



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Propiedades mecánicas de losetas de  
hormigón con refuerzo de colihue (*Chusquea  
culeou* Desv.)**

Patrocinante: Sr. Ernesto Zumelzu D.

Trabajo de Titulación presentado  
como parte de los requisitos para  
optar al Título de **Ingeniero en  
Maderas.**

**MARCOS FABIAN CHIGUAY BARRIA**

VALDIVIA  
2007

## CALIFICACION DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Ernesto Zumelzu D.	5,7
Informante:	Sr. Hernán Poblete W.	6,4
Informante:	Sr. Héctor Cuevas D.	6,0

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

---

Sr. Ernesto Zumelzu D.

## **AGRADECIMIENTOS**

Luego de completar un ciclo más en mi vida, me resulta difícil poder expresar agradecimientos a quienes fueron, son y serán parte de mí por siempre.

A mis padres Lucrecia y Carlos que me han apoyado desde niño, esforzándose para que nunca me faltara nada, dándome la educación y entregándome valores que me han ayudado a crecer como persona.

A mis hermanos que se convirtieron en un pilar fundamental en los momentos en que me sentí decaído, brindándome el cariño y las palabras de aliento en aquellos momentos difíciles.

A mi abuelita Fidelia y mi tío Guillermo, quienes sin ellos, quizás yo no habría podido continuar mis estudios superiores, otorgándome la posibilidad de poder residir en la ciudad de Valdivia, durante el periodo de estudio y proporcionándome todo el amor de familia para que pudiera salir adelante.

A mis amigos Angelo y Alex, junto a su familia con quienes viví momentos inolvidables, durante el tiempo de mis estudios.

Al profesor Ernesto Zumelzu Delgado, por el incondicional apoyo brindado para que este estudio se realizara.

Al profesor Ricardo Silva, por su importante colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Al profesor Héctor Legüe, por el aporte realizado a este trabajo.

Agradezco al Instituto de Tecnología de Productos Forestales y al Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción, en especial a Rodrigo y a todos quienes colaboraron en la realización de este documento.

## INDICE DE MATERIAS

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
2.1 Caracterización morfológica del bambú	5
2.2 Propiedades de <i>Chusquea culeou</i>	8
2.2.1 Propiedades físicas	9
2.2.2 Propiedades químicas	10
2.2.3 Propiedades mecánicas	11
2.3 Protección en <i>Chusquea culeou</i>	12
2.3.1 Resistencia al biodeterioro	12
2.3.2 Impregnabilidad en <i>Chusquea culeou</i>	14
2.4 Hormigón	16
2.4.1 Materiales del hormigón	16
2.4.2 Dosificación y mezcla del hormigón	19
2.4.3 Propiedades del Hormigón	20
2.5 Armaduras o refuerzos	26
2.6 Hormigón armado	27
2.7 Adherencia	29
2.8 Flexión	34
<b>3. MATERIAL Y MÉTODO</b>	<b>36</b>
3.1 Material	36
3.2 Método	38
3.2.1 Ensayo de tracción	38
3.2.2 Ensayo mecánico de adherencia	40
3.2.3 Análisis microscópico de adherencia	41
3.2.4 Ensayo de flexo-tracción en losetas reforzadas	45
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>53</b>
4.1 Ensayo de tracción	53
4.1.1 Probetas con nudo central	53
4.1.2 Probetas internodales	54
4.2 Ensayo mecánico de adherencia	56
4.3 Análisis microscópico de adherencia	60
4.4 Ensayo de flexo-tracción en losetas reforzadas	74
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>83</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>86</b>

## INDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	<i>Chusquea culeou</i> Desvaux	3
Figura 2	Culmos de <i>Chusquea culeou</i>	4
Figura 3	Esquema de rizomas paquimorfo y leptomorfo	5
Figura 4	Raíz basal de <i>Chusquea culeou</i>	6
Figura 5	Brote de <i>Chusquea culeou</i>	8
Figura 6	Siembra y producción de plantas en tubetes de <i>Chusquea culeou</i> en el invernadero	8
Figura 7	Estructura microscópica de <i>Chusquea culeou</i>	10
Figura 8	Deterioro de especies arbóreas y bambusáceas	14
Figura 9	Comparación de especies bambusáceas con otras especies arbóreas	15
Figura 10	Impregnabilidad de colihue influenciada por el contenido de humedad	15
Figura 11	Influencia del exceso de agua en la consistencia y resistencia del hormigón	18
Figura 12	Efecto de la relación agua-cemento en las resistencias a la compresión y a la tensión por flexión a los 28 días	19
Figura 13	Curva esfuerzo-deformación unitaria típica, con carga de corto plazo	21
Figura 14	Tipos de barras corrugadas de refuerzo	26
Figura 15	Curvas de esfuerzo-deformación unitaria para el concreto y el acero	29
Figura 16	Influencia de los extraíbles sobre uniones de madera con cemento	32
Figura 17	Esquema y curvas de las tensiones de adherencia	33
Figura 18	Esquema de una viga simple con dos cargas concentradas	34
Figura 19	Esquema de una viga rectangular homogénea, cortada en la sección X - X	35
Figura 20	Esquema de probeta para ensayo de tracción	39
Figura 21	Probetas de <i>Chusquea culeou</i> para ensayos de tracción y máquina universal de ensayo para probetas de tracción	39
Figura 22	Ensayo de tracción en probetas de <i>Chusquea culeou</i>	39
Figura 23	Esquema de probeta para ensayo de adherencia mecánica	40
Figura 24	Máquina de ensayo universal, productos impermeabilizantes y probetas representativas de ensayos de adherencia mecánica	40
Figura 25	Ensayo de adherencia mecánica	41
Figura 26	Esquema de probeta tipo para análisis microscópico de adherencia	41
Figura 27	Probetas para análisis microscópico de adherencia	42
Figura 28	Prensa para elaboración de muestras a base de baquelita y presencia de baquelita sólida	43
Figura 29	Fijación y tapado de baquelita en cilindro metálico y aplicación de presión	43

	Página	
Figura 30	Aplicación y extracción del sistema de temperatura	43
Figura 31	Extracción, pulido y dimensionado de la muestra	44
Figura 32	Muestra de baquelita dimensionada y máquina de disco diamantado	44
Figura 33	Proceso de corte y obtención de la muestra final para análisis microscópico	44
Figura 34	Equipos utilizados para la examinación de muestras a nivel microscópico	45
Figura 35	Esquema de loseta 1	46
Figura 36	Esquema de loseta 2	47
Figura 37	Esquema de loseta 3	47
Figura 38	Esquema de loseta 4	48
Figura 39	Culmos y moldajes para la fabricación de losetas	48
Figura 40	Armaduras	49
Figura 41	Armaduras de <i>Chusquea culeou</i> recubiertas con xyladecor (loseta1) y silicato de sodio (loseta 2)	49
Figura 42	Equipos para medición y fabricación de hormigón	50
Figura 43	Losetas de hormigón	50
Figura 44	Desmoldado de losetas	50
Figura 45	Instrumentos y equipos de ensayo	51
Figura 46	Ensayo de flexo-tracción	51
Figura 47	Probeta ensayada con nudo central	53
Figura 48	Gráfico de resistencia a la tracción en probetas con nudo central	54
Figura 49	Probeta internodal ensayada	54
Figura 50	Gráfico de resistencia a la tracción en probetas internodales	55
Figura 51	Probeta 1 (carbonileo de petróleo)	56
Figura 52	Probeta 2 (algifolcolor)	56
Figura 53	Probeta 3 (impermeabilizante wet proof)	56
Figura 54	Probeta 4 (xyladecor)	57
Figura 55	Probeta 5 (neoprén-arena)	57
Figura 56	Probeta 6 (sellador para maderas)	57
Figura 57	Probeta 7 (aceite de linaza)	57
Figura 58	Probeta 8 (silicato de sodio)	58
Figura 59	Probeta 9 (sin tratamiento)	58
Figura 60	Probeta 10 (acero)	58
Figura 61	Gráfico de adherencia mecánica (valores promedios)	59
Figura 62	Vista panorámica de muestra 1	60
Figura 63	Vista intermedia de muestra 1	61
Figura 64	Vista de acercamiento de muestra 1	61
Figura 65	Vista panorámica de muestra 2	62
Figura 66	Vista intermedia de muestra 2	62
Figura 67	Vista de acercamiento de muestra 2	63
Figura 68	Vista panorámica de muestra 3	63

		Página
Figura 69	Vista intermedia de muestra 3	64
Figura 70	Vista de acercamiento de muestra 3	64
Figura 71	Vista panorámica de muestra 4	65
Figura 72	Vista intermedia de muestra 4	65
Figura 73	Vista de acercamiento de muestra 4	66
Figura 74	Vista panorámica de muestra 5	66
Figura 75	Vista intermedia de muestra 5	67
Figura 76	Vista de acercamiento de muestra 5	67
Figura 77	Vista panorámica de muestra 6	68
Figura 78	Vista intermedia de muestra 6	68
Figura 79	Vista de acercamiento de muestra 6	69
Figura 80	Vista panorámica de muestra 7	69
Figura 81	Vista intermedia de muestra 7	70
Figura 82	Vista de acercamiento de muestra 7	70
Figura 83	Vista panorámica de muestra 8	71
Figura 84	Vista intermedia de muestra 8	71
Figura 85	Vista de acercamiento de muestra 8	72
Figura 86	Vista panorámica de muestra 9	72
Figura 87	Vista intermedia de muestra 9	73
Figura 88	Vista de acercamiento de muestra 9	73
Figura 89	Aplicación de carga sobre loseta 1	74
Figura 90	Mecanismo de falla de loseta 1	74
Figura 91	Gráfico de carga-deformación en loseta 1	75
Figura 92	Aplicación de carga sobre loseta 2	76
Figura 93	Mecanismo de falla de loseta 2	76
Figura 94	Gráfico de carga-deformación en loseta 2	77
Figura 95	Aplicación de carga sobre loseta 3	78
Figura 96	Mecanismo de falla de loseta 3	78
Figura 97	Gráfico de carga-deformación en loseta 3	79
Figura 98	Aplicación de carga sobre loseta 4	80
Figura 99	Mecanismo de falla de loseta 4	80
Figura 100	Gráfico de carga-deformación en loseta 4	81
Figura 101	Gráfico comparativo de las losetas	82

## INDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Densidad de <i>Chusquea culeou</i>	9
Cuadro 2	Largo de fibras en <i>Chusquea culeou</i>	10
Cuadro 3	Propiedades químicas de <i>Chusquea culeou</i>	11
Cuadro 4	Propiedades mecánicas de <i>Chusquea culeou</i>	12
Cuadro 5	Pauta con recomendaciones de la norma ASTM D-2017	13
Cuadro 6	Efecto de algunos azúcares y sus derivados sobre la resistencia a la flexión en probetas de cemento después de siete días de fraguado	31

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tuvo por objetivo la determinación de la potencialidad del colihue (*Chusquea culeou* Desv.) como armadura de refuerzo en losetas de hormigón para aplicaciones estructurales básicas.

Se espera que la información experimental aquí recabada, pueda contribuir a incursionar en el mundo de la construcción con posteriores estudios que ahonden en esta materia.

Se utilizaron culmos de bambú, hormigón, barras de acero corrugado e impermeabilizante como materiales principales. Los culmos utilizados tenían un contenido de humedad aproximado de 21%, un diámetro promedio de 2,15cm y fueron dimensionados con longitudes del orden de los 20 a 90cm. Las barras de acero poseían un diámetro de 8mm y el mismo rango de longitudes que los culmos de colihue, mientras que el hormigón correspondió a la clase H28 y los impermeabilizantes fueron: Xyladecor, Silicato de sodio, Carbonileo de petróleo, Algifolcolor, Wet proof., Neoprén, Sellador de madera y Aceite de linaza, todo esto asociado a la variedad de ensayos efectuados.

Previo a los ensayos de flexo-tracción en losetas, se realizaron ensayos de tracción en probetas de *Chusquea culeou* en secciones nodales e internodales (10 probetas por sección), ensayos de adherencia mecánica y análisis microscópico con impermeabilizantes en probetas de colihue-hormigón (20 probetas en el caso de la primera y 9 para la segunda), de manera que se obtuvieran valores referenciales de estas propiedades.

Posteriormente se llevó a cabo el ensayo de flexo-tracción en losetas, el cual comprendió la fabricación de cuatro estructuras (dos de ellas reforzadas con armaduras de 10 y 14 culmos de colihues, una con 10 barras de acero y otra sin refuerzo), las que se realizaron siguiendo los parámetros regidos para análisis de estructuras reforzadas con acero. Para la loseta reforzada con 10 culmos de colihue se utilizó tratamiento Silicato de sodio, mientras que la reforzada con 14 culmos se le aplicó tratamiento Xyladecor.

La resistencia a la tracción promedio alcanzada en probetas nodales fue de 289,89kg/cm<sup>2</sup>, con una resistencia mínima probable de 147,12kg/cm<sup>2</sup>, en tanto que la tracción de las probetas internodales fue de 482kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a 235,70kg/cm<sup>2</sup> de resistencia mínima probable. Dado esto el factor importante a tomar en cuenta fue las probetas con nodo central.

La adherencia mecánica permitió establecer al impermeabilizante xyladecor como el mejor tratamiento de entre los que se aplicaron a las probetas de colihue-hormigón, obteniendo un valor de 12,2kg/cm<sup>2</sup> (correspondiente a 64,17% del valor obtenido en probetas de acero-hormigón). En cuanto al análisis microscópico de adherencia se observó que las muestras 5 (Neoprén-arena), 7 (Aceite de linaza) y 8 (Silicato de sodio), se encontraron mejor adheridas, ya que las zonas de interfase entre estos materiales (colihue, impermeabilizante y hormigón), se presentaron mas compactas u homogéneas.

Los ensayos de flexo-tracción practicados a las estructuras con y sin refuerzo, demostraron que la loseta reforzada con 14 culmos de *Chusquea culeou* (loseta 1) colapsó a los 4500kg de carga con una deformación de 4,5cm aproximadamente, mientras que en la loseta reforzada con 10 culmos (loseta 2), la rotura se produjo a los 3800kg de carga con una deformación de 3,30cm, siendo esta un poco mas dúctil que la primera.

Los resultados alcanzados por estas dos losetas fueron superiores a los obtenidos por aquella fabricada sin refuerzo, cuya rotura se produjo a los 3200kg con una deformación de 0,48cm e inferiores a la loseta reforzada con acero, la que manifestó su ruptura a los 5401kg de carga con aproximadamente 5,33cm de deformación.

Como un ejemplo de uso de estas estructuras, bien podría ser la aplicación en muros, pilares o como elementos secundarios (no estructurales), tales como tabiquerías (utilizados en la separación de ambientes), utilizando dimensiones menores a 10cm en el espesor y variando las proporciones de cemento en la composición del hormigón. Usos que sugieren de investigaciones posteriores con estudios en diseños y normativas que permitan confirmar de mejor manera las aplicaciones que se le quieran dar a la estructura fabricada.

## EXECUTIVE SUMMARY

The main objective of the present work was to evaluate the potential use of colihue (*Chusquea culeou* Desv.), a gramineae perennial bush of the bamboo subfamily that grows in the humid temperate forests of Chile and Argentina, as reinforcement bars in concrete slabs for basic structural applications.

The experimental information gathered is expected to make a contribution to the construction world by stimulating further studies in this area.

During this work, colihue culms, concrete, corrugated steel bars and water-repellent as main materials were used. The culms employed had a moisture content of 21%, with an average diameter of 2.15 cm and dimensions from 20 to 90 cm long; the steel bars were 8 mm in diameter and had the same lengths as the colihue rods; the concrete employed in this study was type H28; and the water-repellents were: Xyladecor, Sodium silicate, Oil carbonileum, Algifolcolor, Wet proof., Neoprene, Wood sealant and Linseed oil, being all these compounds associated to every trial performed.

Before the flexure-stress trials on slabs were carried out, *Chusquea culeou* coupons were tested at node and internode sections (10 coupons per section). Also, mechanical adherence trials and microscopy analyses of water-repellent coated colihue-concrete coupons (20 and 9 coupons, respectively) were performed in order to obtain reference values of their properties.

Later, four structures were prepared following the standard parameters of steel structural analysis and subject to flexure-stress trials, i.e.: two slabs reinforced with 10 and 14 colihue culms, one slab reinforced with 10 steel bars and one non-reinforced structure. The slab reinforced with 10 colihue culms was treated with sodium silicate, whereas that reinforced with 14 colihue culms was applied Xyladecor.

The average tensile strength obtained in node coupons was 289.89 kg/cm<sup>2</sup> and a minimum possible resistance of 147.12 kg/cm<sup>2</sup>; on the other hand, the tensile strength of internode coupons was 482 kg/cm<sup>2</sup>, equivalent to 235.70 kg/cm<sup>2</sup> for the minimum possible resistance. Thus, the important factor to take into account in the tensile strength trials was the central node of coupons, which makes them less resistant.

The mechanical adherence tests allowed to determine that Xyladecor was the best water-repellent among all treatments applied to the colihue-concrete coupons, with a value of 12.2 kg/cm<sup>2</sup> (corresponding to 64.17% of the value obtained in steel-concrete coupons). Concerning the adherence microscopy analysis, coupons 5 (Neoprene-sand), 7 (Linseed oil) and 8 (Sodium silicate) showed the best adherence, since the interface zones between these materials (colihue, water-repellent and concrete) were more homogeneous. The flexure-stress trials performed on the reinforced and non-reinforced structures, proved that the slab reinforced with 14 culms of *Chusquea culeou* (slab 1) collapsed at 4500 kg load with a deformation of approximately 4.5 cm, whereas in the slab

reinforced with 10 culms (slab 2) the fracture occurred at 3800 kg load with a deformation of 3.30 cm, being this slightly more ductile than the former.

The results achieved by these two slabs were superior to those obtained by that having no reinforcement, whose fracture occurred at 3200 kg with 0.48 cm deformation, and inferior to the steel-reinforced slab, which fractured at 5401 kg load and showed approximately 5.33 cm deformation.

These structures can be employed in walls, pillars or as non-structural secondary elements, such as dividing walls to separate environments, using dimensions under 10 cm thick and varying the cement proportions in the concrete mixture. Also, further studies must be carried out considering designs and regular standards to confirm the applications of these structures.

## 1. INTRODUCCIÓN

Sin duda que referirse al recurso bambú en Chile, en materia de usos industriales resulta innovador, puesto que hasta nuestros días son pocas las aplicaciones que se les han dado, ello porque para algunos sectores sociales es considerado un material que denota pobreza y que para la mayoría de los predios agrícolas y forestales no es más que maleza que se suele desarrollar por la naturaleza de los suelos. Sin embargo poco a poco este material ha ido adquiriendo protagonismo y en especial la especie *Chusquea culeou* Desv., puesto que hoy en día se están evaluando alternativas con respecto a su utilización, es así como ya se han hecho estudios de acuerdo a sus propiedades, manejo o silvicultura, entre otros aspectos, obteniéndose resultados favorables, a tal punto que ya se han elaborado productos en base a ella, aparte de los usos tradicionales (artesanías) que se les han dado desde hace tiempo en las zonas rurales preferentemente.

Los bambúes, plantas gramíneas, herbáceas, gigantes y leñosas corresponden al grupo más diverso que existe dentro de la familia de las gramíneas y a la más primitiva subfamilia. Hoy en día se estima que existen 107 géneros y más de 1300 especies de bambú en el mundo, de las cuales solo 140 especies son utilizadas en forma industrial o artesanal (Campos y Peñaloza 1999).

Existen antecedentes bibliográficos sobre la utilización de bambúes en la construcción y de su inclusión como refuerzo en vigas y plaquetas hormigonadas, lo que despierta el interés por ampliar el conocimiento de este recurso en estas aplicaciones.

No existen antecedentes publicados respecto de la inclusión de colihue (*Chusquea culeou* Desv.) como refuerzo en estructuras de hormigón, sin embargo es posible su incorporación en vigas y losetas de manera experimental, lo que implica conocer las propiedades tanto de esta planta, como del hormigón y su refuerzo (acero).

La posibilidad de utilizar colihue en la fabricación de losetas de hormigón se presenta como una alternativa interesante, no solo por ser un recurso noble, sino porque además es económico, abundante y renovable, no obstante se hace indispensable caracterizarlo como materia prima para la fabricación de estas losetas.

El presente estudio pretende realizar un análisis experimental de la utilización de *Chusquea culeou* Desv. (colihue) como refuerzo en losetas de hormigón, dejando abierta la posibilidad a nuevos estudios sobre este tema incorporando determinadas variantes y/o aplicaciones.

De acuerdo con este estudio se perseguirá como objetivo general determinar la potencialidad del colihue como armadura de refuerzo en losetas de hormigón para aplicaciones estructurales básicas, desprendiéndose como objetivos específicos los siguientes:

- Caracterizar las principales propiedades de la especie *Chusquea culeou*, hormigón y acero como elementos estructurales.
- Determinar propiedades mecánicas del material composite (Colihue-hormigón) frente a ensayo de flexión estática.
- Comparar resultados obtenidos entre probetas de hormigón con armadura de colihue (*Chusquea culeou*), armadura de acero y sin armadura.
- Medir la afinidad o adherencia existente entre *Chusquea culeou* y hormigón como compuesto para aplicaciones en la construcción.

## 2. MARCO TEÓRICO

La especie *Chusquea culeou* Desv. crece natural y ampliamente en Chile, desde la VII hasta la XI Región.

Esta especie tiene una distribución altitudinal amplia, la cual se desarrolla a partir de los 50 m. s. n. m. en la alta cordillera. La distribución latitudinal la sitúa entre los 35° S (VII región) y 42° S (X región).

Para esta especie Veblen *et al.* (1979) desarrollaron estudios de *Chusquea culeou* creciendo en la cordillera de los Andes (39° 33 S; 72° O 3W) a 700m. s. n. m, donde la precipitación anual supera los 4000mm, a esto se debe agregar que esta especie tiende a crecer en lugares o bosques donde existe predominancia de *Nothofagus dombeyi*, *Laurelia philippiana*, *Saxegothaea conspicua* y *Dasyphyllum diacanthoides*, así como en bosques de características similares que han sido explotados o quemados donde logra desarrollarse con rapidez a la vez que también se expande, provocando el impedimento de la regeneración arbórea.

Esta especie se caracteriza por presentar formas muy variadas, existiendo ejemplares xerófitos, de hojas duras, que crecen muy expuestos a la luz y otros de hojas más membranosas que crecen bajo bosque ralo. La especie tipo correspondería a aquella que se representa en la figura 1.



Figura 1. *Chusquea culeou* Desvaux: a, parte de planta; b, espiguillas; c antecio; d, ligula.

Las notables variaciones que presenta *Chusquea culeou* a lo largo de su distribución, ha determinado la existencia de distintos nombres que señalan a la especie como una variedad de ésta e incluso como nuevas especies del género. Es el caso de *Chusquea andina*, considerada una variedad andina de *Chusquea culeou*, que crece a lo largo de la cordillera andina entre Cautín y Chiloé. El clima característico de su distribución es el templado frío lluvioso. Posee culmos rectos y arqueados en la base, a lo largo de las cuales se insertan ramas muy cortas.

La floración de *Ch. culeou* es muy variable, lo que no ha permitido estimar con exactitud el ciclo de floración de esta especie. Matthei (1997) señala que junto a la floración gregaria es posible encontrar ejemplares de floración anual y menciona que Pearson y Gómez –Gallopín (1994) realizaron un extenso estudio en la zona de

Nahuel Huapi, Argentina; sin poder establecer con certeza el ciclo de floración de esta especie, sin embargo estimaron que su ciclo de vida es superior a los 54 años.

De acuerdo con la estructura física de *Ch. culeou* esta presenta culmos erectos de 1-2,5cm de diámetro y 0,5-5m de alto aproximadamente con internodos redondos y glabros. Las hojas del culmo se insertan en vainas casi tan largas como el internodo (6-13cm de largo), glabras y anchas en la base. Las láminas son lanceoladas o lineales de 0,5-3cm de largo. La lígula externa está formada por una pequeña estría o suele estar ausente; la lígula interna es obtusa de margen pestañoso y mide 1mm de largo. Los nodos presentan yemas laterales iguales, dispuestas horizontalmente con respecto al culmo.

Los culmos presentan numerosas ramificaciones, entre 20-40 por culmo, de 5-45cm de largo, las cuales poseen hojas imperfectas formadas por cuatro vainas, las tres primeras de 1-5mm de largo y la cuarta de 10-16mm. Las hojas superiores son láminas lanceoladas de 4-12cm de largo y de 5-10mm de ancho, con un nervio central prominente. Presentan un pseudopécíolo de 2mm de largo, una lígula externa de 0,1mm de largo y una lígula interna pubescente que mide 2mm de largo (Figura 2).

Las inflorescencias forman una panoja contraída y oblonga de 3-6cm de largo, con raquis pubescente. Las espiguillas miden de 6-8mm de largo, con dos glumas uninervadas de 1-2mm y 2-2,6mm de largo cada una, agudas, carinadas, lanceoladas y pubescentes. Presentan lemas estériles de 4-7mm de largo, acuminadas, mucronadas y pubescentes en el ápice, con 1-3 nervios. La lema fértil es finamente pubescente, con 7 nervios, mide entre 6-7,2mm de largo y presenta ápice mucronado. La pálea es tan larga como la lema y posee 4 nervios. Posee 3 lóculas de base ancha y angosta en el ápice, de 1,2-1,7mm de largo y ápice ciliado. El fruto esta representado por una cariopsis cilíndrica, de 4-6mm de largo (Matthei, 1997).



Figura 2. Culmos de *Chusquea culeou* (J. Campos 2002)

## 2.1 Caracterización morfológica del bambú

### Rizomas

Corresponden a órganos de gran importancia destinados a la propagación y al almacenamiento de nutrientes, además de servir de sostén mecánico para la porción aérea de la planta. Estos órganos están provistos de yemas, desde las cuales brotan culmos y raíces.

Según el tipo y hábito de ramificación los rizomas se pueden clasificar en dos grandes grupos (Figura 3):

**Rizomas paquimorfos:** Son rizomas cortos y gruesos que en su parte inferior tienen raíces y en su parte lateral presentan yemas en forma de semiesfera que producen nuevos rizomas y culmos. A este tipo pertenecen la mayoría de los géneros tropicales como *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Gigantochla*, *Chusquea* y otras.

**Rizomas leptomorfos:** Se caracterizan por tener un rizoma cilíndrico y en ocasiones hueco y de crecimiento horizontal, segmentado que en sus nudos presenta yemas de las cuales pueden formarse culmos o rizomas.

Debido a la distribución de estas yemas los culmos se ramifican lateralmente cubriendo grandes extensiones, a este grupo pertenecen géneros como *Arundinaria*, *Phyllostachys*, *Sasa* y *Sinobambusa*, entre otros, caracterizándose por resistir bajas temperaturas (-20 °C) (Hidalgo, 1978).

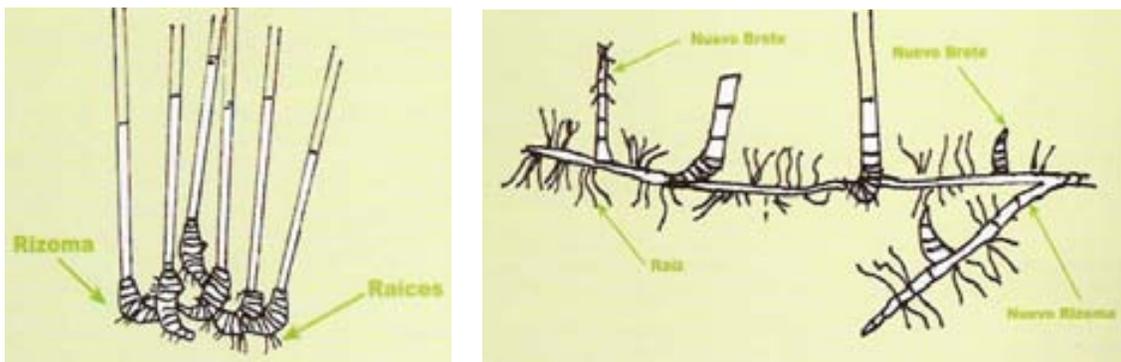


Figura 3. Esquemas de rizomas paquimorfo y leptomorfo

### Raíces

Se presentan algo ramificadas y de diámetro reducido. Su función es la de absorber agua del suelo y proporcionar el abastecimiento de nutrientes. Estas raíces se insertan en los rizomas a la altura de los nudos.

También existe otra clase de raíces (Figura 4) que se desarrollan en la base de las cañas, desempeñando una función de anclaje que permite a la caña fijarse solidamente al suelo (Campos *et al.*, 2003).



Figura 4. Raíz basal de *Chusquea culeou* (J. Campos, 2001)

## **Culmos**

Se le denomina así a los vástagos que emergen desde los rizomas, los cuales pueden alcanzar diferentes alturas y diámetros dependiendo de la especie, lo que a su vez permite clasificarlos en arbustivos y gigantes.

Cabe agregar como característica importante que los culmos del bambú emergen del suelo con su diámetro máximo, lo que implica que no aumentan en grosor posteriormente y su altura máxima la alcanzan en una temporada o período vegetativo (Riesco, 2002). De la misma manera que los rizomas, los culmos son segmentados a la altura de los nudos, resultando la sección internodal generalmente hueca en ciertas variedades, lo que a diferencia de las especies presentes en Chile esta sección es maciza.

Las yemas situadas a la altura de los nudos se desarrollan dando lugar a las ramas que a su vez generan hojas reunidas en ramilletes mas o menos densos.

## **Ramas y hojas**

Las ramas se originan de los culmos siempre a la altura de los nudos y el número de éstas inserto en cada nudo puede ser una indicación útil para determinar los géneros.

Las hojas producidas durante el desarrollo del bambú se suele presentar de dos formas:

**Hojas de follaje:** Son hojas que brotan de las ramas y se destacan por realizar la función clorofílica.

**Hojas caulinares:** Son hojas de color marrón que se destacan por proteger al culmo y a sus yemas durante el crecimiento inicial, se les conoce también con el nombre de vainas y son características del bambú (Campos *et al.*, 2003).

## **Floración**

La floración en el bambú suele darse de forma escasa dependiendo de la especie (el período varía de un par de años a más de 120 años), esto porque es una planta perenne que se reproduce vegetativamente y después de un tiempo prolongado tiende a florecer, muriendo posteriormente y ocupando la mayor parte de su energía en la producción de semillas (Ueda, 1960).

La floración suele darse de dos formas:

**Floración esporádica:** Consiste en la floración parcial de una especie que pueden ser solo algunos individuos o un área de la población total, que probablemente pueden ser de una misma edad. No obstante existen floraciones esporádicas demasiado extensas que hacen difícil su diferenciación de las floraciones gregarias (Hidalgo, 1978).

**Floración gregaria:** Consiste en la inflorescencia generada a partir de todos los culmos de los individuos de una especie, muriendo posteriormente, independientemente del lugar del mundo en que se encuentren distribuidas ni de la edad ni de la forma de reproducción ya sea vegetativa o generativa (Hidalgo, 1978; Montiel, 1998).

## **Propagación**

Existen variados métodos de propagación del bambú dentro de los cuales destacan los siguientes:

**Propagación a través de chusquines:** Consiste en la generación de plántulas de pequeño tamaño y delgados culmos que surgen de las yemas de los rizomas luego de que se han extraído los culmos maduros (Figura 5). Estos chusquines se pueden plantar en vivero o directamente en terreno. Es el método que ha dado mejores resultados, puesto que es un sistema que posee características de propagación masiva, además de ser rápido y económico, produciendo buen material vegetal (Londoño, 1999).



Figura 5. Brote de *Chusquea culeou* (P. Hechenleitner, 2002)

**Propagación de secciones de culmos:** Consiste en la plantación horizontal de internodos a una profundidad de 15 a 20 centímetros.

**Propagación mediante el cultivo de tejidos:** Técnica que se realiza a través del cultivo de tejidos en laboratorio a partir de trozos de tejido meristemático, este método es apropiado para el mantenimiento y reproducción de especies que presenten problemas de propagación natural.

**Propagación por semillas:** Este método se puede efectuar en viveros (Figura 6) con técnicas de germinación o sembrándose directamente en el lugar de plantación (Montiel, 1998). Sin embargo debido a lo esporádico y escaso que resultan ser las floraciones, este método suele presentar la restricción de escasez de semilla (Riesco, 2002).



Figura 6. Siembra y producción de plantas en tubetes de *Chusquea culeou* en el invernadero (I. Alvarez, 2001).

## 2.2 Propiedades de *Chusquea culeou*

Estudios realizados por Campos *et al.* (2003) consideraron la determinación de propiedades de *Chusquea culeou* (Colihue) y *Chusquea quila* (Quila), no obstante para este estudio se enfocará en las propiedades determinadas en *Ch. culeou* específicamente, las cuales se describen a continuación.

### 2.2.1 Propiedades físicas

Para la determinación de estas propiedades Campos *et al.* (2003) consideraron realizar una selección de material que estuviera en buenas condiciones sanitarias y de rectitud. Del material recopilado se hizo una distinción de material grueso y delgado, analizándose por separado.

A los culmos recopilados se les extrajeron muestras en base a la ubicación, es decir, contemplando zona de nodos e internodos, así como también de la altura en lo que respecta a la base sección media o superior.

#### Contenido de humedad

Las mediciones hechas a este material demuestran que el máximo contenido de humedad se encuentra en mayor proporción en la zona de internodos que nodos, lo mismo ocurre en material grueso donde el contenido de humedad supera al obtenido en material delgado, encontrándose un porcentaje de 135% para la sección internodal cercana a la zona de la base de culmos gruesos. Sin embargo el contenido de humedad tiende a disminuir a medida que aumenta el crecimiento en altura del culmo. La importancia de esta propiedad radica en el tipo de ambiente al que va a estar expuesto el material lignocelulósico, el cual debe ser adecuado al tipo de uso que se le dará.

#### Densidad básica

Para la determinación de densidad básica se consideraron mediciones de muestras provenientes de material grueso y fino y de tres alturas del culmo.

En el cuadro 1 se presentan resultados promedios de las secciones medidas.

Cuadro 1. Densidad de *Ch. culeou*

Sección	Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )
Nodo	0,652
Internodo	0,529

Fuente: Campos *et al* 2003

#### Largo de fibras

La determinación del largo de fibras comprendió la medición de las zonas de nodos como de internodos (Ver cuadro 2).

Cuadro 2. Largo de fibras de *Ch. culeou*

Sección	Largo de fibras (mm)
Nodo	1,04
Internodo	1,75

Fuente: Campos *et al* 2003

### Secciones microtómicas transversales

En la figura 7 se presentan las estructuras microscópicas de cortes transversales para colihue (*Ch. culeou*).

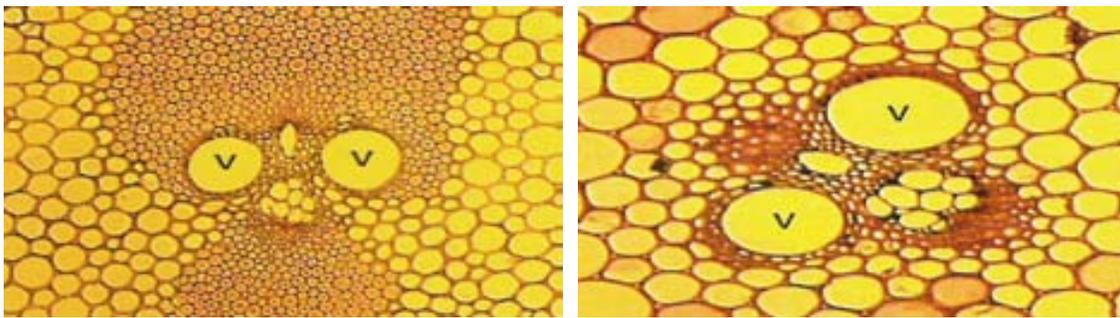


Figura 7. Estructura microscópica de *Ch. culeou*. A la derecha se aprecia una sección de internodo y a la izquierda una sección de nodo. V= Vasos de metaxilema (UACH, Instituto de Tecnología de Productos Forestales TEIM, 1999)

De acuerdo con la estructura anatómica de *Ch. culeou*, se aprecia que los haces vasculares presentan dos vasos de metaxilema, los cuales están rodeados por fibras y todo el conjunto inserto en tejido parenquimático de paredes delgadas sin dejar intercelulares visibles.

Las fibras se presentan con paredes gruesas, lo que probablemente se deba a que existe una mayor cantidad de estas en cada haz vascular y un mayor número de haces vasculares en los nodos, las que producen mayor densidad en estas secciones de los culmos.

#### 2.2.2 Propiedades químicas

Para el análisis de estas propiedades las muestras de *Ch. culeou* correspondieron a culmos con sección nodal e internodal.

Las muestras fueron tratadas en un molino y los aserrines se tamizaron en mallas de 16, 32, 42 y 60, de tal manera que se obtuvieran distintos niveles de tamizado para el análisis químico, de acuerdo a las normas TAPPI.

El cuadro 3 muestra los resultados obtenidos del análisis de propiedades químicas de *Ch. culeou*.

Cuadro 3. Propiedades químicas de *Ch. culeou* (Campos *et al.*, 2003)

Propiedades	Nodo	Internodo
Solubles:		
Agua fría	12,6	13,1
Agua caliente	13,2	14,3
Soda al 1%	32,0	33,5
Etanol	15,5	16,1
Etanol-tolueno	14,6	14,9
Extraíbles totales	16,8	17,8
Holocelulosa	73,1	71,9
Celulosa	51,4	51,5
Lignina	22,3	23,0
Cenizas	1,2	1,3
PH agua fría	3,5	3,7
PH agua caliente	4,5	4,6

### 2.2.3 Propiedades mecánicas

Al igual que la determinación de las propiedades anteriores, los ensayos realizados por Campos *et al.* (2003) contemplaron material proveniente de zona nodal e internodal. El material se procedió a secar en estufa con un posterior climatizado a  $20 \pm 2$  °C de temperatura con  $65 \pm 5\%$  de humedad relativa del aire.

#### **Resistencia al cizalle**

La realización de este ensayo contempló la preparación de probetas respetando forma y adaptando las dimensiones a las exigidas en la norma ASTM D-5751.

#### **Resistencia a flexión y módulo de elasticidad**

Tomando en cuenta el sometimiento de cargas o esfuerzos al que se vera enfrentada esta especie, la determinación de estas propiedades resultan decidoras al momento de analizarlas.

Para la medición de estas propiedades se debieron ajustar los datos de acuerdo a o establecido en la norma DIN 52186. Para la preparación y ensayos de probetas se realizó un secado en estufa y climatizado previo.

Este proceso (Preparación y ensayo) comprendió zonas de nodos e internodos en su centro de aplicación de cargas (Punto de momento flector máximo).

### **Compresión paralela**

La determinación de esta resistencia mecánica se realizó conforme a la norma DIN 52185, en la cual las probetas ensayadas comprendieron zonas de nodos e internodos.

### **Dureza**

Esta característica mecánica se midió en las caras de listones y las mediciones se efectuaron de acuerdo al método propuesto por Janka, realizándose las penetraciones tanto en la zona de nodos como internodos.

Los resultados obtenidos de la especie *Ch. culeou* frente a las diversas sollicitaciones mecánicas se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Propiedades mecánicas de *Ch. culeou* (Campos *et al.*, 2003)

Propiedad mecánica	Unidad	Valor
<b>Flexión estática</b>		
Tensión en límite de proporcionalidad	kg/cm <sup>2</sup>	335
Módulo de rotura	kg/cm <sup>2</sup>	621
Módulo de elasticidad	kg/cm <sup>2</sup>	70195
<b>Cizalle</b>		
Tensión de rotura	kg/cm <sup>2</sup>	92
<b>Compresión paralela</b>		
Tensión máxima	kg/cm <sup>2</sup>	272
<b>Dureza Janka normal a las fibras</b>		
Carga máxima	kg	289

## **2.3 Protección en *Chusquea culeou***

### **2.3.1 Resistencia al biodeterioro**

Al igual que las especies arbóreas, la especie en estudio no deja de estar exenta de ataques biodeteriorables, lo que implica desarrollar estudios sobre esta materia y encontrar métodos que permitan dar solución a esta problemática.

Tomando como base los estudios realizados por Campos y Peñaloza (2003) consideraron la utilización de dos hongos de pudrición mediante un proceso acelerado de laboratorio, de manera de establecer un índice de comportamiento sobre su duración en período de uso.

Este estudio contempló el uso de hongos tales como *Gloeophyllum trabeum* y *Poria placenta*. Para la detección de diferencias se utilizaron zonas de nodos e internodos en culmos de diámetro 25mm (Gruesos) y 15mm (Delgados).

Las probetas utilizadas de *Ch. culeou* fueron estimadas en un número de 80, todas con capa exterior (Cutícula).

Luego de inocular los hongos con el material de estudio (*Ch. culeou*), estos deterioraron preferentemente la holocelulosa.

El período al cual las probetas estuvieron sometidas al ataque de hongos fue de 4 meses, utilizando como medida de control la pérdida de masa, esto es el peso inicial antes del ataque o deterioro y el peso después del deterioro.

El cuadro 5 corresponde a una pauta de recomendaciones de la norma ASTM D-2017 que permite clasificar la madera tratada de acuerdo a los índices de pérdida de peso.

Cuadro 5. Pauta con recomendaciones de la norma ASTM D-2017

Promedio de la pérdida de masa	Promedio de masa residual	Grado de resistencia al hongo Xilófago	Clase
(%)	(%)		
0 - 10	90 - 100	Altamente resistente	A
11 - 24	76 - 89	Resistente	B
25 - 44	56 - 75	Moderadamente resistente	C
45 en adelante	55 o menos	No resistente	D

Una vez ensayadas las probetas con el hongo *Gloeophyllum trabeum*, se observó que *Ch. culeou* presentó pérdidas de peso entre 20 a 25%, tanto para la zona nodal como internodal clasificándose como resistente.

El ensayo con el hongo *Poria Placenta*, permitió alcanzar valores que fluctúan entre 18 a 23 % de pérdidas de peso que permiten clasificarla como resistente.

Comparando *Ch. culeou* con otras especies arbóreas y bambusáceas (Figura 8) se observaron valores de deterioro.

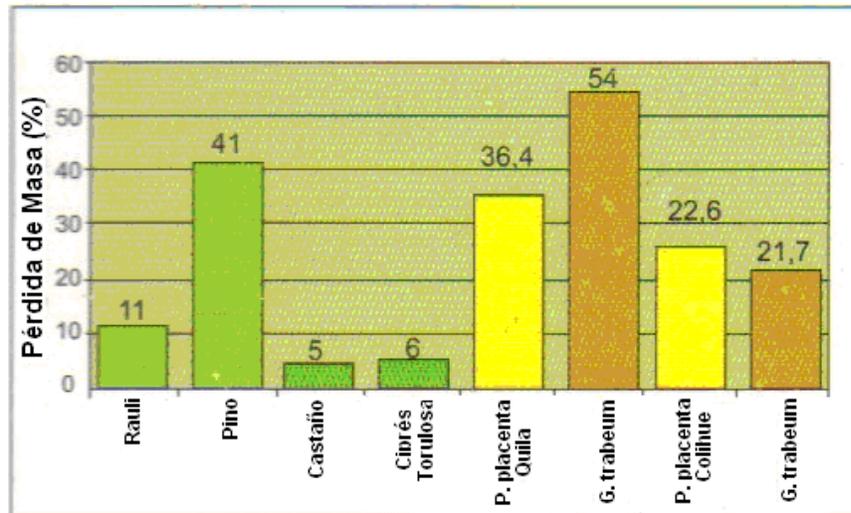


Figura 8. Deterioro de especies arbóreas y bambusáceas

### 2.3.2 Impregnabilidad en *Chusquea culeou*

Las determinaciones consideradas en esta etapa por Campos y Peñaloza (2003), fueron:

-Efecto del contenido de humedad de *Ch. culeou* en la absorción de líquidos hidrosolubles.

-Efecto en la absorción de nodos e internodos; torneados; existencia de cutícula y método de secado.

El método considerado para llevar a cabo el proceso de impregnación fue el de célula llena o ciclo Betel, donde su efectividad consistió en medir la cantidad de sal absorbida por los culmos mediante la diferencia de peso antes y después del tratamiento, expresándose en l/mt<sup>3</sup>.

La sal utilizada fue hidrosoluble del tipo CCA Timberlux 70%, el control de penetración y absorción se realizó según norma NCH 755 E OF 1971.

Debido a que las determinaciones apuntaban a medir el efecto del contenido de humedad en la absorción de líquidos, las probetas de *Ch. culeou* fueron impregnadas con dos contenidos de humedad base seca de 18 y 31%, se procesó nodos e internodos con y sin cutícula torneados y no torneados. También se impregnó culmos secados al aire por un mes y culmos secados en estufa a 45 °C durante 6 días hasta alcanzar un 18% de contenido de humedad con el fin de determinar los efectos del método de secado.

Luego de realizados los ensayos, se observó que el colihue (*Ch. culeou*), presentó una penetración irregular en internodos, concentrándose mayormente en los nodos, alcanzando esta especie niveles de absorción promedios de 260 l/m<sup>3</sup>.

Una comparación entre especies arbóreas y bambusáceas arrojó los siguientes resultados (Ver figura 9).

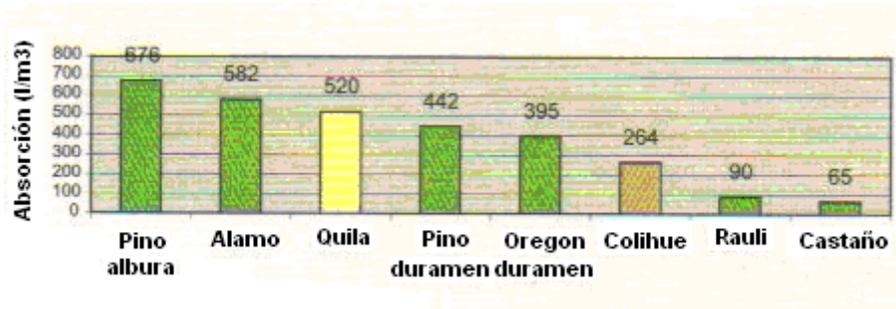


Figura 9. Comparación de especies bambusáceas con otras especies arbóreas.

Con respecto al efecto del contenido de humedad, el secado al aire o en estufa no tuvo influencias en la absorción de líquidos hidrosolubles.

Colihue seco al 18% absorbe mayor cantidad de líquidos que con un 31% de contenido de humedad, lo que permitió concluir que a mayor contenido de humedad se obtiene menor absorción de líquidos.

En probetas con y sin cutícula, la zona de internodos presenta mayor absorción que la zona de nodos tal como se aprecia en la figura 10.

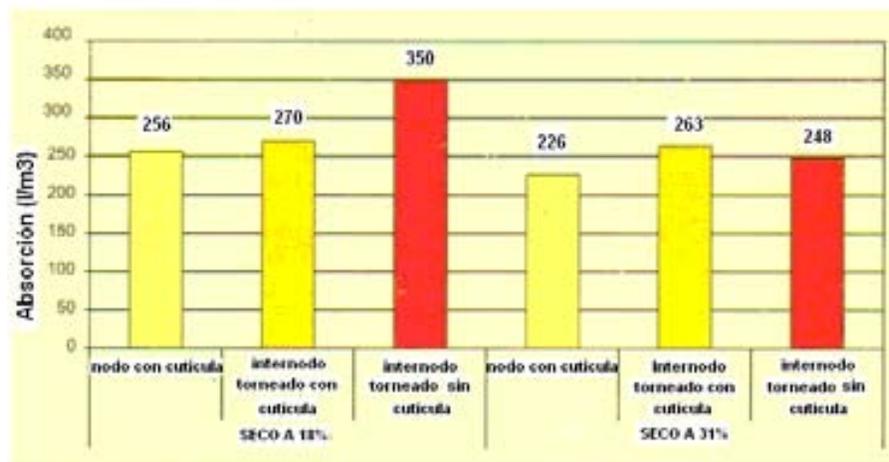


Figura 10. Impregnabilidad de colihue influenciada por el contenido de humedad

De acuerdo a los resultados expresados en la figura 10 se observa que la absorción máxima en colihue se origina en zonas de internodos, torneados sin cutícula con un valor que fluctúa entre los 350 l/m<sup>3</sup>.

Los ensayos realizados, permitieron demostrar que culmos torneados admiten una importante mejoría en la absorción comparado con culmos a los que no se les extrajo la cutícula.

En general, se pudo concluir que el colihue se presenta como una especie con buen nivel de permeabilidad y con buenos resultados de absorción, lo que lo convierte en un material factible de utilizar en procesos industriales de impregnación.

## **2.4 Hormigón**

El hormigón es un conglomerado pétreo artificial que se prepara mezclando una pasta de cemento con agua, arena, piedra triturada y grava u otro material inerte. La sustancia químicamente activa de la mezcla es el cemento, el cual se une física y químicamente con el agua y al endurecerse liga los agregados para formar una masa sólida semejante a una piedra.

Una propiedad particular del hormigón es que puede dársele cualquier forma, la mezcla húmeda se coloca en estado plástico, cartón o metal, donde se endurece o fragua. El hormigón adecuadamente proporcionado es un material duro y durable; es fuerte bajo compresión, pero quebradizo y casi inútil para resistir esfuerzos de tracción. En miembros estructurales sometidos a otros esfuerzos que no son de compresión, se agrega un refuerzo de acero que se introduce, principalmente para soportar los esfuerzos de tensión y corte.

En estructuras donde los esfuerzos son casi totalmente de compresión, como presas, muelles o ciertos tipos de zapatas, puede utilizarse hormigón sin reforzar; éste se conoce como hormigón simple o masivo. A veces por economía, se colocan piedras de gran tamaño en el hormigón, reduciendo así las cantidades de arena y cemento. El término agregado de boleos se aplica a piedras duras y durables, cuyo peso individual de cada una no sea mayor que 45kg; si éstas exceden dicho peso, el agregado se denomina agregado ciclópeo (Parker, 1971).

### **2.4.1 Materiales del hormigón**

#### **Cemento**

Un material cementante es aquel que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuada.

Dentro de esta categoría tecnológicamente importante no sólo se encuentra el cemento, sino también, limos asfaltos y alquitranes utilizados en construcciones de carreteras y otras aplicaciones. Para la fabricación del hormigón estructural se utilizan los denominados cementos hidráulicos, de los cuales el cemento portland, patentado por primera vez en Inglaterra en 1824 es el mas común de todos.

Los hormigones fabricados con cemento portland requieren por lo general dos semanas para alcanzar la resistencia suficiente para poder retirar las formaletas de vigas y losas y así aplicar cargas razonables.

El cemento al mezclarse con agua forma una pasta suave que luego se rigidiza en forma gradual hasta convertirse en una masa sólida, proceso conocido como fraguado y endurecimiento. Para hormigones normales la relación agua-cemento varía generalmente en el intervalo 0,40-0,60, aún cuando para hormigones de alta resistencia se hayan utilizado relaciones tan bajas como 0,25. No obstante el porcentaje de agua superior al 25% que se consume en la reacción química produce poros en la pasta de cemento.

El proceso químico desarrollado en el fraguado y el endurecimiento libera calor conocido como calor de hidratación (Nilson y Winter, 1994).

## **Agregados**

Los agregados, también denominados áridos ocupan aproximadamente entre el 70 y 75% del volumen en hormigones estructurales comunes. Generalmente mientras el agregado pueda empaquetarse con mayor densidad, mejor será la solidez, la resistencia a la intemperie y mayor será la economía del hormigón.

Resulta de vital importancia que los agregados tengan una gradación del tamaño de las partículas, de tal manera que el empaquetamiento sea compacto. De la misma manera se recomienda que los agregados posean buena solidez, durabilidad y resistencia a la intemperie, previamente determinada por una favorable reacción química con el cemento.

A modo general los agregados naturales se clasifican en finos y gruesos. Un agregado fino es cualquier material que ha sido tamizado en N° 4, es decir un tamiz con 4 aberturas por pulgada lineal, el material más grueso que éste se clasifica como agregado grueso o grava (Nilson y Winter, 1994).

## **Agua**

El agua de amasado juega un doble papel en el hormigón. Por un lado, participa en las reacciones de hidratación del cemento; por otro, confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario, ya que el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos (capilares) en el hormigón, que disminuyen su resistencia. En la figura 11 se puede apreciar este fenómeno

Como dato se puede retener la idea de que por cada litro de agua de amasado añadido de más a un hormigón equivale a una disminución de 2Kg. de cemento (Jiménez *et al.*, 1978).

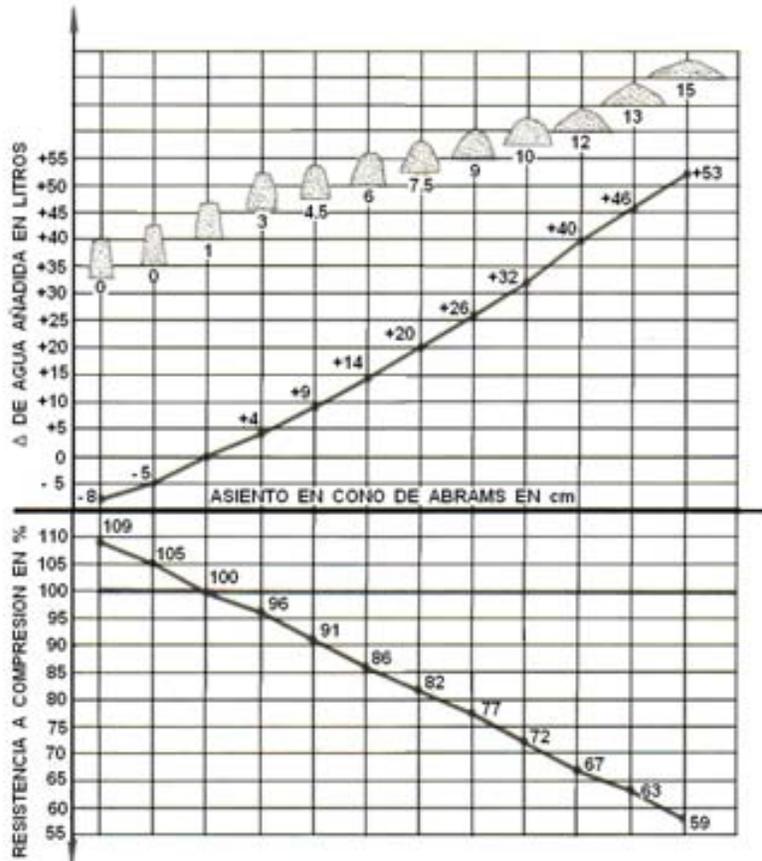


Figura 11. Influencia del exceso de agua en la consistencia y resistencia del hormigón (Jiménez *et al.*, 1978)

Para compensar las pérdidas de agua por evaporación y permitir que se desarrollen nuevos procesos de hidratación con aumento de resistencias, el hormigón debe curarse con abundante agua.

Tanto el agua de amasado como el de curado deben ser aptos para desempeñar bien su función.

En principio, el hormigón puede amasarse con cualquier clase de agua, exceptuando las aguas minerales, ya que este es poco susceptible de contaminarse a causa del agua de amasado. Mucho más peligrosa y potencialmente contaminante es el agua que recibe el hormigón cuando está endureciendo o ya está duro (Agua de curado o del medio), porque las reacciones que puede originar ya no actúan sobre una masa en estado plástico. Además, la aportación de sustancias perjudiciales en el agua de amasado es limitada en cantidad y se produce de una sola vez, sin renovación; a diferencia de las otras aportaciones, mucho más amplias y de actuación más duradera.

En términos generales, se debe ser mucho más estricto en la aptitud de un agua para curado que en la de un agua para amasado (Jiménez *et al.*, 1978).

## 2.4.2 Dosificación y mezcla del hormigón

La preparación del hormigón debe ser dosificada, de tal manera que los componentes presentes en la mezcla brinden las propiedades necesarias para que el hormigón tenga una adecuada resistencia, fácil manejabilidad para su vaciado y un bajo costo. Debido a que el cemento es uno de los componentes mas costosos en términos económicos, mientras mejor sea la gradación de los agregados, menor será la pasta de cemento a utilizar, puesto que se necesitará menor cantidad para llenar el volumen de vacíos dejados por los agregados (Figura 12).

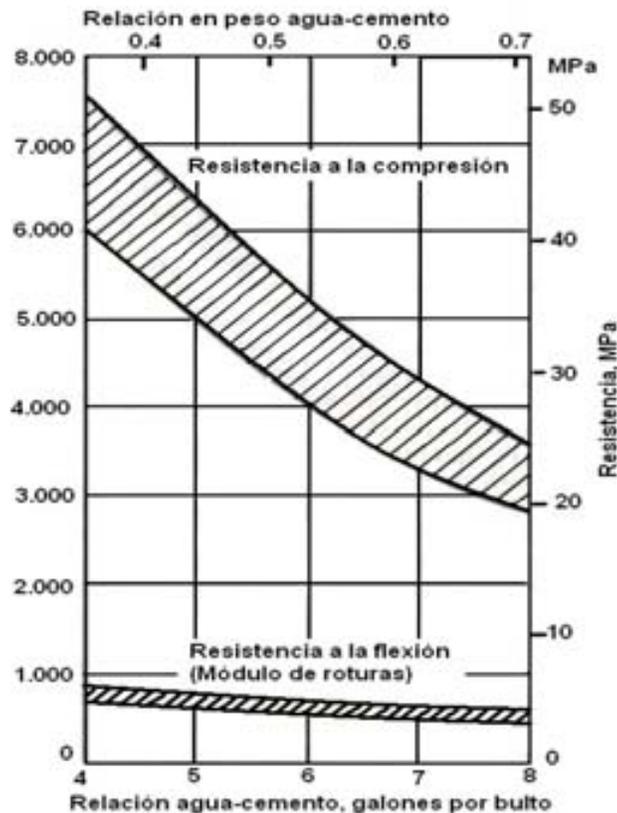


Figura 12. Efecto de la relación agua-cemento en las resistencias a la compresión y a la tensión por flexión a los 28 días

Existen varios métodos de dosificación para obtener mezclas con propiedades deseadas a partir de cementos y agregados disponibles. El llamado método de dosificación del ACI (American Concrete Institute) utiliza el ensayo de asentamiento en conexión con un conjunto de tablas para lograr una aproximación de las proporciones que permiten obtener como resultado las propiedades deseadas para diferentes condiciones (Tipos de estructuras, dimensiones de los elementos, grados de exposición a la intemperie, etc.).

El propósito principal del mercado es producir una mezcla sólida entre el cemento, agua, agregados y posibles aditivos, con el fin de lograr una consistencia uniforme para las distintas mezclas (Nilson y Winter, 1994).

De acuerdo con McCormac, (2002), los aditivos son materiales que se le agregan al hormigón antes o durante la mezcla, con el fin de mejorar su desempeño en determinadas ocasiones, como así también para disminuir su costo.

Entre los aditivos que se incorporan a la mezcla se tienen:

-Inclusores de aire: Cumplen con los requisitos C 260 y C 618 de la ASTM, se usan principalmente para incrementar la resistencia del hormigón al congelamiento y derretimiento, además de proporcionar mejor resistencia al deterioro causado por las sales descongelantes.

-Catalizadores: Aditivos como el cloruro de calcio que acelera el desarrollo de la resistencia del hormigón.

-Retardantes: Permiten el retardo tanto del fraguado del hormigón, como el de los aumentos de temperatura.

-Súper plastificantes: Aditivos fabricados a partir de sulfonatos orgánicos, su uso permite reducir de forma considerable el contenido de agua en los hormigones a la vez que incrementa sus revenimientos.

-Impermeabilizantes al agua: Consisten generalmente de algún tipo de jabón o de algunos productos derivados del petróleo como las emulsiones asfálticas. Estos aditivos pueden ayudar a retardar la penetración de agua en hormigones porosos, pero posiblemente no suceda lo mismo en hormigones densos y bien curados.

#### 2.4.3 Propiedades del hormigón

Debido a las cargas o sollicitaciones a las que se encuentra expuesto el hormigón, el conocimiento de sus propiedades se hace fundamental al momento de fabricar estructuras.

Según McCormac, (2002) las propiedades que permiten el diseño de estructuras a base hormigón son las que se definen a continuación.

#### **Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión del hormigón ( $f_c'$ ) se determina por medio de pruebas a la falla de cilindros de 6"x12" de hormigón de 28 días de edad a una velocidad especificada de carga. Luego los cilindros se suelen mantener sumergidos durante un período de 28 días en un lugar con temperatura constante y humedad del 100%.

La mayoría de los hormigones usados en la práctica tienen una resistencia de entre 3000 y 7000 lb/pulg<sup>2</sup>, aunque existen casos en que estos alcanzan una resistencia de 2500 a 20000 lb/pulg<sup>2</sup> después de los 28 días de fabricados. Para aplicaciones comunes se usan hormigones de 3000 y 4000 lb/pulg<sup>2</sup>, mientras que para la construcción preesforzada se emplean las 5000 y 6000 lb/pulg<sup>2</sup> y en aplicaciones como en columnas de pisos inferiores de edificios altos se han utilizado hormigones con resistencias de hasta 9000 lb/pulg<sup>2</sup>, los cuales son proporcionados por empresas de hormigones premezclado.

Los valores de resistencia a compresión de los hormigones obtenidos en pruebas, dependen en gran medida de los tamaños y formas, de los especímenes de prueba y de la manera en que son cargados.

Para fabricar un hormigón con resistencia superior a 5000 lb/pulg<sup>2</sup> se requiere un diseño muy cuidadoso de la mezcla y prestar considerable atención al mezclado, colado y curado, lo que implica un aumento en el costo.

La figura 13 muestra resultados de pruebas a compresión en cilindros estándar de resistencias variables a los 28 días.

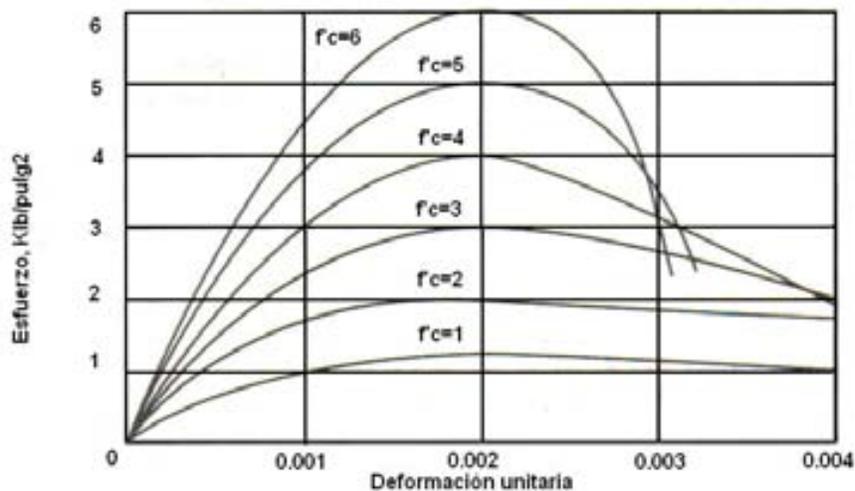


Figura 13. Curva esfuerzo-deformación unitaria típica, con carga de corto plazo

De acuerdo a lo observado en la figura 13 se hacen las siguientes apreciaciones:

Las curvas son aproximadamente rectas mientras la carga crece de cero a poco más o menos de 1/3 a 1/2 de la resistencia última del hormigón. Posteriormente se observa el comportamiento no lineal del hormigón frente a mayores esfuerzos.

Resulta de particular importancia el hecho de que todos los hormigones, independientemente de sus resistencias, alcanzan sus últimas resistencias bajo deformaciones unitarias de aproximadamente 0,002.

El hormigón no tiene una resistencia a la fluencia definida, mas bien las curvas se comportan suavemente hasta sus puntos de ruptura bajo deformaciones unitarias de entre 0,003 y 0,004.

Varias pruebas han mostrado claramente que las curvas esfuerzo-deformación unitaria de los cilindros de hormigón, son casi idénticas con las obtenidas en corazones de los lados de compresión de vigas.

Se observa además que los hormigones de bajo grado son menos frágiles que los de alto grado, es decir mostraran deformaciones unitarias mayores antes de romperse.

### **Módulo estático de elasticidad**

El hormigón no presenta un módulo de elasticidad bien definido, puesto que el valor que se obtiene depende o varía con su resistencia, con su edad, la carga aplicada y características del cemento y agregados. Respecto de ésta propiedad, se pueden dar las siguientes definiciones.

**Módulo inicial:** Es la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación unitaria en el origen de la curva.

**Módulo por tangente:** Se le denomina a la pendiente de una tangente a la curva en algún punto de ésta, por ejemplo en el 50% de la resistencia última del hormigón.

**Módulo por secante:** Es aquella pendiente de una línea trazada del origen a un punto sobre la curva entre el 25 y 50% de la resistencia final del hormigón a la compresión.

**Módulo aparente o módulo a largo plazo:** Módulo que se determina usando los esfuerzos y deformaciones unitarias obtenidas después de que se ha aplicado carga durante un cierto período.

Para el cálculo del módulo de elasticidad en hormigones que pesan entre 90 y 155 lb/pie<sup>3</sup>, el código ACI establece la siguiente expresión:

$$E_c = W_c^{1.5} * 33\sqrt{f_c'}$$

Donde  $E_c$  es el módulo de elasticidad en psi,  $W_c$  es el peso del hormigón en lb/pie<sup>3</sup> y  $f_c'$  es su resistencia a la compresión a los 28 días en lb/pulg<sup>2</sup> (Se le denomina módulo por secante).

Para hormigones de peso normal que pesan alrededor de 145 lb/pie<sup>3</sup> aproximadamente, el código ACI establece la siguiente expresión simplificada de la anterior.

$$E_c = 57000\sqrt{f_c'}$$

## **Módulo de elasticidad dinámico**

Corresponde a deformaciones unitarias instantáneas muy pequeñas y comúnmente se obtiene por medio de pruebas acústicas. Su valor es entre el 20 y 40% mayor que el módulo estático y aproximadamente igual al módulo inicial.

Este módulo es apropiado cuando las estructuras están sometidas a carga de sismo o impacto.

Se les denomina hormigones de alta resistencia a aquellos, cuyas resistencias son superiores a 600 psi (lb/pulg<sup>2</sup>).

Según lo establecido por el comité 36 del código ACI, la expresión que permite determinar el módulo de elasticidad dinámico resulta de ésta forma:

$$E_c = 40000\sqrt{f_c'} + 1,0 * 10^6$$

## **Módulo de Poisson**

Se denomina así a aquella proporción que se expande lateralmente, respecto del acortamiento longitudinal del hormigón cuando éste es expuesto a cargas de compresión.

Los valores de este módulo fluctúan de 0.11 para hormigones de alta resistencia hasta 0,21 para hormigones de baja resistencia, registrando como promedio un valor de 0,16. Sin embargo no parece haber relación directa entre el valor de éste módulo y las proporciones de agua-cemento, cantidad de curado, tamaño del agregado, etc., es así que no se le da ninguna importancia en la mayoría de los diseños de hormigón armado, pero si quizás en el diseño y análisis de otras estructuras estáticamente indeterminadas como presas de arcos, presas de túneles entre otras.

## **Contracción**

La fabricación del hormigón requiere una buena interacción de sus elementos constituyentes (Agua, cemento y agregados) y en proporciones adecuadas, de tal manera que esta mezcla sea lo suficientemente manejable o fluida para que pueda fluir entre las barras de refuerzo y el molde que lo contiene.

Una vez que el hormigón se ha curado y comienza a secarse, el agua adicional que se utilizó en la mezcla comienza a brotar en la superficie para evaporarse, producto de esto el hormigón se contrae y se agrieta. Estas grietas pueden reducir la resistencia a cortante de los miembros y dañar la apariencia de la estructura, junto con exponer los refuerzos a la atmósfera, posibilitando así la corrosión de estos. Cabe agregar que la pérdida de humedad varía con la distancia a la superficie, lo que implica que mientras mayor es el área superficial de un miembro en proporción a su tamaño, mayor es la contracción o dicho de otra forma los miembros con secciones

transversales menores se contraen más que aquellos con secciones transversales mayores. Puesto que la contracción depende en gran parte del tipo de exposición, esto es si hay mucho viento en condiciones de curado la contracción será mayor, lo mismo ocurrirá si la atmósfera es seca, no así en atmósfera húmeda, por lo que resulta conveniente utilizar agregados de baja absorción como el granito y muchas piedras calizas.

Con el propósito de minimizar el efecto de contracción Leet, (1991) recomienda lo siguiente:

- Mantener en un mínimo la cantidad de agua para el mezclado.
- Proporcionar un buen curado.
- Colar el hormigón para muros, pisos y otros elementos de grandes magnitudes en secciones pequeñas (Esto permite que parte de la contracción ocurra antes de encolar la siguiente sección).
- Intercalar juntas constructivas para controlar la posición de las grietas.
- Utilizar refuerzos por contracción.
- Utilizar agregados apropiadamente densos y no porosos.

### **Flujo plástico**

Corresponde a la deformación adicional que sufre el hormigón cuando éste es sometido a cargas de compresión.

Si la carga a largo plazo se retira, el miembro recuperará la mayor parte de su deformación elástica y algo de su deformación plástica, y si la carga vuelve a actuar, tanto la deformación elástica como la deformación plástica se desarrollaran nuevamente.

La magnitud del flujo plástico depende mucho de la magnitud de los esfuerzos presentes, esto es casi directamente proporcional al esfuerzo, mientras el esfuerzo sostenido no sea superior a aproximadamente la mitad de  $f_c'$  (Esfuerzo de compresión), mas allá de este valor el flujo plástico crece rápidamente.

Las cargas aplicadas a largo plazo no solo generan un flujo plástico, sino que también influyen de forma adversa en la resistencia del hormigón.

La magnitud del flujo plástico posee otros factores que la afectan, los cuales son:

- Entre mayor sea el tiempo de curado previo a la aplicación de cargas, menor será el flujo plástico.

-Los hormigones de alta resistencia presentan un menor flujo plástico que los de baja resistencia ante esfuerzos de la misma intensidad.

-El flujo plástico aumenta con la temperatura, alcanzando su valor máximo entre 150 y 160 °F.

-Mientras mayor sea la humedad, menor será el agua de poro libre que podrá escapar del hormigón.

-Los hormigones con mayor cantidad de pasta agua-cemento, presentan mayor flujo plástico, ya que es la pasta y no los agregados la que fluye plásticamente.

-La adición de refuerzo en la zona de compresión del hormigón reduce demasiado el flujo plástico, ya que el acero manifiesta escaso flujo plástico ante esfuerzos ordinarios.

-Las grandes estructuras de hormigón fluirán en menor proporción que aquellas estructuras delgadas y pequeñas donde el agua libre tiene distancias menores para viajar y escapar.

### **Resistencia a la tensión**

El porcentaje de variación de la resistencia a la tensión o tracción del hormigón es entre el 8 y 15% de su resistencia a la compresión. La razón principal de aquello es que el hormigón contiene un gran número de grietas muy finas.

Normalmente se suele despreciar la resistencia a la tensión al momento de efectuar los cálculos, no obstante es una propiedad que afecta el tamaño y la extensión de las grietas que se presentan.

La resistencia a la tensión del hormigón no varía en proporción directa a su resistencia última  $f_c'$ , pero si lo hace de manera aproximada en proporción a la raíz cuadrada de  $f_c'$ .

Debido a lo difícil que resulta medir ésta resistencia frente a cargas axiales, se han desarrollado dos pruebas algo indirectas para determinarla, denominadas pruebas del módulo de ruptura y prueba radial del cilindro.

$$f_r = Mc/I = M(h/2)/(1bh^3/12)$$

$$f_r = \text{Módulo de ruptura} = 6M/bh^2$$

El módulo de rotura  $f_r$  se determina mediante la fórmula de flexión, donde  $b$  es el ancho de la viga,  $h$  es el peralte y  $M$  es el momento máximo calculado. Al determinar el esfuerzo de esta manera no se considera muy exacto, puesto que al utilizar la fórmula de flexión se está suponiendo que el hormigón es perfectamente elástico ante esfuerzos directamente proporcionales a sus distancias del eje neutro. Para la

prueba radial, se coloca un cilindro acostado en una máquina de prueba y se le aplica una carga uniforme de compresión en toda su longitud que esta apoyado en el largo de la base.

$$f_t = 2P / LD$$

Esta expresión permite el cálculo del esfuerzo de tracción en que ocurre la rotura, donde P es la fuerza máxima de compresión y L y D son la longitud y el diámetro del cilindro.

### **Resistencia al corte**

La obtención de ésta propiedad sin que esté afectada por otros esfuerzos resulta extremadamente difícil. Las pruebas sobre resistencia por cortante del hormigón han dado durante muchos años valores que varían entre 1/3 y 4/5 de las resistencias últimas a compresión.

## **2.5 Armaduras o refuerzos**

Las armaduras empleadas en hormigón armado son, generalmente, barras lisas de acero ordinario, barras corrugadas de acero de alta resistencia y mallas electrosoldadas. El empleo de armaduras de otros tipos como los perfiles metálicos laminados, requiere estudios especiales que han de ser particularmente cuidadosos en lo relativo a la adherencia y anclaje de los elementos metálicos (Jiménez *et al.*, 1978).

### **Barras de refuerzo**

El acero de refuerzo viene fabricado en forma de barras conocidas comúnmente como varillas (Figura 14), las cuales están dadas en amplio rango de diámetros. Para aplicaciones ordinarias se ocupan barras con diámetros aproximados de  $\frac{3}{8}$  y  $1\frac{3}{8}$  de pulgada y para aplicaciones mayores se utilizan barras pesadas de  $1\frac{3}{4}$  y  $2\frac{1}{4}$  de pulgada aproximadamente.

Los tamaños de las barras se denominan mediante números, es así que para las barras dimensionadas anteriormente (Aplicaciones ordinarias y pesadas) se utilizan los números 3 a 11 y 14 a 18. La numeración de las barras corresponde muy cercanamente al número de octavos de pulgada del tamaño del diámetro (Nilson y Winter, 1994).



Figura 14. Tipos de barras corrugadas de refuerzo

El acero posee una resistencia a la fluencia (resistencia tanto a la compresión, como a la tracción) aproximadamente de 15 veces la resistencia a la compresión del hormigón estructural común y más de 100 veces la resistencia a la tracción.

La combinación de estos dos materiales permite soportar de mejor manera los esfuerzos de compresión por parte del hormigón y esfuerzos de tracción por parte del acero. Sin embargo el acero también se utiliza para resistir fuerzas de compresión, en casos en que se desee reducir la sección transversal de elementos a compresión, como sucede en las columnas de los primeros pisos de edificios altos. Incluso si esto no fuere necesario se coloca una cantidad mínima de refuerzo en todos los elementos a compresión, de manera que estos puedan resistir pequeños momentos flectores, los cuales pueden producir grietas y fallas de un elemento no reforzado.

La efectiva acción de un refuerzo debe ir acompañada de una adherencia suficientemente fuerte entre los dos materiales a combinar, de tal forma que no ocurran movimientos relativos entre estos. La unión producida por estos materiales se da mediante la adhesión química que se desarrolla en la interfase acero-hormigón, esto es por la rugosidad natural de la superficie de las barras de refuerzo laminadas en caliente y por las estrías superficiales poco espaciadas (Barras corrugadas), con el objeto de obtener un alto grado de entrelazamiento entre estos materiales (Nilson y Winter, 1994)

Otros aspectos a considerar entre el acero y el hormigón son los que se definen a continuación:

**Coefficientes de expansión térmica:** Puesto que el acero posee  $6,5 \times 10^{-6}$  °F y el hormigón un promedio de  $5,5 \times 10^{-6}$  °F, constituye un buen indicador considerando la poca diferencia entre ambos para impedir agrietamiento y otros efectos no deseables, debido a diferencias en las deformaciones térmicas.

**Resistencia a la corrosión:** Se sabe que el acero tiene una escasa resistencia a la corrosión, no obstante el hormigón que rodea este material permite una excelente protección y minimiza los costos de mantenimiento.

**Resistencia al fuego:** La alta conductividad térmica del acero desprotegido lo hace un material poco resistente a altas temperaturas. Lo contrario sucede con el hormigón debido a su baja conductividad térmica, lo que implica que si bien existe desventaja del acero frente al fuego, el hormigón permite compensar esta debilidad de manera eficiente (Nilson y Winter, 1994).

## 2.6 Hormigón armado

Se le denomina así al material compuesto de hormigón y armaduras o varillas de acero, asociadas de modo que forman un sólido único desde el punto de vista mecánico. Esta unión tiene por objeto aprovechar ventajosamente las propiedades características que presentan ambos materiales desde el punto de vista de la resistencia.

El hormigón ofrece, como las piedras naturales, una resistencia muy grande a los esfuerzos de compresión y muy escasa a los de tracción; por lo tanto es inadecuado para formar piezas que han de resistir tracciones o flexiones. Ahora bien, si en las zonas de tracción se dispone de varillas de acero, se habrá suplido esta deficiencia y se tendrá una pieza resistente a la flexión. En general, las compresiones se resisten por el hormigón y las tracciones se reservan al acero de un modo exclusivo. La cabeza de la viga de hormigón que trabaja a compresión debe ser capaz, por su sección y por la calidad del material para resistir la compresión. El armado de hierro que hace de cabeza sometida a tracción, debe resistir este tipo de fuerzas que se desarrollan según las leyes del equilibrio de estas piezas.

El hormigón armado, es pues una piedra artificial que puede resistir a la flexión, circunstancia que no se da en las piedras naturales. A esto se debe la excepcional importancia que el hormigón armado tiene en la técnica de la construcción.

La sección total de las varillas suele oscilar del 0,2 al 3% de la sección total, y sólo en casos excepcionales se rebasan estos límites. Las varillas son generalmente de acero dulce, clase I, a veces de acero de alta resistencia. En algunos casos, las piezas comprimidas llevan también varillas que ayudan al hormigón absorbiendo parcialmente las compresiones. En este caso estas varillas pueden ser de fundición.

Para asegurar el enlace del hormigón y las varillas, así como para resistir otros esfuerzos, se disponen en el sentido transversal de las piezas, varillas en forma de estribos, flejes, cercos o espirales. Cuando estos últimos elementos (Cercos o espirales) forman una envolvente resistente, el material recibe el nombre de hormigón zunchado.

Las armaduras pueden también emplearse para reforzar fábricas de ladrillo, piezas de vidrio, etc., recibiendo el material resultante los nombres de ladrillo armado, vidrio armado, etc.

La característica esencial del hormigón armado es su comportamiento como sólido único para los efectos elásticos; esto supone, naturalmente, que es también única la deformación resultante, y único asimismo el régimen elástico que se establece en el equilibrio entre las fuerzas exteriores y las tensiones internas.

La condición matemática esencial para la resistencia del hormigón armado es  $\epsilon_b = \epsilon_c$ , siendo las  $\epsilon$  las deformaciones del hormigón y del acero en las superficies de contacto. En estas también actúan esfuerzos tangenciales. La traslación relativa esta coartada por esas tensiones. En las grietas no se cumple la condición, debido a la desigual dilatabilidad del hormigón y del acero.

En definitiva, es preciso que sea tan íntima la unión entre los materiales componentes, de tal manera que no exista separación entre las varillas de acero y el hormigón que las rodea (Saliger, 1953).

## Relación hormigón-acero

El funcionamiento entre hormigón y acero es excelente, puesto que las ventajas de uno compensan las desventajas del otro.

La adherencia entre ambos materiales permite que no exista deslizamiento entre estos. Esta buena unión se debe a la naturaleza química existente entre estos materiales, a la rugosidad natural de las barras y a la estrecha separación de las corrugaciones laminadas en las superficies de las barras (Figura 15).

La protección que brinda el hormigón al rodear las barras de acero, impide que estas se expongan a la corrosión además de brindar resistencias a altas temperaturas, puesto que los coeficientes de temperaturas de ambos materiales son muy similares (McCormac, 2002).

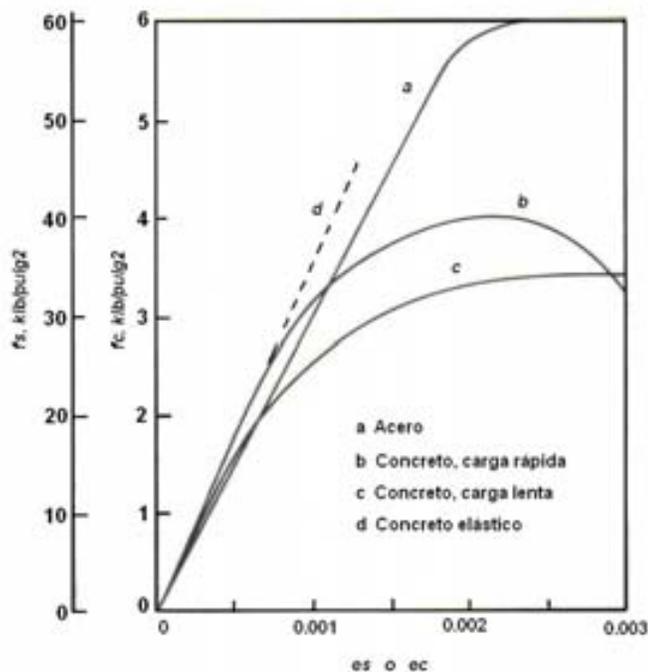


Figura 15. Curvas esfuerzo-deformación unitaria para el concreto y el acero (Nilson y Winter, 1994)

## 2.7 Adherencia

Otro aspecto de mucha relevancia considerado al momento de elaborar estructuras de hormigón armado, es la adherencia, propiedad que está dada por la fuerte relación entre el acero de refuerzo y el hormigón constituyendo un requisito fundamental de unión entre estos materiales, que permiten soportar de mejor manera las cargas aplicadas.

Para el caso de *Ch. culeou* como refuerzo en hormigón el conocer sus propiedades es un aspecto relevante que es necesario tener en cuenta, puesto que ello permite

analizar y/o definir técnicas o tratamientos, si las condiciones de trabajo así lo ameritan. No obstante el colihue, por ser un material vegetal presenta el fenómeno de la higroscopicidad, lo que implica hinchamientos y contracciones al entrar en contacto con el agua, a pesar que la presencia de cutícula en culmos de este material ofrece menor absorción de líquidos que en aquellos culmos en que ella se extraiga, es así que la aplicación de productos impermeabilizantes puede ser un tratamiento adecuado para a una especie que es igualmente permeable.

Por otra parte Hidalgo (1978) coincide en que los bambúes presentan cambios de volumen al entrar en contacto con el agua, siendo menores cuando mayor es su edad. Esto implica que al ser utilizado como refuerzo, al estar embebido en el concreto absorbe el agua de la mezcla, aumentando de volumen y posteriormente al secarse se contrae perdiendo la adherencia en el concreto, por lo que se requiere de una sustancia impermeable con el fin de evitar que éste absorba el agua de la mezcla de concreto.

En esta misma materia Poblete y Zárate (1986) señalan que el tipo de cemento, el mineralizador utilizado y la cantidad de agua cumplen un rol importante en el proceso de unión de madera con cemento. No obstante Sandermann y V. Dehn (1951) concluyeron que algunos extraíbles, como azúcares y compuestos fenólicos del tipo taninos, reaccionan inhibiendo la cristalización de los productos de la hidratación del cemento, esto a raíz de realizar un estudio en que se consideró la utilización de seis especies arbóreas en la producción de tableros de lana de madera, aglomerados con cemento (Figura 16). A esto también se agregan los resultados obtenidos por Saeman (1950), quien mediante un estudio sobre la hidrólisis de la madera, reacción que también ocurre durante el secado, determinó que los azúcares se descomponen rápidamente durante este proceso, lo cual contribuye a la unión de madera con cemento.

De los azúcares estudiados (Cuadro 6), fructosa y rafinosa fueron los menos dañinos, estimándose que su menor efecto se debe al tipo de estructura que ellas presentan (Sandermann, Brendel, 1956).

Cuadro 6. Efecto de algunos azúcares y sus derivados sobre la resistencia a la flexión (N/mm<sup>2</sup>) en probetas de cemento después de 7 días de fraguado (Sandermann y Brendel, 1956).

Compuesto agregado	Flexión (N/mm <sup>2</sup> ) al agregar:		
	0,125%	0,250%	0,500%
Glucosa	5,23	-----	-----
Fructosa	4,87*	-----	5,40
Xilosa	6,48	-----	-----
Acido ascórbico	6,20*	-----	-----
Sacarosa	7,14	-----	-----
Celobiosa	5,98	-----	-----
Rafinosa	5,65	6,57	-----
Acido glucorónico	6,29	-----	-----

-----: Indica que la mezcla no fraguó  
 \* : Sólo fraguó una probeta de cinco

La siguiente figura muestra claramente la influencia de la mayor cantidad de extraíbles primarios existentes en la madera de albura (Caso de *Pinus sylvestris*) y el efecto negativo de los azúcares (Caso de *Picea abies*) sobre la propiedad mecánica de Flexión en tableros de madera-cemento. Aquí se comprobó que al agregar un 1% de cualquiera de los compuestos señalados no se produjo un fraguado del cemento (Sandermann y Brendel, 1956).

De las especies estudiadas por Sandermann y Kohler (1964) se encontraban cuatro especies nativas chilenas, tales como *Podocarpus salignus*, la cual fue clasificada como apta para la fabricación de estos aglomerados, *Laurelia sempervirens* como de mediana aptitud y *Nothofagus alpina* junto a *Fitzroya cupressoides* como inadecuadas para este uso. Sin embargo no existe especificación si se trataba de madera de albura o duramen, tampoco se explicó qué tipo de compuestos habrían afectado el fraguado del cemento.

Como una forma de reducir los problemas ocasionados por los extraíbles en la unión de madera con cemento y de esta forma provocar la extracción de una parte de los compuestos solubles en agua y facilitar el fraguado del cemento, consiste en tratar la madera mediante un vaporizado o bien un lavado en agua (Kossatz, 1964).

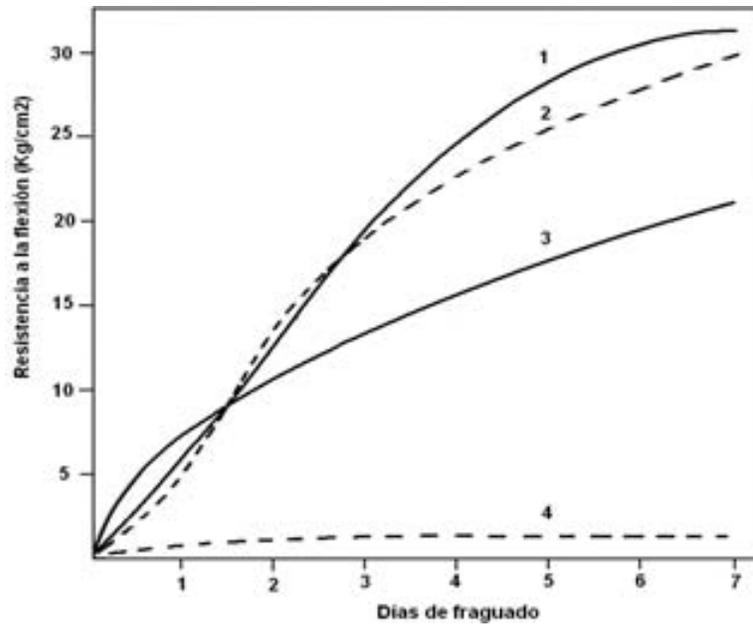


Figura 16. Influencia de los extraíbles sobre uniones de madera con cemento. 1=aglomerado con madera de duramen (*Pinus sylvestris*); 2=aglomerado con madera normal (*Picea abies*); 3=aglomerado con madera de albura (*Pinus sylvestris*); 4=aglomerado con 1% de glucosa como aditivo (*Picea abies*) (Sandermann y Dehn, 1951).

De la interacción de madera con adhesivo Poblete (2001) reconoce tres tipos de fuerzas. Estas fuerzas que mantienen la unión son:

**Cohesión:** Fuerza desarrollada entre las moléculas del adhesivo.

**Adhesión específica:** Fuerza de naturaleza química desarrollada por una molécula de adhesivo y la superficie de la madera.

**Adhesión mecánica:** Correspondiente al anclaje mecánico producido por la penetración del adhesivo en la madera.

La adherencia hormigón-acero es el fenómeno básico sobre el que descansa el funcionamiento del hormigón armado como material estructural. Si no existiese adherencia las barras serían incapaces de tomar el menor esfuerzo de tracción, ya que el acero deslizaría sin encontrar resistencia en toda su longitud y no acompañaría al hormigón en sus deformaciones, con lo que al producirse fisuras en éste (hormigón), sobrevendría bruscamente la rotura. Sin embargo, gracias a la adherencia las armaduras son capaces de trabajar inicialmente al mismo tiempo que el hormigón.

La adherencia cumple fundamentalmente dos objetivos:

1. Asegurar el anclaje de las barras
2. Transmitir las tensiones tangentes periféricas que aparecen en la armadura principal como consecuencia de las variaciones de su tensión longitudinal.

El fenómeno de adherencia se debe a dos tipos de causas, unas de naturaleza física (o físico-química) y otras de naturaleza mecánica.

Las causas de naturaleza física ocasionan la adhesión del acero con el hormigón a través de fuerzas capilares y moleculares desarrolladas en la interfase; en otras palabras es como si el acero absorbiese pasta cementante, ayudado por el efecto de la retracción.

Las causas de naturaleza mecánica, de mucho más importancia, están constituidas por la resistencia al deslizamiento debido a la penetración de pasta de cemento en las irregularidades de las barras, las cuales existen siempre aunque se trate de barras lisas. Esta causa de origen mecánico, que puede denominarse rozamiento, es la que produce la mayor parte de la adherencia en las barras lisas y varía apreciablemente con el estado de la superficie. Para el caso de barras corrugadas, a este rozamiento se añade el efecto de acuñamiento del hormigón entre los resaltes.

En resumen, el mecanismo de adherencia puede producirse por tres causas:

- Adhesión
- Rozamiento (Tensiones tangentes en el hormigón)
- Acuñamiento (Caso de barras corrugadas)

De las cuales la adhesión queda anulada cuando el deslizamiento de la barra alcanza cierta magnitud. Por otro lado el rozamiento comienza a actuar cuando la tensión alcanza un cierto valor, añadiéndose a él, el acuñamiento, no siendo posible separar ambos efectos (Jiménez *et al.*, 1978).

### Tensión de adherencia

Si se considera una barra de diámetro  $D$  embebida en un bloque de hormigón y esta es sometida a un esfuerzo de tracción  $N$ , para cada valor de  $N$  habrá una distribución de las tensiones  $t$  de adherencia (Ver figura 17).

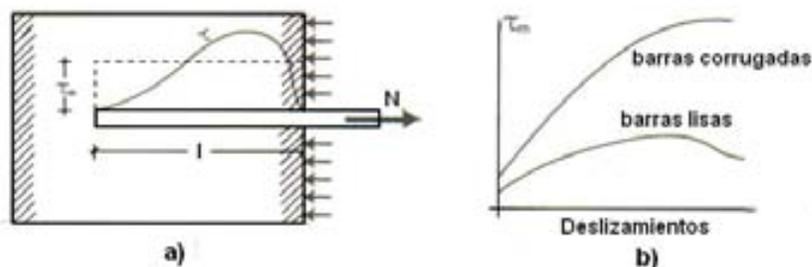


Figura 17. Esquema y curvas de las tensiones de adherencia (Jiménez *et al.*, 1978)

El valor medio  $t_m$  de las tensiones  $t$  está dado por:

$$t_m = \frac{N}{\pi * D * l}$$

Luego a este valor le corresponderá un cierto deslizamiento (expresado en mm) de la barra con respecto al hormigón. El ensayo descrito termina con la rotura de la barra fuera del hormigón (Caso de anclaje total) o con su arrancamiento.

Denominando como  $t_b$  a la tensión de adherencia y  $t_m$  a su valor medio, la relación entre la tensión de adherencia,  $t_b$  y la resistencia a compresión del hormigón es distinta, según sean las características adherentes del acero (Jiménez *et al.*, 1978).

## 2.8 Flexión

Los términos momento flexionante y momento resistente se usan constantemente en las discusiones sobre este tema y deben ser bien comprendidos. En concordancia con esto, los estudios de Parker (1971), permiten analizar esta propiedad como se muestra a continuación.

La figura 18(a) representa una viga simple con dos cargas concentradas; las reacciones en los apoyos izquierdo y derecho son  $R_1$  y  $R_2$ , respectivamente. De acuerdo con las leyes de equilibrio, la suma algebraica de las fuerzas verticales es igual a cero, así como también lo son la suma algebraica de las fuerzas horizontales y las de los momentos de las fuerzas; estas tres leyes se expresan de la siguiente forma: sumatoria  $V=0$ , sumatoria  $H=0$  y sumatoria  $M=0$ . Considerando ahora una porción del lado izquierdo de la viga, entre la reacción y una sección X-X imaginaria, se obtiene una panorámica, tal como se muestra en la figura 18(b). El plano neutro de una viga simple es una superficie imaginaria, por encima de la cual existen esfuerzos de compresión en las fibras, mientras que por debajo de ella los esfuerzos son de tracción. Sean C y T las resultantes de los volúmenes de esfuerzos de compresión y tracción, respectivamente, en la sección X-X.

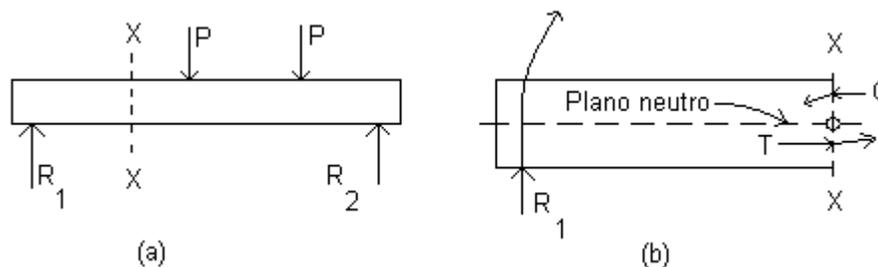


Figura 18. (a) Esquema de una viga simple con dos cargas concentradas. (b) Vista ampliada del lado izquierdo de ésta viga (Parker, 1971)

El plano neutro en una sección de la viga es una línea imaginaria llamada eje neutro, que se representa en la figura 18(b) mediante un punto sobre el plano neutro; teniendo en cuenta este punto se pueden considerar ahora los momentos.

De acuerdo con la figura anterior,  $R_1$  es la única fuerza externa en esta porción de la viga; dicha fuerza tiende a ocasionar una rotación con respecto al eje neutro, en el sentido de las manecillas del reloj, según se indica por medio de la flecha; el momento de la fuerza externa con respecto a la sección es el momento flexionante.

Como la viga está en equilibrio, no existe tal rotación, pues las fuerzas internas C y T tienden a ocasionar una rotación en sentido contrario; nótese las flechas en C y T, indicando esta tendencia. Se puede decir que la suma de los momentos de todos los esfuerzos en las fibras de la sección transversal, produce un momento resistente, ya que este momento resiste en realidad al momento flexionante.

El momento flexionante en cualquier sección de la viga es la suma algebraica de los momentos de las fuerzas externas a la izquierda de la sección, tomados respecto a esta sección, mientras que el momento resistente es la suma de los momentos de los esfuerzos internos en la sección tomados respecto al eje neutro. Para satisfacer el equilibrio, las magnitudes del momento flexionante y del resistente deben ser iguales.

Lo único que se requiere para diseñar una viga con un claro y un sistema de cargas dadas, en cuanto a flexión se refiere, es calcular el momento flexionante máximo y seleccionar después una viga, cuya sección transversal en el punto de momento flexionante máximo, tenga las dimensiones y el material suficiente para producir un momento resistente de magnitud igual a la del momento flexionante (Figura 19).

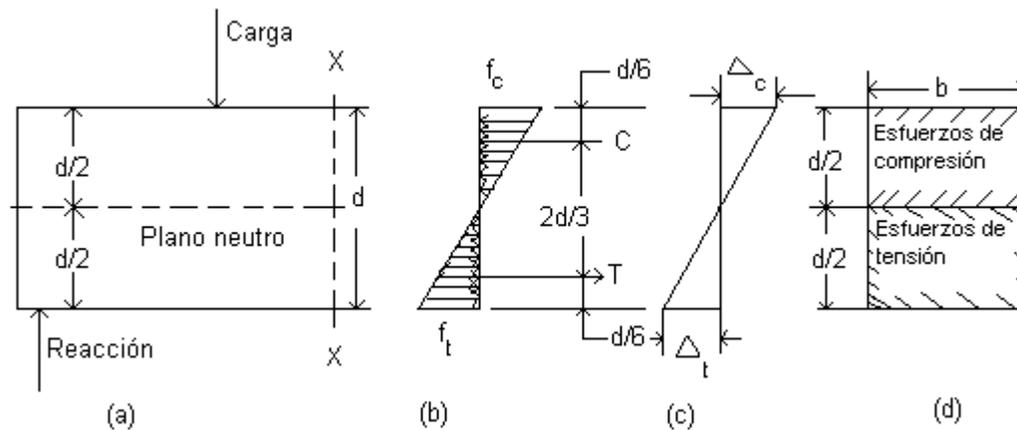


Figura 19. Esquema de una viga rectangular homogénea, cortada en la sección X-X (Parker, 1971)

### 3. MATERIAL Y METODO

Para la realización del estudio se contemplaron probetas de ensayo que constaran de materiales consistentes en culmos de *Ch. culeou*, acero y hormigón.

#### 3.1 Material

- Culmos: Los culmos o cañas de *Ch. culeou* recolectados, fueron aportados por el Instituto de Tecnología de productos Forestales de la Universidad Austral de Chile y correspondieron a culmos de edad superior a 2 años, cuyo proceso de lignificación ha finalizado.

Estas cañas fueron dimensionadas posteriormente, respetando márgenes, para el caso de las dimensiones de las probetas de losetas a fabricar (Culmos de 0,42m y 0,90m de largo) y de acuerdo a las probetas para ensayos de adherencia mecánica y análisis microscópico a realizarse (Culmos de 20 y 32cm de largo).

- Acero: El acero utilizado para el estudio fue de la calidad A44-28, en conformidad con la norma NCH 211 OF. 70.

- Alambre: Se contempló el uso de alambre recocido nº 18, el cual permitió el amarre de los culmos, tal como en el caso de las barras de acero.

- Hormigón: Este material fue del tipo H28 (280 kg/m<sup>2</sup>), de acuerdo con la norma NCH 170 OF. 85, el que a su vez estuvo compuesto de elementos tales como:

-Cemento: Se utilizó cemento de tipo común, marca melón con una cantidad de tres bolsas.

-Áridos

Grava: El tamaño de este material fue de 1½", con una cantidad de 173,16kg.

Gravilla: Partículas de ¾", cuya cantidad fue de 211,72kg.

Arena: 5mm de tamaño y una cantidad de 333,04kg.

Los datos referidos a esta materia se deben a la normativa existente para dosificaciones de hormigones.

- Impermeabilizante: Se contempló el uso de distintos productos químicos, que permitieron mantener protegidos los culmos de la humedad proporcionada por el agua de amasado.

Los productos utilizados fueron los que se mencionan a continuación:

- Xyladecor
- Silicato de sodio
- Carbonileo de petróleo
- Algifolcolor
- Impermeabilizante wet proof
- Neoprén
- Sellador de maderas casa blanca.
- Aceite de linaza

Moldajes: Para el caso de las losetas, el moldaje estuvo compuesto de tablas de *Pinus radiata* D. Don. y tableros de partículas, los cuales fueron unidos mediante clavos de 1½", mientras que para el caso de los ensayos de adherencia se contó de envases plásticos.

El equipamiento utilizado para el ensayo de flexo-tracción, comprendió equipos e instrumentos correspondientes al Laboratorio de Ensaye de Materiales de Construcción (LEMCO) de la Universidad Austral de Chile, los que se detallan a continuación:

Soporte o Marco de carga: Estructura de acero que sostiene la carga, la cual se le aplica a la pieza de ensayo.

Bomba de presión: Consiste en una bomba óleo-hidráulica, marca Lafert que entrega presión a un pistón hidráulico por medio de dos conexiones (Mangueras). La presión de carga es regulada a través de una palanca, mientras que la velocidad de ésta (Presión) lo hace a través de un velocímetro manual.

Pistón hidráulico: Posee una capacidad de carga de aproximadamente 50 toneladas.

Carga: Consiste en una celda de acero, llamada también celda de carga, la cual esta conectada a un visor digital, el que a su vez permite registrar el valor de la carga aplicada.

Visor digital: Instrumento, cuya función es entregar valores de las cargas en ejercicio.

Dial: Conocido también como deformímetro, este instrumento se utiliza para medir deformación en el elemento de ensayo. En el presente estudio el dial o deformímetro utilizado fue aquel que posee una precisión de 0'001".

Apoyos: Se utilizaron cubos de hormigón de 15cm, los cuales brindaron soporte a la estructura en ejercicio.

Para el ensayo de adherencia se utilizó la máquina universal de ensayos, marca Mohr y Federhaff, modelo VED 40, perteneciente al Laboratorio de Ensayos de

Materiales de la Universidad Austral de Chile. Esta máquina posee seis escalas de carga, con una carga máxima de 40 toneladas.

El análisis microscópico se llevó a cabo en el microscopio electrónico de barrido, marca Zeiss, modelo LEO 420, perteneciente a la Unidad de Microscopía Electrónica, del Instituto de Histología y Patología de la Universidad Austral de Chile.

La preparación de muestras para éste análisis se realizó mediante el uso de baquelita sólida a través de una prensa, marca Buehler, modelo 239 FN-4737, diseñada para la fabricación de este tipo de muestras. De la misma manera el equipo utilizado para el corte de estas muestras fue una máquina de corte de disco diamantado, marca Buehler, modelo ISOMET, equipamientos de propiedad del Instituto de Materiales y Procesos Termomecánicos (IMPT) de la Universidad Austral de Chile.

Cabe señalar que también se contempló la realización de ensayos de tracción en probetas de colihue (*Ch. culeou*), con el fin de conocer la propiedad de resistencia de éste material sometido a éste tipo de esfuerzo. Para ello el equipo empleado fue un tensómetro W, marca Monsato, correspondiente al Instituto de Diseño y Materiales de Ingeniería de la Universidad Austral de Chile.

La fabricación de hormigón para probetas sometidas, tanto a ensayos de flexo tracción, como a ensayos de adherencia y análisis microscópico, se realizó en una vetonera común, la cual posee una capacidad de 260 litros. Para el corte de probetas cilíndricas de hormigón (Caso de probetas para análisis microscópico) el equipo que se empleó fue una máquina de disco con borde diamantado para hormigón endurecido, ambos equipos son pertenecientes al Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción (LEMCO) de la Universidad Austral de Chile.

## **3.2 Método**

### **3.2.1 Ensayo de tracción**

Consiste en someter probetas de *Chusquea culeou* a esfuerzos de tracción, con el propósito de conocer esta propiedad, puesto que por bibliografía no se tienen antecedentes y porque también puede constituir un referente del material en cuestión como refuerzo.

Este ensayo consideró probetas provenientes de culmos con zona nodal, como internodal, las cuales presentaron contenidos de humedad promedios de 21% para la primera y 24% para la segunda aproximadamente.

El detalle de las probetas fabricadas se muestra en la figura 20.

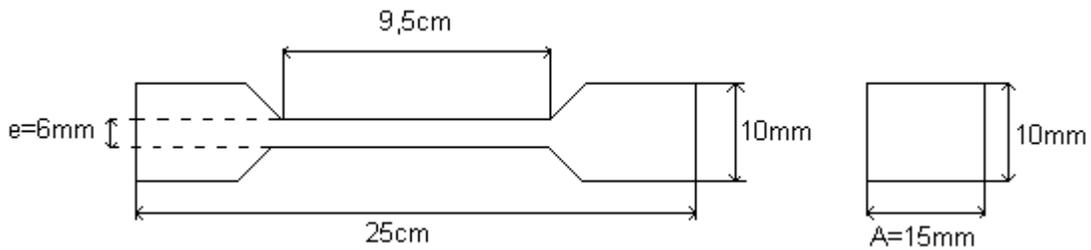


Figura 20. Esquema de probeta para ensayo de tracción

Se ensayó un número total de 20 probetas (Figura 21), de las cuales diez correspondieron a nodos y las otras diez a internodos.



Figura 21. Izquierda: Probetas de *Chusquea Culeou* para ensayos de tracción. Derecha: Máquina universal de ensayos para probetas de tracción

El procedimiento para realizar éste ensayo comienza con posicionar la probeta en las mordazas de la máquina. Luego se aplica la carga de forma manual, mediante una manivela, la que a su vez activa la columna de mercurio que va indicando la carga aplicada (Figura 22).



Figura 22. A la izquierda se aprecia la posición de la probeta en las mordazas de la máquina de ensayo. En el centro se muestra la aplicación de carga una vez ajustada la probeta y por último a la derecha se puede ver el avance de la columna de mercurio que va indicando la carga en ejercicio

### 3.2.2 Ensayo mecánico de adherencia

Este ensayo comprendió la elaboración de probetas a base de hormigón, las cuales llevaron inserta en su interior culmos de colihues, los que a su vez fueron tratados con diferentes soluciones protectoras e impermeabilizantes (Figura 23).

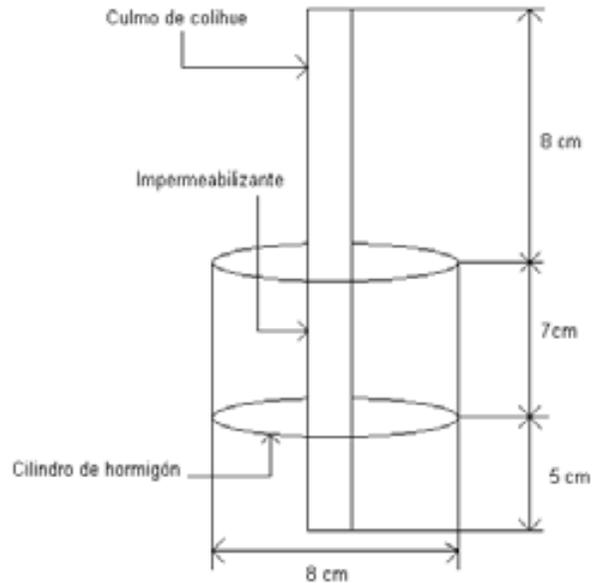


Figura 23. Esquema de probeta para ensayo de adherencia mecánica

La figura 23 muestra el tipo de probeta que se fabricó para este determinado ensayo.

Se elaboraron un total de 20 probetas (dos por cada tratamiento, incluyendo las que estuvieron sin recubrimiento y las que llevaron acero en su interior para efectos de comparación), esto con el fin de poder obtener un promedio de las resistencias alcanzadas (Figura 24).



Figura 24. A la izquierda se observa la máquina de ensayo universal, al centro una vista panorámica de los productos utilizados, mientras que a la derecha se muestran las 10 probetas representativas de los tratamientos y referencias (acero) utilizadas

La adherencia consiste básicamente en un ensayo de compresión axial, el cual se lleva a cabo mediante la fijación y ajuste de las probetas en la máquina de ensayo universal, posteriormente se acciona el encendido de ésta y se aplica la carga de forma gradual ubicada sobre el culmo de colihue, tal como se muestra en la figura 25.

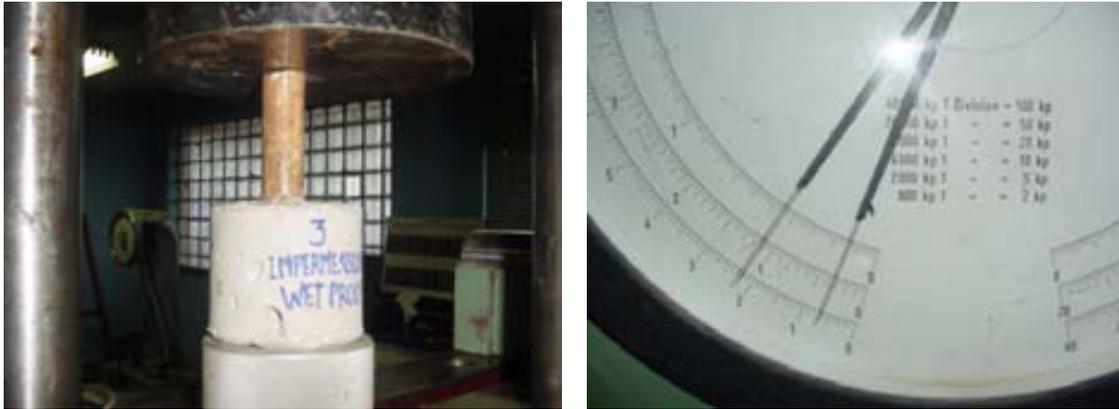


Figura 25. Ensayo de adherencia mecánica. A la izquierda se aprecia la aplicación de carga sobre una de las probetas, a la derecha el lector de cargas va indicando el esfuerzo adquirido

### 3.2.3 Análisis microscópico de adherencia

Para esta experiencia se consideraron 9 probetas cilíndricas (debido a los 9 productos utilizados) similares a las ocupadas en el ensayo mecánico de adherencia, diferenciándose estas (Análisis microscópico) por tener mayor longitud, para los posteriores procesos de corte (Figura 26).

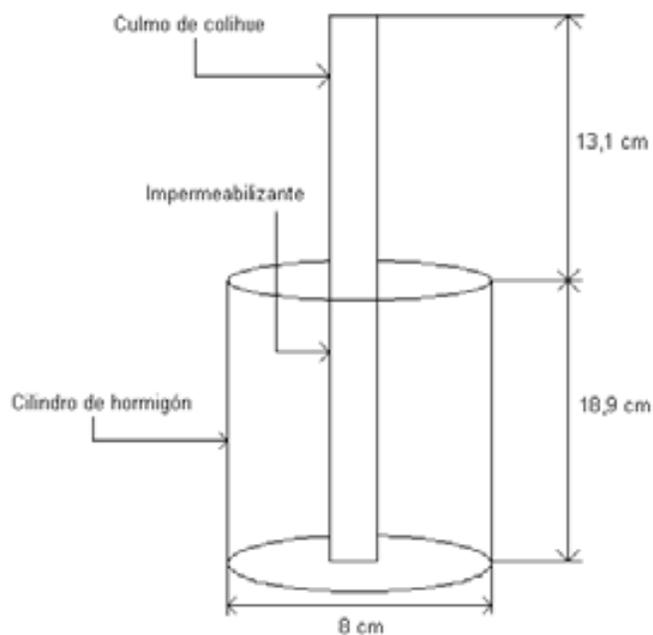


Figura 26. Esquema de probeta tipo para análisis microscópico de adherencia

La conformación de estas probetas continúa con la obtención de rodajas de aproximadamente 0,6 y 1cm de espesor, producto de cortar estos cilindros transversalmente, mediante una sierra diamantada del Laboratorio de ensaye de materiales de construcción. Luego se procede a ejecutar un segundo corte a las piezas obtenidas anteriormente, de manera de conseguir secciones de entre 5 y 8mm de alto y 9 y 12mm de ancho en que se aprecie la zona de interfase del material composite ( Colihue y hormigón) (Figura 27).



Figura 27. Izquierda: Probetas iniciales para análisis microscópico. Centro: Una de las rodajas cortadas de los cilindros elaborados anteriormente. Derecha: Sección obtenida después de ejecutar el corte correspondiente a la zona de interfase entre colihue-hormigón

Una vez que se tienen listas las secciones, estas se llevan a un proceso de fijación sobre baquelita, de manera de plastificarlas para facilitar su manejo en los pasos posteriores.

El proceso de plastificación de estas secciones comienza con su fijación en un cilindro metálico hueco. Luego se introduce baquelita sólida al interior de éste y se tapa con otro cilindro de menor diámetro, para después llevarlo a la prensa donde se le aplica una precarga de presión (3 psi) y temperatura (150 °C aprox.) mediante un sistema eléctrico (Figura 28).

La muestra debe mantenerse por alrededor de unos 25 minutos de tiempo a esa misma presión y temperatura. Después de este tiempo se deja reposar la muestra quitando la temperatura, manteniendo la presión y aplicando los disipadores de calor para enfriarla, luego de estos se extrae la muestra y se procede a dimensionarla (Ancho y largo) y pulirla para llevarla a la máquina de corte, la cual consiste en un disco diamantado que le dará el espesor final para el análisis microscópico (Figuras 28,29, 30, 31, 32 y 33).



Figura 28. A la izquierda se observa la prensa para la elaboración de muestras a base de baquelita. A la derecha baquelita sólida

La realización de este proceso implica tener cuidado, pues la complejidad que involucra dimensionar las secciones correspondientes a la zona de interfase, debe hacerse con delicadeza, de tal manera que estas puedan quedar en buen estado para continuar su procedimiento sobre baquelita.



Figura 29. Fijación y tapado de baquelita en cilindro metálico y aplicación de presión.



Figura 30. Aplicación y extracción del sistema de temperatura una vez transcurrido el tiempo requerido y colocación de los disipadores de calor



Figura 31. Extracción, pulido y dimensionado de la muestra

Después que se dimensiona la muestra, esta se procede a montar sobre la máquina de disco diamantado como se mencionaba anteriormente.



(a)

Figura 32. (a) Muestra de baquelita dimensionada.

(b)

(b) Máquina de disco diamantado



Figura 33. Derecha, montaje y corte de la muestra en el equipo. Izquierda, obtención de la muestra final para análisis microscópico

Luego de tener listas las muestras finales, estas se trasladan hacia el lugar de análisis para poder examinarlas (Figura 34), donde previo a su observación microscópica se les aplica una solución de plata que permite la adhesión de estas al porta-muestra, para posteriormente someterlas a un bañado en oro-paladio, mediante

un sombreador de oro, lo cual permite la conducción de las muestras a través del flujo de electrones que utiliza el microscopio electrónico de barrido.



Figura 34. Equipos utilizados para la examinación de muestras a nivel microscópico. A la izquierda se observa el sombreador de oro, al centro y a la derecha el microscopio electrónico de barrido.

#### 3.2.4 Ensayo de flexo-tracción en losetas reforzadas

Este ensayo aborda el tema principal del presente estudio, el que consiste en evaluar las propiedades de este material composite. Sin embargo es importante hacer un alcance, ya que este trabajo constituye un estudio preliminar en esta materia, es decir, de acuerdo con el número de probetas que se contemplaron, no se utilizó análisis estadístico y el método de análisis se hizo mediante apoyo gráfico (Curvas de carga-deformación) y tablas de datos, los que permitieron establecer comparaciones entre una y otra probeta.

La razón de esto se debió principalmente al tiempo que conlleva la realización de estas probetas y a la disponibilidad de uso del equipo ensayo para este tipo de experiencias.

Otro factor que es importante mencionar, es la experimentalidad de este estudio, ya que si bien las estructuras a fabricadas se hicieron siguiendo los parámetros existentes para el análisis de estructuras reforzadas con acero, de manera de intentar simular el comportamiento de estos elementos, la incorporación de *Chusquea culeou* en estas losetas en favor de las barras de acero comúnmente empleadas, implicó un análisis totalmente experimental, ya que datos acerca de variables propias del acero son desconocidas para el colihue (cuantía de armadura, adherencia colihue-hormigón, etc.), lo que también va acompañado de la inexistencia de una normativa para este tipo de material en estudio.

Es por ello que en razón de lo anterior este estudio se presenta como un trabajo netamente experimental y debe ser analizado como tal, lo que no deja de constituir un referente para estudios posteriores, de manera que a su vez estos puedan obtener resultados y conclusiones más profundas y mayor información, respecto de este material como refuerzo en la estructura que se incorpore.

El siguiente ensayo contempló la elaboración de cuatro losetas de hormigón, de las cuales dos estuvieron reforzadas con *Ch. culeou*, una con refuerzo de acero y la otra sin refuerzo. Básicamente el ensayo consistió en comparar las resistencias alcanzadas por cada uno de estos elementos, con el fin de obtener una apreciación de los resultados que permitiera analizarlos en forma descriptiva.

A continuación se muestra el detalle de los elementos de ensayo conformados.

#### Loseta 1 (Figura 35)

- Espesor: 15cm
- Ancho: 0,50m
- Largo: 1m
- Luz entre apoyos: 0,85m
- Refuerzo: *Chusquea culeou*
- Tratamiento: Xyladecor (protector de maderas)
- Geometría del refuerzo estructural: 14 culmos de *Ch. culeou*, de entre 2-2,3cm de diámetro, dispuestos perpendicularmente entre si.

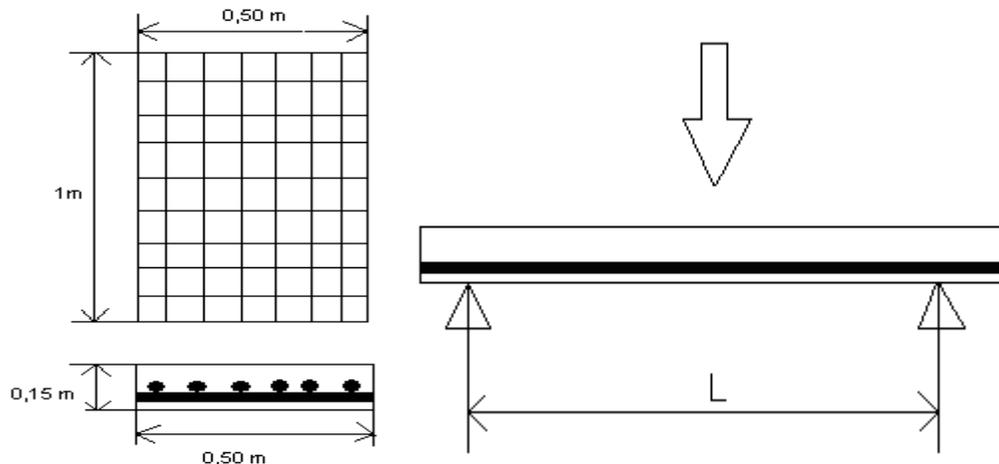


Figura 35. Esquema de loseta 1

#### Loseta 2 (Figura 36)

- Espesor: 15cm
- Ancho: 0,50m
- Largo: 1m
- Luz entre apoyos: 0,85m
- Refuerzo: *Chusquea culeou*
- Tratamiento: Silicato de sodio
- Geometría del refuerzo estructural: 10 culmos de *Ch. culeou* de entre 2-2,3cm de diámetro, dispuestos perpendicularmente entre si.

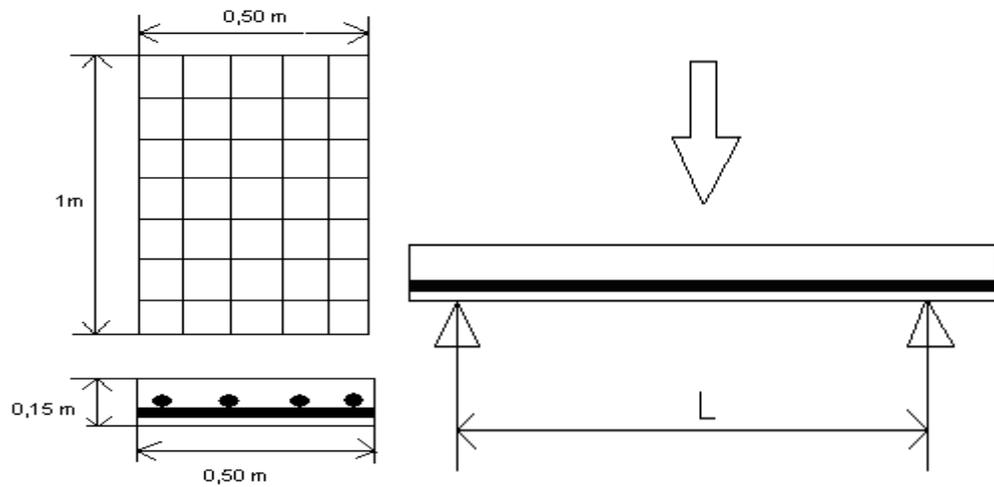


Figura 36. Esquema de loseta 2

### Loseta 3 (Figura 37)

- Espesor: 15cm
- Ancho: 0,50m
- Largo: 1m
- Luz entre apoyos: 0,85m
- Refuerzo: Acero
- Geometría del refuerzo estructural: 10 barras de acero de 8mm diámetro, dispuestas perpendicularmente entre si.

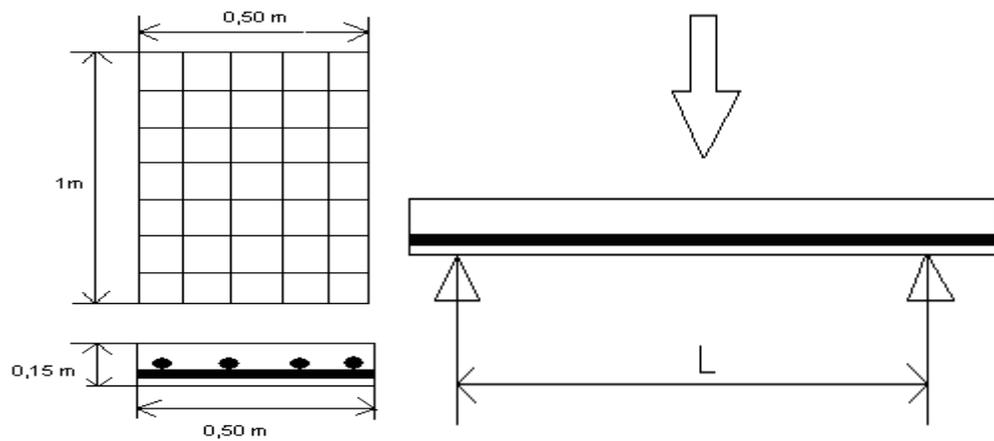


Figura 37. Esquema de loseta 3

#### Loseta 4 (Figura 38)

- Espesor: 15cm
- Ancho: 0,50m
- Largo: 1m
- Luz entre apoyos: 0,85m
- Sin refuerzo

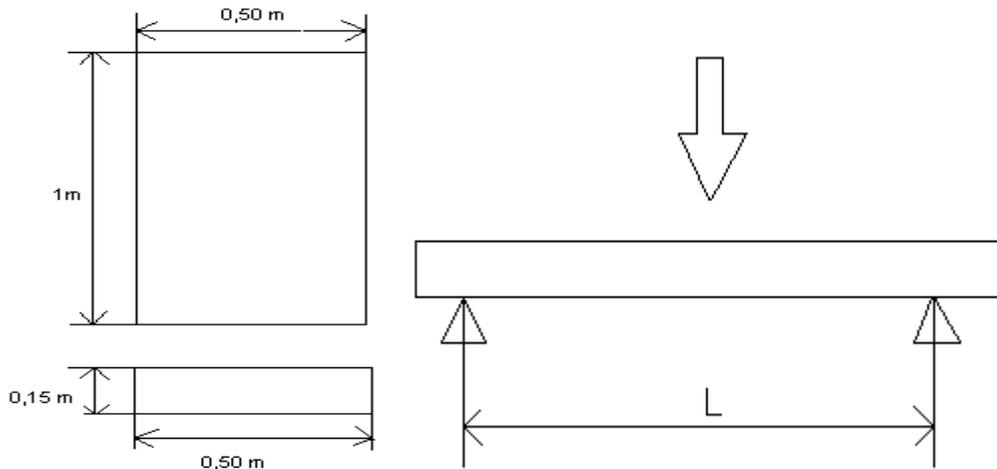


Figura 38. Esquema de loseta 4

El proceso de fabricación de las losetas comienza con la selección de culmos, de los cuales se escogen aquellos que estén en mejores condiciones sanitarias y en lo posible de forma recta. Luego se procede a confeccionar los moldajes donde será depositado el refuerzo y el hormigón, el que se realiza mediante el empleo de tableros de partículas como base o plataforma y tablas de pino radiata que se ajustan a los costados unidas mediante clavos, de manera de conformar las dimensiones de las estructuras de ensayo (Figura 39).



Figura 39. A la izquierda se muestran los culmos a utilizar, a la derecha los moldajes listos para la fabricación de losetas

Una vez listos estos moldajes, se realizó la unificación de cañas de colihue a través de alambres, tal como en el caso de las barras de acero, con el fin de que se construyeran las mallas que actuarían como refuerzo de las estructuras (Figura 40).

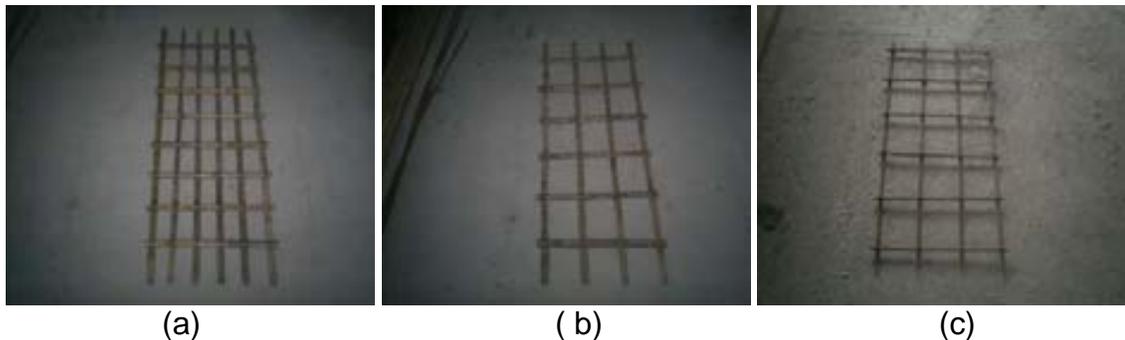


Figura 40. Armaduras. (a) Armadura de 14 colihues (loseta 1). (b) Armadura de 10 colihues (loseta 2). (c) Armadura de acero de 10 barras (loseta 3)

Continuando con lo anterior, el siguiente paso implicó recubrir los culmos de colihue con los tratamientos antes mencionados, lo que se llevó a cabo mediante un pintado con brocha (Figura 41).



Figura 41. (a) Armadura de *Ch. culeou* recubierta con xyladecor (loseta 1). (b) Armadura de *Ch. culeou* recubierta con silicato de sodio (loseta 2)

Culminado este paso se dió inicio al proceso de elaboración de hormigón, el cual se realizó de acuerdo a los parámetros exigidos por norma (dosificación) para la fabricación de hormigón H28.

El hormigonado se llevó a efecto en el Laboratorio de Ensaye de Materiales de Construcción (LEMCO), procedimiento que comenzó con la introducción de los materiales en una vetonera, previo pesaje, medición y humedecimiento (caso de áridos) de estos. Posteriormente, se dió curso al encendido de esta máquina, la que por acción de giro del tambor donde residen los materiales, permitió la interacción y amasado de estos, de tal manera que se obtenga el tipo de mezcla deseada con una buena consistencia.

Después de obtenida la mezcla adecuada se procedió a vaciarla en los moldajes acondicionados para este efecto, los que previamente se les aplicó desmoldante, para hacer mas fácil el decimbre de estos una vez curado el hormigón (Figura 43).

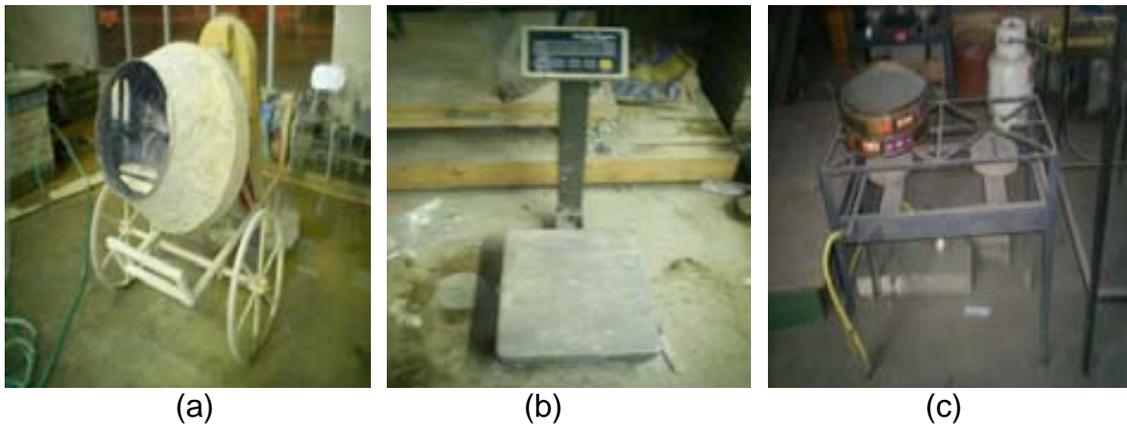


Figura 42. Equipos para medición y fabricación de hormigón. (a) Vetonera para realizar mezcla. (b) Balanza. (c) Quemadores a gas para efectuar correcciones de humedad en áridos



Figura 43. Losetas de hormigón. (a) Loseta de hormigón 1. (b) Loseta de hormigón 2. (c) Loseta de hormigón 3. (d) Loseta de hormigón 4

Finalizado el proceso de hormigonado, se debió dejar reposar el hormigón por un lapso de 28 días a fin de que éste alcanzara la resistencia requerida (Figura 44).



Figura 44. Desmoldado de losetas

Transcurrido el tiempo requerido para que el hormigón haya curado y alcanzado su resistencia óptima, se prosiguió con la etapa final que constó del traslado, montaje y ensayo de estas estructuras.

Las losetas se trasladaron a través de un carro hacia la máquina de ensayo, donde fueron montadas de a una sobre apoyos formados por cubos de hormigón de 15cm. Seguido de esto se inició también el montaje de los implementos necesarios para esta máquina.

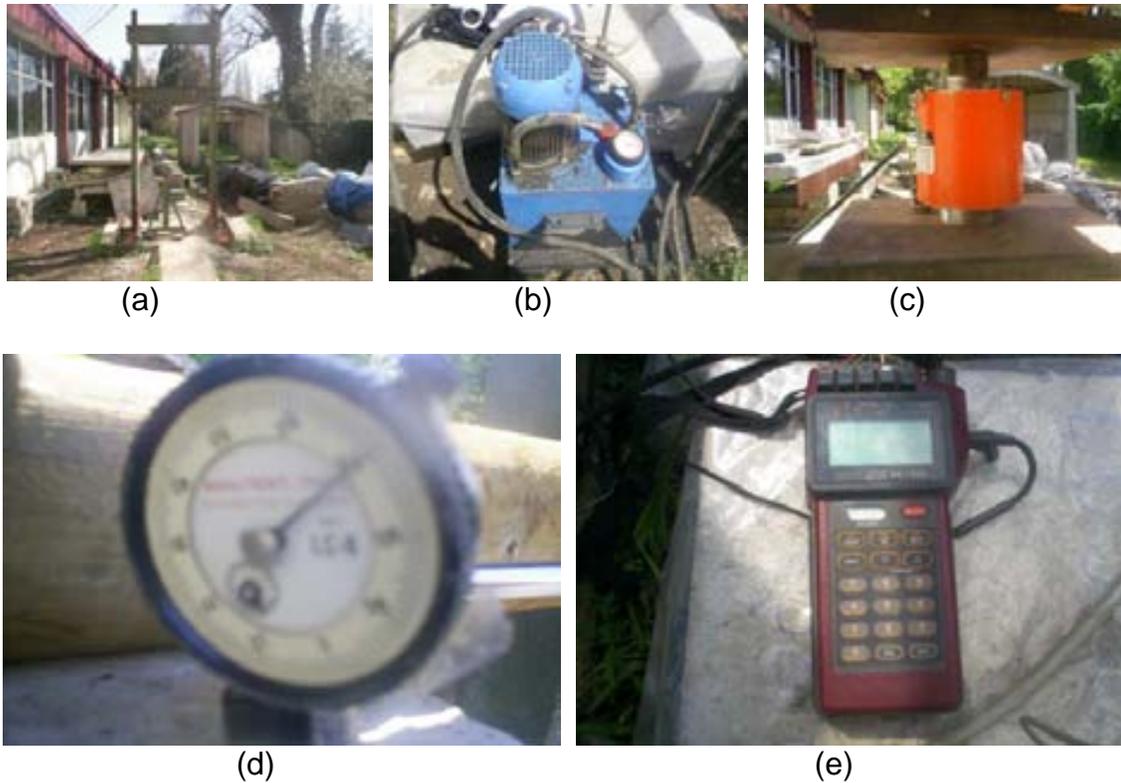


Figura 45. Instrumentos y equipos de ensayo. (a) Marco de carga. (b) Bomba óleo hidráulica. (c) Carga. (d) Dial. (e) Visor digital.

Luego de haber hecho los montajes correspondientes se ejecutaron los ensayos de flexo-tracción a las respectivas losetas, tal como se muestra en la figura 46.



Figura 46. Ensayo de flexo-tracción

La presión ejercida por la bomba óleo hidráulica a través de los conductos hacia el pistón, impulsó la celda de carga, la que a su vez transmitió la fuerza en forma gradual a la estructura en ejercicio. De la misma manera el visor digital fue registrando la fuerza aplicada, debido a la conexión existente entre ambos (celda de carga y visor digital), a la vez que el dial iba indicando las deformaciones existentes.

Terminada esta etapa se comenzaron a realizar los análisis de las estructuras ensayadas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Ensayo de tracción

#### 4.1.1 Probetas con nodo central

El ensayo de este tipo de probetas, permitió comprobar el mecanismo de falla, el cual ocurrió en la parte céntrica donde se encuentra ubicado el nodo (Figura 47).



Figura 47. Probeta ensayada con nodo central

El ensayo de tracción en este tipo de probetas permitió obtener un valor promedio de  $289,89\text{kg/cm}^2$ , lo que a su vez entregó una desviación estándar de  $61,27$ , dando como resultado una resistencia mínima probable de  $147,12\text{kg/cm}^2$  al pronosticar una confianza del 99%.

A continuación, la figura 48 ilustra las resistencias adquiridas por cada probeta.

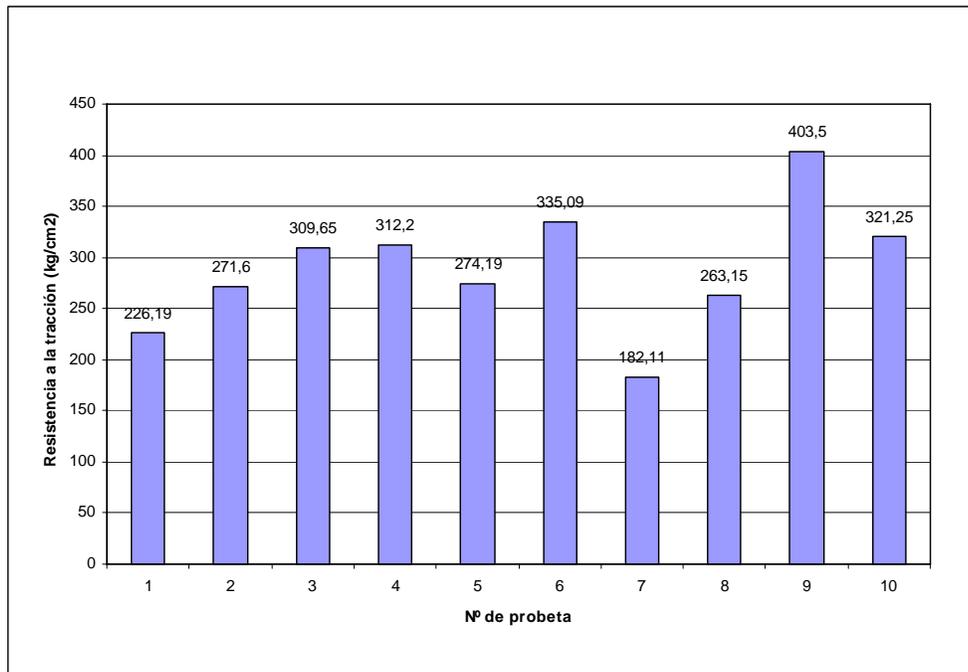


Figura 48. Gráfico de resistencia a la tracción en probetas con nodo central

#### 4.1.2 Probetas Internodales

A diferencia de las probetas con nodo central, estas probetas presentan su mecanismo de falla en los extremos de la zona de ejercicio (Ver figura 49).



Figura 49. Probeta internodal ensayada

La resistencia promedio alcanzada para estas probetas fue de 482kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 105,71 y una resistencia mínima probable de 235,70kg/cm<sup>2</sup> al trabajar con el mismo porcentaje de confianza que las probetas con nodo central (Figura 50).

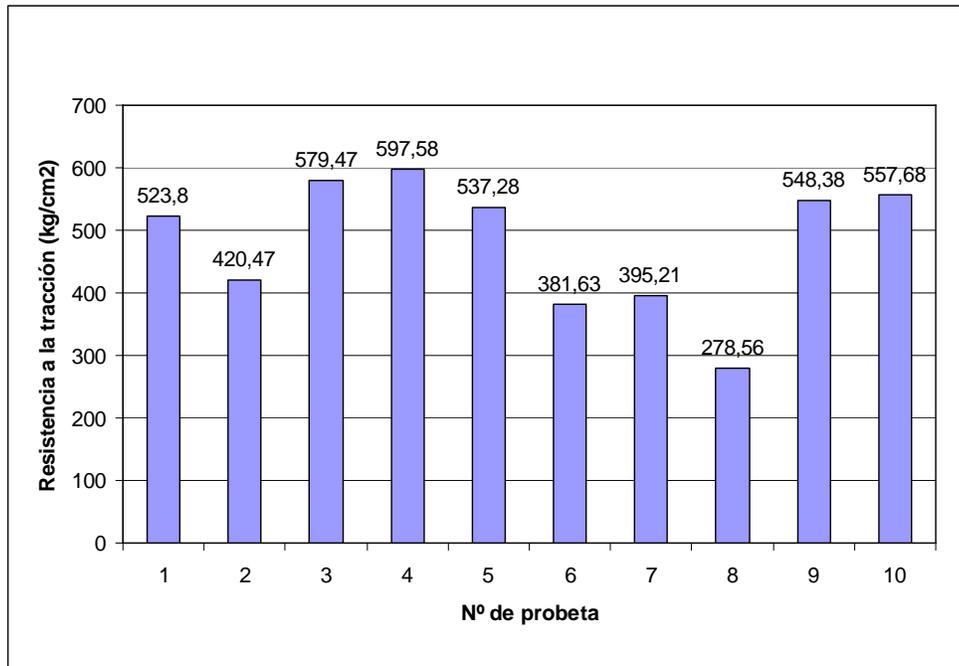


Figura 50. Gráfico de resistencia a la tracción en probetas internodales

Esta variación de resistencias, implica que el referente a tomar en cuenta son los nudos presentes en los culmos, por lo que la resistencia relevante (Resistencia mínima probable) en este aspecto es aquella otorgada por las probetas con nodo céntrico, dato que de alguna manera permite estimar la influencia de este material como refuerzo.

## 4.2 Ensayo mecánico de adherencia

Este ensayo muestra los valores alcanzados por probetas sometidas a esfuerzos de compresión utilizando variados tratamientos.

Las siguientes ilustraciones permiten visualizar de mejor manera el procedimiento de esta experiencia.



Figura 51. Probeta 1 (Carbonileo de petróleo)



Figura 52. Probeta 2 (Algifolcolor)



Figura 53. Probeta 3 (Impermeabilizante wet proof)



Figura 54. Probeta 4 (Xyladecor)



Figura 55. Probeta 5 (Neoprén-arena)



Figura 56. Probeta 6 (Sellador para maderas)



Figura 57. Probeta 7 (Aceite de linaza)



Figura 58. Probeta 8 (Silicato de sodio)



Figura 59. Probeta 9 (Sin tratamiento)



Figura 60. Probeta 10 (Acero)

A continuación el cuadro 9 muestra los valores promedio alcanzados por estas probetas (Los valores generales de este ensayo se pueden apreciar en el anexo).

Los resultados obtenidos de este ensayo se pueden graficar de la siguiente manera (Ver figura 61).

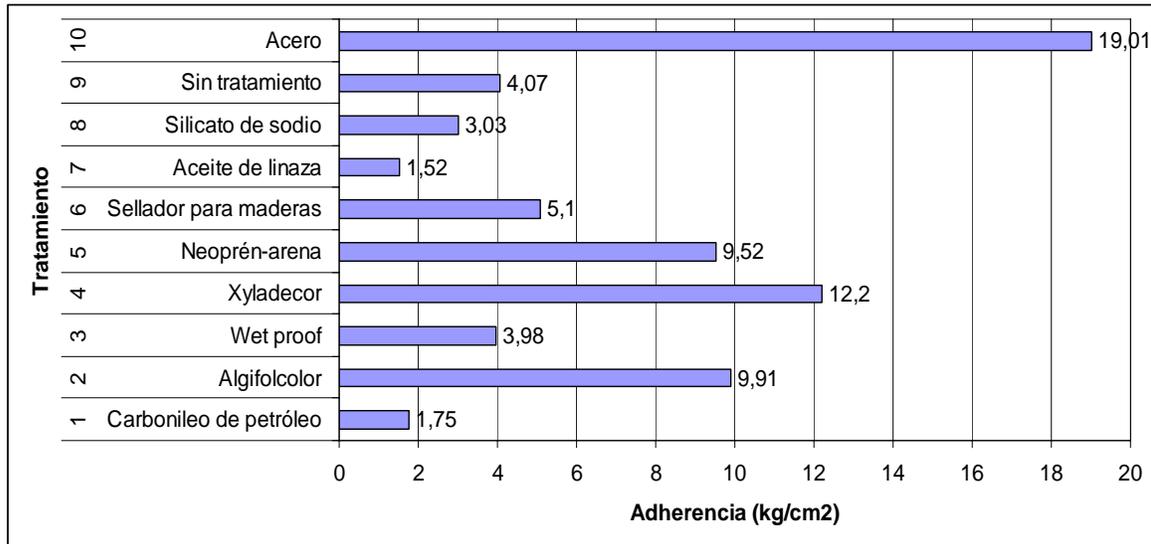


Figura 61. Gráfico de adherencia mecánica (Valores promedios)

De acuerdo con el presente gráfico se puede observar la influencia de estos tratamientos sobre esta propiedad (Adherencia), la cual permite establecer diferencias entre una y otra probeta, apreciándose que el mayor valor obtenido en probetas de colihue-hormigón se produjo en aquella que tuvo por tratamiento el producto xyladecor (número 4), lo que corresponde a un 64,17% del valor total obtenido en probetas testigos de acero (número 10), debido probablemente a la acción protectora que brinda este producto contra el agua de amasado, mejorando la adherencia entre estos materiales.

### 4.3 Análisis microscópico de adherencia

Este análisis permitió la observación a nivel microscópico de la interfase entre los elementos involucrados en la unión (hormigón-tratamiento-colihue).

Las siguientes figuras muestran en detalle la unión de los materiales colihue-hormigón según el producto o tratamiento aplicado. Para ello se realizaron tres tomas o vistas de cada muestra con el objetivo de obtener una vista panorámica, una vista intermedia y una vista de acercamiento de la interfase.

Muestra 1: Carbonileo de petróleo

-Vista panorámica: Apreciación visible de las zonas de interfase del material composite. En la parte superior izquierda se observa material correspondiente a colihue y en la parte inferior derecha, material de hormigón (Figura 62).

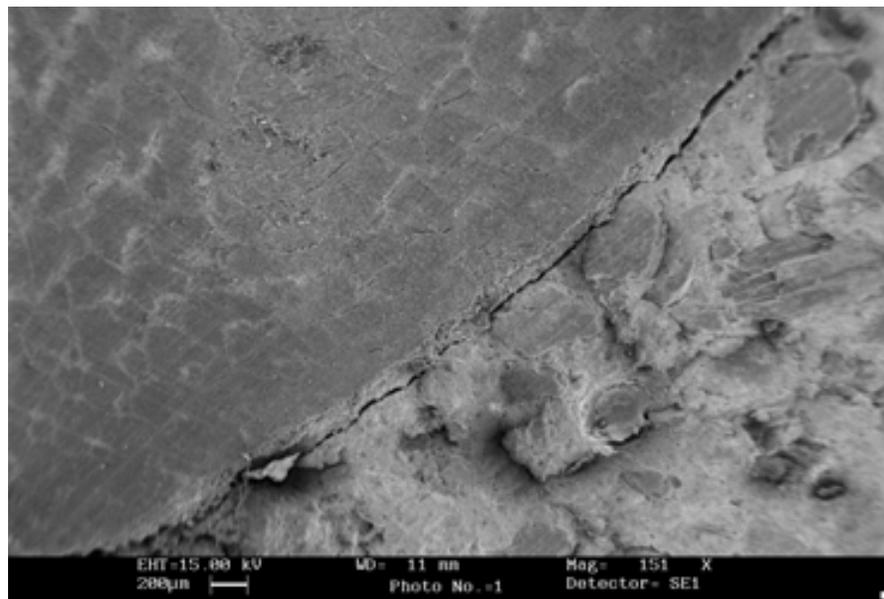


Figura 62. Vista panorámica de muestra 1

-Vista intermedia: Apreciación de las zonas de interfase en mayor magnitud, se observan zonas adheridas y no adheridas entre colihue-hormigón (Figura 63).

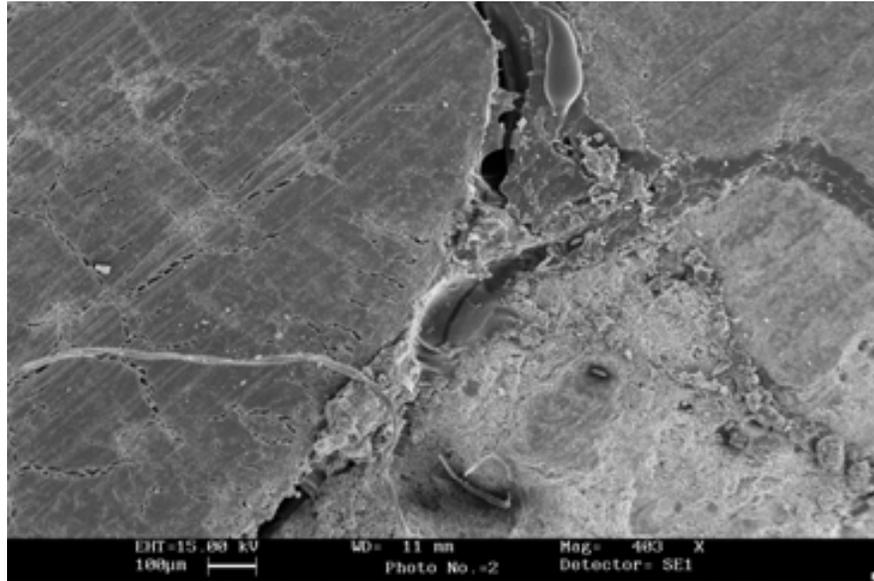


Figura 63. Vista intermedia de muestra 1

-Vista de acercamiento: Esta vista permite observar en detalle la adhesión del tratamiento aplicado, el cual se ve que es en zonas parciales de la interfase (Figura 64).

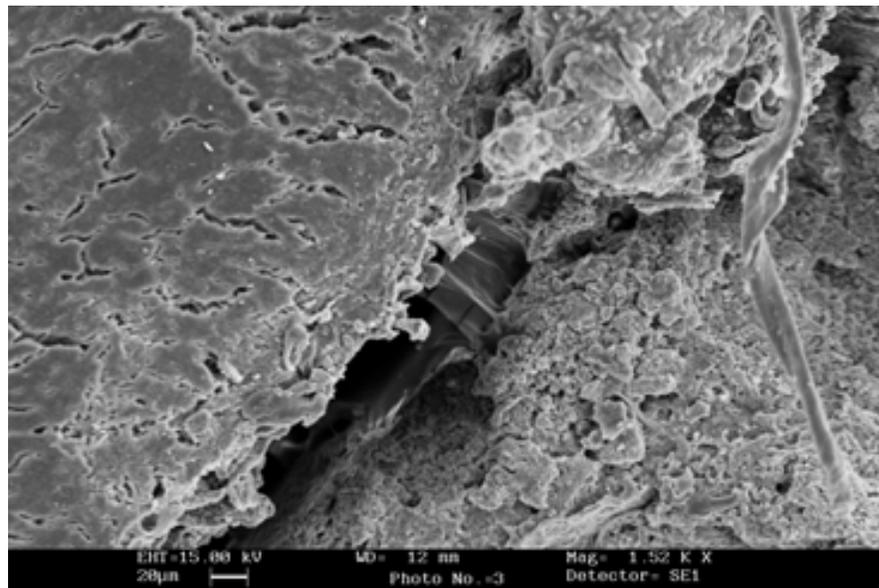


Figura 64. Vista de acercamiento de la interfase colihue-hormigón en muestra 1

## Muestra 2: Algifolcolor

-Vista panorámica: A la izquierda se observa hormigón rodeado por baquelita, mientras que a la derecha se ve la presencia de colihue. Notoriamente se logra divisar la interfase entre estos dos materiales (Figura 65).

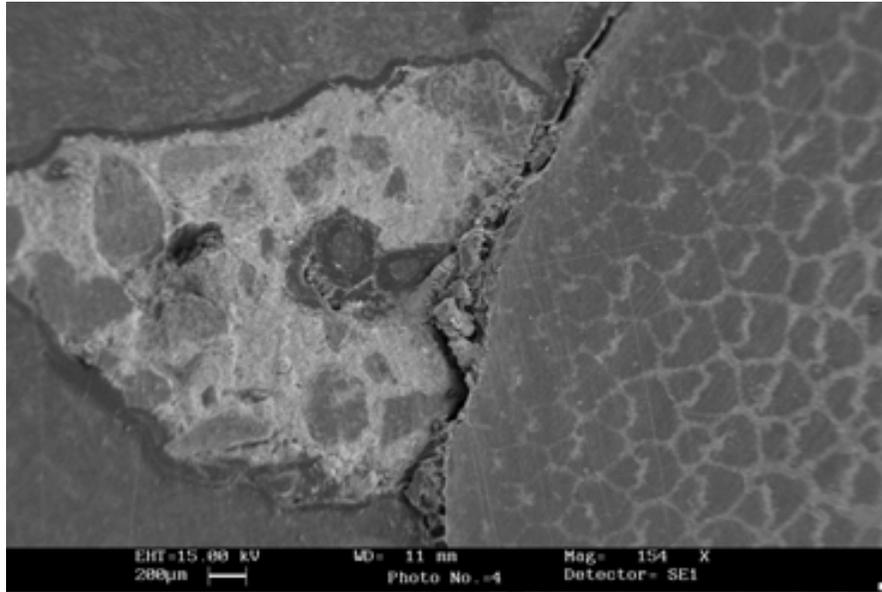


Figura 65. Vista panorámica de muestra 2

-Vista intermedia: Se observa una unión de estos materiales a través de una línea continua. No obstante se divisan desprendimientos de algunas zonas de hormigón (Figura 66).

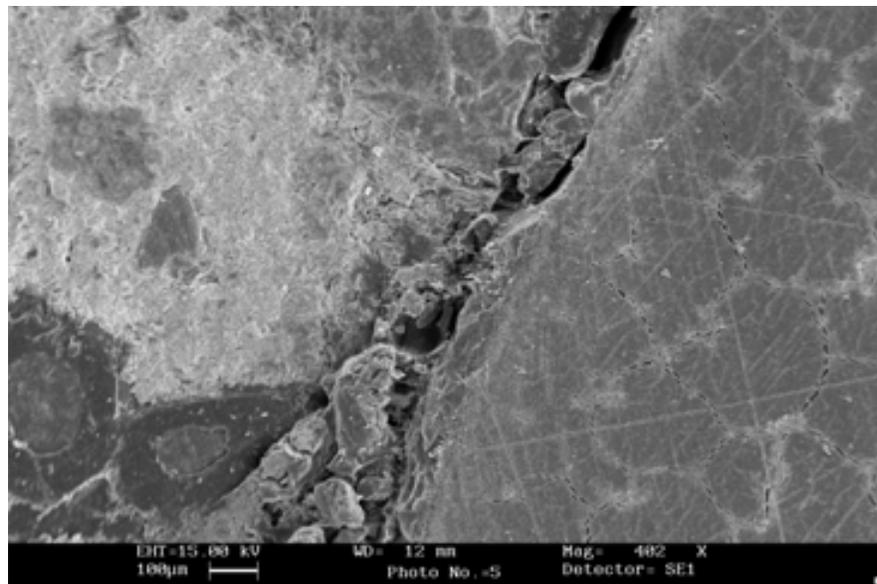


Figura 66. Vista intermedia de zonas de interfase de muestra 2

-Vista de acercamiento: A mayor escala se denota la adhesión de algifolcolor en ambos materiales, lo que también se ve traducido en un desprendimiento de hormigón en las zonas de unión (Figura 67).

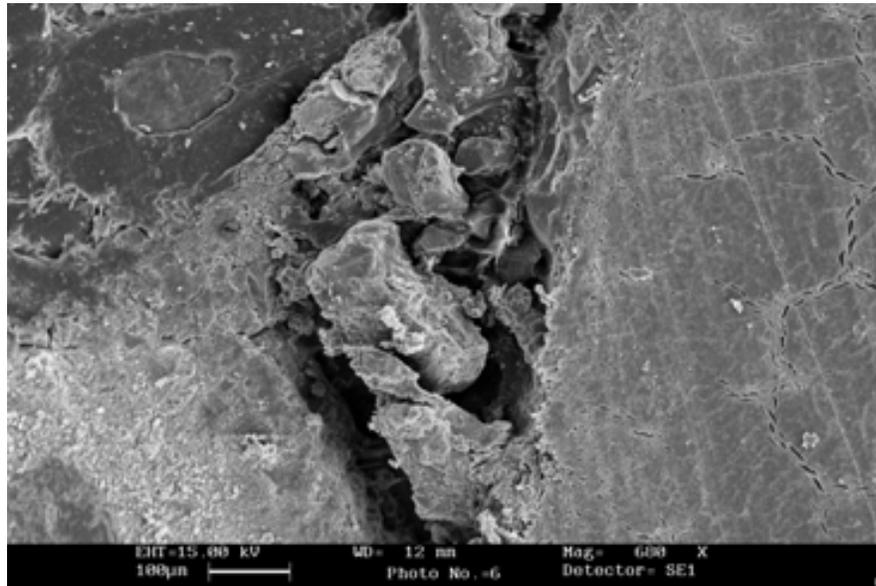


Figura 67. Vista de acercamiento en zonas de interfase de muestra 2

### Muestra 3: Impermeabilizante wet proof

-Vista panorámica: Colihue sector superior izquierdo, al centro la interfase y en el sector inferior derecho, material de hormigón. Visualización de la línea de interfase continua (Figura 68).

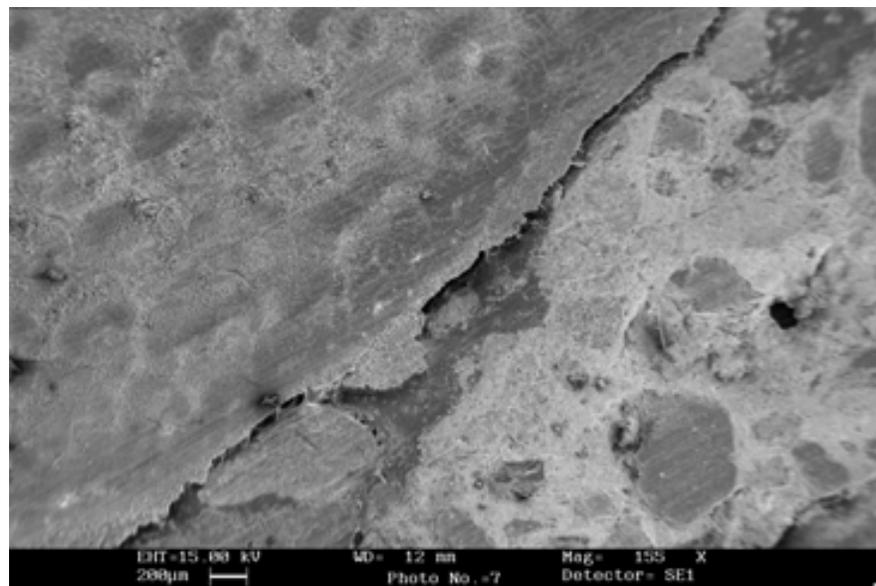


Figura 68. Vista panorámica de las zonas de unión de muestra 3

-Vista intermedia: Zonas de interfase amplificadas, con escasa presencia de impermeabilizante (Figura 69).

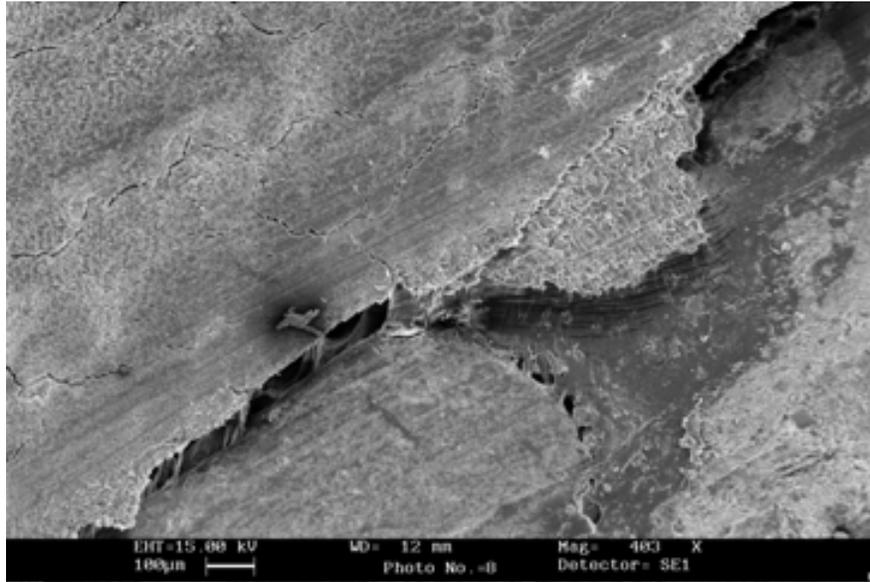


Figura 69. Vista intermedia de unión colihue-hormigón de muestra 3

-Vista de acercamiento: Aquí se puede notar con claridad los espacios vacíos dejados por el impermeabilizante en una zona de la interfase (Figura 70).

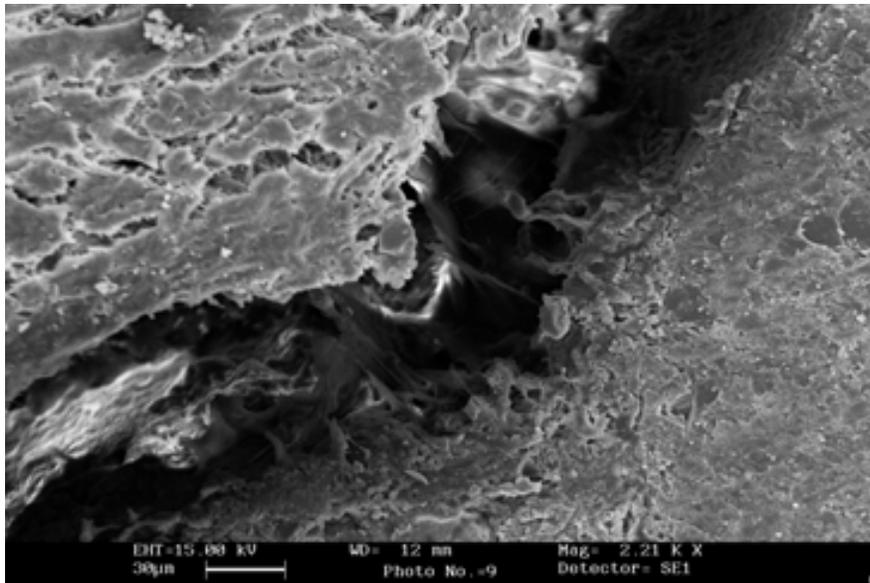


Figura 70. Vista de acercamiento en las zonas de interfase de muestra 3

Muestra 4: Xyladecor

-Vista panorámica: A la izquierda *Chusquea culeou*, sector céntrico el adherente y a la derecha hormigón (Figura 71).

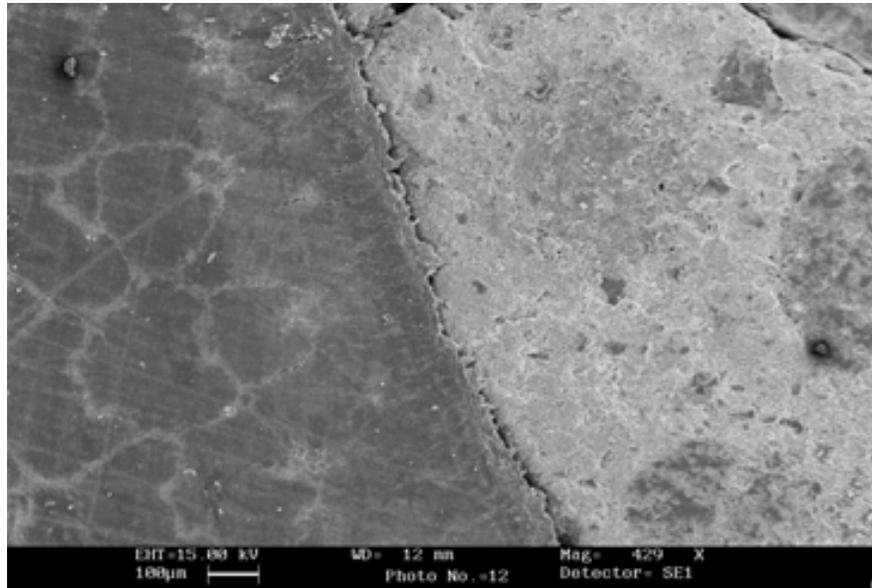


Figura 71. Vista panorámica de zonas de interfase muestra 4

-Vista intermedia: Apreciación leve del producto aplicado, con algunas zonas de unión más pronunciadas (Figura 72).

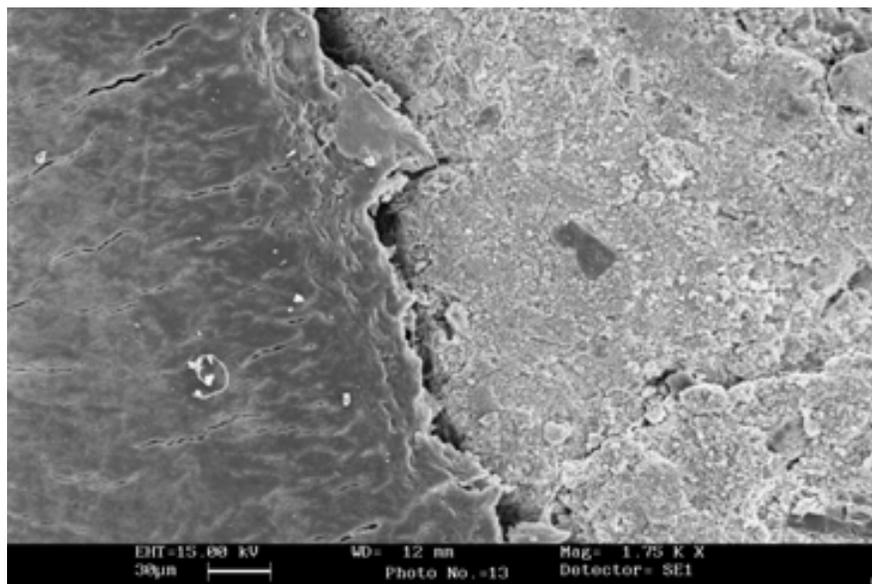


Figura 72. Vista intermedia de unión de muestra 4

-Vista de acercamiento: Presencia del tratamiento aplicado en zonas parciales de la unión (Figura 73).

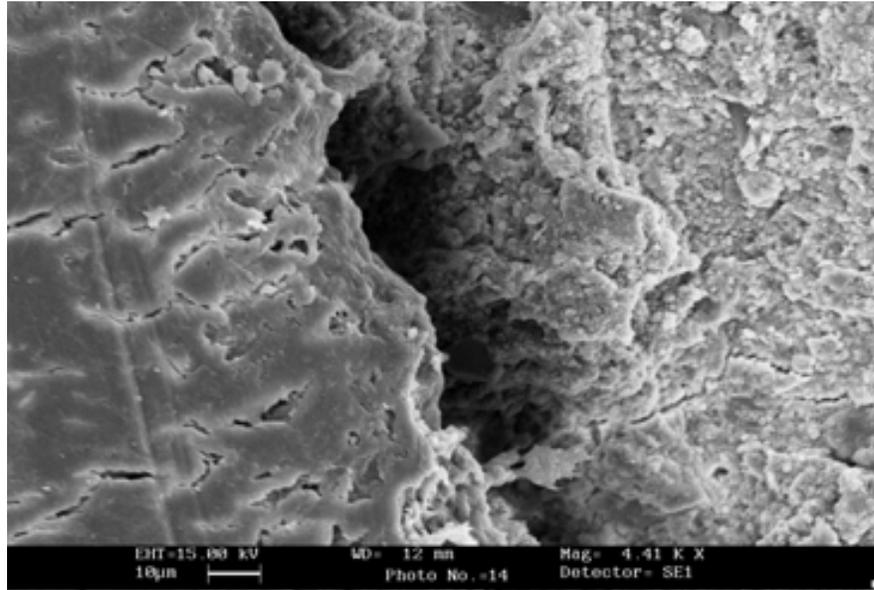


Figura 73. Vista de acercamiento en zonas de unión de muestra 4

Muestra 5: Neoprén-arena

-Vista panorámica: Visualización de hormigón a la izquierda y colihue a la derecha (Nótese la escasa pronunciación de la interfase entre estos materiales) (Figura 74).

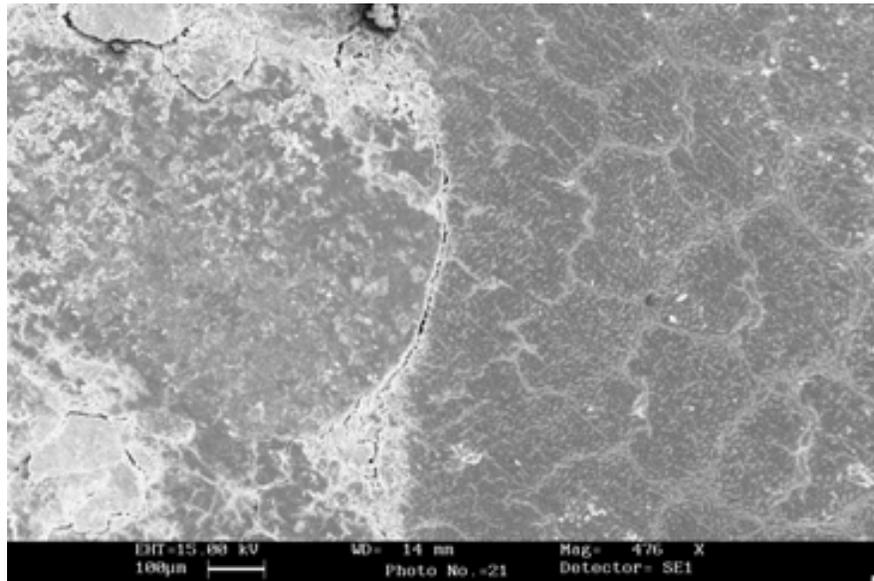


Figura 74. Vista panorámica en las zonas de interfase de muestra 5

-Vista intermedia: Apreciación mas notoria de la interfase hormigón, neoprén-arena y colihue (Figura 75).

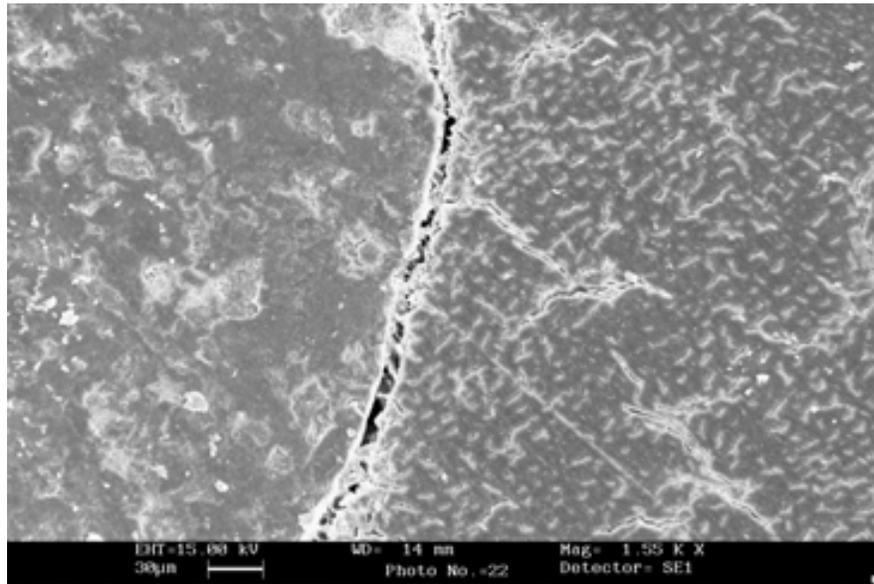


Figura 75. Vista intermedia de las zonas de unión de muestra 5

-Vista de acercamiento: Notable presencia de adherente entre las zonas de unión de colihue y hormigón. Se observa una adherencia de estos materiales en gran parte de sus puntos de interfase (Figura 76).

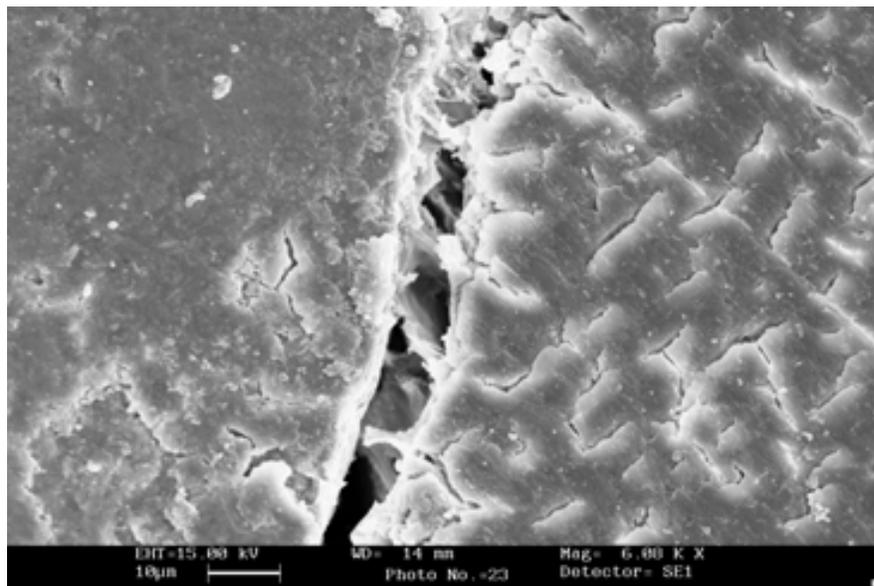


Figura 76. Vista de acercamiento en las zonas de interfase en muestra 5

## Muestra 6: Sellador para maderas

-Vista panorámica: Existencia de una irregular línea de unión entre colihue (arriba) y hormigón (abajo), la que se va perdiendo de derecha a izquierda (Figura 77).

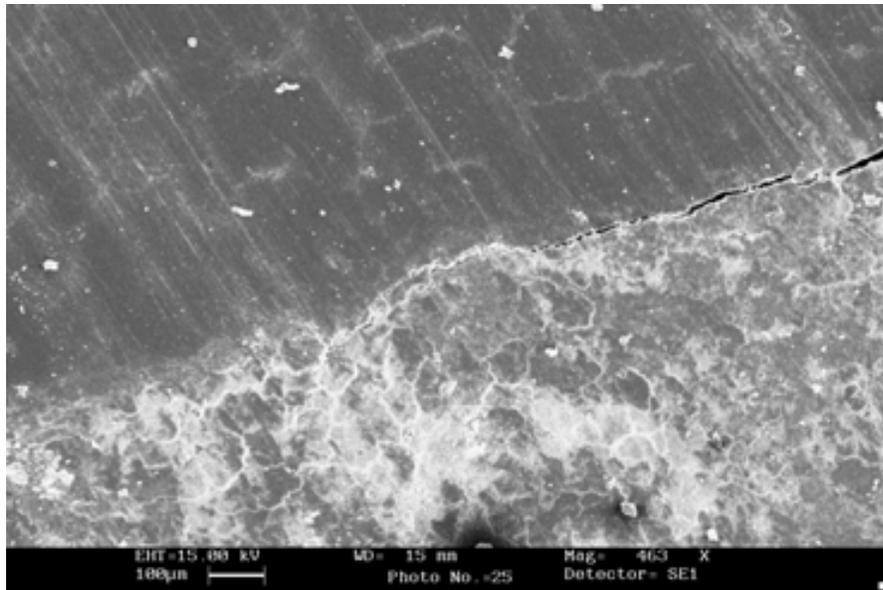


Figura 77. Vista panorámica de las zonas de unión de muestra 6

-Vista intermedia: Notación de la interfase de los materiales involucrados semejante a una grieta, la que es discontinua en ciertos tramos (Figura 78).

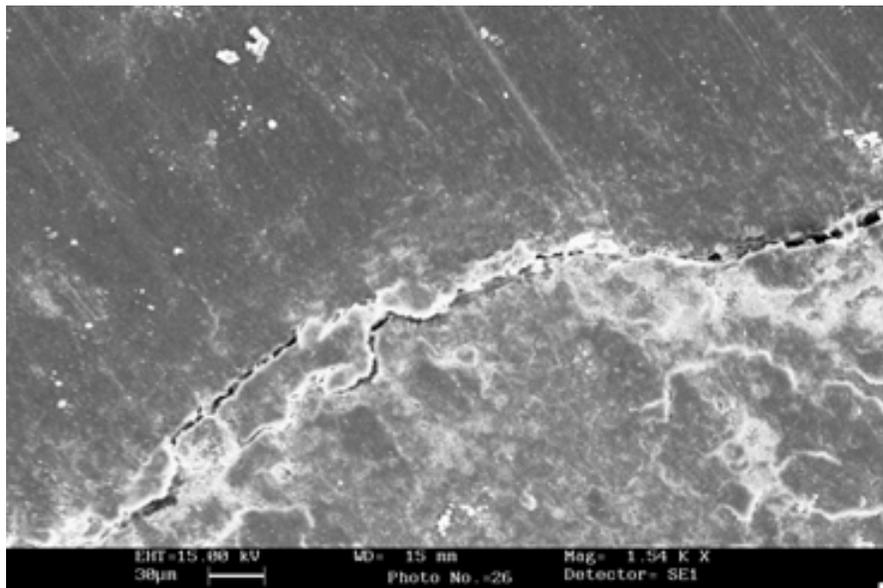


Figura 78. Vista intermedia en zonas de interfase de muestra 6.

-Vista de acercamiento: Magnificación de los puntos de encuentro de los materiales en cuestión, con una aparente ausencia del tratamiento aplicado (Figura 79).

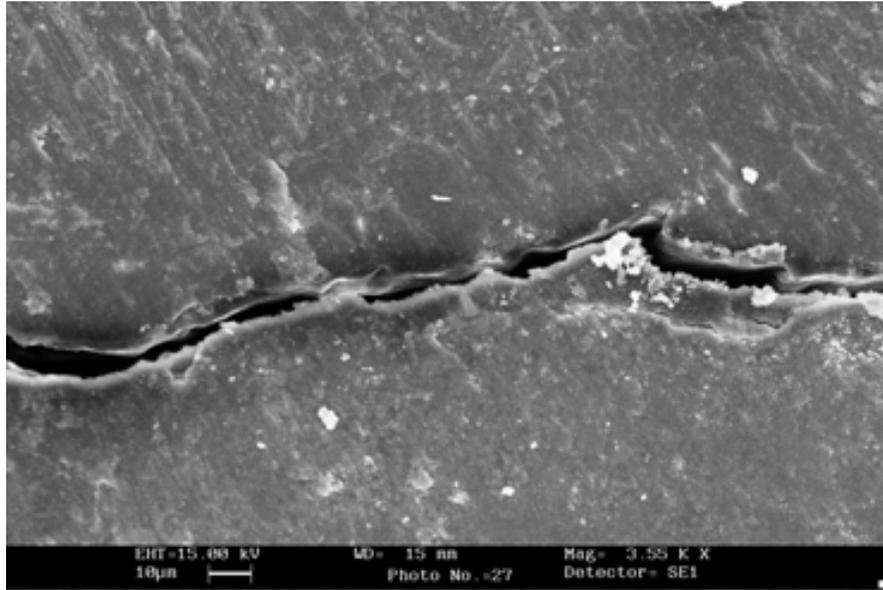


Figura 79. Vista acercamiento de las zonas de interfase en muestra 6

#### Muestra 7: Aceite de linaza

-Vista panorámica: Geografía de los elementos en contacto. Esquina inferior izquierda, sección de hormigón, parte central, unión de materiales (línea de tono blanquecino) y esquina superior derecha, sección de colihue junto a un resto de baquelita (Figura 80).

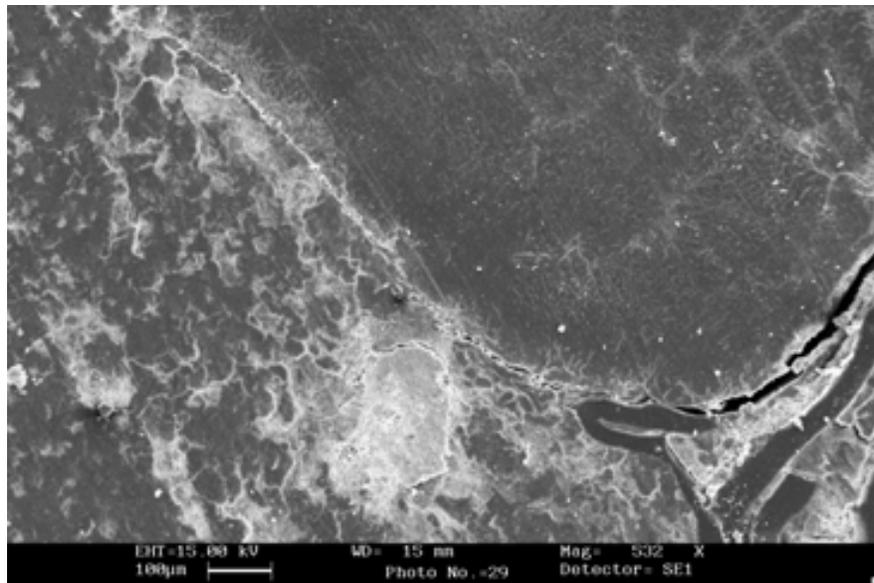


Figura 80. Vista panorámica en muestra 7

-Vista intermedia: Primeros avistamientos del impermeabilizante aplicado (Figura 81).

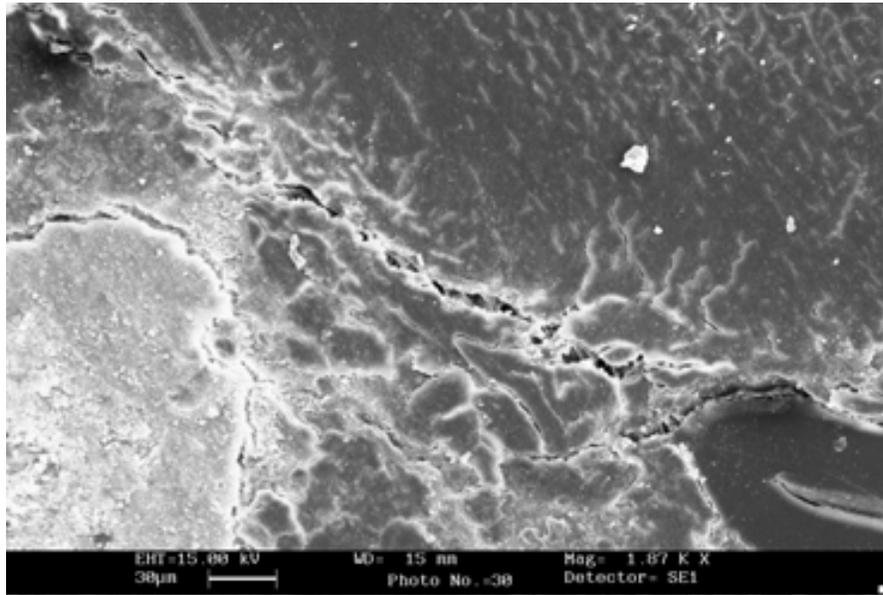


Figura 81. Vista intermedia en muestra 7

-Vista de acercamiento: Presencia de material impermeabilizante en zonas de hormigón y colihue. Se puede ver con claridad la afinidad entre estos materiales existente en la mayor parte del tramo de unión (Figura 82).

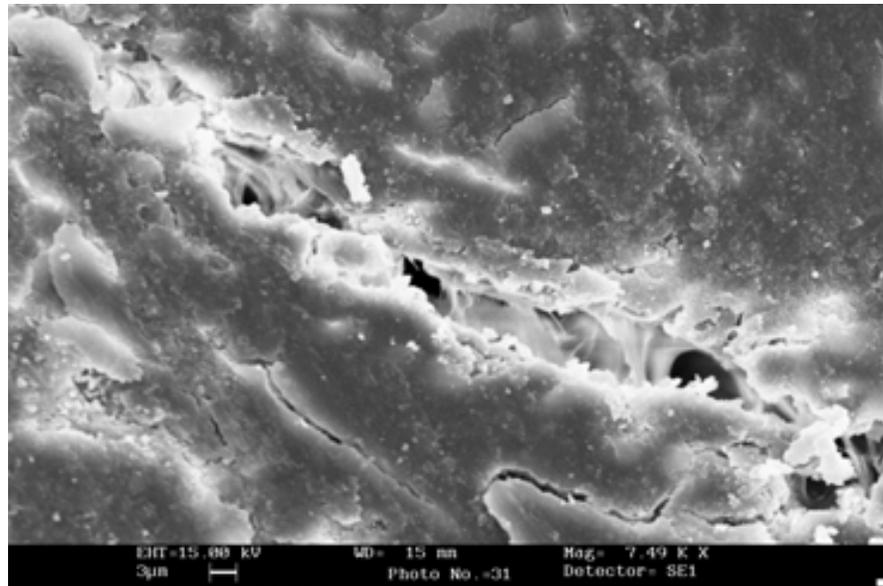


Figura 82. Vista de acercamiento en muestra 7

Muestra 8: Silicato de sodio

-Vista panorámica: Material composite. Interacción de los componentes de esta muestra. A la izquierda *Ch. culeou* y a la derecha hormigón (Figura 83).

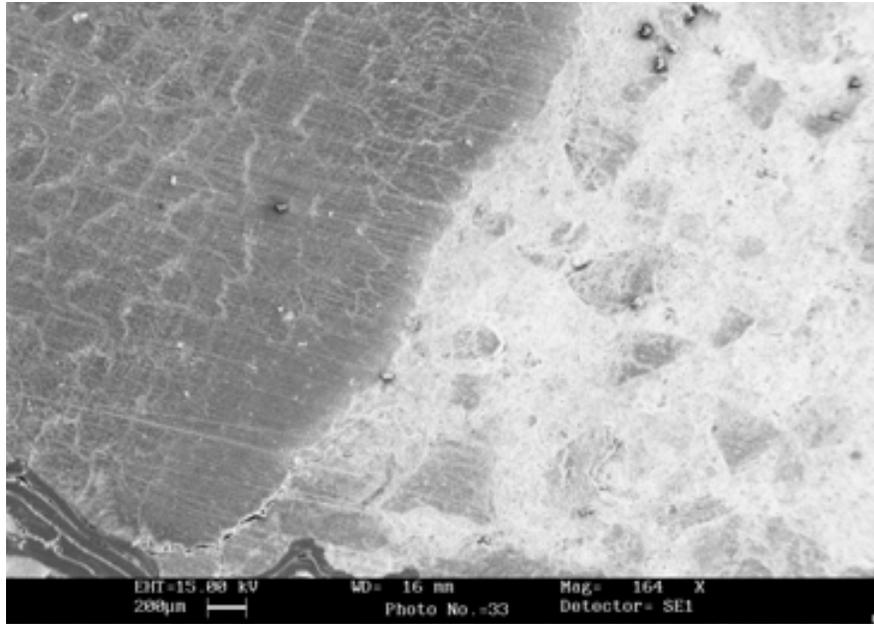


Figura 83. Vista panorámica de muestra 8

-Vista intermedia: Aquí se puede observar una importante relación entre materiales, por ello mismo la interfase entre estos se muestra casi inexistente, como si se estuviera viendo un solo componente del elemento compuesto (Figura 84).

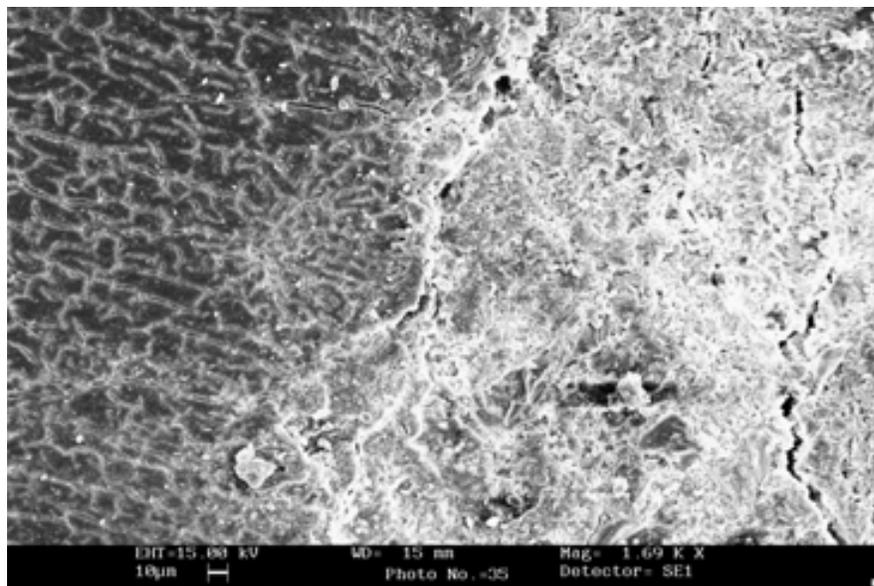


Figura 84. Vista intermedia de las zonas de interfase en muestra 8

-Vista de acercamiento: La existencia de una abertura en forma de grieta en el costado izquierdo de la fotografía, permite visualizar una zona de interfase en la totalidad de la muestra. No obstante la discontinuidad de estas zonas puede dar un indicio de la adherencia existente (Figura 85).

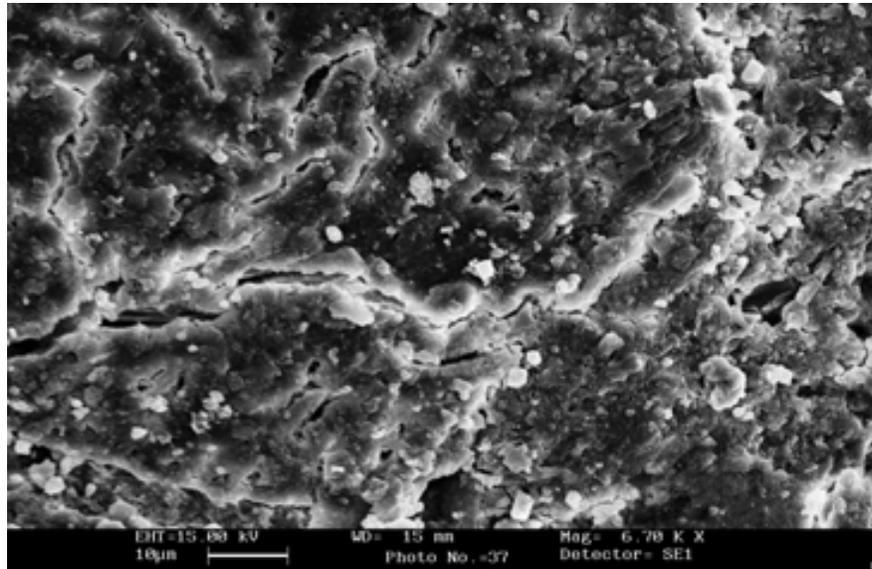


Figura 85. Vista de acercamiento de la zona de unión del material compuesto en muestra 8

#### Muestra 9: Sin tratamiento

-Vista panorámica: Analogía de componentes en contacto. A la izquierda de la fotografía, presencia de colihue, mientras que a la derecha se aprecia hormigón unido a baquelita (Figura 86).

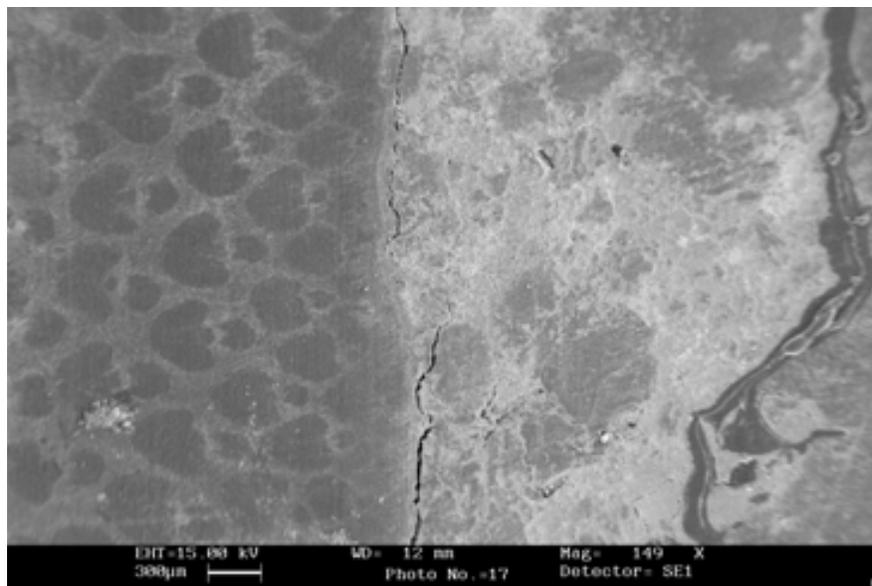


Figura 86. Vista panorámica de las zonas de unión de colihue-hormigón, muestra 9

-Vista intermedia: Manifestación de la interfase a través de fisuras. Véase la discontinuidad de las zonas de unión entre material vegetal y material pétreo (Figura 87).

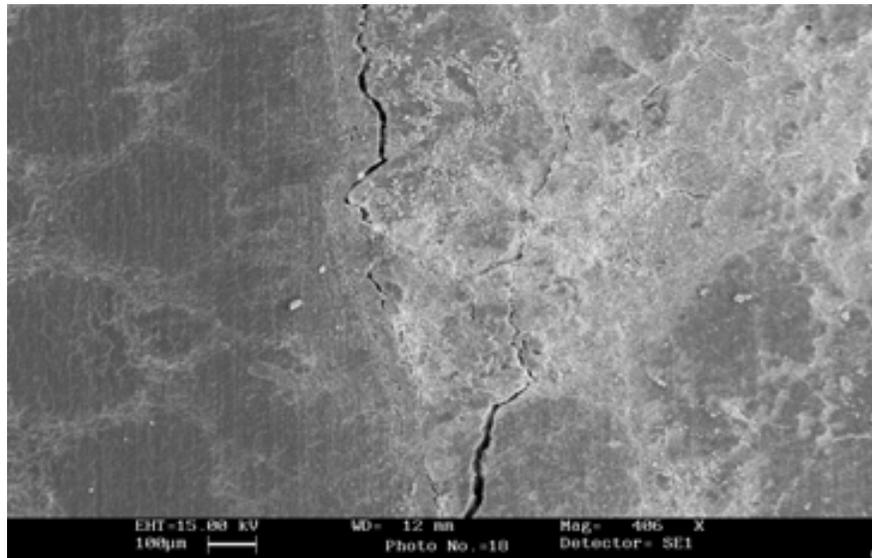


Figura 87. Vista intermedia en las zonas de interfase muestra 9

-Vista de acercamiento: Magnificación de las zonas de interacción entre colihue-hormigón. Se observa una línea regular de interfase entre ambos materiales con algunas zonas de hormigón más cercanas a la cutícula del colihue (Figura 88).

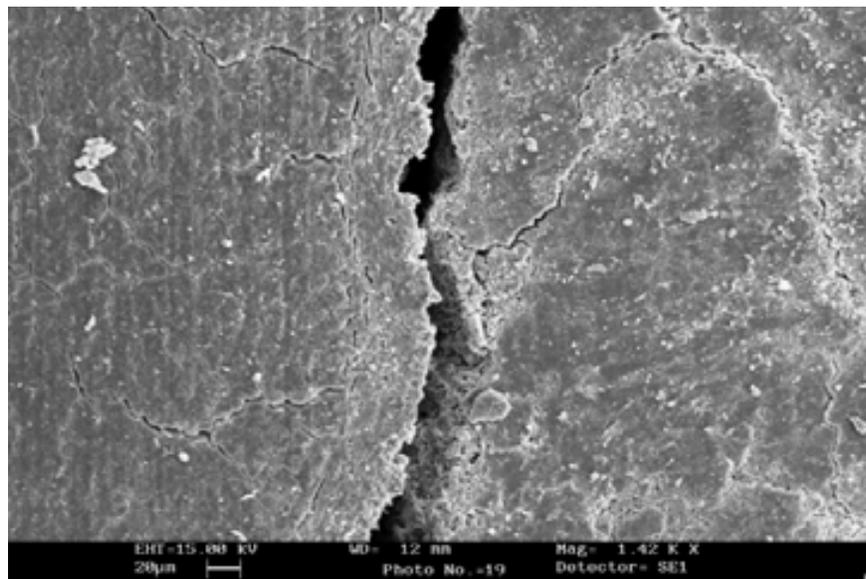


Figura 88. Vista de acercamiento de las zonas de contacto colihue-hormigón en la muestra 9

#### 4.4 Ensayo de flexo-tracción en losetas reforzadas

El siguiente ensayo o experiencia resume los trabajos efectuados conjuntamente, con el fin de dar respuesta a los objetivos planteados. Los resultados y análisis de esta experiencia dan cuenta de los mecanismos de falla y las diferencias producidas entre los elementos de ensayo, una vez que son puestos a prueba.

Loseta 1: Armadura de 14 colihues (Figura 89)



Figura 89. Aplicación de carga sobre loseta 1

El aumento gradual de la fuerza aplicada, produjo agrietamientos en los costados de la estructura, los que se fueron magnificando, conforme se acrecentaba la carga hasta producir el colapso de total de esta (Figura 90).



Figura 90. Mecanismo de falla de loseta 1

De acuerdo con el modo de falla de la loseta 1 se observa que durante los primeros tramos de carga (500-1500kg), la deformación es mínima, es decir se aprecia visiblemente una zona inelástica sin presencia de grietas (Figura 91). Se alcanzan módulos de elasticidad de aproximadamente 155790kg/cm<sup>2</sup> en los tramos de 500 y 1000kg.

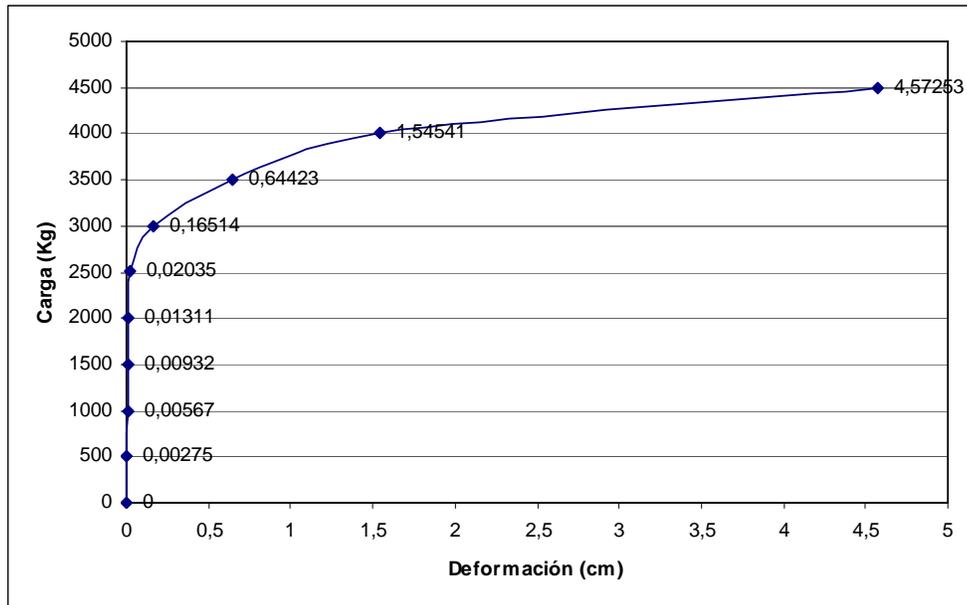


Figura 91. Gráfico de carga-deformación en loseta 1

Al aumentar la carga se observa que en los sectores de 2000-3000kg, la deformación se acrecienta un poco más específicamente en los 3000kg y se comienzan a visualizar grietas en los costados de la estructura. Este es el punto donde comienza a colapsar el hormigón y donde el refuerzo aplicado empieza a tomar parte importante. El módulo de elasticidad alcanzado en los tramos 2000-2500kg es de 62832kg/cm<sup>2</sup>.

Finalmente se aprecia un último tramo más elástico, donde ya se visualiza una mayor deformación de la loseta, lo que trae consigo una mayor prolongación de las grietas laterales de esta, tal como se aprecia en la figura 91. La profundidad y expansión de las grietas afloradas producen el colapso total de la estructura, la que ocurre a los 4500kg.

Loseta 2: Armadura de 10 colihues (Figura 92)



Figura 92. Aplicación de carga sobre loseta 2

El modo de falla de esta loseta fue similar al de la primera, donde los aumentos de carga, provocaron fisuras o grietas de tensión en el concreto, las que se magnificaron conforme transcurría el avance gradual de la fuerza (Figura 93).



Figura 93. Mecanismo de falla de loseta 2

La observación del gráfico (Figura 94) permite apreciar poca deformación durante los primeros tramos de carga, tal como ocurrió en la estructura anterior. En este tramo (500-1000kg) se obtiene un módulo de elasticidad de 149149kg/cm<sup>2</sup>.

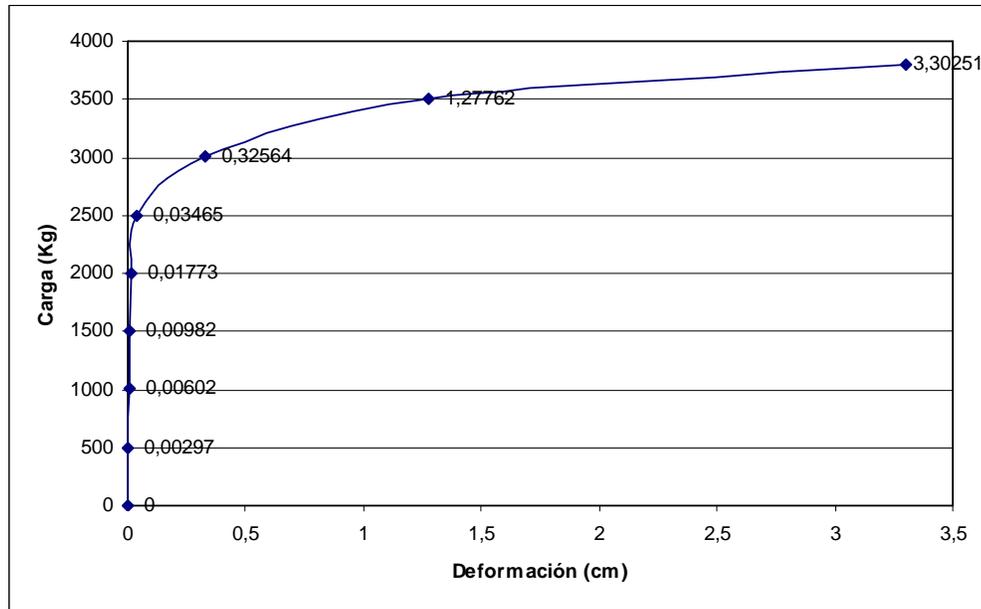


Figura 94. Gráfico de carga-deformación en loseta 2

A partir de los 1700kg aproximadamente se denota un poco más de elasticidad en esta loseta sin agrietamiento alguno. No obstante al llegar a los 2000kg de fuerza se manifiesta una grieta de tracción por los costados de la loseta, la que va tomando importancia mientras mayor es la intensidad de la carga en servicio.

La rotura del hormigón, permite que los culmos de colihue comiencen a soportar los esfuerzos de tracción en la sección agrietada, lo que ocurre a partir de los 2000 y 2500kg, obteniéndose para este efecto un módulo de elasticidad de 26885kg/cm, menor al alcanzado por la loseta1. Sin embargo la mayor ductilidad de esta estructura se manifiesta transcurridos los 2500kg de fuerza, concordando con una mayor elasticidad, pero con zona agrietada o fisurada.

Como consecuencia de los esfuerzos aplicados, la loseta con refuerzos de colihue tipo 2 se rompe en su totalidad a los 3800kg, carga menor a la soportada por la primera loseta, pero con un leve aporte de ductilidad.

### Loseta 3 (Figura 95)



Figura 95. Aplicación de carga sobre loseta 3

La loseta con armadura convencional de acero experimentó fallas por agrietamientos, propias de este tipo de estructuras sometidas a este ensayo. Sin embargo las resistencias obtenidas son considerables, puesto que el material de refuerzo (acero), permitió soportar de buena forma las debilidades del hormigón (Figura 96).



Figura 96. Mecanismo de falla de loseta 3

Al igual que en las estructuras anteriores se observa escasa deformación durante los primeros tramos de fuerza aplicada, lo que se ve traducido en zonas poco elásticas (Figura 97). Se obtiene entre los rangos 500-1000kg un módulo de elasticidad de 132626kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente.

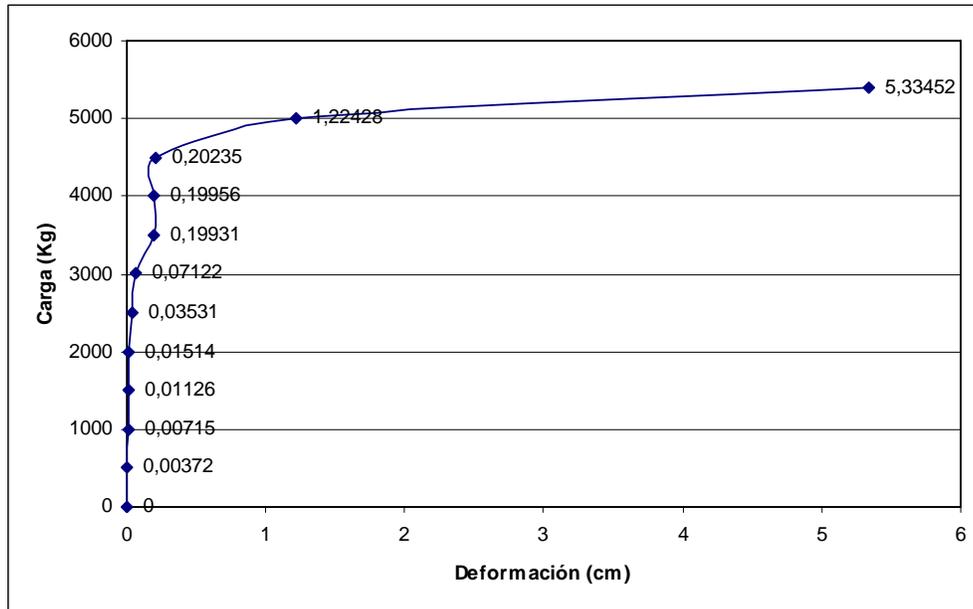


Figura 97. Gráfico de carga-deformación en loseta 3

Ya en zonas superiores de la curva se observan deformaciones un tanto mayores, las que se comienzan a manifestar a partir de los 2500kg hacia delante, observándose la presencia de grietas en los 3200kg de carga. Estas grietas de tracción comienzan a denotar la falencia del hormigón ante estos esfuerzos, las que se acrecientan mientras mayor es la carga, produciendo la rotura del material pétreo en esta zona y permitiendo el soporte de estos esfuerzos por parte del acero como material de refuerzo.

Llegada a una fuerza de 3500kg, el acero comienza a resistir los esfuerzos en la zona traccionada del hormigón, donde al principio la curva se muestra inelástica con un módulo de elasticidad de 1819629kg/cm<sup>2</sup> entre los 3500-4000kg de fuerza. De aquí en adelante la estructura en ejercicio se comporta dúctilmente a medida que la carga sigue en aumento.

Como resultado del agrietamiento en la zona de tracción del hormigón, estas mismas (grietas) se extienden hasta llegar a la superficie de la estructura, ocasionando que finalmente se produzca la ruptura de la loseta por compresión, la que ocurre a los 5401kg de carga.

## Loseta 4 (Figura 98)



Figura 98. Aplicación de carga sobre loseta 4.

El comportamiento de esta loseta ante esfuerzos de carga se manifestó de manera similar a las anteriores estructuras en algunos tramos. No obstante la escasa resistencia que ofrece el hormigón a los esfuerzos de tracción y la ausencia de refuerzo, produjo que la estructura colapsara de golpe sin afloramiento de grietas superficiales (Figura 99).



Figura 99. Mecanismo de falla de loseta 4

En las primeras aplicaciones de carga se aprecia la inelasticidad de la curva en vista de la poca deformación que se produce (Figura 100). Se obtiene un módulo de elasticidad de 135793kg/cm<sup>2</sup> para los tramos 500-1000kg.

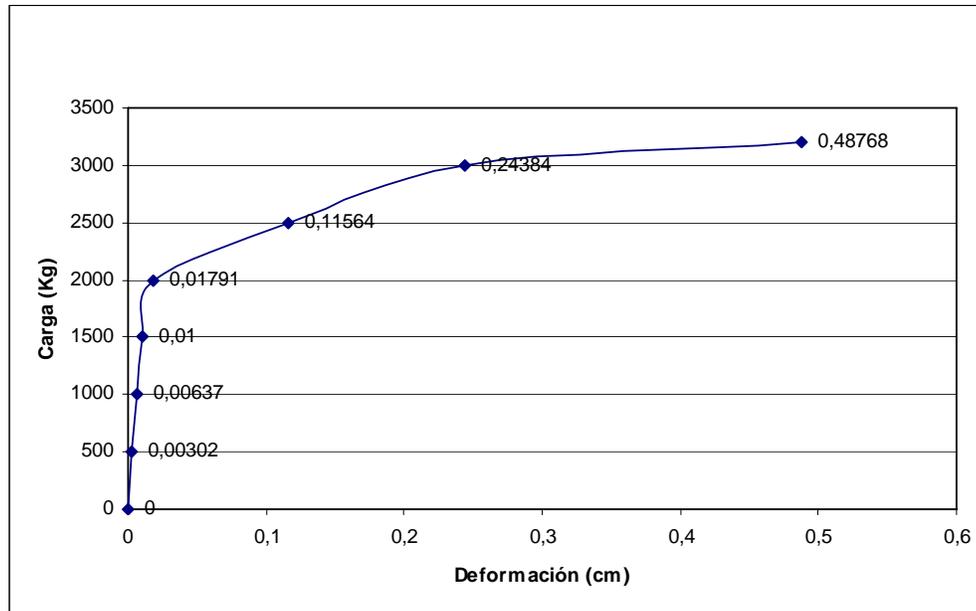


Figura 100. Gráfico de carga-deformación en loseta 4

Entre los 1500 y 2500kg se empieza notar un poco más de elasticidad por parte de la curva aunque aún así es mínima. El módulo elástico entre los 1500-2000kg alcanza los 64894kg/cm<sup>2</sup>.

Llegando a los 3200kg de carga, se produce el rompimiento de la estructura en forma sorpresiva.

Luego de obtenidos los resultados por estas estructuras, se pueden comparar gráficamente, tal como lo muestra la figura 101.

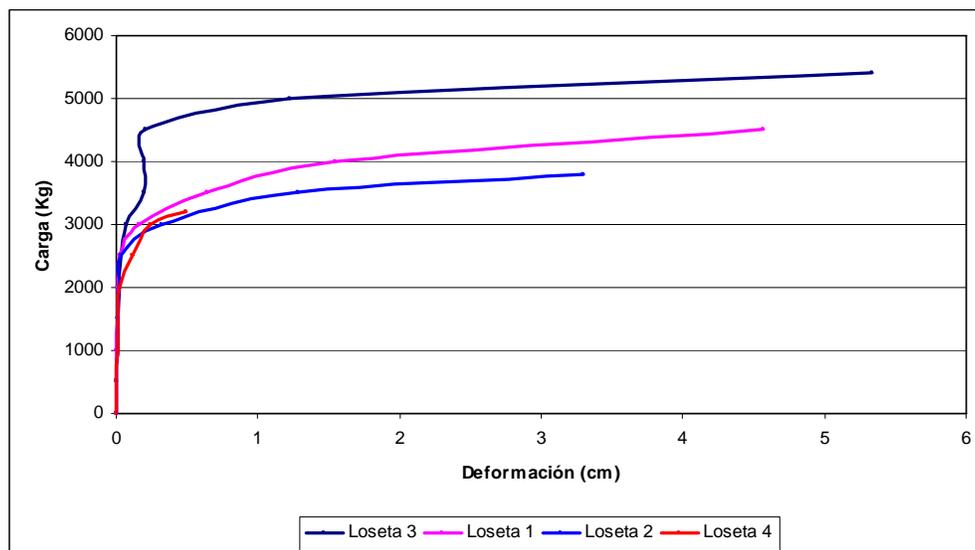


Figura 101. Grafico comparativo de las losetas

De los resultados alcanzados por cada loseta se puede deducir que:

En cuanto a las losetas reforzadas con armadura de *Chusquea culeou* se obtuvieron altos niveles de resistencia, los que incluso superaron a una de las probetas testigo.

La loseta 1 (Reforzada con 14 culmos de colihue), presentó una resistencia de un 83,31% del total alcanzado por la loseta reforzada con acero, mientras que comparada con la loseta sin refuerzo la resistencia obtenida fue de un 40,62% superior.

La loseta 2 (Reforzada con 10 culmos de colihue), presentó una resistencia de un 70,35% del total alcanzado por la loseta testigo reforzada con acero y un valor porcentual de un 18,75% de resistencia superior a la loseta sin refuerzo.

## 5. CONCLUSIONES

La realización de ensayos de tracción en probetas de *Chusquea culeou*, permitió conocer en cierta forma la resistencia de esta especie de bambú a este tipo de esfuerzo, obteniéndose mayor grado de resistencia en zonas internodales mas que en los nodos. La resistencia promedio alcanzada en las probetas internodales fue un 39,85% mayor al de las probetas nodales, lo que permitió a su vez superar en un 37,58% a este tipo de probetas en lo que respecta a su resistencia mínima probable.

Un mecanismo de prueba adecuado consistiría en realizar ensayos de tracción en colihues utilizando trozos de culmos con su diámetro normal, es decir sin ser procesados, de manera tal de obtener valores más estimativos, respecto de este esfuerzo. No obstante el astillamiento y/o deterioro que sufren estos culmos antes de llegar a su carga de rotura, producto de la fuerza que ejercen las mordazas sobre estos, hacen inapropiado el uso de este material en estado natural para este tipo de experiencia.

El ensayo mecánico de adherencia desarrollado en las probetas de colihue-hormigón, demostró que el tratamiento Xyladecor obtuvo los mejores resultados entre sus pares, alcanzando una adherencia de 122kg/cm<sup>2</sup>, cifra que corresponde a un 64,17% del valor obtenido en probetas de acero-hormigón, lo que implica que las propiedades de este compuesto permiten mantener impermeabilizada la caña de colihue de mejor manera protegiéndola contra la humedad del hormigón y aumentando su adherencia.

De los demás tratamientos utilizados se pudo comprobar que algifolcolor ocupa el segundo lugar, puesto que logró un valor de 9,91kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a un 52,13%, sin embargo parece resultar un tratamiento menos eficiente que el primero. Por ultimo el tratamiento neoprén-arena obtuvo el tercer lugar registrando una adherencia de 9,52kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a un 50,07%, no obstante pese a ello este tratamiento manifestó una buena disposición al adherirse de buena forma entre el culmo de colihue y el hormigón. Cabe agregar a esto también los desplazamientos por adherencia, los cuales fueron de 2mm para Xyladecor, 2,7mm para Algifolcolor y 2mm para Neoprén-arena.

Respecto del análisis microscópico de adherencia llevado a cabo también en muestras correspondientes a los tratamientos utilizados, se pudo apreciar importantes imágenes que dan cuenta de la relación en plena zona de interfase, esto es entre colihue, impermeabilizante y hormigón.

La visión microscópica permitió observar la adhesión manifestada por los materiales involucrados en las zonas de unión, apreciándose en la mayoría de las muestras la fijación de material impermeabilizante entre culmos de colihue y restos de hormigón. Esta fijación obedece principalmente a fuerzas de tipo químicas y mecánicas desarrolladas por el contacto del tratamiento aplicado a los culmos de colihue, como por el contacto con el hormigón que rodea o envuelve la caña.

Las examinaciones hechas a estas muestras, permitieron constatar que las fallas ocurridas se desarrollaron por mecanismos de penetración y plasticidad, no obstante es importante señalar que estas fallas van a depender del tratamiento o producto que sea empleado.

Las muestras 1 (Carbonileo de petróleo), 2 (Algifolcolor), 3 (Wet proof), 4 (Xyladecor), 6 (Sellador para maderas) y 9 (Sin tratamiento), mostraron adherencia irregular en las zonas de interfase manifestada por la discontinuidad de la unión (También llamada línea de cola) en gran parte de estas, presentando además fallas de penetración con los materiales en contacto. En tanto las muestras 5 (Neoprén arena), 7 (Aceite de linaza) y 8 (Silicato de sodio), presentaron adherencia mas compacta u homogénea en sus zonas de unión, a la vez que registraron fallas por plasticidad del tratamiento aplicado.

De los ensayos de flexo-tracción practicados a las losetas, se pudo comprobar la diferencia existente entre estas, debido a la resistencia manifestada por cada una de ellas, obteniéndose resultados favorables por parte de las losetas reforzadas con *Chusquea culeou*, las que incluso fueron superiores a los resultados obtenidos por una de las probetas testigo.

Los 4500kg de carga soportados por la loseta 1, permitieron establecer una resistencia de un 83,31% del total expresado por la loseta reforzada con acero y de un 40,62% superior a la loseta sin refuerzo. Mientras que los 3800kg soportados por la loseta 2 presentaron una resistencia de un 70,35% del total alcanzado por la loseta reforzada con acero y de un 18,75% superior a la loseta sin refuerzo.

La rotura de las losetas reforzadas con culmos de colihue producida a mas de los 3000kg de carga, permiten deducir la incidencia que tiene este tipo de refuerzo en el material composite aportando resistencia, elasticidad y ductilidad a la estructura.

La utilización de culmos de *Chusquea culeou* para la conformación de armaduras en este tipo de estructuras, se consideró en un número arbitrario de 14 y 10 culmos, lo que en vista de los resultados obtenidos hace presumir que el rango óptimo de refuerzo debería figurar entre estos números, puesto que una cantidad mayor a los 14 culmos podría causar problemas de circulación del hormigón entre estos y a su vez la consecuente dificultad para envolverlos, ocasionando que queden espacios vacíos y generando además problemas en el vibrado de este material (hormigón).

El contenido de humedad registrado en los culmos (21% aprox.) asociados a los tratamientos superficiales aplicados, evitaron cambios dimensionales de mayor envergadura, permitiendo que, tanto los ensayos de flexo-tracción, como los de adherencia se desarrollaran de manera natural.

Si bien la presente tesis es un estudio básico o preliminar, cuya realización y análisis son basados en la experimentalidad, las estructuras fabricadas bien podrían ser aplicables como placas planas que podrían ser soportadas por vigas, columnas, muros o directamente sobre el suelo, haciendo alusión a la función que cumplen las

losas de hormigón, pero en menor escala o también utilizándolas como pilares, muros y tabiquerías.

La utilización de bambú y en especial de la especie *Chusquea culeou*, ha constituido en algunos sectores rurales un material necesario en actividades agrícolas y de pequeñas construcciones. Sin embargo el desconocimiento en cuanto a sus propiedades la ha hecho aplicables a roles de poca importancia. Hoy en día ya se tienen estudios referentes a sus características y de aplicaciones en algunas áreas, con la consecuente incorporación de tecnologías en su transformación. Por esto mismo el considerar la ampliación del uso de esta materia prima en la construcción de pequeñas estructuras o elementos prefabricados, puede verse como una buena opción, sobre todo cuando se presenta en beneficio del usuario de pocos recursos y de sectores rurales.

La aplicación de *Chusquea culeou* como refuerzo en estas estructuras, permitió conocer el comportamiento de este material en su combinación con el hormigón, lo que de alguna manera hace predecir su utilización en ciertas áreas de esta materia, lo que resulta interesante si consideramos que se presenta como una alternativa de bajo costo con propiedades aceptables.

Finalmente es importante señalar que el presente estudio se puede tomar como una primera apreciación de la introducción de *Chusquea culeou* como refuerzo en hormigón, lo que permite hacerlo aplicable no solo con este material (hormigón), sino que también con otros que puedan ser de características estructurales como el mortero, adobe, entre otros. No obstante se debe tener en cuenta que para ello es necesario también el estudio de normativas y nuevas técnicas o diseños con un número de ensayos determinantes para las estructuras que se deseen conformar, estudios que serían interesantes de realizar y analizar.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Campos, J.; R. Peñaloza. 1999.** Boletín del bambú en Chile. 1 (1). 8p
- Campos, J.; R. Peñaloza. 2003.** Boletín del bambú en Chile. 1 (4). 20p
- Campos, J.; R. Peñaloza.; C. Kahler.; H. Poblete.; J. Cabrera. 2003.** Bambú en Chile. 62-90p
- Hidalgo, O. 1978.** Nuevas técnicas de construcción con bambú. Bogotá. Centro de investigación del bambú CIBAM. 137p
- Jiménez, P.; A. García.; F. Morán. 1978.** Hormigón armado. 9a. Edición ed. Gustavo Gili. Vol.1 33-169
- Kossatz, G. 1964.** Die Wirkung von Holzinhaltstoffen und Abbindereglern bei der Herstellung zementgebundener Holzwolleleichtbauplatten. Baustoffindustrie. (8): 250-252p
- Leet, K. 1991.** Reinforced Concrete Design, 2a. Edición ed. McGraw-Hill. pp. 35
- Londoño, X.; L. Clark.; E. Judziewicz.; M. Stern. 1999.** American bamboos. USA. Smithsonian Institution. 392p.
- Matthei, O.1997.** Las especies del género Chusquea Kunth (Poaceae: Bambusoideae), que crecen en la X Región, Chile. Gayana Bot. 34 (2): 119-120p
- McCormac, J. 2002.** Diseño de concreto reforzado. 4a. Edición ed. Alfaomega. 784p
- Montiel, M. 1998.** Cultivo y uso del bambú en el Neotrópico. International Journal of Tropical Biology and Conservation 46 (3). 88p
- Nilson, A.; G. Winter. 1994.** Diseño de estructuras de concreto. 11a. Edición ed. McGraw-Hill. 770p
- Parker, H. 1971.** Diseño simplificado de concreto reforzado. México. Editorial Limusa. 21-60p
- Poblete, H.; M. Zárate. 1986.** Influencia de los extraíbles sobre las propiedades de la madera y su utilización como materia prima. Publicación docente N° 20. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 55p
- Poblete, H. 2001.** Tableros de partículas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 177p

- Riesco, A. 2002.** Caracterización del crecimiento de especies de bambúes nativos e introducidos en el bambusetum. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 42p
- Saeman, J. 1950.** Zur Kinetik der Hydrolyse des Holzes und der Zersetzung der Zucker in verdünnten Säuren bei hohen Temperaturen. *Holzforschung* 4 (1): 1-14p
- Saliger, R. 1953.** El hormigón armado. 2a. Edición ed. Labor. 802 p
- Sandermann, W. und Dehn, U. Von. 1951.** Einfluss chemischer Faktoren auf die Festigkeitseigenschaften zementgebundenen Holzwolleplatten. *Holz als Roh- und Werkstoff* 9 (3): 97-101p
- Sandermann, W. und Brendel, M. 1956.** Die Zementvergiftende Wirkung von Holzinhaltstoffen und ihre Abhängigkeit von der chemischen Konstitution. *Holz als Roh- und Werkstoff* 14 (8): 307-313p
- Sanderman, W. und Kohler, R. 1964.** Über eine Kurze Eignungsprüfung von Hölzern für zementgebundene Werkstoffe. *Holzforschung* 18 (1/2): 53-59p
- Ueda, K. 1960.** Studies on the physiology of bamboo with reference to practical application. Kyoto, Japan. The Kyoto University Forest. 167p
- Veblen, T.; F. Schlegel.; B. Escobar. 1979.** Biomasa y producción primaria de *Chusquea culeou* Desv. y *Chusquea tenuiflora* Phil. En el sur de Chile. *Bosque* 3 (1): 47-56p

## ANEXO

### 1. Valores de resistencia a la tracción en probetas con nodo central

Nº Probeta	Espesor (cm)	Ancho (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resist.a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,56	1,5	0,84	190	226,19
2	0,54	1,5	0,81	220	271,60
3	0,61	1,53	0,9333	289	309,65
4	0,63	1,51	0,9513	297	312,20
5	0,62	1,5	0,93	255	274,19
6	0,63	1,53	0,9639	323	335,09
7	0,6	1,51	0,906	165	182,11
8	0,58	1,52	0,8816	232	263,15
9	0,6	1,52	0,912	368	403,50
10	0,59	1,53	0,9027	290	321,25
<b>Promedio</b>				262,9	289,89

### 2. Valores de resistencia a la tracción en probetas internodales

Nº Probeta	Espesor (cm)	Ancho (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resist. a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,63	1,5	0,945	495	523,80
2	0,63	1,51	0,9513	400	420,47
3	0,64	1,51	0,9664	560	579,47
4	0,6	1,52	0,912	545	597,58
5	0,6	1,52	0,912	490	537,28
6	0,59	1,51	0,8909	340	381,63
7	0,62	1,51	0,9362	370	395,21
8	0,63	1,51	0,9513	265	278,56
9	0,62	1,5	0,93	510	548,38
10	0,57	1,51	0,8607	480	557,68
<b>Promedio</b>				445,5	482

### 3. Resultado de adherencia por compresión en probeta de colihue – hormigón

Nº Probeta	Tratamiento	Perímetro de unión (cm)	Longitud de unión (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga aplicada (kg)	Adherencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Carbonileo de petróleo	25,446	7	178,128	240	1,35
2	Carbonileo de petróleo	25,132	7	175,924	320	1,81
3	Algifolcolor	25,761	7,2	185,479	450	2,42
4	Algifolcolor	25,761	7,1	182,9031	510	2,79
5	Wet proof	25,761	7,2	185,479	645	3,47
6	Wet proof	25,132	7,1	178,4372	600	3,36
7	Xyladecor	25,446	7,4	188,307	790	4,19
8	Xyladecor	25,132	7,1	178,4372	730	4,09
9	Neoprén-arena	25,761	7,3	188,055	750	3,99
10	Neoprén-arena	24,818	7,3	181,1714	690	3,81
11	Sellador para maderas	25,761	7,3	185,762	540	2,91
12	Sellador para maderas	24,504	7,2	176,4288	515	2,92
13	Aceite de linaza	25,761	7,1	180,672	300	1,66
14	Aceite de linaza	25,132	7,3	183,4636	235	1,28
15	Silicato de sodio	25,761	7,2	185,479	210	1,13
16	Silicato de sodio	24,818	7,4	183,6532	195	1,06
17	Sin tratamiento	25,761	7	180,327	415	2,30
18	Sin tratamiento	25,761	7	180,327	340	1,88
19	Acero	25,761	7,5	193,2075	1450	7,50
20	Acero	25,446	7,2	183,2112	1560	8,51

### 4. Promedio de resistencias obtenidas en ensayo mecánico de adherencia

Nº Probeta	Tratamiento	Adherencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Carbonileo de petróleo	1,75
2	Algifolcolor	9,91
3	Wet proof	3,98
4	Xyladecor	12,20
5	Neoprén-arena	9,52
6	Sellador para maderas	5,10
7	Aceite de linaza	1,52
8	Silicato de sodio	3,03
9	Sin tratamiento	4,07
10	Acero	19,01

5. Resultado de desplazamiento de adherencia por compresión

Nº probeta	Tratamientos	Desplazamiento (mm)
1	Carbonileo de petróleo	10
2	Algifolcolor	2,7
3	Wet proof	8
4	Xyladecor	2
5	Neoprén-arena	2
6	Sellador ultra protector	5
7	Aceite de linaza	28
8	Silicato de sodio	13
9	Sin tratamiento	5
10	Acero	3

6. Loseta 1 (Refuerzo colihue, 14 culmos, tratamiento Xyladecor)

Carga (kg)	Deformación (cm)
0	0
500,1	0,00275
1000,2	0,00567
1500,3	0,00932
2000,4	0,01311
2500,5	0,02035
3000,6	0,16514
3500,7	0,64423
4000,8	1,54541
4500,9	4,57253

7. Loseta 2 (Refuerzo colihue, 10 culmos, tratamiento Silicato de sodio)

Carga (kg)	Deformación (cm)
0	0
500,1	0,00297
1000,2	0,00602
1500,3	0,00982
2000,4	0,01773
2500,5	0,03465
3000,6	0,32564
3500,7	1,27762
3800,76	3,30251

8. Loseta 3 (Refuerzo acero, 10 barras)

Carga (kg)	Deformación (cm)
0	0
500,1	0,00372
1000,2	0,00715
1500,3	0,01126
2000,4	0,01514
2500,5	0,03531
3000,6	0,07122
3500,7	0,19931
4000,8	0,19956
4500,9	0,20235
5000,1	1,22428
5401,08	5,33452

9. Loseta 4 (Sin refuerzo)

Carga (kg)	Deformación (cm)
0	0
500,1	0,00302
1000,2	0,00637
1500,3	0,01
2000,4	0,01791
2500,5	0,11564
3000,6	0,24384
3200,64	0,48768