada,  $L$ , por un factor de longitud efectiva  $K$ , que considera la restricciones o el grado de empotramiento que sus apoyos extremos le proporcionan.

$$L_{ef} = K * L$$

Se recomienda que en ningún caso se tome una longitud efectiva menor que la longitud real no arriostrada.

| CONDICIONES DE APOYO         | K | L <sub>ef</sub> |
|------------------------------|---|-----------------|
| Articulado en ambos extremos | 1 | 1*L             |



|  |     |       |   |
|--|-----|-------|---|
| Empotrado en un extremo (prevención del desplazamiento y rotación) y el otro impedido de rotar pero libre para desplazarse | 1,2 | 1,2*L |    |
| Empotrado en un extremo y el otro parcialmente impedido de rotar pero libre de desplazarse                                 | 1,5 | 1,5*L |    |
| Empotrado en un extremo y libre en el otro   | 2   | 2*L   |   |
| Articulado en un extremo y en el otro impedido de rotar pero libre de desplazarse  | 2   | 2*L   |  |
| Articulado en un extremo y libre en el otro  |     |       |  |

**Fuente:** Manual de diseño para maderas del Grupo Andino – Pag. 9-4

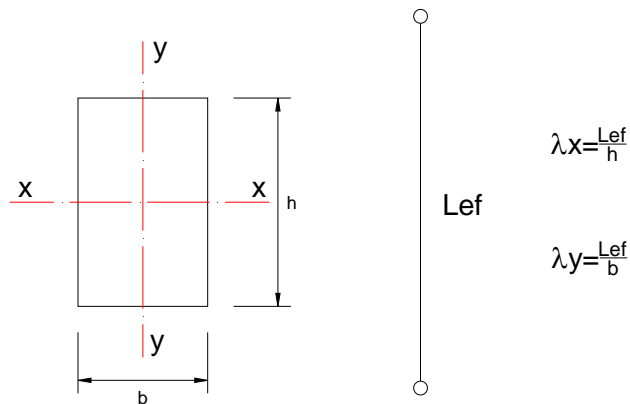
**Tabla 6.13** Factor K de longitud efectiva

## ESBELTEZ

Las expresiones de diseño para la columna se presentan en función de la relación

$$\lambda = L_{ef}/d$$

que se usa como medida de esbeltez.  $d$  representa aquí la dimensión de la sección transversal en la dirección considerada. El caso de las escuadrías cuya sección transversal presenta dimensiones diferentes según los ejes del sistema de simetría,  $x-x$  e  $y-y$ , las esbelteces son las que se ilustran en la siguiente figura, para el caso en que la  $L_{ef}$  sea igual en ambas direcciones.



**Figura 6.17** Esbelteces de una columna de sección rectangular

En general las longitudes efectivas son diferentes en cada dirección, como en el caso de entramados. Esto se determina cargas admisibles diferentes, correspondiendo la menor de ellas a la mayor relación de esbeltez.

$$esbeltez = \frac{L_{ef}}{i}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Para una sección rectangular, el radio de giro mínimo es directamente proporcional a la dimensión menor:

$$i = \frac{d}{\sqrt{12}}$$

Por lo cual la relación:

$$\lambda = \frac{Lef}{d}$$

puede usarse como medida de esbeltez.

### **CLASIFICACION DE COLUMNAS**

Las columnas se clasifican en función de su esbeltez:

- |   |                      |                     |
|---|----------------------|---------------------|
| 7 | Columnas Cortas      | $\lambda < 10$      |
| 8 | Columnas Intermedias | $10 < \lambda < Ck$ |

$$Ck = 0.7025 * \sqrt{\frac{E}{fc}}$$

- |   |                 |                     |
|---|-----------------|---------------------|
| 9 | Columnas Largas | $Ck < \lambda < 50$ |
|---|-----------------|---------------------|

No deben utilizarse como columnas elementos cuya relación de esbeltez sea mayor que 50.

### **CARGAS ADMISIBLES EN ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN**

Los elementos sometidos a compresión axial pueden ser diseñados sin considerar una excentricidad mínima, si se utilizan las siguientes consideraciones:

### Columnas Cortas

Las columnas cortas ( $\lambda < 10$ ) fallan por compresión o aplastamiento. Su carga admisible puede calcularse como:

$$N_{adm} = f_c * A$$

Donde:

A: área de la sección transversal

$f_c$ : esfuerzo máximo admisible de compresión paralela a las fibras

$N_{adm}$ : carga axial máxima admisible

### Columnas Intermedias

Las columnas intermedias ( $10 < \lambda < C_k$ ) fallan por una combinación de aplastamiento e inestabilidad lateral. Su carga admisible puede estimarse como:

$$N_{adm} = f_c * A * \left[ 1 - \frac{1}{3} * \left( \frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right]$$

Donde:

$\lambda$ : relación de esbeltez (considerar solo la mayor)

$C_k$ :  $0.7025 * \sqrt{\frac{E}{f_c}}$ , para secciones rectangulares

E: módulo de elasticidad

## Columnas Largas

La carga admisible de columnas largas ( $Ck < \lambda < 50$ ) se determina por consideraciones de estabilidad. Considerando una adecuada seguridad al pandeo la carga crítica  $N_{cr}$  según la teoría de Euler se reduce a la siguiente ecuación:

$$N_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2}$$

### 6.4.3 CERCHAS

#### ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXOCOMPRESIÓN

Estos elementos deben diseñarse para satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{km * M}{Z * fm} < 1$$

Donde:

- fm: esfuerzo admisible en flexión
- km: factor de magnificación de momentos debido a la presencia de la carga axial
- M: momento flector máximo en el elemento
- Nadm: carga axial admisible
- Z: módulo de la sección transversal con respecto al eje alrededor del cual se produce la flexión



Cuando existe flexión y compresión combinadas, los momentos flectores se amplifican por acción de las cargas axiales. Este efecto puede incluirse multiplicando el momento flector máximo por:

$$km = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{N}{Ncr}}$$

Donde:

N: carga axial aplicada

Ncr: carga crítica de Euler para pandeo en la dirección en que se aplican los momentos de flexión

$$Ncr = \frac{\pi^2 * E * I}{Lef^2}$$

### **ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXOTRACCIÓN**

Estos elementos deben diseñarse para satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{N}{Aft} + \frac{M}{Z * fm} < 1$$

Donde:

M: momento flector máximo en el elemento

N: carga axial aplicada ( tracción)

A: área de la sección transversal

ft: esfuerzo admisible en tracción

Z: módulo de la sección transversal con respecto al eje alrededor del cual se produce la flexión

## **6.5 ESTRUCTURA PARADERO IASA II**

El análisis de la estructura del Paradero para el IASA II se la ha realizado a través del programa ETABS, que utiliza un modelo de elementos finitos, cuyos resultados sirven de base para los diseños y chequeos estructurales; se respetaron las siguientes hipótesis:

- La estructura se ha modelado en tres dimensiones, considerando todas las características geométricas y las acciones bajo los diferentes estados de cargas permanentes y sobrecarga, así como las consideraciones de sismo y viento.
- Con respecto a las columnas se han considerado que en la zona de anclaje a la cimentación presentan apoyos que restringen los desplazamientos en las tres direcciones, y los giros sobre las mismas direcciones. El anclaje de las columnas a la cimentación se hará de acuerdo a lo planteado en los planos de detalle. El tipo de apoyo propuesto absorbe satisfactoriamente los momentos transmitidos de la estructura a la cimentación.
- Las conexiones de la estructura al no considerarse totalmente rígidas, no absorben momento flector. Por lo tanto, se ha considerado que las uniones no reciben ni soportan ningún tipo de momento flector que se pueda transmitir desde algún elemento estructural.

Las cargas ingresadas en el modelo matemático corresponden al análisis de cargas realizado previamente en el presente capítulo.

Se tomaron los elementos más esforzados para verificar que su capacidad esté dentro de los rangos aceptables, con el criterio de cargas admisibles o cargas sin mayorar. Las deformaciones y servicialidad de los elementos y la estructura se chequea con el criterio de cargas de servicio.

El modelo matemático analizado en ETABS fue realizado siguiendo un procedimiento determinado de definición, asignación, y chequeo, que se lo presenta a continuación:

#### **6.5.1 DEFINICIÓN DE MATERIALES**

Como primer paso dentro de la creación del modelo matemático es necesario definir los materiales con los cuales se va a trabajar. Para la estructura en análisis se utilizan dos tipos de materiales. El primer material es el Guayacán Pechiche, madera tipo A, cuyas propiedades físico mecánicas fueron determinadas anteriormente a través de experimentación. El segundo material es el correspondiente a la cubierta AR2000 de NOVACERO, cuyas propiedades se las determina de acuerdo a las especificaciones establecidas por el fabricante. La cubierta y sus propiedades serán definidas al momento de definir elementos área.

Dentro de la ejecución de cualquier modelo matemático dentro de ETABS es importante establecer unidades adecuadas para el ingreso de datos, y de esta forma ser consistente con la realidad del modelo.

### ***Módulo de Elasticidad***

El módulo de elasticidad, el módulo de corte y el módulo de Poisson representan las características elásticas de un material. La madera como material ortotrópico presenta tres módulos de elasticidad asociados a tres direcciones mutuamente perpendiculares entre sí: uno longitudinal a lo largo de la fibra, tangencialmente a los anillos de crecimiento y perpendicularmente a los anillos de crecimiento. Además, posee tres módulos de corte y tres coeficientes de Poisson (ver Figura 6.17). Desde el punto de vista ingenieril se puede suponer que el material es homogéneo, supuesto que se utiliza debido a que el diseño en madera se lo realiza dentro del rango elástico.

| Material Name          |          | GUAYACAN   |
|------------------------|----------|--|
| Type of Material       |          | <input type="radio"/> Isotropic <input checked="" type="radio"/> Orthotropic |
| Type of Design         |          | Design: None   |
| Analysis Property Data |          |  |
| Mass per unit Volume   |          | 8.870E-07  |
| Weight per unit Volume |          | 8.700E-04  |
| Modulus of Elasticity  | Dir 1    | 86984.4  |
|                        | Dir 2    | 80747.25   |
|                        | Dir 3    | 80747.25   |
| Poisson's Ratio        | Plane 12 | 0.35   |
|                        | Plane 13 | 0.35   |
|                        | Plane 23 | 0.35   |
| Coeff of Thermal Expan | Dir 1    | 4.000E-06  |
|                        | Dir 2    | 3.300E-05  |
|                        | Dir 3    | 2.300E-03  |
| Shear Modulus          | Plane 12 | 3479.376   |
|                        | Plane 13 | 3229.89  |
|                        | Plane 23 | 3229.89  |
| Design Property Data   |          |  |
|                        |          | OK   |
|                        |          | Cancel   |

**Figura 6.18** Definición de Propiedades de Materiales

El módulo de elasticidad de la madera ha sido obtenido a partir de experimentación por medio de ensayos de compresión paralela a la fibra y de flexión estática. El módulo de elasticidad obtenido por medio de compresión paralela a la fibra es el correspondiente al eje longitudinal del elemento. El módulo de elasticidad obtenido a través de flexión estática corresponde al eje tangencial y radial. El módulo de elasticidad obtenido por compresión paralela es mucho mayor al obtenido por flexión estática, debido a que el material no posee la misma rigidez en todas sus direcciones, con lo cual se obtendrán deflexiones más reales en los elementos a flexión, criterio básico en su dimensionamiento. Es fundamental trabajar con los valores mínimos obtenidos de los módulos de elasticidad mencionados (ver Figura 6.17), que para el caso del Guayacán Pechiche son:

7 MOE longitudinal mínimo: 869844 kg/cm<sup>2</sup>

8 MOE radial y tangencial mínimo: 807472.5 kg/cm<sup>2</sup>

### ***Módulo de Corte o Rigidez***

El módulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen. Los valores reportados para esta propiedad varían entre 1/16 y 1/25 del módulo de elasticidad lineal.

### ***Módulo de Poisson***

Se conoce como módulo de Poisson a la relación que existe entre deformación lateral y deformación longitudinal. La madera presenta diferentes valores según las direcciones que se consideren; se han reportado valores del orden de 0.325 a 0.40. Para el presente análisis estructural se considera un valor medio de 0.35.

### ***Coefficiente de expansión térmica***

La madera cambia de dimensiones cuando sufre variaciones de temperatura. La madera como material anisotrópico posee valores diferentes de dilatación térmica en sus tres direcciones anatómicas. La dilatación tangencial y radial aumentan con la densidad de la madera, siendo la tangencial mayor que la radial. La dilatación longitudinal no depende de la densidad. Los valores utilizados son:

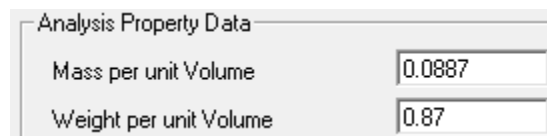
- Dilatación longitudinal:  $4.0 \times 10E-6 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$
- Dilatación tangencial:  $3.3 \times 10E-6 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$
- Dilatación radial:  $2.3 \times 10E-6 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$

### ***Masa y peso por unidad de volumen***

Se hace una importante distinción entre masa y peso. Masa se usa para calcular la inercia dinámica y para todas las cargas causadas por la aceleración del suelo. El peso es la fuerza que se aplica como cualquier fuerza de carga. Para las unidades de fuerza se especifica valores de peso, unidades de masa (fuerza- $\text{sec}^2/\text{longitud}$ ) al especificar valores de masa.

Para el presente caso, los valores utilizados son:

- Peso por unidad de volumen:  $0.87 \text{ g/cm}^3$
- Masa por unidad de volumen:  $0.87/9.81 = 0.0887 \text{ g*s}^2/\text{m}$



| Analysis Property Data |        |
|------------------------|--------|
| Mass per unit Volume   | 0.0887 |
| Weight per unit Volume | 0.87   |

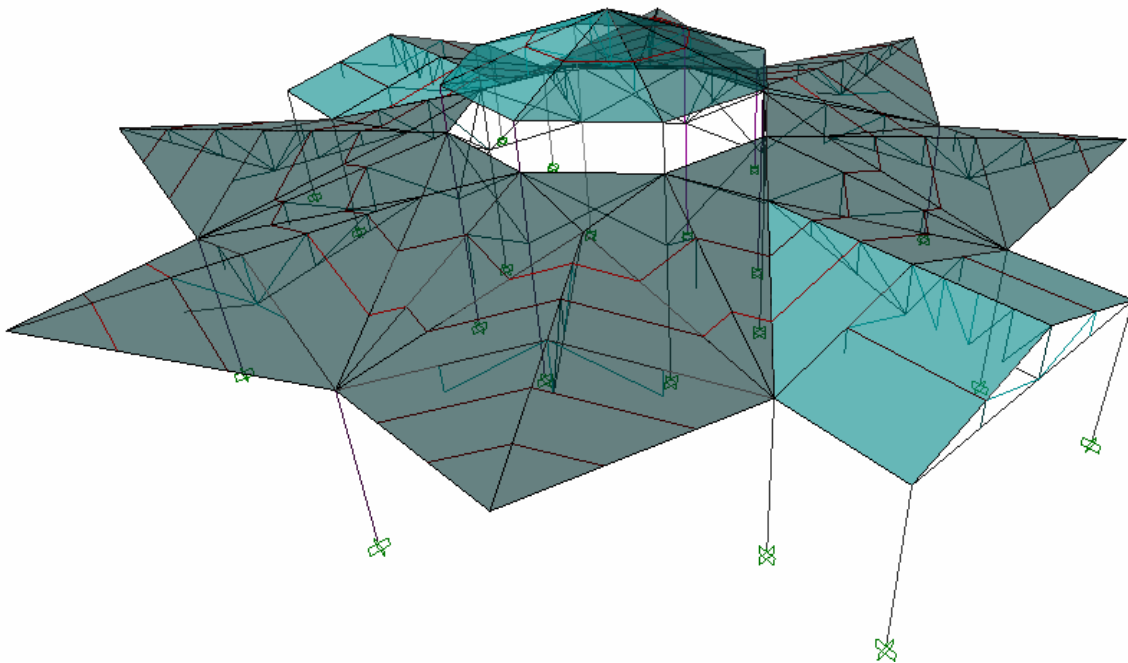
**Figura 6.19** Peso y masa por unidad de volumen

### 6.5.2 DEFINICIÓN DE GEOMETRÍA

La estructura del Paradero para el IASA II ha sido modelada directamente en el programa ETABS, tomando en cuenta dimensiones, en planta y elevación, obtenidas del Ante Proyecto Arquitectónico proporcionado por el Departamento de Desarrollo Físico de la Escuela Politécnica del Ejército.

La geometría fue elaborada a partir de herramientas de dibujo proporcionadas por el programa ETABS, las cuales son:

- Dibujo de puntos
- Dibujo de líneas
- Extrucción de puntos a líneas
- División y unión de líneas
- Replica radial y con referencia a un plano
- Opciones de visualización en diferentes planos y en 3D.



**Figura 6.20** Estructura Paradero IASA II – ETABS

Los elementos estructurales inicialmente han sido definidos como elementos NULOS, a los cuales se les asignará las propiedades de sección correspondientes posteriormente.

### 6.5.3 DEFINICIÓN DE ELEMENTOS BARRA

Los elementos lineales se han definido como objetos barra (Frame Objects), los cuales son utilizados para modelar vigas, columnas, arriostramientos y barras. A cada sección definida se ha asignado las propiedades del material correspondiente al Guayacán Pechiche. Los elementos Frame poseen una convención de signos, que se muestra a continuación:

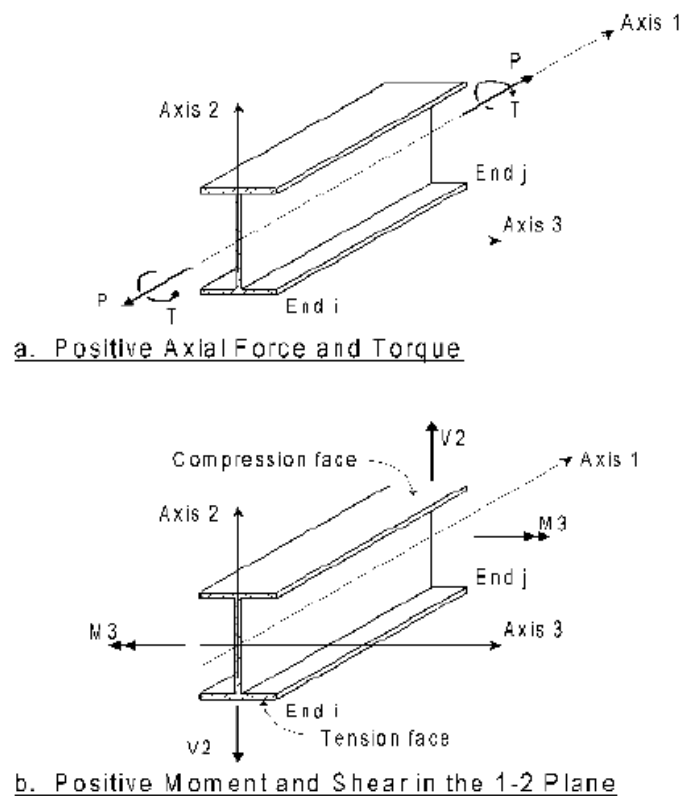


Figura 6.21 Convención de signos elementos Frame



Los elementos Frame se encuentran determinados espacialmente a través de ejes

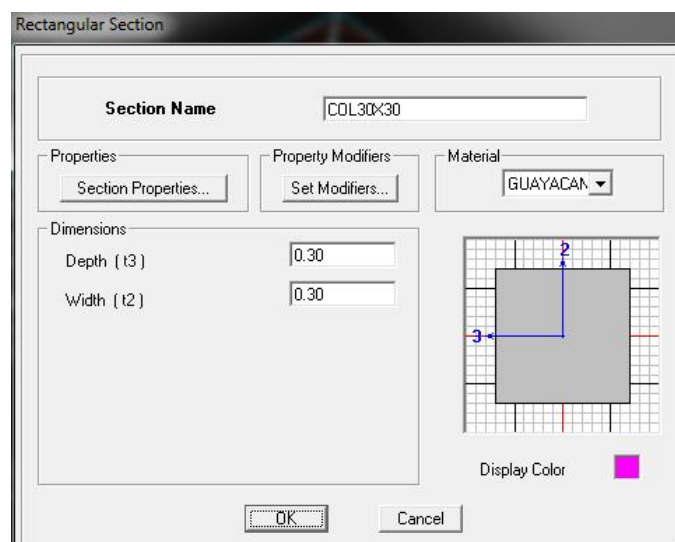
locales que determinan sus características y los planos en que puede ser cargado.

Los tres ejes locales determinan el comportamiento de los elementos barra, y son:

- Eje local 1: eje que se encuentra a lo largo del elemento barra
- Eje local 2: eje perpendicular al eje longitudinal del elemento barra
- Eje local 3: producto vectorial de los dos ejes locales anteriores.

Las conexiones que van a unir los elementos estructurales se las ha determinado de tal forma que no absorban momento, y por tanto a todos los elementos lineales de la estructura se los ha liberado de la acción de momentos alrededor del eje 3 – 3(ver Figura 6.20). De esta forma evitamos la transferencia de momentos de los elementos estructurales a los nudos.

Todas las secciones de madera definidas son de forma rectangular, y se ha definido las características de la sección como se muestra a continuación:



**Figura 6.22** Sección rectangular

Como se puede observar en la Figura 6.21, se debe ingresar un nombre para cada elemento estructural, el material correspondiente al elemento, y las medidas de la sección. En la figura se muestra el ejemplo de una columna de Guayacán Pechiche de 30 cm de lado.

#### 6.5.4 DEFINICIÓN DE ELEMENTOS AREA

Para el presente caso de aplicación, es necesario definir una sección de área típica para poder modelar la cubierta AR2000 establecida para este paradero. Se ha definido el área como CUBIERTA, la cual posee las características geométricas de un DECK metálico. Se ha utilizado este material debido a que nos permite colocar el peso por unidad de área que posee este material, que es de gran interés para poder calcular el valor real del peso de la estructura. El Deck es un elemento área Tipo Membrana, que transmite sus acciones por ancho tributario a sus elementos de apoyo. Las características del área para cubierta son:

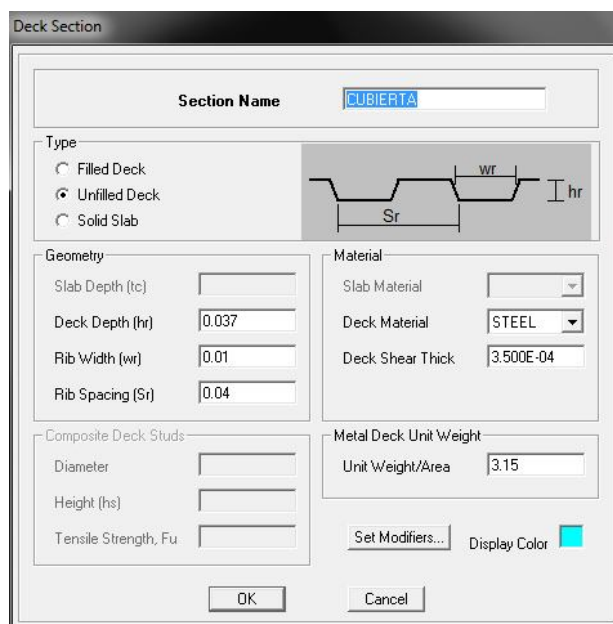


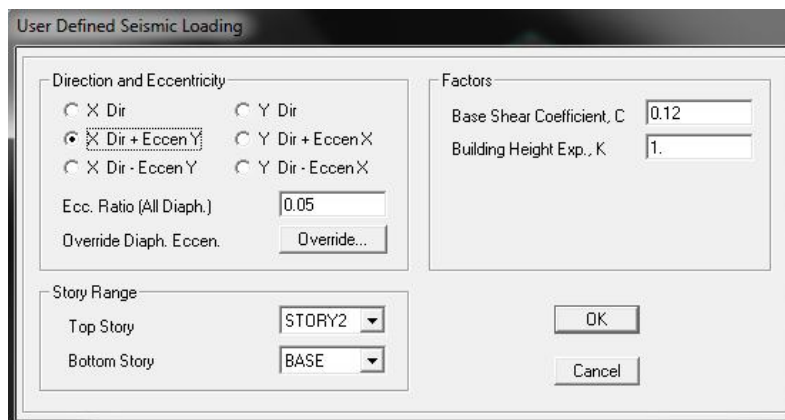
Figura 6.23 Área tipo Deck

Se ha definido paneles de 0.35 mm, que poseen un peso por unidad de área de 3.15 kg/m<sup>2</sup>, de acuerdo a las especificaciones establecidas por el fabricante.

### 6.5.5 DEFINICIÓN DE ESTADOS DE CARGA

Para el análisis de la estructura se han definido estados de carga de acuerdo a los casos establecidos en las combinaciones de carga, previamente comentadas. Por lo tanto, se han definido los siguientes casos de cargas:

- **Carga muerta:** peso propio de la estructura calculado por ETABS
- **Carga viva:** 120 kg/m<sup>2</sup>
- **Carga de lluvia:** 50.32 kg/m<sup>2</sup>
- **Carga estática de sismo:** para las direcciones x & y, tanto positivos como negativos, con un cortante basal de 0.12W.



**Figura 6.24** Coeficientes de sismo - SISMOXPOS

En la Figura 6.24 se establece las condiciones para el estado de carga SISMOXPOS. En el cual se determina la excentricidad en la dirección Y positiva, el porcentaje de incertidumbre de la excentricidad accidental (5%) y el cortante basal.

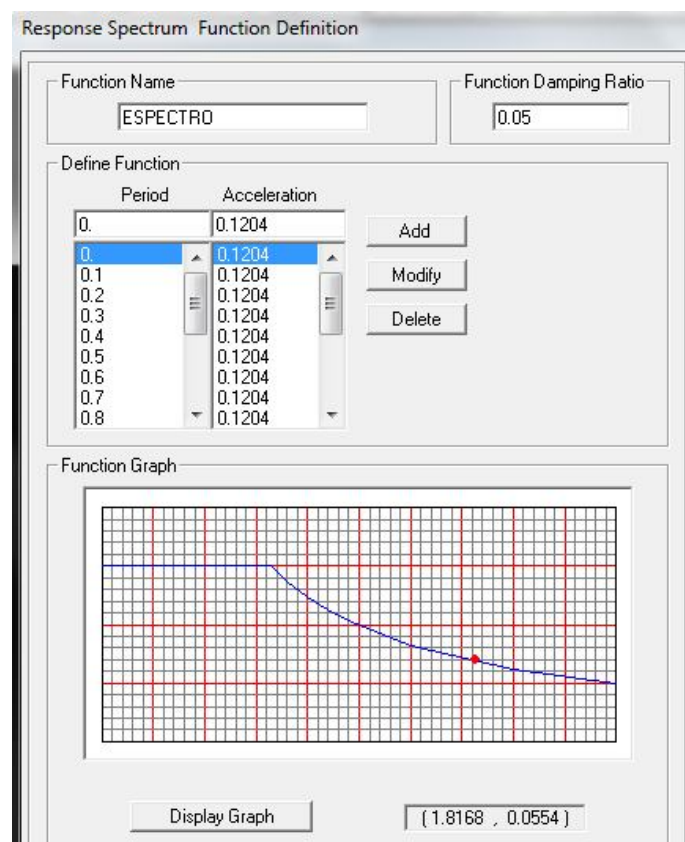
- **Carga de viento:** de acuerdo al código UBC-97, se ha definido las cargas de viento a ser aplicadas por áreas, con una velocidad de 100 km/h (62.11 mph). Definidas para las direcciones x & y, tanto positivas como negativas.

The image shows a software dialog box titled "UBC 97 Wind Loading". It is divided into several sections. The top-left section, "Exposure and Pressure Coefficients", has two radio buttons: "Exposure from Extents of Rigid Diaphragms" (unselected) and "Exposure from Area Objects" (selected). The middle-left section, "Wind Exposure Parameters", contains three input fields: "Wind Direction Angle", "Windward Coeff, Cq", and "Leeward Coeff, Cq". Below these is a button labeled "Modify/Show Exposure Widths...". The top-right section, "Wind Coefficients", has three input fields: "Wind Speed (mph)" with the value "62.11", "Exposure Type" with a dropdown menu showing "B", and "Importance Factor" with the value "1.". The bottom-left section, "Exposure Height", has two dropdown menus: "Top Story" set to "STORY2" and "Bottom Story" set to "BASE". Below these is a checkbox for "Include Parapet" (unchecked) and an input field for "Parapet Height". At the bottom right of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

**Figura 6.25** Coeficientes de acuerdo a UBC-97 – VIENTOXPPOS

En la Figura 6.25 se muestran las condiciones del estado de carga VIENTOXPPOS. En el cual se establece la asignación de cargas a través de áreas. Además, la velocidad de viento con la que se realiza el diseño (100 km/h = 62.11 mph), el grado de exposición de la estructura y el factor de importancia. Los coeficientes de presión ( $C_p$ ) de acuerdo a las condiciones de barlovento y sotavento se establecen al momento de asignar las cargas de viento sobre las áreas correspondientes.

Por otro lado, es necesario definir los estados de carga, es necesario definir el espectro de diseño inelástico. Las ordenadas espectrales en función de sus respectivos períodos del espectro inelástico se encuentran en la tabla 6.11. Estos valores tienen que ser ingresados dentro de ETABS para definir el espectro de diseño inelástico (ver Figura 6.26).



**Figura 6.26** Espectro inelástico CEC – 2001

Dentro de esta definición también se debe ingresar el porcentaje de amortiguamiento considerado. De acuerdo al CEC – 2001 se considera un porcentaje de amortiguamiento del 5%.

Después de haber definido el espectro de diseño inelástico, se define los casos de respuesta espectral. Se define un caso de respuesta para los sentidos x & y. Ver Figura 6.27.

The image shows a software dialog box titled "Response Spectrum Case Data". It contains the following fields and options:

- Spectrum Case Name:** SISMOX
- Structural and Function Damping:** Damping: 0.05
- Modal Combination:** CQC (selected), SRSS, ABS, GMC. f1: [ ], f2: [ ]
- Directional Combination:** SRSS (selected), ABS, Orthogonal SF: [ ], Modified SRSS (Chinese)
- Input Response Spectra:**

| Direction | Function | Scale Factor |
|-----------|----------|--------------|
| U1        | ESPECTRC | 9.81         |
| U2        | [ ]      | [ ]          |
| UZ        | [ ]      | [ ]          |

Excitation angle: 0.
- Eccentricity:** Ecc. Ratio (All Diaph.): 0.05, Override Diaph. Eccen.: Override...

**Figura 6.27** Caso de respuesta espectral – Sentido X

En la Figura 6.27 se muestran las consideraciones tomadas para definir el caso de respuesta en sentido x (Sismo X). En primer lugar se escribe el valor del amortiguamiento considerado (Damping=5%). Después, se debe especificar el método a utilizar en la combinación modal para encontrar la respuesta resultante a partir de las respuestas de cada modo de vibración. Para el presente análisis se ha utilizado el criterio de combinación cuadrática completa (CQC).

**Método CQC de combinación modal.**- El valor más conservador que se usa para estimar un valor pico de desplazamiento ó fuerza dentro de una estructura es usar la suma de los valores absolutos de respuesta modal. Este enfoque asume que los valores máximos modales para todos los modos ocurren en el mismo instante<sup>32</sup>.

Además, en la Figura 6.27 se definió el espectro de respuesta inelástico definido anteriormente. Este se ha definido en el eje global 1, correspondiente al eje de las X. También se define un factor de escala que es la aceleración de la gravedad. Este factor de escala se modifica si el cortante basal estático es mayor que el obtenido por análisis modal.

Las combinaciones de carga se han definido de acuerdo a lo establecido en el numeral 6.3.5 del presente capítulo.

#### **6.5.6 ASIGNACIÓN DE SECCIONES**

A partir de la geometría ya definida y las secciones de columnas, vigas, riostras, y correas definidas, se definió cada uno de los elementos estructurales. Seleccionando el elemento requerido y asignando la propiedad correspondiente (Assign) se establece las características para cada elemento. Igual procedimiento se aplicó a las áreas nulas, asignando el área CUBIERTA.

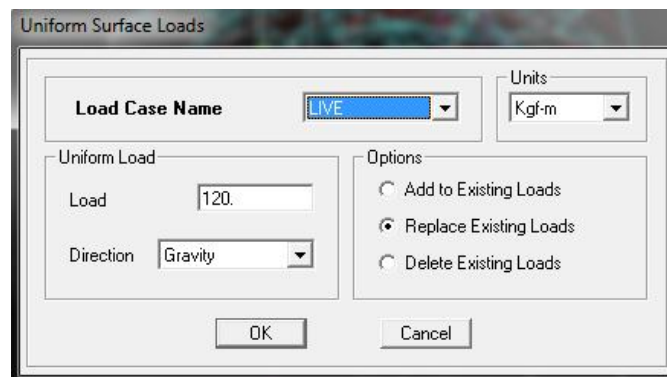
Con esto todos los elementos estructurales del modelo poseen sus características correspondientes, requisito fundamental para la asignación de cargas.

---

<sup>32</sup> EDWARD L. WILSON, "Análisis estático y dinámico de estructuras", Pag. 227

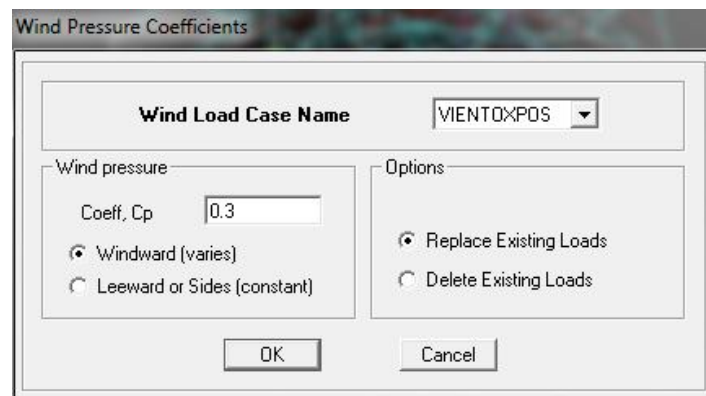
### 6.5.7 ASIGNACIÓN DE CARGAS

- **Carga muerta:** la carga muerta se definió como peso propio de la estructura, con lo cual ETABS calcula y aplica directamente este peso sobre la estructura.
- **Carga Viva y de Lluvia:** estas cargas se asignaron sobre las cubiertas de la estructura, las cuales reciben esta carga directamente. Ver Figura 6.28



**Figura 6.28** Asignación carga viva sobre áreas

- **Carga de viento:** estas cargas se asignaron sobre las cubiertas de acuerdo a sus requerimientos de barlovento (windward) y sotavento (Leeward), y su respectivo coeficiente de presión.



**Figura 6.29** Asignación carga de viento sobre áreas



- **Carga sísmica:** las cargas sísmicas estáticas y dinámicas son aplicadas directamente por el programa de acuerdo a la distribución de masas que presenta la estructura.

#### 6.5.8 CIMENTACIÓN

La cimentación de la estructura del paradero para el IASA II se la ha resuelto tomando en cuenta las características del suelo y a las solicitaciones transferidas desde la estructura a la cimentación.

A falta de un estudio de suelos sobre el sitio de emplazamiento de la estructura, las características del suelo han sido definidas de acuerdo a estudios previos realizados por el Laboratorio de Suelos de la Escuela Politécnica del Ejército en las instalaciones del IASA II. Estas características son:

- **Tipo de suelo:** Limo arcilloso blando saturado
- **Capacidad portante (qa):** 0.5 kg/cm<sup>2</sup>
- **Nivel de cimentación:** - 1.00 m

De acuerdo a estas características, se recomienda una reposición de suelo a 50 cm por debajo del nivel de cimentación establecido. Las características del mejoramiento de suelo recomendado son: Sub Base Clase III compactada al 95% del proctor modificado. Tomando en cuenta las características de suelo establecidas, y las solicitaciones transferidas desde la estructura, se decidió utilizar cimentación superficial a través de plintos aislados unidos entre sí por medio de cadenas de amarre.

## **PLINTOS AISLADOS**

Se los utiliza como soporte de una sola columna, o de varias columnas cercanas en cuyo caso sirve de elemento integrador. Pueden utilizar una zapata de hormigón armado, o un macizo de hormigón simple o de hormigón ciclópeo.

Las zapatas de hormigón armado deberán poseer un peralte mínimo de 30 cm para estructuras livianas, con el fin de poder brindar una rigidez mínima a flexión.

## **CRITERIOS DE DISEÑO DE PLINTOS AISLADOS**

- Los esfuerzos en el suelo no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles bajo condiciones de carga sin mayoración.
- Si se supone que el suelo trabaja con un comportamiento elástico, y debido a que la carga se encuentra en el tercio medio de la cimentación para garantizar estabilidad de la cimentación, se utiliza la siguiente fórmula derivada de Resistencia de Materiales para poder calcular el esfuerzo máximo a partir de carga axial más flexión en dos direcciones ortogonales:

$$q_{max} = \frac{P}{A} \left[ 1 + \frac{6e_x}{b} + \frac{6e_y}{L} \right]$$

$$e_x = \frac{My}{P}$$

$$e_y = \frac{Mx}{P}$$

- Cuando las combinaciones de carga incluyen el efecto de solicitaciones eventuales como sismos y viento, los esfuerzos admisibles pueden incrementarse en un 33.3%.

- El recubrimiento mínimo para el hierro, cuando el hormigón es fundido en obra en contacto con el terreno y queda permanentemente expuesto a él, es de 7 cm.
- El dimensionamiento de la superficie de contacto entre el plinto y el suelo de soporte depende de la relación entre la carga puntual admisible aplicada sobre el plinto y la resistencia admisible del suelo.
- Los plintos deberán diseñarse para soportar fuerzas cortantes en cada dirección independientemente, tomando como sección crítica a una distancia **d** desde la cara de las columnas o elementos verticales.
- Los plintos deberán diseñarse para resistir fuerzas cortantes de punzonamiento en las dos direcciones simultáneamente, tomando como sección crítica a aquella que se ubica a una distancia **d/2** alrededor del elemento vertical de carga.
- La sección crítica a flexión en una dirección se ubicará en las caras de los elementos verticales de carga.

### **DISEÑO A CORTE**

El peralte de los plintos está definido por su capacidad resistente a cortante tipo viga y a cortante por punzonamiento. Para ambos casos se utiliza los estados de carga últimos. La capacidad resistente a cortante tipo viga del hormigón se calcula con la siguiente expresión empírica:

$$v_c = 0.53\sqrt{f'c}$$

Donde:

$$v_c = \text{esfuerzo último de cortante}$$

$$f'c = \text{resistencia a la compresión simple del hormigón}$$

### **DISEÑO A PUNZONAMIENTO**

La resistencia al cortante por punzonamiento que puede desarrollar el hormigón se calcula con la siguiente expresión empírica:

$$v_c = 1.06\sqrt{f'c}$$

Que posee la misma nomenclatura del diseño a cortante.

### **DISEÑO A FLEXIÓN**

Las secciones críticas de diseño a flexión en las dos direcciones principales se ubican en las caras de la columna. Para el cálculo de la armadura del plinto se determina el momento flector en la zona crítica, y con la siguiente fórmula se establece la armadura:

$$A_s = \frac{0.85f'c * b * d}{F_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{0.85\phi * f'c * b * d^2}} \right]$$

Además, se requiere realizar el chequeo de cuantía mínima a flexión:

$$\rho_{min} = \frac{14}{F_y}$$

El ANEXO C muestra el diseño de plinto con las solicitaciones resultantes de cada combinación de cargas para cada una de las columnas. Las solicitaciones han sido obtenidas del modelo matemático realizado en ETABS.

De acuerdo a las solicitaciones transferidas de la estructura a la cimentación para cada columna, se ha determinado que las placas base se diseñan tomando en cuenta una carga axial y un momento bajo. Por tanto, se asume que el momento será soportado por la placa de apoyo y no existirá transferencia de cargas de compresión y tracción a los pernos de anclaje. Es decir los pernos de anclaje no han sido chequeados para extracción y rotura del concreto, debido que no existe tracción en los pernos<sup>33</sup>.

La fijación entre columnas y placas base se ha definido a partir de dos placas laterales que se unen con el elemento de madera por medio de dos pernos. Las placas de fijación lateral de la columna deberán ubicarse para soportar el mayor momento transferido por parte de la columna; por otro lado, el momento menor será absorbido por los pernos separados 10 cm. La ubicación de las placas se especifica en los planos de detalle para cada una de las columnas. Los pernos para esta unión deberán ser fabricados a partir de varillas de 16 mm de diámetro, con  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , con roscas en sus extremos que permitan su ajuste por medio de tuercas con arandelas. Las roscas deberán ser ejecutadas por medio de un torno mecánico en taller.

---

<sup>33</sup> AISC Steel Design Guide 1: "Base Plate and Anchor Rod Design"

### **6.5.9 CONEXIONES**

Las edificaciones con estructura en madera se materializan uniendo dos o más elementos independientes que convergen en un punto, conformando la estructura soportante. Estas intersecciones de elementos estructurales dan origen a nudos o uniones, sectores más vulnerables de las construcciones de madera, los cuales deben ser resueltos en el diseño considerando aspectos estructurales, arquitectónicos, y constructivos.

Estructuralmente estos nudos deben ser capaces de transmitir los esfuerzos de un elemento a otro, sin comprometer la rigidez y geometría del sistema estructural, donde los esfuerzos de compresión se transmiten por simple apoyo y los de tracción, que requieren de un mayor análisis para dar continuidad a la estructura, se resuelven con fijaciones que traspasarán esfuerzos de un elemento a otro.

Mediante estas fijaciones en los nudos o intersecciones de elementos estructurales se podrá dar solución a la necesidad de mantener los esfuerzos en el sentido axial, prolongar los largos de las piezas comerciales y que elementos independientes puedan ensamblarse para conformar una estructura que resista las solicitaciones y transmita los esfuerzos, sin que se generen puntos de debilidad, impidiendo el deslizamiento de una pieza con respecto a otra y permitiendo que el conjunto de elementos conforme una estructura monolítica.

En general, todas las piezas estructurales y ensambles deben ser capaces de soportar con adecuada estabilidad y rigidez, la totalidad de las cargas y otras

solicitaciones que pueden ser razonablemente esperadas durante su montaje, construcción y uso, sin exceder las tensiones de diseño y deformaciones admisibles.

Para asegurar un diseño resistente y estable será necesario:

- Considerar la geometría de la estructura.
- Estudiar y comprobar toda interacción y unión que se requiera entre los elementos estructurales de madera y entre ellos y otras partes de la estructura.
- Proporcionar elementos de arriostramiento o diafragmas adecuados en los planos paralelos a la dirección de las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura.

Para los sistemas constructivos de estructuras pequeñas, la solución más eficiente está dada por las uniones mecánicas, particularmente con pernos ya que permiten materializar uniones semi-rígidas, dúctiles, de alta capacidad resistente, con exigencias mínimas de equipos y mano de obra calificada.

### **FIJACIONES METÁLICAS**

Son elementos metálicos, generalmente cilíndricos y de acero que se hincan, insertan o atornillan en las piezas de madera que constituyen la unión. El mecanismo de traspaso de fuerzas se materializa por medio de un trabajo en

flexión, aplastamiento o cizalle del medio de unión y del aplastamiento, cizalle y hendimiento de la madera.

Las fijaciones deben ser sencillas, obtenerse con la mínima pérdida de material, dar una seguridad suficiente para su uso y ser de rápida ejecución.

La característica de estas uniones mecánicas es que al quedar sometidas a fuerzas de cizalle, admiten corrimientos relativos entre las piezas conectadas y cuyas magnitudes dependen de la fuerza solicitante, la rigidez y la disposición de los pernos. Los corrimientos relativos son consecuencia de las deformaciones por aplastamiento que sufre la madera en la zona de contacto con la fijación y la deformación experimentada por los pernos.

La selección del medio de unión para una situación específica dependerá de la magnitud de las fuerzas a traspasar, las dimensiones de los maderos, condicionantes de arquitectura, necesidades y restricciones de montaje.

Las uniones se deben ensamblar de modo que las superficies de las piezas queden en pleno contacto. Las estructuras que se construyen con madera con un contenido de humedad mayor que 19% deben ser inspeccionadas regularmente en intervalos de tiempo que no excedan de seis meses, hasta que resulte aparente que las contracciones en la madera son despreciables. En cada inspección se debe proceder a reapretar las uniones hasta que las superficies de las piezas vuelvan a quedar en estrecho contacto.



La fuerza de la estructura es normalmente determinada a partir de la fuerza de las conexiones; la rigidez de las mismas es determinante en las deformaciones de la estructura.

### **UNIONES EMPERNADAS**

Los pernos son pasadores roscados con cabezas hexagonales o semi - esféricas, y con tuercas hexagonales. Estos son utilizados comúnmente en conexiones que requieren gran capacidad de resistir cargas laterales. Los elementos laterales de conexión pueden ser el mismo material o placas de acero. Cuando se utiliza pernos para conexiones, el uso de arandelas es requerido entre la cabeza del perno y la madera, y entre la tuerca y la madera; para poder distribuir uniformemente la carga hacia la madera.

Las uniones construidas con pernos son fáciles de fabricarlas. Los pernos no deben ser clavados, sino deben ser roscados dentro de perforaciones previamente realizadas en la madera. Estas perforaciones no deben exceder en más de 1mm el diámetro de los pernos.

Las uniones empernadas son particularmente eficientes en maderas de los grupos estructurales A y B, pero además puede utilizarse con maderas del grupo C.

Se recomienda especialmente que todos los elementos metálicos utilizados con madera húmeda o en condiciones desfavorables tengan un tratamiento

anticorrosivo. Las placas de acero utilizadas para las conexiones han sido diseñadas de acuerdo a los requerimientos establecidos en la norma AISC 2005.

### **TEORÍA DE FALLAS EN CONEXIONES**

Cuando las conexiones son sometidas a cargas laterales, la unión por medio de pernos puede tener dos tipos de falla: un modo de falla frágil y un modo de falla dúctil. Por tal razón, las previsiones de diseño establecidas han sido desarrolladas para garantizar que el modo de falla dúctil sea el predominante. Los espaciamientos mínimos entre pernos y hacia los extremos, que se establecen para este tipo de conexiones han sido determinados para prevenir falla por hendidura o rajadura cuando se aplican cargas laterales sobre la conexión. Las consideraciones de diseño se establecen a partir de la dirección de acción de las fuerzas sobre el grano de la madera

### **CARGAS ADMISIBLES**

Para determinar las cargas admisibles se debe considerar:

- El grupo estructural y la condición de la madera utilizada.
- La calidad y el diámetro de los pernos
- La orientación de las fuerzas en la unión con relación a la dirección del grano en los diversos elementos de madera.
- El espesor de los elementos de madera
- El número de pernos a emplear y su ubicación en la unión.

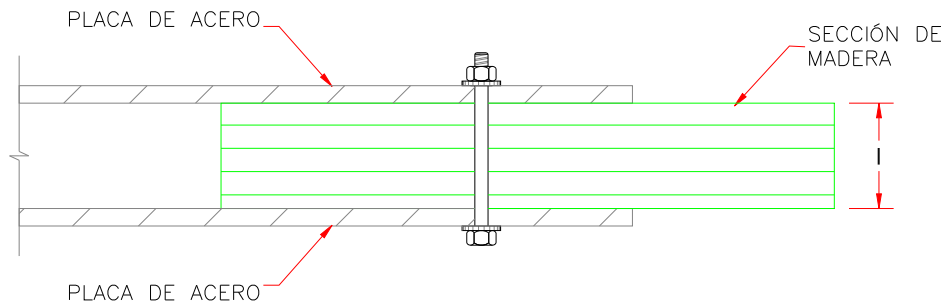
### UNIONES SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO

| l    | d    | d      | l/d  | GRUPO A |      |
|------|------|--------|------|---------|------|
|      |      |        |      | P       | Q    |
| (cm) | (cm) | (pulg) |      | (kg)    | (kg) |
| 6.5  | 0.95 | 3/8    | 6.8  | 594     | 260  |
|      | 1.27 | 1/2    | 5.1  | 943     | 345  |
|      | 1.59 | 5/8    | 4.1  | 1350    | 428  |
|      | 1.9  | 3/4    | 3.4  | 1809    | 486  |
| 8    | 0.95 | 3/8    | 8.4  | 645     | 289  |
|      | 1.27 | 1/2    | 6.3  | 1024    | 385  |
|      | 1.59 | 5/8    | 5.0  | 1465    | 481  |
|      | 1.9  | 3/4    | 4.2  | 1963    | 595  |
| 9    | 0.95 | 3/8    | 9.5  | 676     | 308  |
|      | 1.27 | 1/2    | 7.1  | 1072    | 409  |
|      | 1.59 | 5/8    | 5.7  | 1535    | 512  |
|      | 1.9  | 3/4    | 4.7  | 2057    | 633  |
| 10   | 0.95 | 3/8    | 10.5 | 704     | 325  |
|      | 1.27 | 1/2    | 7.9  | 1118    | 433  |
|      | 1.59 | 5/8    | 6.3  | 1600    | 541  |
|      | 1.9  | 3/4    | 5.3  | 2144    | 669  |

**Fuente:** Manual de diseño para maderas del Grupo Andino – Pag. 12-14

**Tabla 6.14** Cargas admisibles para uniones empernadas – doble cizallamiento

En la Tabla 6.14 se presenta las cargas admisibles para uniones de un elemento de madera con dos placas de acero laterales, y un solo perno sometido a doble cizallamiento (Figura 6.30). Estos se determinan en función del grupo de madera utilizado (A, B o C), del diámetro del perno (d), y la longitud o espesor del elemento central (l).



**Figura 6.30** Unión emperrada con platinas metálicas

Los pernos más delgados son más eficientes, es decir son aquellos para los que la relación entre resistencia y volumen de material es mayor. Sin embargo a menor diámetro el número de pernos necesarios es mayor, siendo más difícil satisfacer los requisitos de espaciamiento.

En la Tabla 6.14, los valores de P y Q son las cargas admisibles correspondientes para los casos en la que la fuerza en la unión sigue la dirección paralela y perpendicular al grano, respectivamente.

Debido a que los elementos laterales de la conexión son pletinas metálicas, los valores indicados como P en la Tabla 6.14 pueden incrementarse en 25%. No deben considerarse incrementos similares para cargas perpendiculares a la dirección del grano, Q. En ambos casos, el valor de “I” debe considerarse como el espesor del elemento central de madera. Las pletinas deben tener amplio margen de seguridad contra posibles fallas por corte o aplastamiento.

## **REDUCCIÓN DE LA CARGA ADMISIBLE POR EFECTO DE GRUPO**

Las fuerzas de la Tabla 6.14 corresponden a uniones con un solo perno. Para uniones con más pernos la carga admisible debe obtenerse sumando las fuerzas tabuladas o calculadas para cada perno y multiplicando este total por un factor de reducción. Esta reducción es necesaria porque la distribución de fuerzas en los diversos pernos no es uniforme.

La Tabla 6.15 indica los factores de reducción que deben utilizarse. Estos se encuentran en función del número de pernos por línea paralela a la dirección de la fuerza aplicada y no del número total de pernos en la unión. Los pernos cuyo espaciamiento medido en la dirección perpendicular a la línea de acción de la fuerza aplicada es menor que la mitad del espaciamiento en la dirección paralela, deben considerarse como pertenecientes a una misma línea.

| Tipo de elemento lateral                    | Número de pernos por línea |      |      |     |      |
|---|----------------------------|------|------|-----|------|
|   | 2                          | 3    | 4    | 5   | 6    |
| 1. Uniones con elementos laterales de acero | 1.00                       | 0.94 | 0.87 | 0.8 | 0.73 |

**Fuente:** Manual de diseño para maderas del Grupo Andino – Pag. 12-18

**Tabla 6.15** Factor de reducción de carga admisible por efecto de grupo

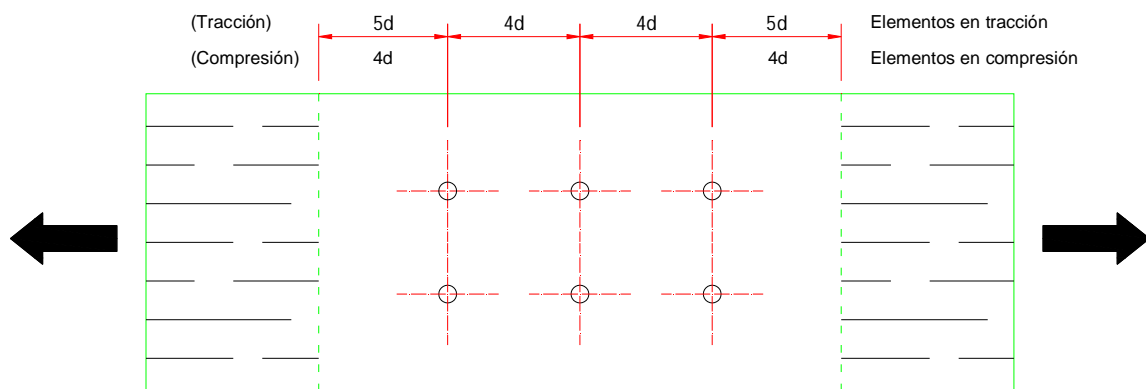
## **ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS**

El espaciamiento entre pernos y las distancias entre éstos y los bordes de los elementos de madera deben ser suficientes para permitir que cada perno desarrolle toda su capacidad resistente.

En uniones constituidas por elementos de madera orientados en direcciones diferentes, se deben verificar por separado los requisitos de espaciamiento en cada uno de ellos, resultando para la unión los que sean mayores en cada dirección.

### a) Cargas paralelas a la dirección del grano

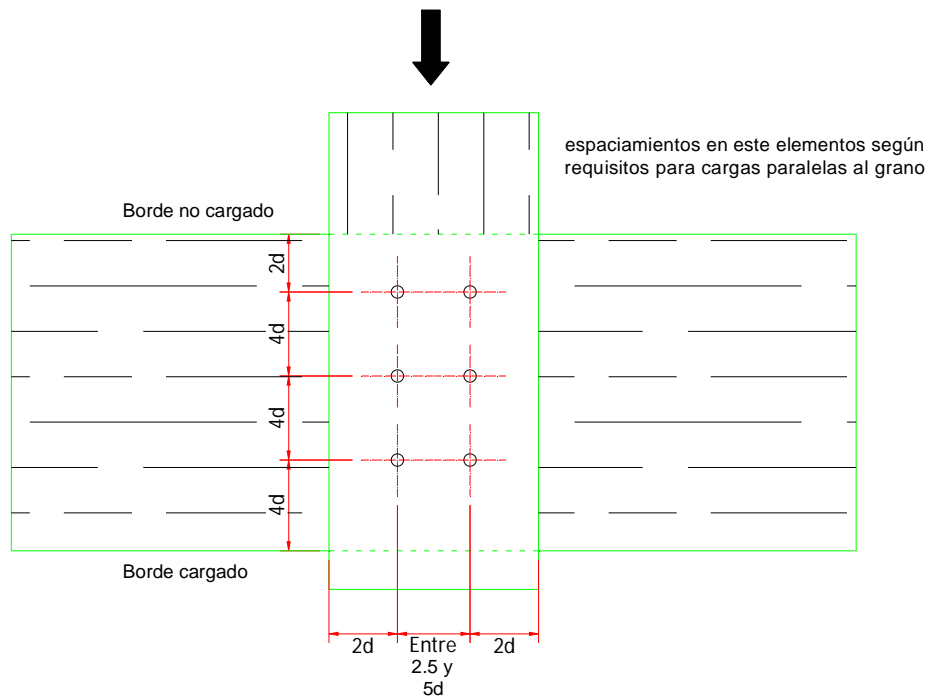
En los elementos en los que las fuerzas aplicadas siguen la dirección del grano, la distancia entre pernos, separación entre filas y las distancias a los bordes y extremos deben ser mayores o iguales que las indicadas en la Figura 6.31. Todas estas distancias deben ser medidas a partir del eje del perno.



**Figura 6.31** Espaciamientos mínimos entre pernos, cargas paralelas al grano

### b) Cargas perpendiculares a la dirección del grano

Para los elementos cargados perpendicularmente a la dirección del grano, los espaciamientos mínimos y distancias entre filas y a los bordes y extremos se presentan también en la Figura 6.32.



**Figura 6.32** Espaciamientos mínimos entre pernos, cargas perpendiculares al grano

El diseño de cada una de las cuatro conexiones tipo se las especifica detalladamente en ANEXO B.

## 6.6 RESUMEN DE RESULTADOS

A partir del modelo matemático generado en ETABS de la estructura del paradero para el IASA II, se determinó las solicitaciones para cada elemento estructural. Con estos resultados se realizó el diseño en madera para cada uno de los mencionados elementos estructurales, además de las juntas de amarre, utilizando el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

De acuerdo a lo antes mencionado, se ha determinado que las secciones para los diferentes elementos estructurales son:

| Elemento                   | Material          | Sección  |
|----------------------------|-------------------|----------|
|                            |                   | (cm)     |
| Columnas (B1, C1, B6 Y C6) | Guayacán Pechiche | 30x30    |
| Columnas (restantes)       | Guayacán Pechiche | 20x20    |
| Vigas                      | Guayacán Pechiche | 6.5x16.5 |
| Cerchas                    | Guayacán Pechiche | 6.5x16.5 |
| Correas                    | Guayacán Pechiche | 6.5x6.5  |

**Tabla 6.16** Secciones elementos estructurales de madera

El diseño en los elementos más solicitados de la estructura se detalla en el ANEXO A. Se han tomado los casos más críticos para realizar el diseño de los diferentes elementos. La estructura de madera, tomando en cuenta la cubierta, posee un peso de 11.00 toneladas aproximadamente, peso obtenido a gracias al programa ETABS.

Las uniones de los diferentes elementos estructurales de madera se las propone a través de elementos laterales de acero o platinas. La unión entre las platinas laterales y la madera se la ejecuta por medio de pernos. El tipo de acero para platinas y el tipo de pernos se especifica en el ANEXO B correspondiente a conexiones. En resumen, los pernos deben tener un esfuerzo de fluencia mayor a 2300 kg/cm<sup>2</sup>, por lo cual se propone el uso de pernos ASTM A307. Las platinas se han definido de un espesor de 4 mm en acero ASTM A36, con lo cual se garantiza un amplio margen de seguridad a corte, aplastamiento y desprendimiento por tracción.



La cimentación se ha definido a partir de plintos aislados unidos por medio de cadenas de amarre. Los plintos poseen un geometría cuadrada de 1.10 x 1.10m, con un peralte de zapata de 30 cm. El nivel de fundación es de 1.00m bajo el nivel natural de terreno. Se ha realizado el diseño de la cimentación considerando un mejoramiento de suelo, hasta 50 cm bajo el nivel de fundación gracias a la poca capacidad portante del suelo natural. Al igual que la zapata, el pedestal posee una geometría rectangular de 0.40 x 0.40m, sobre la cual se coloca una placa metálica que servirá de apoyo para las columnas. Las placas de apoyo poseen un espesor de 7 mm y los pernos de anclaje al hormigón poseen un diámetro de 2 cm y una longitud embebida de 15 cm. El diseño detallado de estos elementos se especifica en el ANEXO C. Además, el sistema de apoyo de columnas a las placas se ha resuelto con placas laterales de 7 mm de espesor con pernos de 16 mm separados 10 cm entre sí. Para garantizar una buena distribución de la carga sobre el apoyo de la columna es necesario colocar una capa de 25 mm de grout. El chequeo de este apoyo se especifica también en el ANEXO C.

Las especificaciones para la ejecución de los diferentes rubros considerados en el análisis económico se encuentran en el ANEXO D.

El ANEXO E muestra el análisis económico de la estructura del paradero. En términos generales, se han considerado rubros correspondientes a: movimiento de tierras, hierro estructural, estructura, contrapiso, cubiertas y cimientos.

Dentro del ANEXO F se puede encontrar sugerencias para protección contra fuego de elementos de madera. Además, se encuentran consideraciones de implementación de ventanas que pueden soportar deformaciones debido a la acción de cargas dinámicas.

## **CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 CONCLUSIONES**

- En Ecuador, la información técnica referente al uso de la madera como elemento estructural es muy escasa. La información obtenida en entidades públicas y privadas resultó insuficiente para la presente investigación. El poco interés de los diferentes gobiernos de generar líneas de investigación relacionadas a este tema, ha limitado el aprovechamiento de este recurso natural renovable.
- Para aprovechar todas las bondades estéticas y físico mecánicas de este material es fundamental poseer un conocimiento completo acerca de la madera y sus diferentes clases. Este conocimiento debe abarcar: estructura micro y macroscópica de la madera, corte, secado, preservación y diferentes usos. Además, la diferenciación entre especies es importante. Cada especie posee características únicas, con lo cual se debe tratar a cada especie de acuerdo a sus propiedades para poder aprovechar eficientemente este recurso.
- Para esta investigación se utilizó muestras de madera obtenidas de diferentes aserraderos locales, para de esta manera obtener resultados más reales. Debido a que las condiciones de cultivo, crecimiento y corte

varían de una localidad a otra es necesario realizar este tipo de metodología y abarcar muestras de diferente origen.

- La madera al ser un material higroscópico, es propensa a variaciones de contenido de humedad en su estructura. Estas variaciones de la cantidad de agua dentro de la madera generan que sus propiedades mecánicas varíen de igual manera. Así, cuando el contenido de humedad es igual o superior al punto de saturación de las fibras (30% aproximadamente), sus propiedades mecánicas se mantienen constantes. En el momento en que el contenido de humedad desciende la resistencia de la madera aumenta, es decir, el contenido de humedad es inversamente proporcional a la resistencia de dicho material por debajo del punto de saturación de las fibras.
- Al momento de realizar los ensayos de laboratorio para determinar las diferentes propiedades físicas y mecánicas es muy importante seguir estrictamente los procedimientos establecidos en las normas correspondientes. El no proceder adecuadamente conlleva a obtener resultados erróneos, que no podrán utilizarse como base científica.
- Las probetas utilizadas en los diferentes ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas fueron ensayadas como madera seca, es decir con un contenido de humedad de entre 12 al 18%. De acuerdo a las fuentes bibliográficas consultadas, se recomienda determinar

los esfuerzos admisibles para cada especie en estado verde (contenido de humedad del 30%), debido que a partir de este punto las propiedades mecánicas se vuelven constantes. Además, al determinar los esfuerzos admisibles en madera verde se brinda un factor de seguridad al diseño realizado, siempre y cuando en la construcción y en el uso de la estructura los elementos de madera se encuentren correctamente preservados y protegidos.

- Muchas de las especies de maderas duras se encuentran en peligro de extinción gracias a la explotación indiscriminada de nuestros bosques. Por esta razón, la oferta de este tipo de madera es muy baja en comparación a maderas menos densas.
- Los esfuerzos admisibles obtenidos a partir de los resultados de laboratorio se determinaron para maderas bajo un buen control de calidad. Es decir, estos esfuerzos se los ha calculado para maderas sin fallas, libres de defectos que provoquen disminución en su resistencia.
- Dentro del diseño estructural, es fundamental que el modelo matemático, que se realice en cualquier programa computacional sea generado lo más cercano a la realidad de construcción. De esta forma se garantiza que las solicitaciones sobre cada elemento estructural sean lo más reales posibles y así realizar un diseño seguro y eficaz.

- Las conexiones entre elementos estructurales se las ha diseñado para resistir únicamente cargas de cizallamiento, no momentos flectores. Por tanto, en el modelo matemático se han articulado las conexiones para poder simular este criterio de diseño.
- Las consideraciones de apoyo de las columnas sobre los pedestales de la cimentación deben ser analizadas y chequeadas. Para el diseño realizado se adoptó el criterio de empotramiento de las columnas a la cimentación. Este criterio se lo adoptado para poder brindar mayor rigidez lateral a la estructura, y así disminuir las distorsiones horizontales.
- Debido a que la estructura del paradero tiene mayor dimensión en un sentido, se debe brindar mayor rigidez en la dirección corta de la estructura. Por tanto, se han colocado columnas más robustas en la dirección más corta y así evitar torsiones en planta.
- Antes de comenzar con el diseño en madera de cada elemento estructural, es necesario realizar chequeos en el modelo estructural. Estos chequeos son: que el cortante basal estático coincida con el cortante basal dinámico, si no ocurre esto se deberá corregir; se deben chequear el período y los modos de vibración y evitar que el primer modo sea rotacional; y finalmente las derivas de piso que no deben exceder lo establecido en el código de diseño local.

- Los elementos estructurales se deben diseñar para las solicitaciones más desfavorables. Por tanto, en el modelo matemático se estableció una combinación envolvente de las diferentes combinaciones de cargas de servicio, con lo cual el programa nos presenta los estados más desfavorables para cada elemento.
- En esta estructura al no poseer mayor peso se propone una cimentación superficial, definida por plintos aislados arriostrados entre sí por medio de cadenas de amarre. El dimensionamiento de dichos plintos se lo realiza bajo solicitaciones de servicio, y la determinación del peralte de la zapata bajo cargas mayoradas.
- Cuando el suelo de cimentación no presta una capacidad portante suficiente para poder soportar a una estructura, y si la cimentación a utilizar es superficial, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo con material seleccionado, con una compactación adecuada y de esta forma elevar la capacidad portante del suelo de cimentación.
- Los diferentes elementos estructurales deben poseer secciones suficientes para soportar las solicitaciones más críticas, pero además deben tener dimensiones adecuadas para facilidades constructivas. En el diseño propuesto, muchos de los elementos estructurales se encuentran sobre dimensionados debido a los requerimientos para construcción.

- Si la madera a utilizarse como elemento estructural se la seca y trata adecuadamente y con tiempo, los tiempos de construcción pueden disminuir considerablemente debido a que el armado de la estructura es mucho más rápido a utilizar otros materiales como es el hormigón.
- La madera es un material estructural mucho más manejable y maleable que los materiales de construcción tradicionales como son: concreto y acero estructural. Esta resulta ser una de las mayores ventajas que dispone este material puesto que los tiempos de ejecución de las construcciones civiles se reducen ostensiblemente, lo que genera menor costo en la estructura. Según estudios realizados en España por Ignacio Martínez, director de APA, los tiempos de ejecución de la obra se reducen entre un 35% a 40% con respecto a una obra utilizando materiales convencionales
- La madera tiene amplia gama de aplicaciones tanto estructurales como en el campo de la carpintería, convirtiéndola en un material muy versátil que puede ser utilizada en distintos campos dependiendo de las necesidades constructivas. Se debe tener siempre presente el tipo de madera que se usa, sea este de tipo: A, B o C; puesto que las propiedades y los usos que se les pueden dar, variarán dependiendo de sus propiedades físicas y mecánicas.



## **7.2 RECOMENDACIONES**

- En la presente investigación se tuvo que recurrir a bibliografía extranjera debido a la falta de una normativa local que regule el diseño y construcción en madera. Es por esto que se recomienda a las autoridades correspondientes la generación de líneas de investigación que tengan como finalidad la obtención de un código normativo para nuestro país.
- Se recomienda que todo tipo de madera que vaya a ser utilizada como elemento estructural sea tratada adecuadamente en su curado y secado, debido a que estos factores afectan directamente a la resistencia y vida útil de la estructura.
- En nuestro país, al no existir una política de regeneración de recursos renovables ha generado la deforestación de nuestros bosques y la consecuente desaparición de algunas especies de maderas duras. Esto puede cambiar si las autoridades correspondientes desarrollan programas de corte y reforestación responsable que garantice un correcto uso de este recurso.
- En el Ecuador la construcción en madera no se ha desarrollado de una manera técnica, por lo tanto es un material considerado poco confiable como insumo estructural. Es por esto que se recomienda que se importe tecnología especializada en madera por gente capacitada que pueda

explotar de una forma adecuada los beneficios de la madera como elemento estructural. Así, se brindará una alternativa dentro de las construcciones de nuestro país, aparte del hormigón y acero que son materiales tradicionales.

- Las estructuras de madera debido a su naturaleza orgánica puede perder capacidad en sus propiedades mecánicas con el tiempo, es por eso que se recomienda que en cualquier estructura de madera se mantenga un plan de mantenimiento regular que garantice que el material se mantenga en óptimas condiciones, y se comporte de acuerdo a lo esperado en su vida útil.
- El desarrollo de investigaciones de recursos naturales renovables que posee nuestro país se deberían implementar como políticas de las entidades técnicas de educación superior, que son las encargadas de la generación de nuevo conocimiento. Con esto se trata de implementar una cultura de investigación, de respeto al medio ambiente y de aprovechamiento responsable de los recursos naturales que pueden llegar a regenerarse.

## BIBLIOGRAFIA

- *“Manual de diseño para maderas del Grupo Andino PADT - REFORT”*  
JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA  
4ª Edición Preliminar – 1984  
Lima - Perú
- *“Código Ecuatoriano de la Construcción”*  
INEN  
2002
- *“Manual de la Construcción de Viviendas en Madera”*  
CORMA - Chile
- *“Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber”*  
ASTM D 143 – 94  
  
2000
- *“Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood Based Materials”*  
ASTM D 2395 – 93  
  
2000
- *“Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber”*  
ASTM D 245 – 00  
  
2000
- *“Métodos de ensayo de la compresión axial o paralela al grano”*  
COPANT 464 - 1972  
  
1972
- *“Métodos de determinación de la compresión perpendicular al grano”*  
COPANT 466 - 1972  
  
1972

- *“Métodos de ensayo de tracción paralela al grano”*  
COPANT 742 - 1975  
  
1972
- *“Métodos de ensayo de tracción perpendicular al grano”*  
COPANT 743 - 1972  
  
1972
- *“Métodos de determinación de cizallamiento paralelo al grano”*  
COPANT 463 - 1972  
  
1972
- *“Métodos de ensayo de flexión estática”*  
COPANT 555 - 1972  
  
1972
- *“Código Uniforme de la Edificación UBC - 1997”*  
1997
- *“Diseño probabilístico de estructuras de madera en Norteamérica”*  
Raymundo Dávalos  
1996
- *“Fiber Saturation Point: A New Definition”*  
Harvey H. Smith  
California Cedar Products Company  
Stockton, California
- *“Conceptos básicos del secado de Madera”*  
Fabrizio Ciurlo
- *“Madera – Norma Chilena NCh 1198”*  
Instituto Nacional de Normalización INN – Chile  
2006