

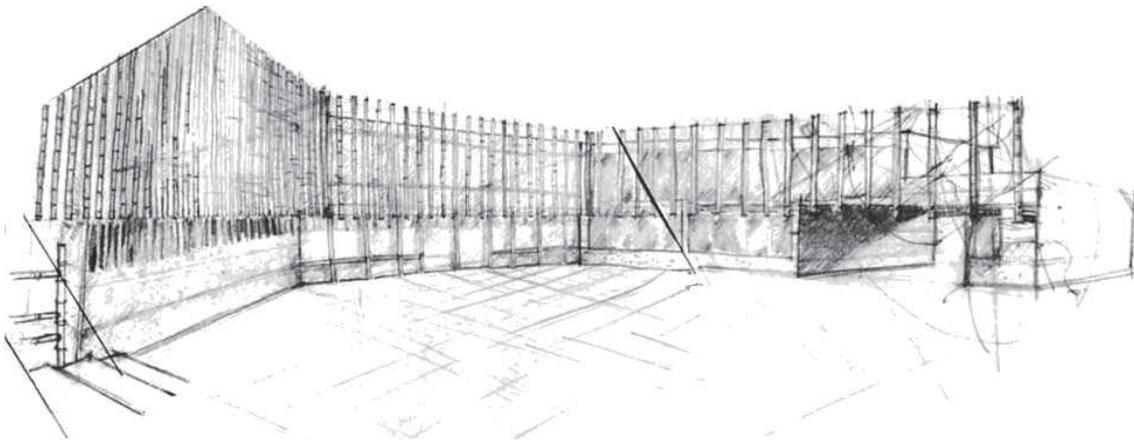
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



**FACULTAD DE ARQUITECTURA
TALLER JOSÉ VILLAGRÁN**



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA Y BAMBÚ, PROYECTO DE
APLICACIÓN: CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y
TECNOLÓGICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR**



TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE ARQUITECTO PRESENTA:

CHRISTIAN ESPARZA LÓPEZ

DIRECCIÓN:

DR. ENRIQUE TARACENA FRANCO

ARQ. JAIME H. NENCLARES GARCÍA

DR. JULIETA SALGADO ORDÓÑEZ

MÉXICO D.F. A 13 DE ABRIL DE 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres: Juan Manuel y Teresa

Índice

Introducción.....	4
Antecedentes	6
Protocolo de Kyoto	6
Urgente atención al campo mexicano	8
Crisis en la industria cañera.....	9
Biocombustibles	10
La industria del etanol en México.....	16
Justificación del Tema	19
Generalidades del Proyecto.....	19
Objetivos Generales	19
Problema arquitectónico	19
Elección del sitio.....	21
Tierra y Bambú.....	21
Limitaciones del problema	23
CICTCAÑA	24
Programa arquitectónico	24
Análisis Urbano	27
Concepto.....	30
Partido arquitectónico.....	31
Anteproyecto	32
Construcción con tierra	38
Historia.....	38
La tierra como material de construcción.....	39
Tierra compactada	41
Tipo de suelo.....	42
Diseño estructural	45
Recomendaciones generales	46
Planos arquitectónicos	46
Cimientos.....	46
Preparación de la mezcla	48
Cimbrado	49
Compactación	51
Proceso constructivo	51
Puertas y ventanas.....	52
Cubiertas.....	54
Instalaciones	54
Acabados, protección contra agentes climáticos.....	54
Diseño contra sismo	55
Construcción con Bambú	57
Bambú	57
Beneficios ambientales del bambú	58
Usos del bambú	58

Construcción con Bambú.....	60
Guadua, el bambú americano.....	63
Especies mexicanas, propiedades físicas.....	63
Cálculo de elementos a compresión.....	66
Cálculo de elementos cortos ($\lambda < 30$).....	67
Cálculo de elementos intermedios ($30 \leq \lambda < C_k$).....	67
Cálculo de elementos largos ($C_k \leq \lambda < 150$).....	67
Cálculo de elementos a flexión.....	67
Cálculo del momento de inercia necesario para evitar deflexiones.....	68
Cálculo del módulo de sección.....	69
Verificar el cortante.....	69
Cálculo de elementos a tracción.....	69
Ejemplos de aplicación.....	69
Elementos sometidos a esfuerzos axiales.....	70
Elementos sometidos a esfuerzos de flexión.....	74
Cuidados del bambú como material de construcción.....	75
Selección de los culmos.....	76
Curado y Secado.....	76
Preservación contra hongos e insectos.....	79
Recomendaciones generales.....	81
Características del material.....	81
Cimentaciones.....	82
Entrepisos.....	83
Muros.....	85
Conexiones entre culmos.....	87
Sistema ganchos-mortero.....	88
Sistema constructivo aplicado al proyecto.....	89
Sistema muro de tierra compactada con refuerzos verticales de bambú.....	89
Cimentación.....	89
Refuerzos verticales.....	90
Vanos y refuerzos horizontales.....	91
Remate de muros.....	92
Acabado de muros.....	92
Sistema de entrepiso de bambú.....	92
Anclaje a los muros.....	92
Conexiones.....	93
Acabados de entrepiso.....	93
Sistema de techos.....	94
Armaduras.....	94
Unión con muros y vigas portantes.....	94
Nodos.....	96
Acabados de cubierta.....	96
Escaleras.....	97
Apéndice.....	101
Planos CICTCAÑA.....	101

Bibliografía	116
--------------------	-----

Introducción

Actualmente estamos comenzando a ver los efectos del cambio climático, alrededor de todo el mundo se registran grandes sequías, inundaciones o nevadas poco comunes. Ya se han tomado medidas para detener el cambio y día a día surgen nuevas ideas, utilizar biocombustibles es una de las más populares, pues promete sustituir el uso de combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, manteniendo el estilo de vida al que estamos acostumbrados.

Producir y utilizar biocombustibles parece una buena idea en principio, pero tiene algunas desventajas (entre las cuales destaca la amenaza a la seguridad alimentaria), por lo que es imperante estudiar a fondo los problemas que podrían provocarse por su uso indiscriminado, sobre todo en países como México en donde el sector agrícola no es estable. Debido a esto, es necesaria la creación de centros de investigación que se dediquen específicamente a apoyar el correcto desarrollo de esta industria, asegurándose de no perjudicar al sector agrícola.

En materia de arquitectura también se realizan diversos esfuerzos, se procura cada vez más que los edificios estén diseñados de tal manera que se aproveche la iluminación y ventilación natural, con el fin de reducir el uso de calefacción y aire acondicionado, así como aprovechar las precipitaciones y la energía solar. Tales medidas ayudan a reducir el impacto ambiental de las edificaciones, pero si queremos ir aun más lejos, debemos fijarnos no sólo en el diseño, sino también, en los materiales que utilizamos, la producción de materiales industriales como el concreto o el acero es una de las actividades que más contamina. Es necesario volver a fijarnos en los materiales naturales, como la tierra, la piedra, la madera o el bambú, lamentablemente se han perdido muchas de las prácticas de construcción con estos materiales y existe poca información acerca del tema.

El presente documento consiste principalmente en un manual básico de construcción con tierra y bambú, con el cual se pretende ampliar la información que existe y acercarla en especial, a los estudiantes de arquitectura que comienzan la carrera. En este manual, se indican cuáles son las

recomendaciones generales que deben seguirse y se presentan algunos ejemplos de detallado arquitectónico y predimensionamiento de secciones.

Antecedentes

Protocolo de Kyoto

El 11 de Diciembre de 1997 en Kyoto, Japón. Los países industrializados se comprometieron a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) antropógenos*; se fijó para el periodo 2008-2012 reducir las emisiones, al menos un 5% con respecto de las emisiones de 1990. Dicho acuerdo es llamado el Protocolo de Kyoto y su objetivo principal es reducir el cambio climático antropogénico, el cual es provocado en mayor medida por el efecto invernadero, que contribuye al calentamiento global.

El protocolo de Kyoto entró en vigor el 16 de Febrero de 2005 con la participación de 140 países entre los cuales se encuentra México. Aunque por considerarse un país en vías de desarrollo México no está obligado a reducir sus emisiones de GEI, si está comprometido a informar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), acerca de sus niveles de polución y las acciones tomadas para disminuirlas.

Según cifras de la ONU se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1.5 y 5.8 °C hacia 2100, provocando un aumento en los niveles del mar entre 9 y 88cm, aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos (desastres naturales), tales como sequías e inundaciones y daños significativos e irreversibles al ecosistema¹. Obviamente los países más vulnerables a estos cambios, serán los países en vías de desarrollo, lo que significará un gran golpe a sus economías; por ejemplo: en México el año de 1999 fue uno de los peores en las últimas décadas debido a desastres naturales, en ese año se destinaron 6700 millones de pesos para construir caminos, viviendas, escuelas, hospitales y pagar empleos temporales a las personas afectadas por las lluvias, inundaciones y sequías². Ejemplos más recientes son el huracán Wilma en 2005 (1 752 millones de dólares) y las

* Gases generados por las actividades humanas, tales como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nítrico (N₂O), otra de las metas del protocolo de Kyoto es reducir las emisiones de gases industriales fluorados, los cuales contribuyen a la destrucción de la capa de ozono.

¹ Díaz-Bautista, Alejandro, "Un Análisis Económico Político para México del Protocolo de Kyoto", en DELOS: *Revista Desarrollo Local Sostenible*, Vol. 1, No. 1, Febrero 2008, p.3.

² Idem. p. 8

inundaciones en Chiapas y Tabasco en 2007 (700 millones de dólares), ambos considerados los dos siniestros más costosos de las últimas dos décadas³.

Además de su vulnerabilidad a sufrir grandes pérdidas económicas debido a desastres naturales, México también es uno de los países que más contaminan siendo su emisión de GEI equivalente al 2% del total a nivel mundial, que lo convierte en el segundo país más contaminante de América Latina y el Caribe⁴. En 1990 las emisiones netas eran de 444.5 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂e), debidas principalmente al cambio de uso de suelo, la industria energética y al transporte. Estos datos justifican el interés de México en cumplir con el Protocolo de Kyoto⁵.

Aun cuando se han realizado diversos esfuerzos por reducir las emisiones de GEI como la aplicación del programa GEI México o la fundación del Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, estos están lejos de ser suficientes ya que ni siquiera se ha logrado que no incrementen las emisiones, por el contrario, en el último Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002 se dio a conocer que las emisiones de GEI registraron un aumento de 30% hacia 2002 (553MtCO₂e)⁶ y algunas estimaciones con base en cifras del Informe de Responsabilidad Social 2009 de PEMEX, indican que el incremento hacia 2010 respecto a los niveles de 1990 fue del 50% (666MtCO₂e)⁷.

Si se quiere obtener mejores resultados, es importante que programas como el GEI México se vuelvan de carácter obligatorio y se apliquen sanciones a aquellas empresas que no cumplan los acuerdos, es también indispensable cambiar los modelos de desarrollo económico actuales basados en la industria petrolera, por uno en el que el crecimiento económico no implique más daños ambientales y sea socialmente más justo. Definitivamente se requiere de un

³ Martínez, José Manuel, "Los diez desastres más costosos en México", *CNNEXPANSIÓN.com*, 8 de Noviembre de 2007.

⁴ "Kyoto Protocol", URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol#cite_note-24, Enero 2011.

⁵ "El Cambio Climático en América Latina y El Caribe (versión preliminar)", PNUMA/ORPALC, SEMARNAT, 2004, p. 22.

⁶ Coordinación del Programa de Cambio Climático, Instituto Nacional de Ecología, "Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2002", México D.F. 2 de Octubre de 2006, p. 17.

⁷ Belausteguigoitia, Juan Carlos, *Informe de Responsabilidad Social 2009, Versión en línea*, PEMEX, 2009.

mayor apoyo a la educación y un incremento al presupuesto destinado a la investigación y desarrollo tecnológico.

Urgente atención al campo mexicano

Es cierto que un cambio tan radical en el modelo económico generaría grandes obstáculos para el crecimiento económico del país en un futuro cercano, aun así, es de suma importancia empezar a poner atención a otros sectores diferentes al de la industria petrolera, en especial, el sector agrícola que requiere atención urgente. Debemos recordar que la actividad agrícola sigue siendo fundamental para un país, ya que de ésta depende su soberanía alimentaria y por tanto su economía*. El clima, la riqueza del suelo y la extensión territorial son factores determinantes para la productividad de un país.

En México a pesar de contar con todos estos recursos naturales, el campo sufre un gran deterioro debido a diversos factores políticos, económicos y ambientales; actualmente el 50%⁸ de los alimentos que consumimos son de importación, lo que es alarmante y absurdo, ya que si se le brindara la atención adecuada al campo mexicano podríamos convertir ese déficit en superávit y destinar el dinero a otros sectores como salud y educación por ejemplo.

Dejando de lado los factores correspondientes a las relaciones económicas, que a veces nos obligan a participar en un comercio injusto y como consecuencia cambiar los cultivos de primera necesidad como el maíz, el frijol o el trigo, por otros de mayor demanda en el mercado internacional, tenemos que los factores que más influyen en la crisis en que se encuentra el sector agrícola son: el deterioro del medio ambiente, que provoca grandes pérdidas de cosechas y recursos naturales; así como el rezago tecnológico. Para solventar esta crisis, es necesaria una reestructuración del campo mexicano, en la que se involucre a actores tales como centros de investigación, universidades y organismos no gubernamentales, que contribuyan en el desarrollo de productos mejorados e incremento del rendimiento por hectárea,

* En México el sector primario contribuye al PIB sólo en un 4%, esto nos hace pensar que no es una actividad económica muy importante, pero la importancia del sector primario radica en que muchas otras actividades dependen de éste.

⁸ Porcentaje anual calculado según cifras del INEGI.

prevención de siniestros y formulación de programas de desarrollo integral para el campo mexicano.

Crisis en la industria cañera

Ligada a la crisis que sufre el campo mexicano, está la crisis en la industria de la caña de azúcar. Con unos 500 años de historia, la industria cañera ha sido y sigue siendo una de las actividades más importantes del país, México produce el 4% del total a nivel mundial y la industria genera 440 empleos directos y 2.5 millones de empleos indirectos⁹; pero también, durante los últimos 50 años ha sido una de las industrias más inestables, sobre todo a partir de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Teóricamente el TLCAN nos brindaba el derecho de exportar los excedentes de producción de azúcar, sin embargo, los excedentes no pudieron ser exportados, ya que según las Cartas Paralelas del TLCAN, los excedentes sólo pueden ser considerados después de restar a la producción nacional de azúcar, el consumo nacional de azúcar y fructuosa; dado que casi la totalidad de la fructuosa que se consume en México es importada de los Estados Unidos, en lugar de tener un excedente se tuvo un déficit, por lo que estuvimos obligados a importar azúcar de los Estados Unidos.

Además de los problemas acarreados por el TLCAN, hay que agregar la falta de jurisdicción, la falta de apoyo al campo mexicano y el rezago tecnológico, a los problemas que más aquejan a la industria cañera. Si queremos rescatar la industria cañera de la desaparición, es necesaria una reestructuración de la industria y la creación de programas que consideren la diversificación productiva, es decir, el aprovechamiento de los subproductos y derivados de la caña de azúcar, con el fin de desarrollar todo su potencial tal y como ha sucedido en Brasil, que actualmente es el país más desarrollado de Latinoamérica y donde el desarrollo de la industria cañera les ha permitido depender en menor medida de la industria petrolera.

En México, se han realizado algunos esfuerzos en los últimos años por sacar adelante a la industria cañera, en 2005 se publicó la Ley de Desarrollo

⁹ Ramos, Alejandro, "Perfilan energía 'verde'", en Reforma, 27 Enero de 2008.

Sustentable de la Caña de Azúcar, donde se estipula la creación del Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la Caña de Azúcar (CICTCAÑA), cuyo propósito es orientar los proyectos de investigación y desarrollo para otorgar más competitividad y rentabilidad a la industria, la ley también determina que para hacer viable su creación, se deberá crear un fondo con aportaciones tripartitas, del Gobierno Federal, de los Industriales y las Organizaciones cañeras¹⁰. No obstante, aún cuando la ley se encuentra en vigor, las discusiones acerca de su creación en el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (que es el encargado de administrar CICTCAÑA), aún no han sido resueltas y CICTCAÑA ni siquiera ha sido puesto en marcha como un centro virtual, de manera que el rezago tecnológico sigue creciendo.

Biocombustibles

La demanda global de energía crece año con año al mismo tiempo que la dependencia energética crece entre las sociedades del mundo. Actualmente el mayor problema que enfrenta la industria energética, es que la generación de energía depende principalmente de la quema de combustibles fósiles, la cual es la principal fuente directa de emisión de GEI, además se ha confirmado que las reservas actuales de petróleo se están agotando y que no podremos seguir dependiendo de su explotación por muchos años más, a menos que se encuentren nuevos depósitos, lo que parece improbable en estos momentos, por tales motivos, en las últimas décadas se han buscado fuentes de energía alternativas que sean renovables y cuyo impacto en el medio ambiente sea mínimo o nulo. A pesar de que conocemos un número considerable de fuentes de energía limpia y renovable, como la solar, la eólica o la nuclear*, existen

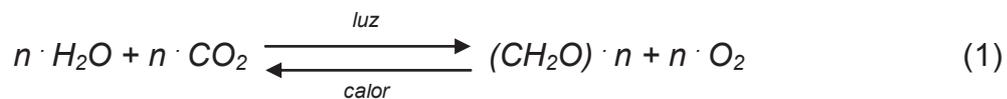
¹⁰ Unión Nacional de Cañeros, A.C.-CNPR, *Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, Título Quinto*, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de Agosto de 2005.

*Existen varios procesos nucleares por los que se puede obtener energía, principalmente la fisión y la fusión nuclear, en este caso me refiero a la fusión, ésta puede considerarse una fuente de energía renovable, ya que unos pocos gramos de los elementos utilizados en los reactores de fusión nuclear, el deuterio (que puede obtenerse del agua) y el tritio (que se obtiene del litio), pueden generar una gran cantidad de energía, por ejemplo unos 30g de deuterio (extraídos de 500 l de agua) y 15g de tritio (producidos a partir de 30g de litio) reaccionando, pueden generar la energía suficiente para satisfacer la demanda de energía eléctrica de una persona promedio en un país industrializado, de por vida. Es una tecnología muy prometedora no emite gases de efecto invernadero y no produce desechos radioactivos, el único problema es que aún faltan unos treinta años para que pueda implementarse a gran escala. "Fusion basics", "Fusion as a future energy source", URL: <http://www.jet.efda.org/fusion-basics/>.

todavía grandes obstáculos que impiden su implementación a gran escala, uno de los más grandes es la preocupación por mantener el estilo de vida actual, por lo que se ha dado preferencia a aquellas fuentes que pueden sustituir la quema de combustibles fósiles, sin tener que realizar grandes inversiones en infraestructura o hacer modificaciones mayores a los vehículos.

Es por esto que los biocombustibles hoy en día se han vuelto tan populares, ya que sólo se requieren modificaciones mínimas en los motores para hacer que estos funcionen con biodiesel (motores que utilizan diesel) o con etanol (motores que utilizan gasolina), de manera que se puede mantener el número actual de automóviles que circulan en el mundo y al mismo tiempo reducir las emisiones de GEI.

Pero, ¿qué son los biocombustibles?, son diversos derivados de algo llamado biomasa, cuando hablamos de biomasa nos referimos a materia orgánica viva o que recientemente murió y que puede ser utilizada en diversos procesos industriales (en biología y ecología, el término se refiere a la acumulación total de materia viviente o de ciertas especies en un área específica.), entre ellos la generación de energía eléctrica por combustión y la producción de combustibles líquidos para el transporte. La energía contenida en la biomasa proviene originalmente de la energía solar, que fue fijada durante la fotosíntesis, proceso en el que las plantas utilizan agua y dióxido de carbono para formar cadenas simples de azúcares (1).



Entre el 0.1% y el 1% de la energía solar es almacenada en forma de energía química¹¹, misma que puede ser liberada mediante combustión (se considera que la fotosíntesis y la combustión son procesos inversos), durante la combustión el carbono contenido en la biomasa se oxida restituyendo el dióxido de carbono absorbido por las plantas durante la fotosíntesis, a la atmósfera.

¹¹ Florian-Patrice, Nagel, "Electricity from wood through the combination of gasification and solid oxide fuels cells", *Tesis Doctoral (Ph. D. Thesis)*, Swiss Institute of Technology Zurich, 2008, pp. 10-11.

¿Entonces, si al utilizar biocombustibles para generar energía de todas maneras se emite dióxido de carbono, cuál es la diferencia con los combustibles fósiles? La diferencia es, que el dióxido de carbono emitido es el mismo que el organismo absorbe durante su crecimiento, por el contrario, el carbono contenido en los combustibles fósiles ha estado fuera del ciclo por miles de años, por lo tanto, al quemar carbón, gas o petróleo, se añade dióxido de carbono a la atmósfera, alterando el ciclo del carbono.

Existen tres fuentes principales de biomasa de las cuales se pueden obtener biocombustibles, éstas son:

- Las plantas, son la fuente más abundante de biomasa y se clasifican según su origen y tipo de crecimiento en¹²:
 - Plantas terrestres
 - Cultivos perenes lignocelulósicos, i.e. árboles: la madera y los residuos de la industria papelera, son la principal fuente de biocombustibles sólidos, estos son los menos eficientes y los más contaminantes (incluso más que algunos combustibles fósiles).
 - Plantas herbáceas y pastos: se utilizan para alimentar hornos pirolíticos en los que se produce “bio-oil” e hidrógeno*.
 - Cultivos ricos en azúcar y almidón: los más utilizados son el maíz y la caña de azúcar. Los azúcares contenidos en estos cultivos pueden transformarse en etanol, mediante fermentación y otros procesos químicos.

¹² Ibid.

* Casi el 50% de la biomasa utilizada en un horno pirolítico se convierte en un sólido negro rico en carbono llamado “biochar”. En fechas recientes se descubrió que el biochar puede ser utilizado como fertilizante, ya que tiene dos propiedades que lo hacen un material adecuado para este propósito, primero, es muy estable y segundo retiene nutrientes mejor que otros tipos de materia orgánica (estiércol, composta, etc.). Además de ser un buen fertilizante, el biochar tiene una virtud más, debido a que la pirolisis se realiza en ausencia de oxígeno, el carbono contenido dentro de la biomasa no puede liberarse en forma de dióxido de carbono, quedando atrapado dentro del biochar y éste al incorporarse al suelo, impide que el carbono regrese a la atmosfera, lo que es bueno porque ayuda a mitigar el cambio climático (aunque aún necesitan realizarse más estudios para comprobar su eficiencia). Lehmann, Johannes, “Bioenergy in the black”, *Frontiers in the Ecology and the Environment* 5, pp. 381-387, 2007.

- Plantas oleaginosas: los aceites vegetales se utilizan para producir biodiesel por medio de un proceso llamado transesterificación.
- Plantas acuáticas, i.e. algas: la obtención de aceite (oilgae) a partir del cultivo de algas es uno de los proyectos, en materia de biocombustibles, más prometedores en la actualidad, pues se calcula que si se tuviera que sustituir todo el petróleo utilizando combustibles derivados del oilgae, sólo se necesitaría una superficie equivalente a la séptima parte de la dedicada al cultivo de maíz (40000 km²), además tiene la ventaja de que no representa una amenaza para la seguridad alimenticia¹³.

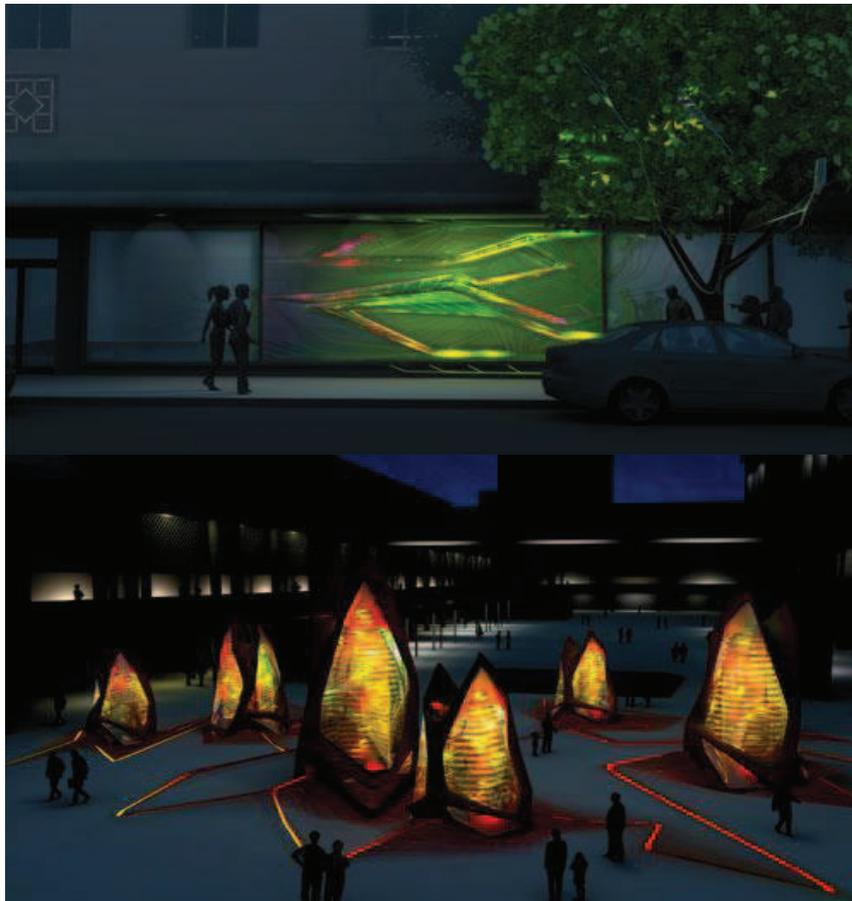


Ilustración 1: La tecnología de producción de aceite de algas, incluso, puede ser muy atractiva visualmente si se le extrae de su contexto habitual. Estos fotobioreactores trabajan con LEDs que varían su color dependiendo de la madurez de las algas.

EMERGENT, *Street BioReactor*, Los Angeles 2009 (arriba), *PhotoBioReactor*, Perth 2009 (abajo).

¹³ Hartman, Eviana, "A Promising Oil Alternative: Algae Energy", *The Washington Post*, 6 de Enero de 2008.

- La segunda fuente más abundante son los desechos humanos, acumulados en tiraderos de basura y rellenos sanitarios: se puede producir metano en biodigestores, aquí los desechos orgánicos son descompuestos mediante procesos anaeróbicos; el gas que se produce en basureros y rellenos sanitarios también es metano, pero de menor pureza, éste puede tratarse y ser aprovechado para generar energía eléctrica.
- Por último, los desechos animales como excremento y residuos de la industria pecuaria: se puede utilizar directamente el excremento de los herbívoros como combustible, pero no es lo más adecuado ni lo más eficiente, también se puede obtener metano de la descomposición del excremento del ganado y utilizarse para generar energía, en cuanto a los desechos de la industria pecuaria, se produce biodiesel a partir de grasas animales por esterificación.

Otras ventajas de la utilización de biocombustibles son: su bajo contenido de azufre, por lo que no emiten grandes cantidades de óxidos de azufre que causan la lluvia ácida; su potencial para secuestrar carbono; se aprovecha la basura y otros desechos (lo cual puede ser una solución al manejo de la basura en las grandes ciudades); y pueden representar una actividad económica importante en países en vías de desarrollo.

Pero también existen algunas desventajas, sobre todo cuando se habla de etanol o biodiesel, se discute que la cantidad de energía que se obtiene de estos no es mucho mayor (incluso se dice que es menor) que la requerida para el sembrado, cuidado del cultivo, la cosecha y el procesamiento de la biomasa, sin mencionar que se requieren otros insumos como agua o fertilizantes; también se discute que los cultivos utilizados son de necesidad primaria y por tanto amenazan la seguridad alimentaria, sobre todo en los países más pobres; finalmente, muchos han señalado que en realidad no representan una solución al cambio climático, ya que la producción actual de biocombustibles está lejos de poder satisfacer un porcentaje considerable de la demanda actual de combustibles (sólo representan el 1% del consumo a nivel mundial) y en un futuro próximo solamente podrán satisfacer el déficit de abastecimiento, es decir, se consumirá todo el petróleo que se extraiga más los biocombustibles

que se produzcan, lo que significará mayores emisiones de GEI y un mayor deterioro del medio ambiente.

A pesar de las desventajas y riesgos que existen (los cuales como siempre ignoramos hasta que representan un grave problema), el entusiasmo es grande en todo el mundo cuando se habla de biocombustibles, ya sea de su producción o del desarrollo de nuevas tecnologías para su producción. De tal manera que muchos países promueven políticas que fomentan su desarrollo y en algunos de estos países ya cuentan con una industria bioenergética competitiva, una vez más, el mejor ejemplo es Brasil, ahí la industria bioenergética se creó hace más de treinta años con el fin de reducir su dependencia del petróleo extranjero, la industria estuvo a punto de morir en los noventas, pero sobrevivió y actualmente el consumo de etanol es equiparable al de gasolina (representa el 21.9% de los combustibles vehiculares en comparación con la gasolina que representa el 23.3%¹⁴) y el 45.9% de toda la energía que se consume en Brasil proviene de fuentes renovables¹⁵.

En México la situación es muy diferente, a diferencia de Brasil, México genera mucha más energía primaria de la que consume (petróleo principalmente). Por otro lado, se ha discutido mucho acerca de la posible amenaza que representa la industria bioenergética para la seguridad alimentaria del país y para el medio ambiente. Estos dos motivos, principalmente, han retrasado la entrada de México en la producción de biocombustibles; sin embargo, el inminente agotamiento de las reservas petroleras, las altas importaciones de gasolina y los posibles beneficios sociales y económicos que podría traer consigo el desarrollo de la industria bioenergética en México, impulsaron al gobierno a aprobar la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB) en 2008. El objetivo principal de dicha ley, es establecer el marco legal para el desarrollo de esta industria, buscando proteger a los productores de insumos, vigilar que se haga un uso sustentable de los recursos naturales y evitar que se degrade el medio ambiente (deforestación, uso inadecuado de los recursos hidráulicos, protección de la biodiversidad, etc.).

¹⁴ Gabrielli de Azevedo, José Sérgio, *Biocombustíveis em um Contexto Global*, PETROBRAS, Junio de 2009.

¹⁵ *Resenha Energética Brasileira, Exercício de 2009 (preliminar)*, Ministério de Minas e Energia, Marzo 2010.

Actualmente el proyecto más grande en materia de bioenergéticos en México, consiste en tres pruebas piloto que PEMEX llevará a cabo en las tres zonas metropolitanas más grandes del país, las pruebas consisten en evaluar el desempeño del “gashol” una mezcla de gasolina con un 5.7% de etanol anhidro como oxigenante y determinar si la demanda de éste puede ser cubierta*. En conjunto con las pruebas se realizarán estudios para determinar qué cultivos son los más favorables para la producción del etanol, se analizarán tanto los costos de producción como los precios de mercado del producto final por cada cultivo.

La industria del etanol en México

Desde hace varios años se produce etanol en México, principalmente en los ingenios azucareros, sólo que su producción no estaba destinada al mercado de los combustibles. La oferta de etanol en 2005 fue de 60 millones de litros, aunque la capacidad teórica de producción era más del doble¹⁶, este déficit de producción se debió principalmente a la inestabilidad de la industria cañera y a la baja demanda, pero con la entrada en vigor de la LPDB en 2008 y la iniciativa de PEMEX para sustituir los oxigenantes de gasolina tradicionales, el Metil Terbutil Éter (MTBE) y el Teramil Metil Éter (TAME) por etanol, la demanda aumentó y se hizo necesaria la creación de programas de desarrollo que pudieran garantizar el abastecimiento de etanol.

La demanda prevista para 2012 es de 3 500 barriles diarios de etanol, alrededor de 200 millones de litros al año; con un programa adecuado se podría aumentar la capacidad de producción y garantizar el abastecimiento de etanol. Pero como ya se mencionó, se ha tomado con mucho cuidado el tema de la seguridad alimentaria, es principalmente por este motivo que el programa que se adoptó, -Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (PRONAC)-, sólo contempla que ésta cubra el 35% de la demanda (7840

* La primer prueba se llevará a cabo en Guadalajara en 2011 y durará 42 días, se prevé que el consumo de etanol sea de 3 500 litros diarios, además se descarta la producción de éste a partir de maíz, ya que es un cultivo deficitario y la LPDB prohíbe su uso para estos fines cuando es así.

Becerra Pérez, Luis Armando, “La industria del etanol en México”, en *ECONOMIAUNAM*, vol. 6, núm. 16.

¹⁶ Enríquez Poy, Manuel, “Producción de Etanol Anhidro en Ingenios Azucareros”, URL: http://www.senado.gob.mx/comisiones/LX/grupo_tlcan/content/banco_datos/biocarburantes/biocarburantes2.pdf, 2005.

barriles/día¹⁷) y hace más énfasis en el aumento de la producción de azúcar, esperando que el resto de la demanda pueda ser cubierto con otros cultivos ricos en azúcares tales como el sorgo dulce y el betabel.

Si bien, no sería confiable cubrir el 100% de la producción requerida de etanol a partir de la caña de azúcar, se ha demostrado que éste es el cultivo más adecuado para producir etanol de primera generación*, ya que los porcentajes de ganancia energética y de reducción en las emisiones de GEI son mucho más altos en comparación con otros cultivos, por lo que sería deseable que el porcentaje a cubrir de la demanda de etanol, con caña de azúcar para 2012 fuera mucho mayor al 35%. Expertos en el tema como el Ing. Manuel Enríquez Poy, presidente de la Asociación de Técnicos Azucareros de México, opinan que alcanzar una meta como ésta es posible, pero considera fundamental la implementación de biotecnología y la modernización de los ingenios, así mismo señala que su viabilidad económica depende de factores como el precio de los insumos, la cogeneración de energía (cero petróleo, aprovechamiento del bagazo), considerar una economía de escala mayor (destilerías mas grandes) y asegura que los mayores obstáculos para alcanzar la meta, son la falta de una legislación adecuada y la falta de apoyo al campo mexicano¹⁸.

En este documento se hace énfasis en el rol que juega la industria cañera en la producción de etanol anhidro, pues por el momento en México sólo contamos con la tecnología para fabricar biocombustibles de primera generación, pero cabe señalar, que dentro de unos pocos años podríamos estar produciendo biocombustibles de segunda generación gracias a un convenio de colaboración entre la Universidad Veracruzana y la empresa canadiense Agri-Therm¹⁹, incluso, dentro de poco podríamos convertirnos en una potencia en producción

¹⁷ *Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2007-2012*, SAGARPA, p. 16.

* Se le llama, biocombustibles de primera generación a los producidos con cultivos energéticos (caña, maíz, etc.) usando métodos tradicionales; de segunda generación a aquellos que se producen a partir de cultivos lignocelulósicos utilizando métodos más avanzados como la gasificación; y de tercera generación a los que se producen con algas.

¹⁸ Enríquez Poy, Manuel, "Producción de Etanol Anhidro en Ingenios Azucareros", URL: http://www.senado.gob.mx/comisiones/LX/grupo_tlcan/content/banco_datos/biocarburantes/biocarburantes2.pdf, 2005.

¹⁹ Bravo Garzón, Roberto, Raúl Cortés García, "Producción de Biocombustibles en México: la caña de azúcar", en *La ciencia y el hombre, Revista de ciencia y tecnología de la Universidad Veracruzana (versión web)*, volumen XXII, núm. 1, Enero-Abril de 2009.

de etanol, ya que la empresa mexicana BioFields abrirá una planta productora de etanol de algas y espera producir 250 millones de galones (950 millones de litros aproximadamente) para el año 2013²⁰.

²⁰ Morales, Roberto, "Sonora albergara megaplanta de etanol", en *CNNEXPANSIÓN.com*, 13 de Febrero de 2009.

Justificación del Tema

Generalidades del Proyecto

A través del diseño para el edificio del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Caña de Azúcar, como ejercicio de aplicación, se presenta un manual básico de construcción para dos de los materiales de menor impacto ambiental, que han adquirido mucha popularidad últimamente, la tierra compactada y el bambú. En él se señalan las ventajas y desventajas que tienen frente a materiales convencionales como el concreto y la madera, además, ahí mismo se precisan las recomendaciones técnicas que se deben considerar para obtener una construcción segura.

Objetivos Generales

El objetivo principal del documento es servir como material de apoyo para los estudiantes de arquitectura. La mayoría de las veces los estudiantes de arquitectura nos limitamos a utilizar materiales convencionales, en un proyecto escolar (y en muchos trabajos profesionales), es poco común ver materiales distintos al concreto, el tabique o el acero; creo que esto se debe a que nos sentimos seguros utilizando los materiales que vemos a diario por toda la ciudad, además existe mucha información y material bibliográfico; en cambio tememos utilizar otro tipo de materiales debido a que no hay mucha información y no es muy fácil tener acceso a la que existe.

Problema arquitectónico

Desde el inicio de la carrera, a los alumnos de arquitectura se nos hace conscientes del problema que representa actualmente el cambio climático, la perspectiva desde la que se aborda no es puramente la ecológica o la económica y mucho menos la política, más bien, se aborda desde un panorama general, esto no quiere decir superficial, por el contrario, se aborda de manera seria y profunda, y se considera un tema importante en la formación de un arquitecto. Entonces, así como un arquitecto debe informarse a diario sobre las nuevas tendencias arquitectónicas (dentro de las que se encuentra la bioarquitectura, que hace especial énfasis en la relación “simbiótica” entre ambiente y arquitectura), también debe conocer las políticas que pretenden

mitigar el cambio climático, las acciones que se han tomado en diversos países y (lo que considero más importante) conocer qué tipo de tecnología se desarrolla en ese campo.

En lo particular siempre me he interesado en las fuentes de energía renovable, así que, cuando me enteré de la existencia de los biocombustibles, me entusiasmé mucho y más aún cuando me enteré que su producción podía significar una actividad económica relevante para el país y revitalizar la industria mexicana de la caña de azúcar. Así que, en respuesta a la crisis de la industria azucarera y la creciente demanda de biocombustibles en México y el mundo, propongo desarrollar el diseño para el edificio del CICTCAÑA, cuyo propósito es apoyar el desarrollo de esta industria, mediante proyectos de diversificación del azúcar y estudios que sirvan para fijar normas de calidad.

En principio, además de contar con una planta piloto y un invernadero, el edificio debería contar con cuatro áreas fundamentales de investigación:

- Productos químicos: dedicada al estudio de las sustancias que intervienen en el proceso de fabricación del azúcar, principalmente aquellas que no son propias de la caña, como floculantes, bactericidas y tensoactivos.
- Maquinaria: en esta área se estudia la resistencia y durabilidad de los materiales con que se fabrican las máquinas utilizadas en los ingenios azucareros; además se analiza la calidad de lubricantes y otros insumos.
- Sucroquímica: dedicada a la diversificación de la industria cañera, es decir, el aprovechamiento de toda la caña para, además de incrementar la producción de azúcar, producir biocombustibles, bioplásticos, fármacos, abonos, alimento para ganado y generar energía.
- Investigaciones agrarias: dedicado a analizar la calidad del suelo, de los agroquímicos, del agua y desarrollar cepas más productivas, aplicando biotecnología.

Sin embargo, uno de los temores entre los miembros del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, es que el CICTCAÑA se convierta en un “elefante blanco”, así que, una de sus propuestas es delegar los proyectos de investigación a diferentes instituciones y que el CICTCAÑA

opere solamente como un centro virtual. Tomando en cuenta esto y sabiendo que las áreas de productos químicos, sucroquímica e investigaciones agrarias están relacionadas estrechamente y por tanto pueden compartir equipo de laboratorio, decidí eliminar el área de maquinaria, de esta manera se reduce la envergadura del proyecto, al igual que el costo.

Elección del sitio

Para que el CICTCAÑA funcione de manera correcta, es necesario que se ubique cerca de los productores de caña, esto permite que el centro de investigaciones tenga una relación directa con los productores, además, facilita el abastecimiento de la planta piloto y la realización de estudios de campo. Por otro lado, debe ubicarse cerca de escuelas de educación superior y otras instituciones dedicadas a la investigación, así los alumnos egresados de dichas escuelas tendrán un mayor número de opciones para realizar estudios de posgrado y se podrán realizar estudios en colaboración con las demás instituciones.

Veracruz es el principal productor de azúcar en México, de los 57 ingenios que trabajan en toda la república, 22 están en Veracruz, entre éstos se encuentran los ingenios la Gloria y San Nicolás, que son los mayores productores de etanol. La capital del estado es la ciudad de Xalapa de Enríquez, la cual es considerada como la Atenas Veracruzana, debido a que las instituciones educativas más importantes del estado se encuentran ahí, entre ellas la sede de la Universidad Veracruzana (UV) que es una de las universidades más prestigiadas del país. La UV cuenta con una zona de institutos ubicada en la Av. Luis Castelazo Ayala, col. Industrial Ánimas; en 2009 el gobierno del estado donó terrenos para su ampliación, este sitio es adecuado para la ubicación del CICTCAÑA, ya que cumple con las condiciones antes mencionadas, además, se encuentra en uno de los sectores de la ciudad con mayor crecimiento.

Tierra y Bambú

La construcción es una de las actividades humanas más contaminantes, el 50% de los recursos mundiales y el 5% de la energía se destinan a la

construcción²¹, el ciclo de vida de la mayoría de los materiales que utilizamos tienen un gran impacto ambiental, los procesos involucrados en su fabricación requieren de mucha energía y emiten grandes cantidades de GEI; son malos aislantes térmicos, lo que deriva en un mayor consumo energético para poder enfriar o calentar los edificios y cuando los edificios son demolidos, producen muchos desperdicios que no pueden reciclarse fácilmente. Por ejemplo: la industria mundial del concreto es responsable del 5% de las emisiones de GEI a nivel mundial, debido principalmente a la producción del clinker²², mientras que la industria del acero es responsable de entre 3% y 4% de las emisiones, debido principalmente a la producción de hierro²³.

Debido a esto, arquitectos de todo el mundo se han interesado en utilizar materiales que no requieran grandes cantidades de energía para su producción y principalmente, que no necesiten ser transportados desde largas distancias hasta el sitio de construcción. No es una sorpresa que los materiales que cumplen con estas características sean también los primeros en ser utilizados por el ser humano, sin embargo, los métodos constructivos tradicionales en los que se emplean no satisfacen los requerimientos de durabilidad y resistencia de la arquitectura contemporánea y constituye un reto idear nuevas formas de utilizar estos materiales. Tal es el caso de la tierra, es el material de construcción de menor impacto ambiental, pero también es uno de los menos resistentes y más vulnerables a factores climáticos como la humedad, por tal motivo, actualmente se desarrollan nuevas técnicas de construcción que incrementen la resistencia y durabilidad del material, pudiendo incluso utilizarlo en climas muy húmedos, lo que hace de la tierra, un material competente y adecuado para la arquitectura contemporánea.

Pero no se puede construir sólo con tierra, pues es casi imposible hacer un techo con ésta, ya que estructuralmente no trabaja a tracción, para eso contamos con la madera. Si bien, la madera es uno de los materiales de construcción más bondadosos, podríamos decir que es el acero fabricado por

²¹ Edwards, Brian, *Guía Básica de la Sostenibilidad*, Gustavo Gili, México 2009.

²² Holcim, "Fact Sheet-Climate Change",

URL:http://www.holcim.com/holcimcms/uploads/CORP/Holcim_FactSheet_ClimateChange_2008.pdf.

²³ World Steel Association, "A global approach to CO₂ emissions reduction for steel industry", URL:
<http://www.worldsteel.org/pictures/storyfiles/Gobal%20approach%20position%20paper.pdf>, 2010

la naturaleza, estructuralmente trabaja tanto a compresión como a tracción, es un buen aislante térmico, es un material acústico y contrario a lo que muchos piensan, resiste muy bien la acción del fuego (de hecho una viga de madera pierde menos resistencia que una de acero o de concreto armado, en el mismo intervalo de tiempo), pero también es uno de los materiales de mayor impacto ambiental. Se calcula que entre el 20% y 25% de las emisiones de GEI se deben a la deforestación²⁴ que es causada en gran medida por la industria maderera. Actualmente existen muchas alternativas para reducir el impacto ambiental que esta industria genera, desde reciclar madera hasta desarrollar especies más productivas y de rápido crecimiento. Una de las mejores alternativas es la utilización de bambú, es una de las plantas de más rápido crecimiento, es tan versátil como la madera, es económico y su producción genera fuentes de trabajo en zonas marginadas.

Limitaciones del problema

En el caso del proyecto arquitectónico, la mayor limitación fue no estar familiarizado con la ciudad de Xalapa, tuve dificultades para encontrar el sitio adecuado para el desarrollo del proyecto y posteriormente, para visitarlo. Agradezco al Ing. Manuel Enríquez Poy y al Dr. Raúl Cortés, por ayudarme con este problema.

En cuanto al manual de construcción, la mayor limitación fue la escasez de material bibliográfico, cada vez más arquitectos se interesan por utilizar estos materiales, pero pocos se han tomado la molestia de registrar datos técnicos sobre el proceso constructivo.

²⁴ IPCC 2000, "Special report on Land Use, Land-Use Change and Forestry", URL:http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/, 2001.

CICTCAÑA

Programa arquitectónico

Investigación	676m²
Laboratorios	233m ²
<ul style="list-style-type: none"> • Alimentos y biotecnología <ul style="list-style-type: none"> ○ Área vestibular 5m² ○ Cubículos de investigación (2) 12m² ○ Cuarto de campanas de flujo laminar e instrumentos 10m² ○ Área de trabajo 40m² • Agroquímicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Área vestibular 5m² ○ Cubículos de investigación (2) 12m² ○ Área de cromatógrafos 6m² ○ Área de trabajo 45m² • Sucroquímica <ul style="list-style-type: none"> ○ Área vestibular 5m² ○ Cubículos de investigación (2) 12m² ○ Área de trabajo 45m² 	79m ²
	80m ²
	74m ²
	180m ²
Planta piloto	
<ul style="list-style-type: none"> • Recepción y almacenamiento de caña • Área de refinación • Área de fermentado 	40m ²
	100m ²
	40m ²

Características generales: Tanto los laboratorios, como la planta piloto, estarán interconectados para un mejor funcionamiento; contarán con instalaciones de agua, gas, electricidad, aire y extractores de aire; estarán iluminados naturalmente y tendrán la posibilidad de ser oscurecidos; el nivel de iluminación artificial deberá ser de al menos 300 luxes; contarán con ventilación natural; los pisos deberán ser de un material resistente a la corrosión; finalmente, se

considera que el mobiliario contará con espacio para almacenar químicos e instrumental.

Invernadero	139m ²
• Nuevas cepas y mejoramiento de especies	99m ²
○ Área vestibular	5m ²
○ Cubículos de investigación (2)	12m ²
○ Área de trabajo	70m ²
• Composta y alimento para ganado	40m ²

Características generales: El invernadero contará con instalaciones de agua, agua recirculada, electricidad y extracción de aire; tendrá la posibilidad de graduar la intensidad de luz natural; contará con ventilación natural y tendrá la posibilidad de variar la cantidad de aire que ingresa al local.

Biblioteca	124m ²
• Vestíbulo	10m ²
• Control y prestamos	20m ²
• Consulta digital	4m ²
• Acervo	50m ²
• Área de estudio	20m ²
• Área de cómputo	20m ²

Características generales: La biblioteca contará con iluminación natural y artificial, el nivel mínimo de iluminación deberá ser de 250 luxes; tendrá ventilación natural.

Gobierno	156m²
• Vestíbulo	25m ²
• Recepción y sala de espera	30m ²
• Dirección general	24m ²
• Subdirección de Investigación	10m ²
• Subdirección de administración	10m ²
• Subdirección de inventario	10m ²

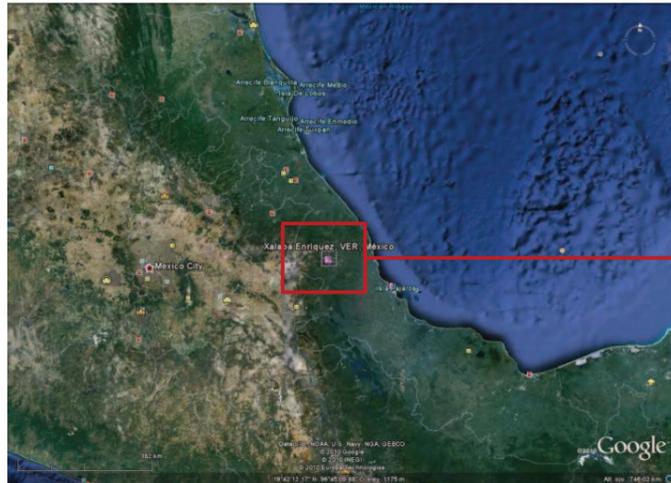
• Subdirección de servicios	10m ²
• Archivo general	7m ²
• Sala de juntas	24m ²
• Sanitarios	6m ²

Características generales: El edificio de gobierno contará con iluminación natural y artificial, el nivel mínimo de iluminación deberá ser de 250 luxes; tendrá ventilación natural.

Servicios complementarios	106m²
Sanitarios	40m ²
Área de descanso	50m ²
Intendencia	11.5m ²
• Bodega	3m ²
• Área de descanso	6m ²
• Sanitario	2.5m ²
Vigilancia	4.5m ²
Accesos	380m²
Plaza principal	200m ²
Vestíbulo general	80m ²
Plaza secundaria	100m ²
Estacionamiento	200m²
Circulaciones	130m²
Áreas libres	2795.7m²
Total	4443.7m²

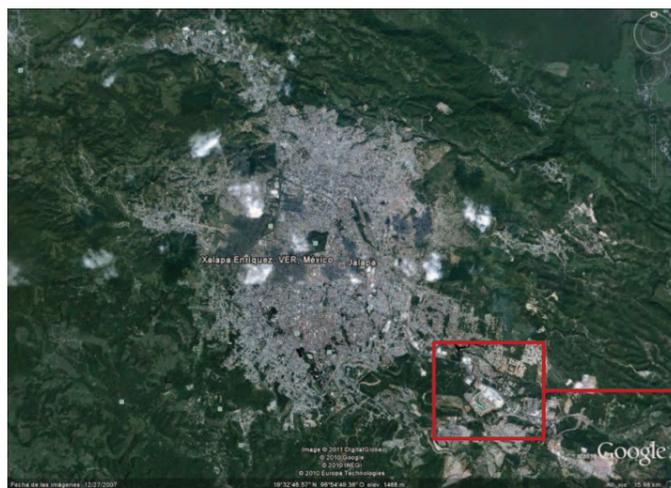
Análisis Urbano

La zona Sureste de Xalapa, es el sector comercial, actualmente es el de mayor crecimiento en la ciudad. El nivel socioeconómico es alto en las zonas ya establecidas y por el tipo de construcciones y proyectos (fraccionamientos en su mayoría) que se llevan a cabo, seguramente el nivel se mantendrá así en toda la zona. En este sector también se encuentran algunos edificios de gobierno e instituciones educativas además del Museo Interactivo de Xalapa.



Xalapa de Enríquez, Veracruz

Latitud: 19°32'24"
 Longitud: 96°55'39"
 Altitud: 1427 msnm
 Clima: Húmedo, con lluvias todo el año
 Temperatura máxima: 39.5 °C
 Temperatura mínima: 0.0 °C
 Temperatura media: 19.6°C
 Precipitación pluvial (anual): 1360.6
 Humedad relativa: 60-100%
 Topografía: Terreno accidentado
 Vientos dominantes: Este, Sureste
 Vientos fuertes: Norte, Noreste



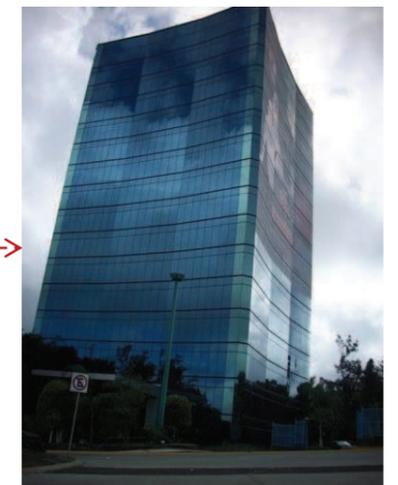
1.-Museo Interactivo de Xalapa



2.-Universidad Anáhuac de Xalapa



3.-Plaza Ánimas



6.-Torre Ánimas: Oficinas y Secretaria de Relaciones Exteriores

- 4.-Universidad de Xalapa
- 5.-Hospital Ángeles
- 7.-Plaza Américas
- 8.-Secretaría de Educación de Veracruz
- 9.-Dirección General de Investigaciones de la Universidad Veracruzana
- 10.-Procuraduría General de Justicia
- 11.-Poder Judicial de la Federación

Vialidades primarias
 - - - - - Arco Sur
 - - - - - Carretera Xalapa-Veracruz

Análisis Urbano



Secretaría de Educación de Veracruz



Carretera Xalapa Veracruz, Plaza Américas (izquierda)

Vialidades primaria

— Carretera Xalapa-Veracruz

Vialidades secundarias

- - - Rafael fuentes Boettinger

- - - Dr. Castelazo Ayala

- - - Paseo Cuauhtémoc

- - - Cristóbal Colon

Terreno

El contexto urbano es muy diverso, no hay un estilo arquitectónico predominante, aunque en la mayoría de las construcciones el acabado de la fachada es aplanado con pintura, sólo en las construcciones mas recientes podemos encontrar los materiales al natural. La vegetación aun es muy abundante lo que hace el ambiente muy agradable y brinda muy buenas visuales, el mayor problema en la zona es la gran cantidad de automóviles que se estacionan sobre la calle Rafael Fuentes Boettinger afuera de la gasera, a pesar de que ya existe un estacionamiento público.



Autos estacionados sobre Rafael Fuentes Boettinger



Av. Dr. Castelazo Ayala, Dirección General de Investigaciones (frente)



Instituto de Salud Pública



Conjunto habitacional en Rafael Fuentes Boettinger

Estacionamiento público.



Gasera, Gas de Xalapa

Análisis Urbano



Características del terreno

Topografía: a pesar de ser muy accidentada, ya se han realizado trabajos de aterrazamiento, debido a esto el terreno es relativamente plano, es decir no hay cambios bruscos de nivel.

Tipo de suelo: El tipo de suelo es tepetatoso, lo cual podemos saber gracias a las excavaciones que se realizan en las construcciones aledañas, entonces podemos considerar una resistencia entre 5 y 7 T/m².

Accesos: Existen dos posibles accesos, siendo el principal el que se encuentra sobre la continuación de la calle Rafael Fuentes Boettinger.



Vegetación: debido a los trabajos de aterrazamiento, la única vegetación que encontramos son pastos altos por todo el terreno y una especie de encino en la esquina sureste, que se conservara en el proyecto. Por otra parte la vegetación que podemos encontrar en la zona es muy variada, pero destacan las palmeras, el bambú, los liquidámbar y las higuerrillas.

Visuales: Las mejores visuales, se encuentran hacia el noreste y el este, colina abajo, son las zonas con mayor vegetación

Concepto



Pienso que la imagen de arriba es la representación más sencilla y elegante del proceso de refinación, evoca todo lo que nos viene a la mente cuando escuchamos la palabra azúcar y lo mismo debería ocurrir con un edificio dedicado a esta industria. Se dice que los edificios deben hablar, deben decirnos cuál es su propósito y es por eso que elegí esta imagen como base de diseño. Necesitaba buscar materiales que emularan las texturas de la caña y el azúcar y tratar de representar el proceso de refinación con ellos. La idea fue generar una pantalla con culmos de bambú, la separación entre los culmos iría creciendo, de manera que la densidad de la pantalla fuese degradando, dejando ver cada vez más la estructura detrás de ésta, muros de tierra que simularían la textura granulada y los diferentes colores del azúcar en el proceso de refinación.

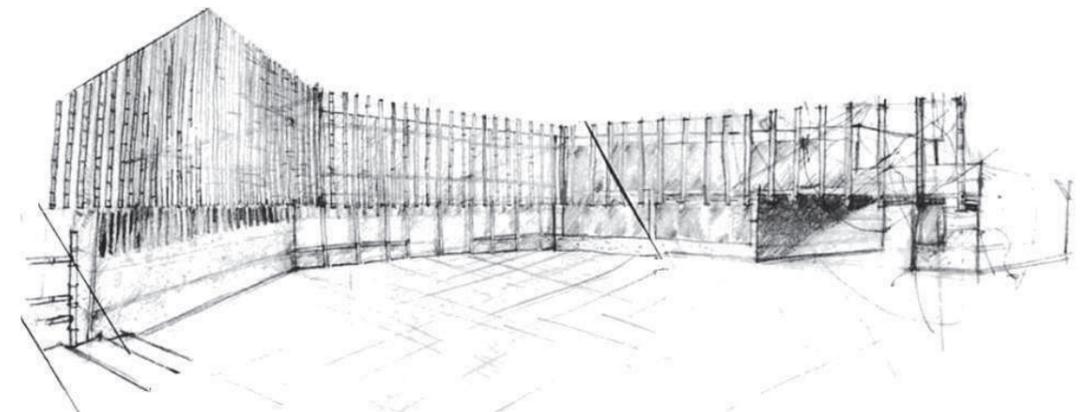


Ilustración 2: Plaza de acceso, en este croquis se representa la idea que se menciona arriba.



Ilustración 3: Los culmos de bambú emulan a las cañas de azúcar.



Ilustración 4: Los muros de tierra se compactan por capas, es posible variar la tonalidad de cada capa, de esta manera se puede simular el mismo degradado que vemos en las tonalidades del azúcar a través del proceso de refinación.

Partido arquitectónico

La estructura del proyecto se divide en tres partes

- Parte pública (rojo), abraza a la plaza de acceso, recibe a los usuarios y visitantes.
- Parte semipública (amarillo), vincula a las otras dos partes y permite la convivencia entre los usuarios.
- Parte privada (azul), se reserva para los investigadores, concentra todos los laboratorios entorno a la planta piloto.

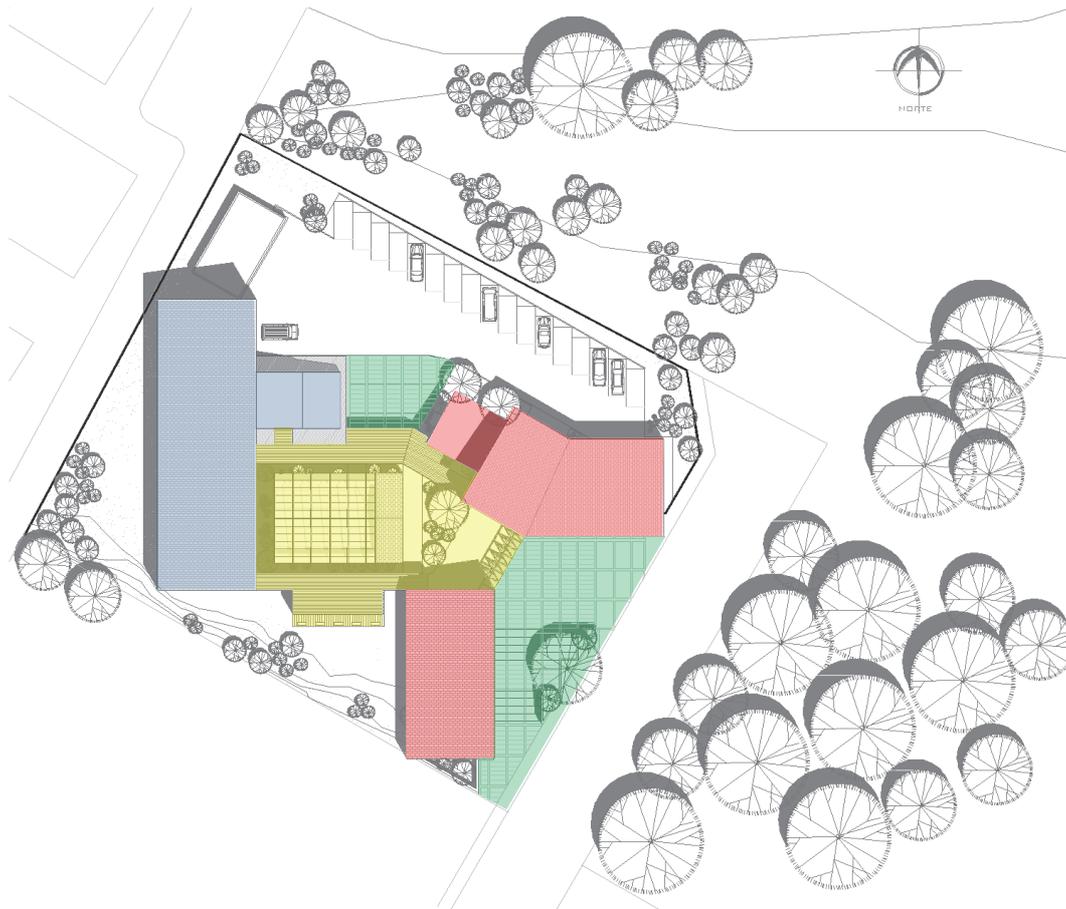


Ilustración 5: Partido arquitectónico



Anteproyecto

La entrada principal se encuentra sobre la prolongación de la calle Rafael Fuentes Boettinger, se trata de una plaza que se introduce en el predio, abriendo el espacio para el usuario, que es guiado por la pantalla de bambúes, rematando con el edificio de gobierno y el acceso principal. Ésta es la parte pública del proyecto, a ella tienen acceso tanto los usuarios habituales, como los visitantes, que al ingresar se encuentran en un vestíbulo jardinado y el invernadero como remate, ocultando el edificio de laboratorios. A la derecha se encuentra el edificio de gobierno y enfrente la biblioteca, ubicada de esta manera, tanto los investigadores y alumnos del CICTCAÑA como los alumnos de las universidades cercanas, pueden hacer uso de ésta, por eso se ubica

aquí y no en la parte privada del proyecto, donde se encuentran los laboratorios.

El jardín que rodea al invernadero refresca y enriquece los recorridos hacia los laboratorios así como el área de descanso, que consiste en una terraza en la parte sur del terreno, con vista hacia un jardín vertical. El edificio de laboratorios se encuentra en la parte oeste del terreno, los tres laboratorios se dispusieron entorno a la planta piloto, de esta forma todos los laboratorios pueden obtener muestras de los productos del proceso de refinación y fermentación (mieles, azúcar, alcohol, bagazo, etc.) de manera inmediata, así se evitarán largos recorridos que pudieran contaminar las muestras. Otra ventaja que proporciona el disponer los laboratorios de esta forma, es la reducción del espacio requerido para cada laboratorio y los costos de inversión, pues de esta manera los equipos más costosos, como los cromatógrafos de gases y líquidos (cuyo precio llega a rebasar los mil dólares) y los más voluminosos como las campanas de flujo laminar, pueden ubicarse en los laboratorios en los que su uso es más frecuente y al mismo tiempo permitir que puedan ser utilizados por los demás laboratorios.



Ilustración 6: PLAZA DE ACCESO, a la izquierda biblioteca, al fondo edificio de gobierno y acceso vehicular. La verticalidad de los bambúes hace parecer que el edificio sea más alto, por otra parte las piezas metálicas que unen los culmos, forman unas líneas horizontales enfatizando el recorrido hacia el acceso.



Ilustración 7: PLAZA DE ACCESO, a la derecha acceso vehicular, enfrente invernadero, a la izquierda biblioteca. Además de cumplir con la función estética planteada por el concepto, la pantalla de bambúes sirve como atenuador de luz, su densidad es mayor en la parte orientada en dirección este-oeste donde el asoleamiento es mayor y se degrada conforme avanza hacia la parte norte-sur donde el asoleamiento no es tan intenso.



Ilustración 8: VESTIBULO PRINCIPAL, a la derecha invernadero, enfrente a la izquierda biblioteca. El jardín central introduce la vegetación al interior del proyecto, relacionando fuertemente el interior con el exterior. Al fondo alcanzaríamos a ver los institutos de investigación de la UV.



Ilustración 9: VESTIBULO PRINCIPAL, enfrente invernadero, al fondo edificio de laboratorios.
Gracias a los muros de tierra, pareciera que los edificios emergen del suelo.



Ilustración 10: PLAZA DE ACCESO SECUNDARIA, a la derecha edificio de laboratorios, al fondo a la izquierda edificio de gobierno.



Ilustración 11: ACCESO VEHICULAR, los vehículos pasan por debajo del edificio de gobierno.



Ilustración 12: VISTA SUPERIOR DEL CONJUNTO, Plaza de acceso principal (Este).



Ilustración 13: VISTA SUPERIOR DEL CONJUNTO, Estacionamiento y plaza de acceso secundario (Norte).



Ilustración 14: VISTA SUPERIOR DEL CONJUNTO, Jardín y zona de descanso (Suroeste).

Construcción con tierra

Historia

Casi en todas las regiones del mundo con clima cálido o templado, la tierra ha sido el material de construcción más común. Incluso hoy en día un tercio de la población mundial habita en viviendas construidas con tierra. Hemos comprobado que los materiales modernos (concreto, tabique, acero, etc.) no pueden satisfacer la demanda de vivienda y en los países en vías de desarrollo la única opción que se tiene son los materiales locales y las técnicas de autoconstrucción. Entre todos los materiales de construcción proporcionados por la naturaleza, el más abundante es la tierra, puede obtenerse del mismo terreno en el que vamos a construir y es perfecto para la autoconstrucción pues no se requiere de mucha experiencia para lograr construir una buena vivienda.

La gente ha construido con tierra desde los inicios de las civilizaciones, tal vez incluso desde antes, se han encontrado casas de adobe en la Turquestán rusa que datan del 6000-8000 a.C., algunos cimientos de tierra compactada en Asiria que datan del 5000 a.C. y tanto la muralla china como el corazón de la gran Pirámide del Sol en Teotihuacán fueron construidas compactando tierra, de hecho la mayoría de las culturas prehispánicas utilizó la compactación de tierra en sus construcciones²⁵.

También en el viejo continente el uso de tierra como material de construcción fue muy extenso, en África la mayoría de las mezquitas tempranas fueron construidas en tierra y en Europa los muros compuestos de bastidores de madera se rellenaban con tierra. Muchas otras construcciones se realizaron utilizando la tierra como material principal, hoy algunas siguen en pie e incluso habitadas, lo que demuestra la calidad, durabilidad y eficiencia de la tierra como material de construcción. Estas cualidades y el hecho de que cada vez más personas demandan un hogar energéticamente eficiente y con un clima interior confortable, han llevado a la reinvención y desarrollo de nuevas técnicas de construcción con tierra, que han demostrado su valor no sólo en la

²⁵ Minke Gernot, *Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture*, , , pp. 11-13.

autoconstrucción, sino en proyectos de mayor envergadura y exigencia técnica, como el proyecto Edén en Gran Bretaña.

La tierra como material de construcción

La tierra apta para la construcción consiste en una mezcla de arcilla, sedimentos, arena y a veces grava, dicha mezcla recibe varios nombres, científicamente se le conoce como marga (loam en inglés), pero en este texto me referiré a ésta como tierra simplemente. Ya sea que utilicemos la tierra para hacer adobes, tabiques de tierra compactada o un pisé (o tapial, tierra compactada dentro de una cimbra, rammed earth en inglés), este material tiene ciertas desventajas:

- La composición del suelo en el que se trabaja nunca va a ser igual al de otro sitio, por lo que es difícil controlar las características y calidad de la mezcla de tierra.
- Cuando la mezcla de tierra se seca, se contrae debido a la evaporación del agua que contiene, en mezclas muy húmedas las contracciones son entre 3% y 12% del volumen total y en mezclas secas, entre 0.4% y 2%²⁶. Las contracciones producen grietas, que ponen en riesgo la estabilidad estructural.
- La tierra es uno de los materiales más vulnerables a la acción del medio ambiente, es indispensable proteger el material contra la lluvia, la nieve y el congelamiento, lo cual puede lograrse con un buen diseño arquitectónico.

No obstante, la tierra ofrece muchos más beneficios, tanto para el medio ambiente como para la salud y el confort de los usuarios.

- La tierra regula la humedad relativa en el aire de los espacios interiores absorbiendo el agua del aire cuando es excesiva y restituyéndola cuando es muy poca. Esto no altera la estabilidad de la tierra, pues sólo absorbe agua hasta alcanzar su contenido de humedad de equilibrio (entre 5% y 7% de su peso²⁷). Esto es importante, pues se sabe que una

²⁶ Idem. p. 13.

²⁷ Idem. p. 14.

humedad relativa menor al 40% reseca las mucosas, volviéndonos más propensos a contraer resfriados u otras enfermedades respiratorias. Por otro lado, se sabe que una humedad relativa alta, tiene algunas consecuencias benéficas, puede reducir el contenido de partículas de polvo en el aire, eliminar olores, reducir la carga estática en los objetos y activar las defensas naturales de la piel contra microbios; sin embargo, cuando la humedad relativa sobrepasa el 70%, el ambiente se vuelve muy incomodo. Entonces la humedad relativa en los espacios interiores debe mantenerse entre el 40% y 70%. En una casa construida en tierra, el promedio de humedad relativa es del 50%²⁸.

- La tierra por ser un material masivo ayuda a regular la temperatura de los espacios interiores, debido a que transmite lentamente el calor, así en las regiones de clima caluroso, mantiene el edificio fresco durante el día y cálido por la noche.
- La tierra es un material de construcción ecológico, su preparación, manejo y transporte consumen alrededor del 1% de la energía necesaria para producir, manejar y transportar concreto o tabiques recocidos, por ejemplo. Además la tierra es 100% reciclable (si no se le añade algún otro material para estabilizarla) y puede reutilizarse muchas veces²⁹.
- Al utilizar tierra se evitan los costos de transporte, la mayoría de las veces el suelo del terreno es apropiado para construir y aun si se requiere que la tierra sea transportada de algún otro lugar al sitio de la construcción, generalmente es mucho más barato construir con tierra que con cualquier otro material.
- Es apropiado para la auto construcción, porque no requiere de maquinaria especializada, consiste solamente en mano de obra intensiva.
- Debido a su bajo contenido de humedad de equilibrio, los elementos de madera que permanecen en contacto con la tierra no se pudren ni presentan ataques de insectos u hongos, pues la tierra los mantiene secos.

²⁸ Idem. p.16.

²⁹ Idem pp. 14-15.

- Finalmente, se dice que la tierra puede absorber las partículas contaminantes del aire, pero esto aún no ha sido comprobado.

Tierra compactada

Cuando nos hablan de alguna construcción hecha de adobes o construida con algún otro sistema constructivo que utiliza tierra cruda (sin cocer), la imagen que nos viene a la mente es la de una construcción rural, pobre o deficiente, pero en los últimos años, arquitectos, ingenieros y constructores de todo el mundo se han interesado en revivir y mejorar las técnicas tradicionales de construcción con tierra, así como desarrollar nuevos métodos. Los resultados han sido tan satisfactorios que hoy en día se utiliza la tierra en todo tipo de proyectos de gran diseño y calidad arquitectónica.

Uno de los métodos que mejores resultados ha tenido es el tapial, que consiste en compactar capas de tierra dentro de una cimbra desmontable, para formar muros sólidos. Podemos encontrar ejemplos notables de construcciones de tierra compactada alrededor de todo el mundo, como el edificio AtEIC en Reino Unido, la Capilla de la Reconciliación en Alemania o la Escuela de Artes Plásticas en Oaxaca.



Ilustración 15: Escuela de Artes Plásticas de Oaxaca, por Taller de Arquitectura Mauricio Rocha.

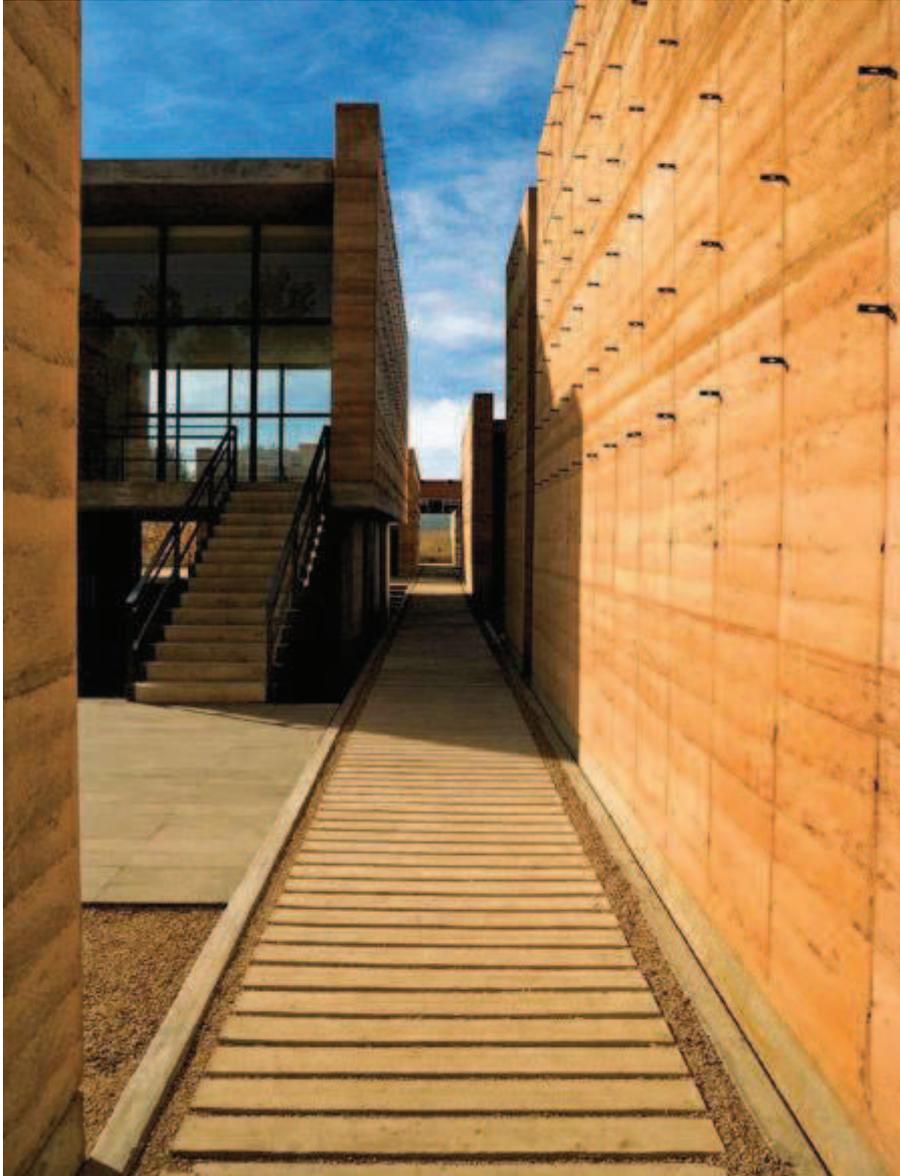


Ilustración 16: En esta imagen podemos apreciar las capas de compactación, además podemos suponer, debido a las juntas verticales, que los muros se compactaron por secciones al total de su altura.

Tipo de suelo

Por lo general la tierra del sitio en el que se vaya a erigir la obra, es adecuado para utilizarse en la compactación de muros, pero con la finalidad de brindar una mayor seguridad estructural y durabilidad del edificio, se han propuesto algunas especificaciones en países que ya cuentan con códigos para la construcción con tierra, como Australia, Nueva Zelanda, Alemania o España (en México contamos con reglamentación para el adobe, pero no para el tapial).

Color: Generalmente se prefieren los colores rojizos, no obstante existe una gran variedad de colores naturales (amarillo, verde, azul, marrón, blanco, negro, etc.) y depende en gran medida del sitio en el que se trabaje. Lo más importante es que la tierra se mezcle hasta que el color sea uniforme.

Composición: Con la excepción de las arenas gruesas y las gravas sin agentes cementantes, los demás suelos son propicios para la construcción. La composición ideal para el tapial, consiste en una mezcla con un 70% de arena y grava, un 30% de arcillas y sedimentos que actúen como cementantes³⁰ y probablemente cal para estabilizar la mezcla; en el caso del tapial estabilizado con cemento se sugiere aumentar los contenidos de grava y arena y reducir los contenidos de arcilla y sedimentos (menor al 25%³¹), en ambos casos la mezcla no debe contener materia orgánica ni contener más del 2% de sales solubles³².

Tamaño de grano: Los granos de gran tamaño reducen la resistencia a la compresión del tapial, por tanto, la mezcla de tierra no debe contener grava de más de 38.1mm (1 1/2") de diámetro (ϕ) o grumos de arcilla mayores a ϕ 12.7mm (1/2")³³. Otros autores sugieren que cualquier material mayor a ϕ 10mm debe ser removido³⁴.

Plasticidad: El índice de plasticidad (I_P) de un suelo (la cantidad de agua que puede admitir el suelo antes de pasar del estado semisólido al semilíquido) se puede obtener determinando su límite plástico (W_P) y su límite líquido (W_L) y aplicando la formula:

$$I_P = W_L - W_P \quad (2)$$

Para el tapial no estabilizado, se recomienda que el límite plástico del suelo esté entre 12%-22% y el límite líquido entre 30%-35%. El índice de plasticidad, es un indicador de cuanta arcilla contiene la mezcla, si es muy alto quiere decir

³⁰ Maniatidi, Vasiliou, Walker, Peter, *A Review of Rammed Earth Construction*, University of Bath, Inglaterra, Mayo 2003, p. 8.

³¹ Idem. p. 11.

³² *New Mexico Earthen Building Materials Code*, 2006, 14.7.4.14NMAC 2006.

³³ Ibid.

³⁴ Maniatidi, op. cit.

que la mezcla contiene mucha arcilla y por tanto se agrietará demasiado al secarse, es por esto que se sugiere un índice de plasticidad bajo³⁵.

Densidad en seco y contenido de humedad óptimo: La densidad en seco de la mezcla de tierra para un tapial, debe encontrarse entre los 1700 kg/m³ y 2200 kg/m³, para poder alcanzar su máxima densidad es indispensable que se use el contenido de humedad óptimo en la mezcla, éste se puede determinar mediante una prueba que consiste en formar una bola con la mezcla, de aproximadamente 40mm y luego dejarla caer desde una altura de 1.5m, si la bola se rompe en muchos pedazos quiere decir que está muy seca, si la bola permanece intacta quiere decir que está muy húmeda, si se rompe solo en algunos pedazos, significa que el contenido de humedad está muy cercano al óptimo.

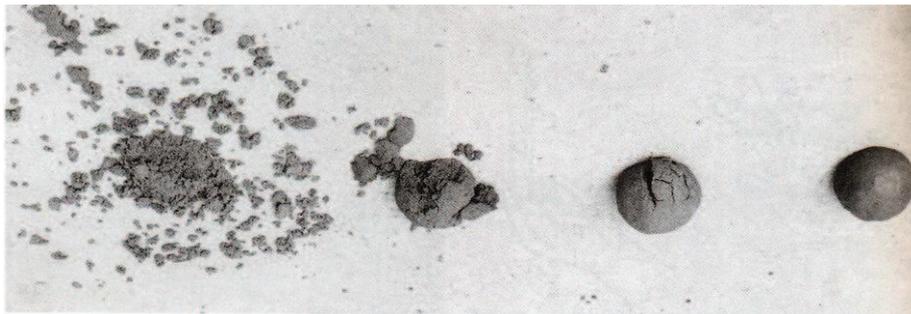


Ilustración 17: En la imagen se muestran los resultados de la prueba descrita arriba, si la bola de tierra queda como se muestra en la imagen central de la derecha, significa que el contenido de humedad de la mezcla es muy cercano al óptimo. Fuente: Minke, Op.cit, p.23

Resistencia a la compresión: Existe una prueba que se realiza en campo para determinar si el suelo del lugar tiene una buena resistencia a la compresión, la prueba consiste en utilizar un rollito de tierra, del tamaño de un cigarro, para formar una lámina lo más larga posible (sin que se rompa), si la lámina es muy larga, quiere decir que la mezcla contiene mucha arcilla y por lo tanto se agrietará al secarse; si es muy corta, quiere decir que tiene poca resistencia. Esta prueba no es muy confiable, pero puede ayudar en las etapas preliminares de construcción. Lo más recomendable es realizar pruebas de laboratorio, similares a las que se realizan para el concreto. La resistencia de la mezcla no estabilizada oscila entre 0.5 Mpa (5.01 kg/cm²) y 2 Mpa (20.39

³⁵ Idem. p. 12.

kg/cm²), mientras que la resistencia de la mezcla estabilizada con cemento en promedio se encuentra entre 2 Mpa y 5 Mpa (51.0 kg/cm²)³⁶.

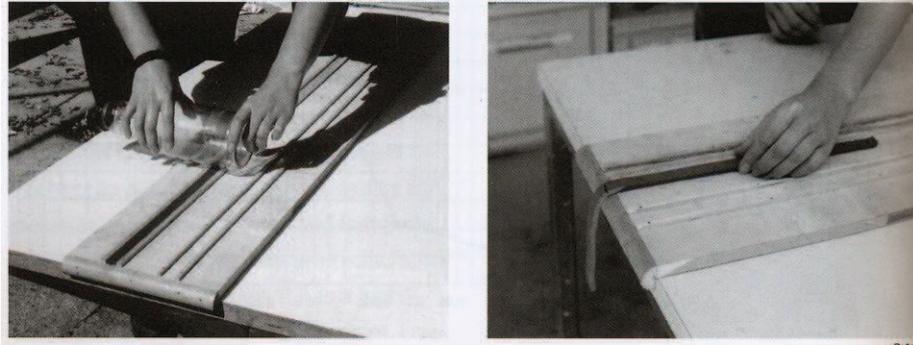


Ilustración 18: En esta imagen se muestra la prueba descrita arriba, algunos autores aseguran que esta prueba no es nada confiable.

Contracción por secado: La mezcla no debe contraerse mucho una vez que se seque, el rango promedio permitido por los diferentes códigos es menor al 2%³⁷.

Estabilización con cemento: cualquier mezcla de tierra con un contenido mayor al 6% de cemento se considera estabilizada³⁸, la estabilización con cemento, aumenta considerablemente la resistencia a la compresión así como la durabilidad, un muro estabilizado con cemento puede dejarse a la intemperie sin necesidad de un recubrimiento. Por otro lado tiene algunas consecuencias desfavorables, reduce la permeabilidad de la mezcla y por tanto su capacidad para regular la humedad de los espacios, también reduce considerablemente la posibilidad de reciclar el material.

Diseño estructural

El diseño de muros se basa principalmente en las proporciones, siempre tomando en cuenta que la resistencia a la compresión de la mezcla de tierra se encuentre en los valores recomendados (1Mpa-2Mpa).

Espesores mínimos: El mínimo espesor para un muro exterior puede ser de 200mm, pero lo más recomendable es un muro de 300mm para una edificación

³⁶ Idem. pp. 15-21.

³⁷ Idem p. 19.

³⁸ 14.7.4.14 NMAC 2006.

se asientan, no se necesitan cimientos que distribuyan grandes cargas, lo más importante en el diseño de los cimientos para una construcción de tierra es evitar que la humedad se transmita a los muros⁴¹.

- Básicamente se utilizan dos tipos de cimientos, losa de cimentación o zapatas corridas, estas últimas son las más utilizadas, se recomienda que las zapatas tengan un ancho (W_f) igual al ancho del muro (W_w) o máximo de 500mm (muros tales que $W_w \leq 500\text{mm}$) y una profundidad mínima de $(W_f - W_w)/2$ o W_w , la mayor de estas dos⁴².
- Se recomienda que los cimientos sean de concreto armado y sólo se permiten cimientos de tierra compactada si⁴³:
 - La composición del suelo es rocosa y no presenta movimientos por cambios de humedad.
 - La humedad del suelo es baja y el terreno está bien drenado.
 - La longitud del edificio es menor a 25m.
 - Los muros no tienen más de 3m de altura.
 - Cuando se puede asegurar que las raíces de la vegetación no dañaran los cimientos.
- Para evitar que la humedad del suelo se transmita a los muros se debe construir un rodapié, éste debe cumplir las siguientes características:
 - Mínimo 225mm por encima del nivel exterior del suelo.
 - Mínimo 50mm por encima del nivel de piso terminado del interior, previendo que la impermeabilización de la techumbre tarde en realizarse.
 - Máximo 600mm por encima del nivel piso terminado.
 - Mínimo 150mm por encima del nivel del pavimento exterior.
- Es conveniente la instalación de un dren en la parte exterior de los muros, así mismo se recomienda colocar una capa impermeabilizante entre la parte superior del rodapié y la base del tapial, para evitar que la humedad se transmita desde los cimientos. Las capas impermeabilizantes más utilizadas son polietileno, láminas metálicas, emulsión asfáltica, pinturas bituminosas o láminas de cobre.

⁴¹ Idem. p. 64.

⁴² Idem. p. 65.

⁴³ Ibid.

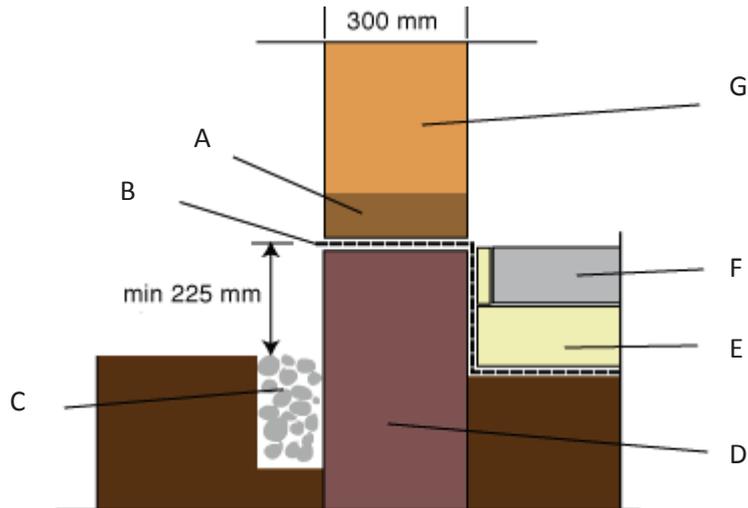


Ilustración 19: A) Rodapie de Tabique, B) Impermeabilizante, C) Dren, D) Cimiento de concreto, E) Aislante, F) Firme de concreto, G) Muro de tierra compactada.

Fuente: <http://www.greenspec.co.uk/sessearch.php?q=>

Preparación de la mezcla

Como ya se mencionó, generalmente el suelo del terreno en el que se trabaja, es adecuado para utilizarse en la construcción, pero la mayoría de las veces requiere de algunos tratamientos como tamizado y secado. Cuando el terreno no es adecuado para la construcción, será necesario transportar el material desde otro sitio y es necesario prever un lugar para almacenarlo.

Se debe considerar lo siguiente antes de proceder a mezclar el suelo⁴⁴:

- Retirar todo contenido de materia orgánica de la tierra que se va a utilizar, generalmente los primeros 25mm a 50mm de la superficie del terreno tienen un alto contenido de materia orgánica.
- Para eliminar todas las partículas que excedan los diámetros antes mencionados, podemos servirnos de un tamiz, el más sencillo y efectivo consiste en un marco de madera y una malla metálica con la separación deseada.
- No siempre es necesario pulverizar el material que estemos usando, generalmente se requiere en los suelos arcillosos con poca humedad, pues contienen grumos muy duros, la pulverización se puede realizar

⁴⁴ Idem. pp. 46-48.

simplemente pasando el pisón neumático sobre la tierra, antes de mezclarla.

- El mezclado es la parte más importante, la mezcla de tierra debe ser homogénea, asegurando que la humedad se distribuya uniformemente en toda la mezcla. El mezclado puede realizarse usando una olla para concreto, una planta portátil de concreto (poco práctico y muy caro), o usando una pala mecánica o un minicargador (bobcat), este último es el más eficiente cuando se requiere mezclar cantidades moderadas, aunque es difícil obtener una mezcla completamente uniforme.

Cimbrado

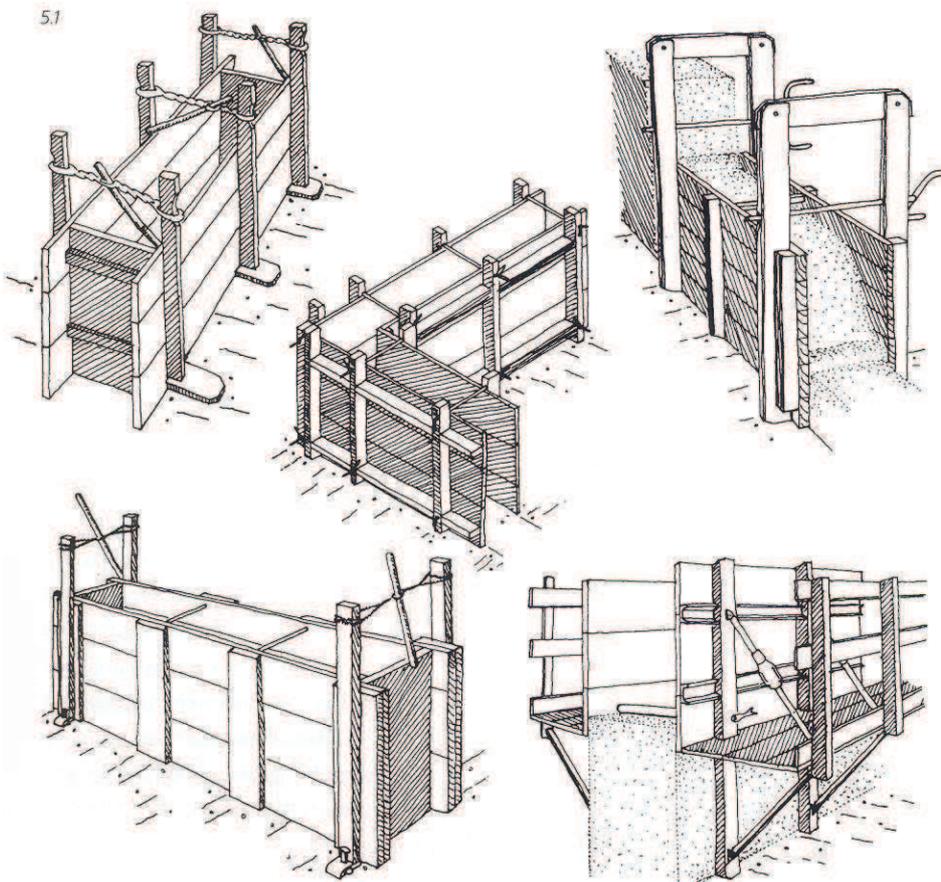


Ilustración 20: Diferentes tipos de cimbra utilizada para la compactación de muros de tierra.
Fuente: Minke, Op. cit. p.52.

- La cimbra debe ser suficientemente resistente, para que no ceda ante las presiones del compactado.

- Se pueden utilizar diversos tipos de cimbra, desde el sistema tradicional (madera), o la cimbra moderna para concreto (acero o aluminio), hasta los sistemas integrales (de la altura completa del muro) y los deslizables. Todos los sistemas de cimbrado consisten básicamente en dos placas laterales, topes, retenedores (tornillos o lazos con cuñas), postes o puntales, espaciadores y cuñas para ajustar la cimbra. Uno de los sistemas más utilizados es el de cimbra deslizable (verticalmente), ya que si se diseña de manera adecuada, puede acelerar el proceso de construcción considerablemente. Los sistemas integrales tienen la desventaja que mientras se avanza en la construcción, cada vez es más difícil subir la mezcla de tierra.

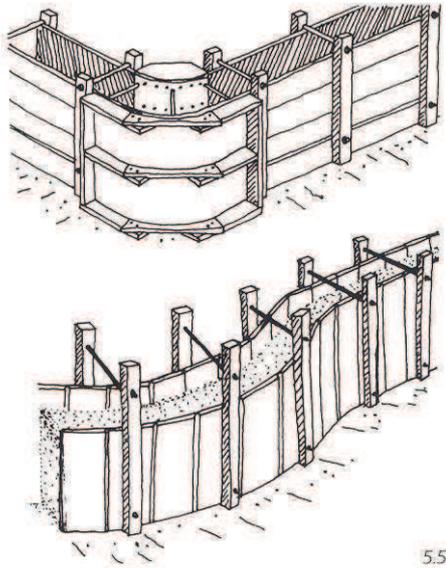


Ilustración 21: Diseño especial de cimbra para esquinas boleadas y muros curvos.
Fuente: Minke, Op. cit. p.53.

5.5

- Se puede retirar la cimbra casi inmediatamente después de terminar el compactado de una sección, esto agiliza la reutilización de la cimbra.
- El tiempo requerido para, levantar, alinear, reforzar, y limpiar la cimbra, siempre es mayor al requerido para transportar y compactar la tierra, de hecho se estima que el cimbrado consume el 50% del tiempo requerido para construir un tapial⁴⁵.
- La cimbra debe ser fácil de manejar, no muy pesada y versátil, es decir, debe adaptarse a diferentes espesores de muro y no obstruir el compactado.
- Se requieren diseños especiales de cimbra, para construir esquinas boleadas o muros curvos.
- Los vanos deben cimbrarse, es demasiado difícil y peligroso, intentar perforar el vano una vez que el muro está terminado.

⁴⁵ Idem. p. 48.

Compactación

- El transporte y vaciado del material dentro de la cimbra es uno de los mayores problemas en la construcción de un tapial, básicamente se usan los mismos métodos que para vaciar concreto en la cimbra, usando cubetas, poleas u otro tipo de sistema de elevación. También es factible utilizar el mismo bobcat con el que se mezcla la tierra, para elevar el material y vaciarlo dentro de la cimbra.
- Tradicionalmente la compactación se hace manualmente, con pisones de madera o metal con un peso entre 5kg y 10kg, la forma de la cabeza puede ser variable, pero se prefieren las cabezas redondas; la longitud apropiada del pisón debe ser de entre 1.5m y 1.8m. Algunas pruebas sugieren que el pisón se debe dejar caer desde una altura aproximada de 300mm y con fuerza moderada, para obtener buenos resultados⁴⁶.
- La compactación mecánica es preferible, pues no sólo se reducen los tiempos de construcción, también se puede incrementar la calidad y resistencia de los muros si se utiliza adecuadamente. Generalmente se usa un pisón neumático de cabeza circular ($\phi=70\text{mm} - 150\text{mm}$) específicamente diseñados para compactar suelos; utilizar maquinaria con demasiada potencia puede producir resultados indeseables.
- El rendimiento de un equipo de tres trabajadores se encuentra entre 1.5m^3 y 3m^3 por día, compactando manualmente. El rendimiento por compactación neumática es aproximadamente el doble⁴⁷.

Proceso constructivo

- Como en cualquier tipo de construcción, es importante trazar primero los límites de los elementos que se van a construir.
- Con una cimbra tradicional lo que se hace es ir construyendo el muro por partes, una vez que se ha levantado, alineado y rigidizado la cimbra, se llena con una capa de 10cm o 15cm de tierra y se compacta más o menos a la mitad de su volumen (5cm a 7cm), el proceso se repite hasta alcanzar una altura de 600mm o 900mm. Una vez que se completa una

⁴⁶ Idem. p. 56.

⁴⁷ Ibid.

sección, se retira la cimbra y se coloca en la siguiente posición, dejando un traslape de 150mm a 200mm, se continua de esta manera por todo el perímetro del edificio, una vez que se ha completado la primer capa del muro, se levanta la cimbra y se repite el procedimiento. Se debe procurar que no queden juntas verticales continuas, tal y como se hace en los muros de mampostería.

- En el caso de la cimbra deslizante, se realiza básicamente el mismo procedimiento, con la diferencia de que cada sección de muro se va compactando a su máxima altura.

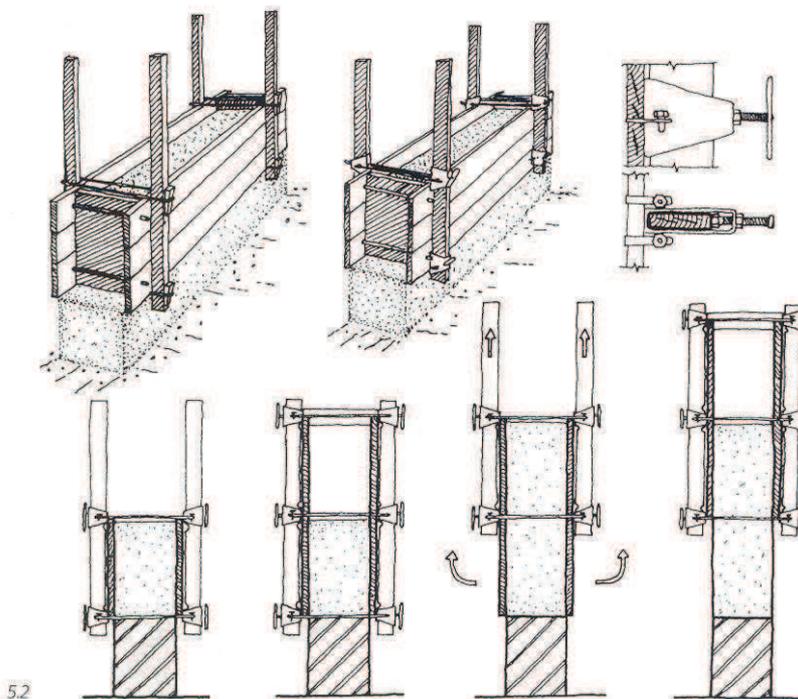


Ilustración 22: Proceso constructivo utilizando cimbra deslizante vertical, este sistema es, probablemente, el de mejor rendimiento.

Puertas y ventanas

- Lo más recomendable para diseñar vanos, es hacerlos de la altura total del muro, de esta manera evitamos tener que agregar refuerzos dentro del tapial.
- Si los vanos no abarcan la altura total del muro, será necesario reforzar el vano con un dintel o un arco, el arco puede formarse compactando la misma tierra, los dinteles pueden ser de madera, concreto armado o incluso se puede reforzar el tapial agregando varillas o secciones de acero.

- Los dinteles deben tener un apoyo mínimo de 200mm en cada extremo.
- Las puertas y ventanas pueden fijarse directamente al tapial, otra alternativa es ahogar piezas de madera, para poder usar clavos o tornillos, teniendo cuidado de no colocar dos piezas al mismo nivel en lados opuestos de un muro, pues de esta manera se reduce la sección del muro y puede agrietarse o incluso derrumbarse, éstas deben separarse al menos 457mm (18")⁴⁸.
- Si existen varios vanos en un muro, es recomendable que el refuerzo superior sea continuo, con el fin de rigidizar la estructura. Las cadenas de liga también aumentan la resistencia al cortante y la estabilidad del muro durante un sismo.

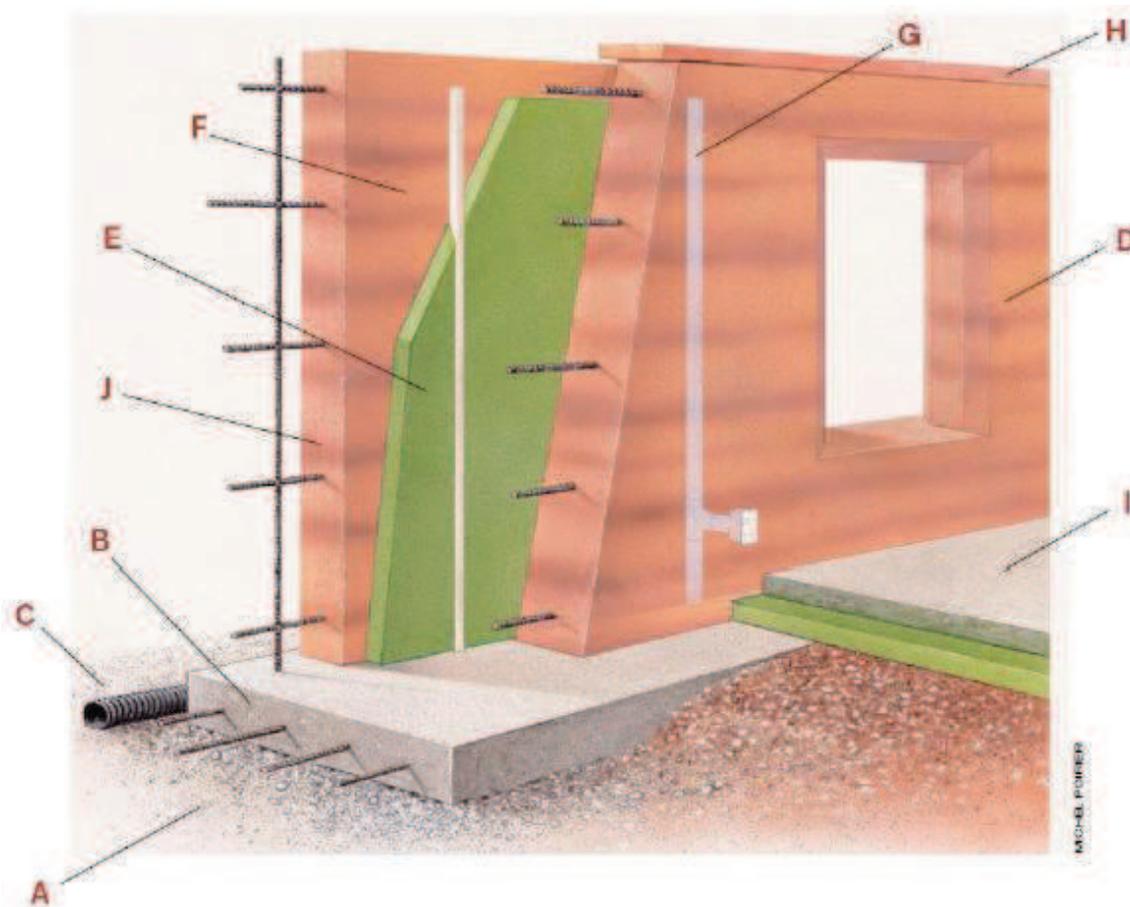


Ilustración 23: Sistema de muro SIREWALL (Stabilized Insulated Rammed Earth Wall), A) Cama de 10cm de grava gruesa, B) Cimiento de concreto, C) Dren, D) Muro interior reforzado con acero, E) Aislante térmico, F) J) Muro exterior reforzado con acero y recubierto con sellador acrílico, base aceite o agua, G) Canal para instalaciones, por ejemplo un tubo de PVC, puede funcionar como conduit, H) Cerramiento de madera para recibir la techumbre, I) Firme de Concreto.

⁴⁸ 14.7.4.14 NMAC 2006.

Cubiertas

- Es deseable que todos los muros lleven una cadena de cerramiento, esto no solo rigidiza el muro, también facilita la fijación de las cubiertas. La cadena puede ser de madera, concreto o acero y deben anclarse a los muros, la manera más práctica de hacerlo es con un tornillo ancla de 12.7mm (1/2").
- Las cadenas de concreto en muros con menos de 600mm de espesor, deberán ser del mismo ancho que el muro, tener un peralte mínimo de 150mm y tener un refuerzo mínimo de dos varillas continuas No. 4 con un recubrimiento mínimo de 50mm⁴⁹.
- Se recomienda elegir un sistema de cubierta ligera, generalmente se prefieren las cubiertas de madera. Los aleros de la cubierta deben ser lo suficientemente grandes (deben extenderse 2m aproximadamente) para proteger los muros de la lluvia.

Instalaciones

- No se recomienda que las instalaciones hidro-sanitarias se ahoguen dentro de los muros, pueden ir dentro de ductos registrables, pero lo ideal es que vayan por trincheras, éstas no deben estar por debajo del nivel de cimentación⁵⁰.
- Se permite que la instalación eléctrica se ahogue en los muros, es necesario prever que los tubos conduit resistan la presión del compactado.

Acabados, protección contra agentes climáticos

- Principalmente las mezclas de tierra no estabilizadas, son las que requieren de un acabado o recubrimiento para evitar que se deterioren por la humedad, lluvia o incluso por la limpieza del muro. Las mezclas estabilizadas, no requieren de recubrimientos o barreras especiales, esto tiene la ventaja de que se puede conservar la apariencia natural del muro.

⁴⁹ 14.7.4.17 NMAC 2006.

⁵⁰ Maniatadi, op. cit. p. 44.

- Un tratamiento que mejora mucho la resistencia de los tapiales no estabilizados, consiste en frotar la superficie de los muros con una “cuchara” para concreto, hasta que la superficie se vea brillante y sin poros⁵¹.
- Existe una gran variedad de recubrimientos, la mayoría de ellos consiste en una mezcla de cal, pues tienen muy buena permeabilidad y permiten que los muros respiren. Varias mezclas tradicionales son detalladas en Gernot Minke, *Building with Earth*.
- También pueden aplicarse pinturas con base de aceite o recubrimientos transparentes como el silicato de sodio o una mezcla de requesón, agua y cal en proporciones 1:2:0.125⁵².

Diseño contra sismo

La tierra es un material con muy poca o nula resistencia a los empujes laterales, por lo que las construcciones en tierra pueden ser vulnerables a la acción de un sismo. No obstante un buen diseño estructural y el detallado arquitectónico, aseguran la estabilidad y durabilidad de la edificación, proporcionando seguridad a sus habitantes. Las siguientes son algunas recomendaciones para el diseño sísmico:

- Geometría en planta regular y simétrica.
- Muros más anchos en la base y más delgados en la corona.
- Deben evitarse las cubiertas pesadas.
- Los cimientos deben desplantarse a un mismo nivel y tener la misma altura, de no ser así, hay que separarlos para que vibren independientemente.
- Se recomienda que la estructura de la planta baja sea completamente rígida, mientras que la estructura de las plantas superiores sea ligera y flexible.
- Se colocan castillos de 30cm x 30cm a cada 4 m y también en las esquinas y aberturas, estos deben estar bien anclados a la cimentación. También es posible utilizar refuerzos internos en lugar de los castillos,

⁵¹ Minke, op. cit. p. 98.

⁵² Idem. p. 99.

como varillas de acero (ilustración 19), secciones de madera o culmos de bambú que le proporcionen mayor flexibilidad y capacidad de absorber los esfuerzos laterales, estos deben ligarse perfectamente entre sí y anclarse a la cimentación.

- Una de las mejores estrategias para evitar que la estructura colapse o sufra daños es garantizar que la estructura actúe como un solo elemento, esto puede lograrse con una buena interconexión de los muros con los cimientos y de los entrepisos y la techumbre con los muros, utilizando cadenas perimetrales y de remate, éstas pueden ser de madera o concreto armado y deben tener el mismo ancho del muro como mínimo. Esto garantiza que la estructura absorba mejor las deformaciones.
- Otra estrategia, consiste en separar la estructura portante de la techumbre, de los muros.

Construcción con Bambú

Bambú

Generalmente asociamos el bambú con las culturas orientales debido a que han llevado la industria del bambú a niveles más sofisticados, inclusive algunos piensan que el bambú es de origen chino, pero no es así, el bambú pertenece a una de las familias del reino vegetal más extensas y mejor adaptadas (y la de mayor importancia para el ser humano), las gramíneas y crece de manera natural en todos los continentes, con excepción de Europa, desde los 51° Norte hasta los 47° Sur y desde el nivel del mar hasta los 4300 msnm⁵³.

La mayor parte de las gramíneas son herbáceas y muy raramente leñosas, este es el caso de la tribu Bambuseae de la subfamilia bambusoideae, a la que pertenece el bambú, actualmente se conocen 90 géneros y unas 1100 especies, de las cuales 41 géneros y 455 especies se encuentran en América extendiéndose desde el sureste de los Estados Unidos hasta el sur de Chile. Estas especies se caracterizan por tener rizomas fuertes y bien desarrollados, son de hábito perene, tienen culmos lignificados, brotes nuevos protegidos por hojas caulinares y el periodo de floración de algunas especies puede tomar muchos años (en algunas más de cien).

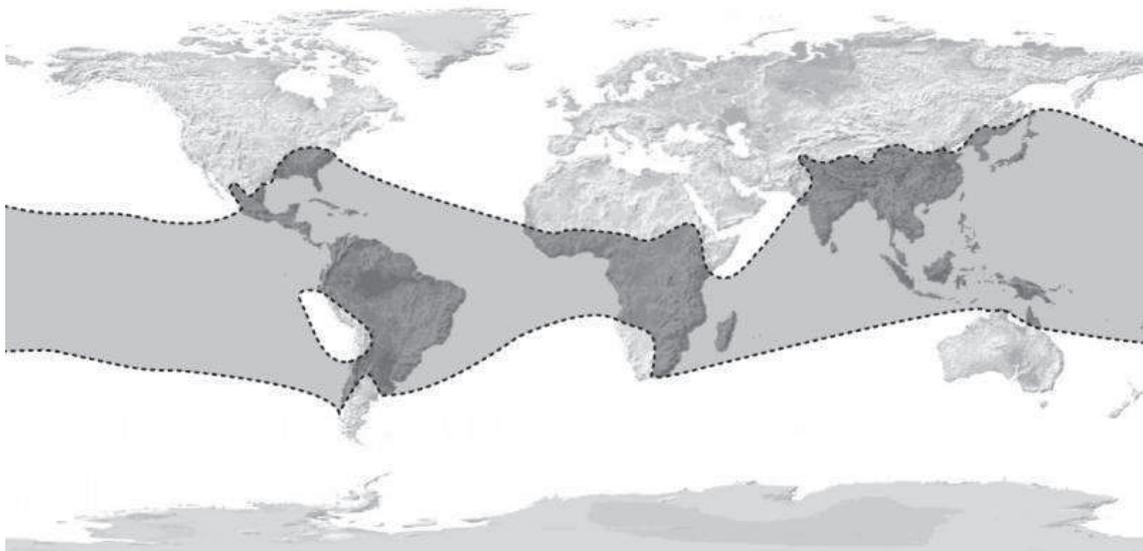


Ilustración 24: Distribución del bambú en el mundo.

Fuente, http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bambusoideae_World_map.png

⁵³ Ximena Londoño, "Recurso sostenible de incalculable valor", en *Guadua, Arquitectura y Diseño*, Villegas Asociados S.A., Villegas Editores, Bogotá, Colombia, Julio 2003, p. 22.

Beneficios ambientales del bambú

El bambú tiene muchos beneficios ambientales, sus rizomas funcionan como esponjas, regulando el caudal hídrico, sus raíces entrelazadas evitan la erosión del suelo, aportan grandes cantidades de biomasa, y sus bosques albergan diversa flora, microflora, entomofauna y fauna. Son ideales para recuperar suelos degradados por deforestación y prácticas agrícolas ineficientes, por lo que son ideales para reactivar zonas marginadas. Si se aprovechan los culmos para la construcción, fabricación de muebles y manufactura de utensilios, se secuestra CO², de modo que los productores de bambú en países latinoamericanos podrían beneficiarse de los mecanismos de desarrollo limpio, con el comercio de los bonos de carbono, representando así una actividad económica importante para estas zonas.

Por otro lado, el bambú es una de las plantas de más rápido crecimiento, en seis meses alcanza su altura máxima, alcanza la madurez entre los cinco y seis años pero puede cosecharse desde los dos años de edad. “Por lo general, el ciclo de crecimiento de un bambú constituye una tercera parte del ciclo de un árbol de rápido crecimiento, y su productividad por hectárea es dos veces la del árbol”⁵⁴, esta cualidad, sus propiedades físico mecánicas y su bajo costo hacen del bambú una alternativa para el mercado forestal, pudiendo así reducir las presiones sobre las selvas y bosques del planeta.

Usos del bambú

Los usos del bambú entre los pobladores rurales de todo el mundo son muy variados, utensilios para el hogar, herramientas, muebles, artesanías, muebles e instrumentos musicales etc. y es de esperar que en los países asiáticos donde la industria está más desarrollada, el número de usos y aplicaciones sea aún mayor. En la imagen siguiente se indican algunos de los usos que se le da a las diferentes partes del bambú en China, país en el que el valor de esta industria es de varios billones de dólares⁵⁵.

⁵⁴ Op. cit. p. 30

⁵⁵ 3.5 billones de dólares en 2003, Londoño, Ximena, Luis Fernando Botero, *Sistemática, Silvicultura, Cadena Productiva y Usos del Bambú, Seminario Regional PROSA*, Sociedad Colombiana del Bambú, Tucumán, Argentina, Octubre 2006.

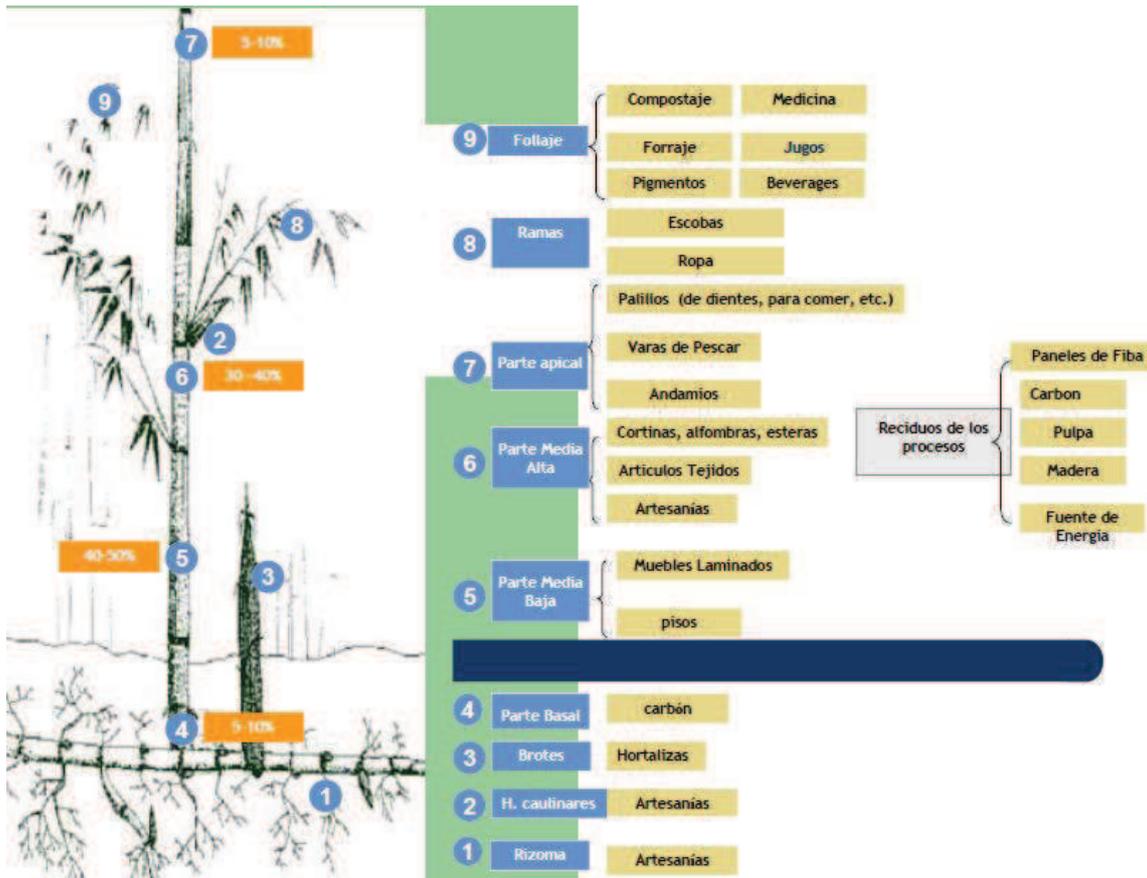


Ilustración 25: Se muestra en la imagen el nombre de las partes del bambú y algunos de sus usos.

Fuente: Zhu Zhaohua, *La industria del bambú en China*, traducción de Ximena Londoño, INBAR.

Como podemos ver es una planta muy versátil sus usos van desde alimento hasta fabricación de ropa, papel o fármacos y todos los residuos de los procesos de transformación son aprovechados, pero los que más nos interesan son sus usos en la construcción, los cuales pueden equipararse a los de cualquier otra especie arbórea, con la ventaja de ser un recurso mucho más económico, desde su producción (“la inversión en el mantenimiento y manejo anual de un bosque de bambú representa sólo el 25 o 30% de las ganancias obtenidas en la cosecha del bambú”⁵⁶), hasta su uso en la construcción (casi 45% más económico que una construcción con materiales convencionales⁵⁷).

⁵⁶ Salas Delgado, Eduardo, *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia*, Simón Vélez: “Símbolo y búsqueda de lo primitivo”, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Noviembre 2006, pag. 44.

⁵⁷ Londoño, op. cit., pag. 34.

Construcción con Bambú

Construir con bambú no es nada nuevo, todas las civilizaciones que han habitado el trópico, desde las más antiguas en el África hasta las contemporáneas alrededor de todo el mundo, han utilizado diferentes especies de bambú para fabricar sus instrumentos, herramientas y para la construcción, ya que es un material ligero, resistente, manejable y de fácil transporte; muchas veces es preferido ante la madera, pues debido a que la mayoría de las especies tienen un culmo hueco es mucho más fácil de cortar. Las civilizaciones americanas no son la excepción, en México muchos de los pueblos prehispánicos construían sus viviendas con bambú, los conquistadores españoles se sirvieron de este recurso para construir sus asentamientos temporales, fue fundamental en el desarrollo de las regiones cafetaleras e incluso hoy en día gran parte de la población de los países en vías de desarrollo habita en viviendas de bambú. En Jalisco y Colima por ejemplo, aún pueden encontrarse pueblos enteros en los que la materia prima utilizada en la construcción de sus hogares es el bambú, bajo el sistema bahareque (bastidores de bambú recubiertos con una mezcla de lodo y zacate), en el que generalmente se utiliza el *otate* (*Otatea acuminata*)⁵⁸, la especie más utilizada en México.

Debido a la cada vez más notable pérdida de tradiciones, la mala fama que tiene el bambú de ser un material poco duradero y la connotación que se le ha dado de ser un material de baja calidad, incluso se le ha denominado “la madera de los pobres”⁵⁹, actualmente, muy poca gente aprecia una vivienda de interés social en bambú, no obstante, hoy en día el auge de los materiales naturales para la construcción, ha despertado tanto el interés de las personas por habitar una casa de bambú, como el interés de los arquitectos e ingenieros por rescatar este tipo de arquitectura. Esto ha llevado al refinamiento de las técnicas tradicionales de construcción y a la investigación de las propiedades

⁵⁸ Cortés Rodríguez, G.R. 2000. Los bambúes nativos de México. CONABIO. Biodiversitas 30:12-15, p. 14.

⁵⁹ Londoño, Op. cit. P. 34.

de este material y su desempeño en sistemas estructurales contemporáneos como las superficies sinclásticas (de doble curvatura) o el tensegrity*.

Actualmente Simón Vélez, diseñador del museo nómada (que se instaló en 2008 en la Plaza de la Constitución de la Ciudad de México), es el arquitecto más conocido que trabaja con bambú por la difusión que se le ha dado a su obra, pero existen muchas más personas que se dedican al estudio de este material, dentro de los que destacan Jörg Stamm, arquitecto alemán que radica en Colombia y que ha realizado diversas obras en las que se puede ver una evolución en la comprensión del comportamiento estructural del bambú, en sus primeras obras podemos ver soluciones tradicionales, mientras que en las más recientes, como el proyecto Three mountains en Bali, la solución se adecua a las características del material, ya que aprovecha la gran longitud y flexibilidad de los culmos de bambú, logrando una construcción de formas más estilizadas y coherencia estructural.



Ilustración 26: tensegrity de bambú aplicado en el diseño industrial. Daniel Palacios López, Medellín, Colombia.

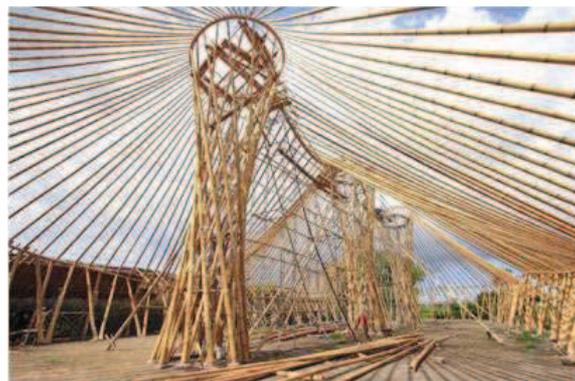


Ilustración 27: A la izquierda Restaurante en Popayán, Colombia; a la derecha Trhee Mountains en Bali. En estas imágenes podemos ver cómo ha evolucionado la obra del arquitecto Jörg Stamm.

* El tensegrity contracción de tensional integrity, término acuñado por Richard Buckminster Fuller, es un sistema estructural en el que las fuerzas de compresión y tensión (tracción) se encuentran en equilibrio, generalmente los componentes sometidos a tensión son barras aisladas unidas por una red continua de cables (que reciben los esfuerzos de tracción). Se popularizó por las obras del artista Keneth Snelson y se ha aplicado al diseño de domos y cubiertas de estadios.



Ilustración 29: Arq. Simón Vélez, Museo Nómada, teatro principal. Cuando se construyó en 2005, fue la estructura más grande hecha en bambú. Fuente <http://www.papelmantequilla.com/?p=161>.

En México también hay arquitectos trabajando con bambú y están realizando obras de gran calidad, como el arquitecto Raúl Villafranca que ha coordinado talleres de construcción con bambú en la Universidad Iberoamericana y que ha asesorado proyectos de aplicación de la guadua en la arquitectura. Por otro lado, se encuentra el arquitecto Ricardo Leyva, que imparte diversos cursos para el uso del bambú en la arquitectura y que ha diseñado algunos edificios de muy alta calidad estructural y estética.



Ilustración 28: Arq. Ricardo Leyva, Aula de educación ambiental "Flor del Bosque", Puebla, Puebla, 2005. La techumbre es un cascarón de concreto sostenido por una estructura completamente hecha en bambú. En la construcción del edificio se considero la participación comunitaria y la economía local.

Guadua, el bambú americano.

En América, aunque especies de bambú aptas para la construcción han sido introducidas con éxito, el género guadua (endémico de América) es el más utilizado. Entre las especies pertenecientes a este género la guadua angustifolia, originaria de Colombia y Ecuador, es la que se cree tiene las mejores propiedades como material de construcción, por lo que la mayoría de los procesos descritos en este documento se han aplicado principalmente a esta especie, pero bien pueden ser aplicados a las especies que hay en México, las cuales también tienen excelentes propiedades.

Especies mexicanas, propiedades físicas

Se han hecho pruebas con tres de las cinco especies de guadua mexicanas:

- Guadua aculeata: sus culmos generalmente miden entre 10m y 15m, su diámetro está comprendido entre los 10cm y 15cm, crece en los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, se considera que es la más parecida a la guadua angustifolia.
- Guadua amplexifolia: culmos de 10m a 12m, su diámetro está comprendido entre 8cm y 12cm, es una guadua que no tiene espinas y crece en los estados de Chiapas, Hidalgo, Morelos, Oaxaca, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz.
- Guadua velutina: parecida a la amplexifolia, sus culmos llegan a medir 15m, su diámetro está comprendido entre 8cm y 10cm y crece en los estados de San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz.

Las pruebas fueron realizadas siguiendo las siguientes normas:

- ISO/TC165 N314. 2001. Determination of physical and mechanical properties of bamboo.
- ISO/TC 165 N315. 2001. Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of physical and mechanical properties of bamboo.

Éstas recomiendan que el tamaño adecuado de muestras para pruebas en seco y pruebas en condición verde es de doce culmos para cada una y

aseguran que los resultados son 90% confiables. Las doce muestras se dividen en tres grupos, que corresponden a las partes basal, media y apical. Los resultados demostraron que sus resistencias promedio, en general son mayores a las de muchos tipos de maderas y su relación resistencia/peso es mucho mayor a la de otros materiales como el concreto, los resultados se muestran en las siguientes tablas⁶⁰.

Propiedades físicas de Guadua aculeata, Misantla, Ver.				
Parte		Basal	Media	Apical
Cortante en verde		45,13	57,19	62,86
Cortante en seco		****	****	****
Compresión	Esf _{Max} en verde	274,53	331,02	446,2
	Esf _{Max} en seco	****	****	****
	MOE en verde	82 059	137 490	187 657
	MOE en seco	****	****	****
Flexión	MOR en verde	600,68	664,88	988,33
	MOR en seco	****	****	****
	MOE en verde	141 179	165 256	246 469
	MOE en seco	****	****	****
Notas:				
Todas las medidas de resistencia son en kg/cm²				
Los estudios de tracción se encuentran en proceso				

Comparativo G. aculeata, G. angustifolia					
Especie	C.H.	MOE	MOR	Esf_{Max}· Comp.	Esf_{Max}· Cor.
	%	Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2
G. angustifolia	15	277 000	1 113	420	75
G. aculeata	16	236 000	757	426	63

⁶⁰ Ordoñez Candelaria, Víctor Rubén et. ali, *Caracterización Tecnológica de las Especies Mexicanas de Guadua (Poaceae Bambusoideae) y sus Aplicaciones en la Construcción*, CONAFOR-2002-C01-5670,

Propiedades físicas de Guadua velutina, Huimanguillo, Tab.				
Parte		Basal	Media	Apical
Cortante en verde		42,6	44,6	48,6
Cortante en seco		45,7	69,7	****
Compresión	Esf _{Max.} en verde	203,5	251,3	290,2
	Esf _{Max.} en seco	329,6	377,4	****
	MOE en verde	94 622	105 642	127 128
	MOE en seco	98 039	109 212	****
Flexión	MOR en verde	732,5	757,7	843,1
	MOR en seco	757,1	915,6	1203,5
	MOE en verde	174 660	195 107	211 015
	MOE en seco	151 842	202 913	294 047
Notas:				
Todas las medidas de resistencia son en kg/cm ²				
Los estudios de tracción se encuentran en proceso				

Propiedades físicas de Guadua amplexifolia, Monte Blanco, Ver.				
Parte		Basal	Media	Apical
Cortante en verde		40,9	46,3	50,9
Cortante en seco		38,5	55,3	61,7
Compresión	Esf _{Max.} en verde	249	277,2	295,3
	Esf _{Max.} en seco	235,1	305,3	397,6
	MOE en verde	80 688	106 664	131 024
	MOE en seco	76 468	123 674	143 273
Flexión	MOR en verde	733	926,3	1038,2
	MOR en seco	****	****	****
	MOE en verde	138 115	181 794	231 087
	MOE en seco	****	****	****
Notas:				
Todas las medidas de resistencia son en kg/cm ²				
Los estudios de tracción se encuentran en proceso				

Cálculo de elementos a compresión

Antes de dimensionar los elementos de bambú que trabajan a compresión debemos considerar algunas cosas:

- Carga de diseño.
- Longitud efectiva del elemento: se obtiene multiplicando la longitud de la columna (L) y multiplicándola por una constante (k), que depende de las condiciones de apoyo del elemento:
 - $k=1$ para ambos extremos articulados
 - $k=0.5$ para ambos extremos empotrados
 - $k\sim 0.7$ para un extremo empotrado y el otro articulado
- Esbeltez del elemento: la esbeltez es la relación entre la longitud del elemento y su radio de giro, lo denotaremos por:

$$\lambda = L/i \quad (3)$$

$$i = (I/A)^{1/2} \quad (4)$$

Donde I es el momento de inercia de la sección y A el área de la misma.

- Determinar si el elemento es corto, intermedio o largo, para esto utilizaremos la fórmula:

$$C_k = 2.72 (E/f_a)^{1/2} \quad (5)$$

Donde E es el módulo de elasticidad y f_a el esfuerzo admisible de compresión, el cual calculamos multiplicando el esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra, por un factor ϕ que obtenemos de la fórmula:

$$\phi = 1/(FS \cdot FDC) = 1/(1.6 \cdot 1.25) = 0.5 \quad (6)$$

Donde (Factor de Servicio) FS=1.6 y (Factor de Duración de Carga) FDC=1.25

Y usamos las relaciones:

- $\lambda < 30$ elemento corto
- $30 \leq \lambda < C_k$ elemento intermedio
- $C_k \leq \lambda < 150$ elemento largo
- $150 < \lambda$ inadmisibles

Cálculo de elementos cortos ($\lambda < 30$)

Este tipo de elementos falla por compresión y su carga admisible (P_a) podemos calcularla de la siguiente manera:

$$P_a = f_a \cdot A \quad (7)$$

Cálculo de elementos intermedios ($30 \leq \lambda < C_k$)

Este tipo de elementos fallan por compresión y pandeo, su carga admisible la calculamos de la siguiente manera:

$$P_a = f_a \cdot A \cdot [1 - 1/3(\lambda/C_k)^4] \quad (8)$$

Cálculo de elementos largos ($C_k \leq \lambda < 150$)

Estos elementos fallan por pandeo principalmente y para asegurar su estabilidad determinamos su carga admisible utilizando la fórmula:

$$P_a = 4.93 (E \cdot A) / \lambda^2 \quad (9)$$

Nota final: En este documento se omite el cálculo de elementos a flexocompresión, pues los principales elementos de bambú que trabajan a compresión en el proyecto son sometidos a cargas axiales.

Cálculo de elementos a flexión

Al igual que para los elementos a compresión, existen algunas consideraciones básicas que tenemos que tomar en cuenta para los elementos sometidos a flexión:

- Carga de diseño.
- Deflexiones máximas, aunque la guadua es extremadamente flexible, no se pueden tolerar deformaciones muy grandes, ya que pueden dañar los plafones y estarían asociadas a grandes vibraciones. Debemos de considerar dos tipos de deflexiones:

Deflexiones diferidas: son las que se generan con el tiempo, para determinarlas, debemos considerar la carga muerta más un 80% y la

carga viva ($w = 1.8C_m + C_v$), la deflexión diferida debe cumplir las siguientes relaciones con respecto a la longitud del elemento (L):

- $\Delta_{\max} < L/300$ para edificaciones con plafond de yeso
- $\Delta_{\max} < L/250$ para edificaciones sin plafond de yeso
- $\Delta_{\max} < L/200$ para edificaciones industriales o en techos inclinados

Deflexiones cortas: son las ocasionadas por las constantes vibraciones, estas las calculamos utilizando solamente la carga viva ($w = C_v$), la deflexión corta debe cumplir las siguientes relaciones:

- $\Delta_{\max} < L/350$ en todo tipo de vivienda
- $\Delta_{\max} < L/480$ si se desea minimizar la vibración

Para calcular la deflexión máxima utilizamos la fórmula:

$$\Delta_{\max} = (5 \cdot w \cdot l^4) / (384 \cdot E \cdot I) \quad (10)$$

- Espaciamiento: si las cargas son muy grandes y estamos utilizando la guadua como viguetas, es posible reducir el espaciamiento entre éstas para minimizar las cargas tributarias, al igual que en la madera se recomiendan espaciamientos en múltiplos de un pie (31 cm).
- Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad: cuando es posible redistribuir las cargas a las que está sometida una viga de guadua, utilizamos el módulo de elasticidad promedio más un 10%.

Cálculo del momento de inercia necesario para evitar deflexiones

Para evitar que el elemento se deforme, es necesario que cuente con un momento de inercia suficientemente grande, calculamos el momento de inercia necesario de la siguiente manera:

$$I \geq I_{\text{necesario}} = (5 \cdot w \cdot l^3 \cdot k) / (384E) \quad (11)$$

Donde I es el momento de inercia y k la deflexión admisible (300,250 o 200 para diferida, 300 o 480 para vibraciones).

Cálculo del módulo de sección

Para evitar que el elemento falle, es necesario que cuente con el módulo de sección suficiente, para calcularlo usamos la siguiente fórmula:

$$Z \geq Z_{\text{necesario}} = M/f_m \quad (12)$$

En donde Z es el módulo de sección, M el momento flector máximo y f_m el esfuerzo admisible a flexión que obtenemos multiplicando el esfuerzo máximo por un factor $\phi=0.48$.

Verificar el cortante

Por último verificamos que el elemento estructural no falle por cortante, para esto determinamos el cortante máximo que para la guadua se define como:

$$\tau_{\text{max}} = [4V \cdot (D_e^2 + D_e^2 \cdot D_i^2 + D_i^2)] / [3A \cdot (D_e^2 - D_i^2)] \quad (14)$$

Donde τ_{max} es el esfuerzo cortante máximo, V es el cortante máximo en el elemento, D_e el diámetro exterior del culmo, D_i el diámetro interior del culmo y A el área de la sección del culmo. Además se debe cumplir la siguiente relación con respecto al esfuerzo cortante admisible:

$$\tau_{\text{max}} < f_v$$

Nota final: se debe tener cuidado con el pandeo lateral de los elementos sometidos a flexión, para evitarlo se deben arriostrar estos elementos.

Cálculo de elementos a tracción

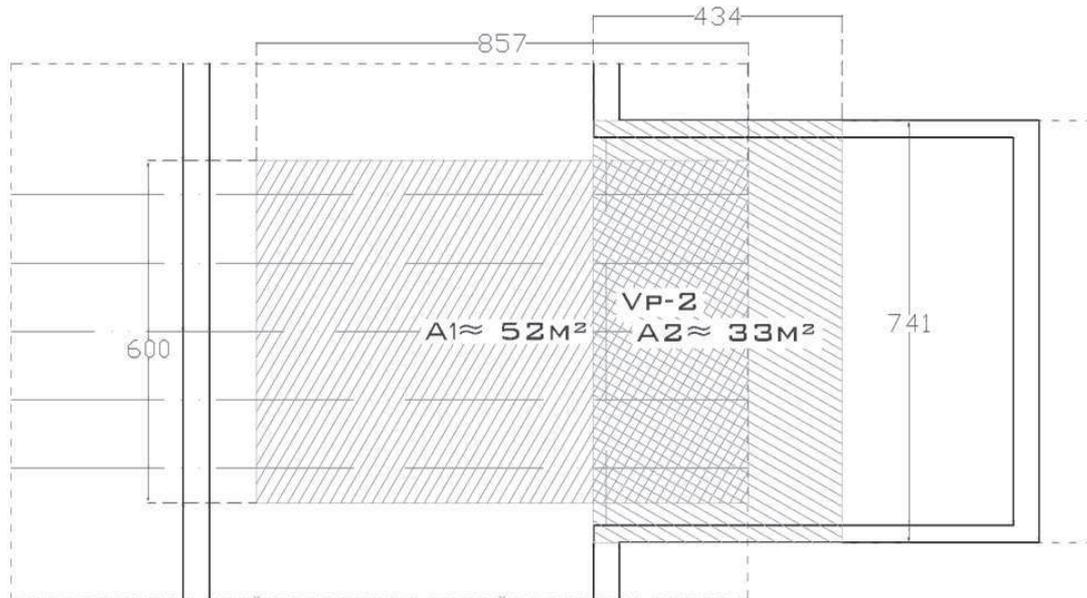
El cálculo de elementos a tracción se realizará de la misma manera que se hace con el acero, para obtener el área necesaria de la sección del culmo, dividimos el esfuerzo de tracción actuante (T_a) entre el esfuerzo admisible (f_t) de tracción, que obtenemos al multiplicar el esfuerzo máximo por un factor de reducción $\phi=0.75$.

Ejemplos de aplicación

Haremos el predimensionamiento de algunos elementos en el proyecto, sólo para mostrar el procedimiento que se sigue, en los cálculos utilizaremos las unidades correspondientes al Sistema Internacional de Unidades para cargas

(N) y esfuerzos (Pa o MPa). La carga de diseño que se utilizará para los entrepisos y las cubiertas será de 5000 Pa y los esfuerzos admisibles serán los correspondientes a la guadua angustifolia.

Elementos sometidos a esfuerzos axiales.



En este ejemplo haré el cálculo de las secciones de las barras de una armadura (VP2), lo primero que hacemos es determinar la carga, esto lo hacemos multiplicando las áreas tributarias de las cubiertas por la carga de diseño:

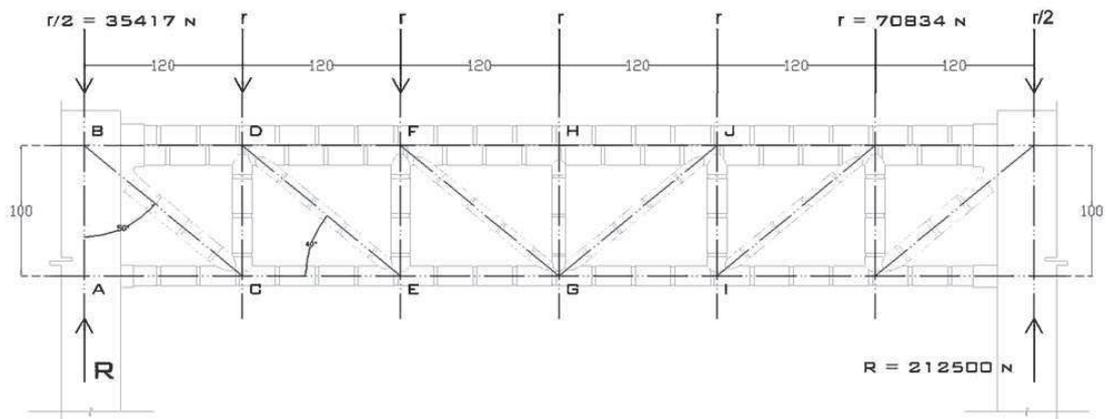
$$P = (A_1 + A_2) \cdot W = (52 \text{ m}^2 + 33 \text{ m}^2) \cdot 5000 \text{ Pa} = 425000 \text{ N}$$

Ahora distribuimos esa carga entre los nodos (r) y hacemos las reacciones (R) en los apoyos iguales a la mitad de P:

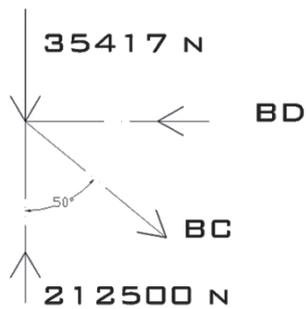
$$r = P/6 = 7083.33 \text{ N} \sim 7084 \text{ N}$$

$$R = P/2 = 212500 \text{ N}$$

Después determinamos los esfuerzos en las barras por medio de un análisis estático nodo por nodo. Una vez determinados los esfuerzos, utilizamos el esfuerzo más grande de compresión y de tracción, para hacer el predimensionamiento de las secciones de guadua.



NODO B $\sum F_y = 212500 \text{ N} - 35417 \text{ N} - \text{Cos}(50^\circ) \cdot BC = 0$

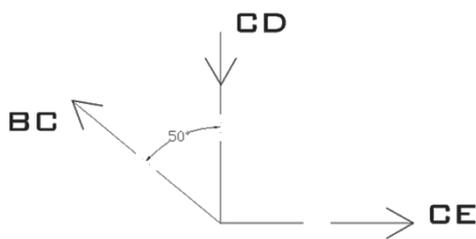


$\Rightarrow BC = 275492.2424 \text{ N}$ Tracción (T)

$\sum F_x = \text{Sin}(50^\circ) \cdot BC - BD = 0$

$\Rightarrow BD = 211039.3014 \text{ N}$ Compresión (C)

NODO C



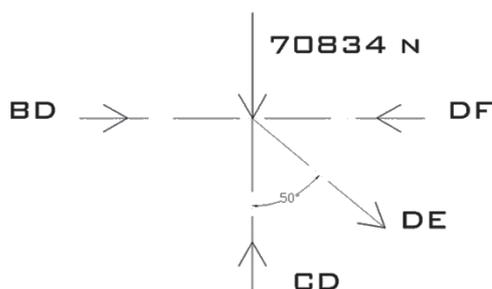
$\sum F_x = CE - \text{Cos}(40^\circ) \cdot BC = 0$

$\Rightarrow CE = 211039.3014 \text{ N}$ (T)

$\sum F_y = \text{Sin}(40^\circ) \cdot BC - CD = 0$

$\Rightarrow CD = 177083 \text{ N}$ (C)

NODO D



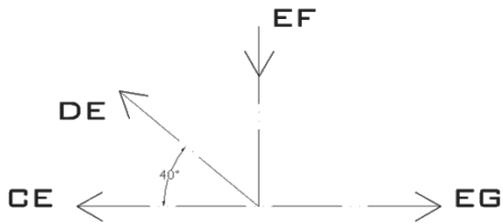
$\sum F_y = CD - r - \text{Cos}(50^\circ) \cdot DE = 0$

$\Rightarrow DE = 165294.1009 \text{ N}$ (T)

$\sum F_x = \text{Sin}(50^\circ) \cdot DE + BD - DF = 0$

$\Rightarrow DF = 337661.9289 \text{ N}$ (C)

NODO E



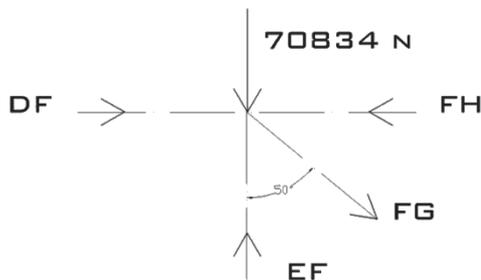
$$\sum F_x = EG - CE - \cos(40^\circ) \cdot DE = 0$$

$$\Rightarrow EG = 337661.9289 \text{ N} \quad (T)$$

$$\sum F_y = \sin(40^\circ) \cdot DE - EF = 0$$

$$\Rightarrow EF = 106249 \text{ N} \quad (C)$$

NODO F



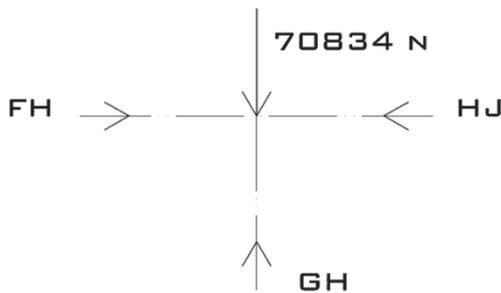
$$\sum F_y = EF - r - \cos(50^\circ) \cdot FG = 0$$

$$\Rightarrow FG = 55095.9593 \text{ N} \quad (T)$$

$$\sum F_x = DF + \sin(50^\circ) \cdot FG - FH = 0$$

$$\Rightarrow FH = 379867.8824 \text{ N} \quad (C)$$

NODO H



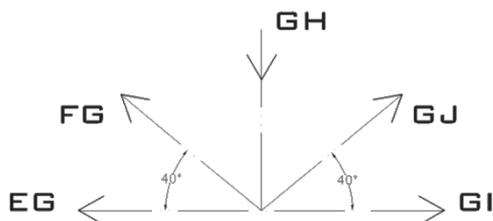
$$\sum F_y = GH - r = 0$$

$$\Rightarrow GH = 70834 \text{ N} \quad (C)$$

$$\sum F_x = FH - HJ = 0$$

$$\Rightarrow HJ = 379867.8824 \text{ N} \quad (C)$$

NODO G



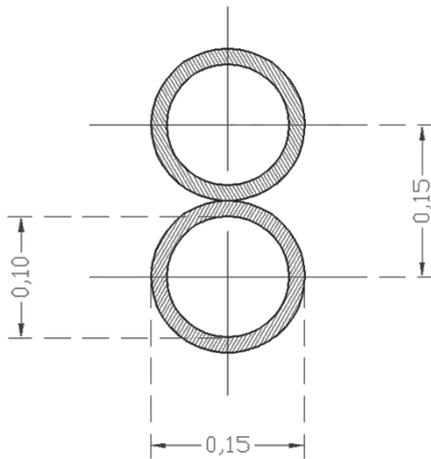
$$\sum F_y = \sin(40^\circ) \cdot (FG + GJ) - GH = 0$$

$$\Rightarrow GH = 55095.9593 \text{ N} \quad (T)$$

$$\sum F_x = GI - EG = 0$$

$$\Rightarrow GI = 337661.9289 \text{ N} \quad (T)$$

- Barras horizontales a compresión:



Tomamos $P_a = 379867.8824 \text{ N}$

Proponemos la siguiente sección y calculamos su inercia por teorema de los ejes paralelos y su radio de giro (el menor).

$$R = 0.075 \text{ m} \quad r = 0.06 \text{ m} \quad d = 0.075 \text{ m}$$

$$A = \pi \cdot (R^2 - r^2) = 0.009817 \text{ m}^2$$

$$I_T = (\pi/2)(R^4 - r^4) + 2A \cdot d^2 = 0.00015033 \text{ m}^4$$

$$i = ((\pi/2)(R^4 - r^4)/2A)^{1/2} = 0.04507 \text{ m}$$

Ahora calculamos la esbeltez para $L=1.2 \text{ m}$:

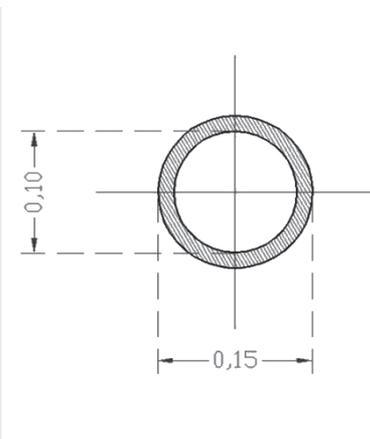
$$\lambda = L/i = 26.62 < 30$$

$$\Rightarrow A_{\text{Necesaria}} = P_a/f_a = 379867.8824 \text{ N}/22 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow A_{\text{Necesaria}} = 379867.8824 \text{ N}/22000000 \text{ N/m}^2 = 0.017266 \text{ m}^2 < 2A = 0.019634 \text{ m}^2$$

De esta manera comprobamos que nuestra sección tiene suficiente área, para poder soportar la carga que se le aplica.

- Barras verticales a compresión:



Tomamos $P_a = 177083 \text{ N}$

Proponemos la siguiente sección y calculamos:

$$A = 0.009817 \text{ m}^2$$

$$I = (\pi/4)(R^4 - r^4) = 0.000019942 \text{ m}^4$$

$$i = ((\pi/4)(R^4 - r^4)/A)^{1/2} = 0.04507 \text{ m}$$

Calculamos la esbeltez para $L=1$:

$$\lambda = L/i = 22.18 < 30$$

$$\Rightarrow A_{\text{Necesaria}} = P_a/f_a = 177083 \text{ N} / 22 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow A_{\text{Necesaria}} = 177083 \text{ N} / 22000000 \text{ N/m}^2 = 0.008049 \text{ m}^2 < A = 0.009817 \text{ m}^2$$

De nuevo comprobamos que la sección que propusimos, es suficientemente resistente.

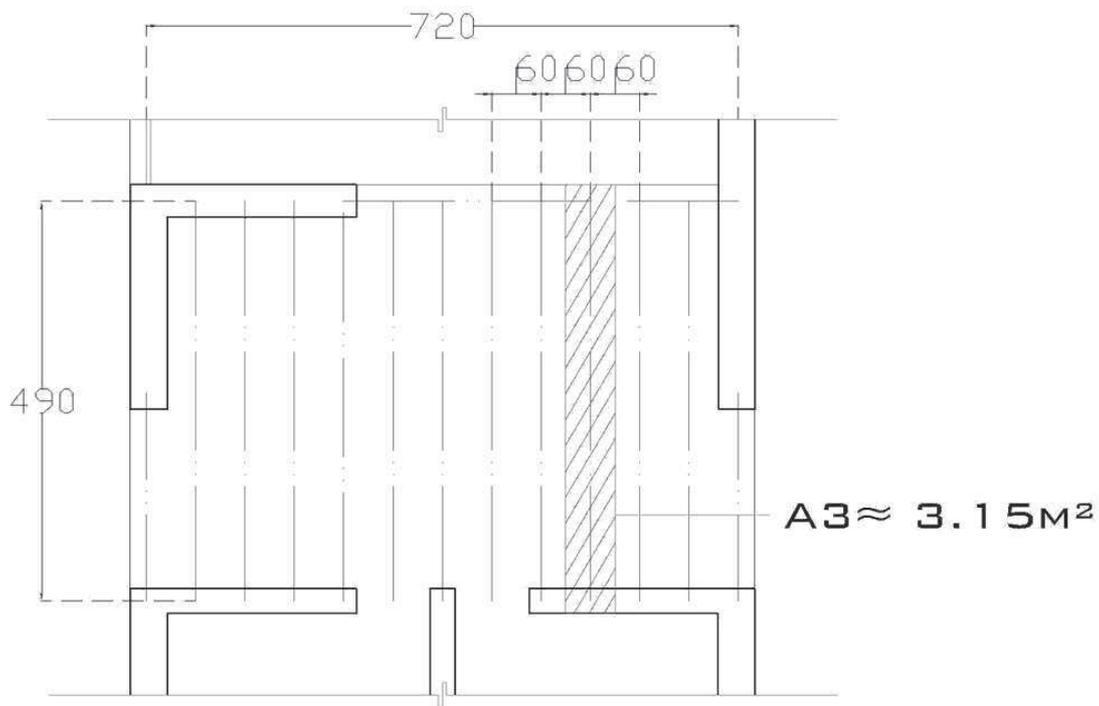
- Barras a tracción:

Tomamos $T_a = 337661.9289 \text{ N}$ y calculamos el área necesaria:

$$\Rightarrow A_{\text{Necesaria}} = T_a / f_t = 337661.9289 \text{ N} / 40 \text{ MPa} = 0.008441 \text{ m}^2$$

Entonces tomamos la misma sección que para las barras verticales cuya área es mayor a la que se necesita.

Elementos sometidos a esfuerzos de flexión



En este ejemplo haré el predimensionamiento de la sección de una viga, en este caso, utilizaré el módulo de elasticidad máximo, pues podemos distribuir las cargas entre las vigas adyacentes.

Una vez mas lo primero que hacemos es calcular la carga que actúa sobre la viga (VS2):

$$P = 3.15 \text{ m}^2 \cdot 5000 \text{ Pa} = 15750 \text{ N}$$

Ahora calculamos el momento flexor máximo (M):

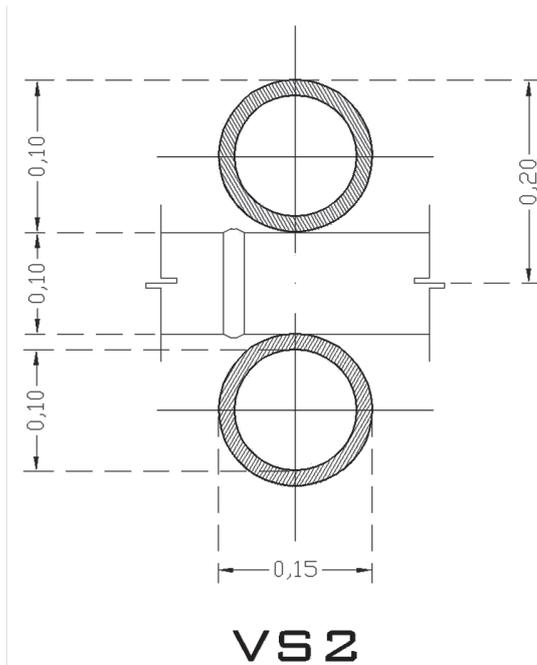
$$M = (w \cdot l^2) / 8 = (3215 \cdot 4.90^2) / 8 = 9649.01 \text{ Nm}$$

Calculamos la inercia necesaria de la sección de bambú, suponiendo una deflexión máxima de $L/200$, ya que se trata de un edificio de tipo industrial y aumentando el módulo de sección en un 10% porque las cargas se distribuyen en varias vigas, usamos la ecuación (11).

$$I_n = (5 \cdot w \cdot l^3 \cdot k) / (384E) = (5 \cdot 5785 \text{ N/m} \cdot (4.90 \text{ m})^3 \cdot 200) / (384 \cdot 17250 \text{ MPa})$$

$$I_n = 0.0001027 \text{ m}^4$$

Luego proponemos una sección y calculamos su inercia, para después compararla con la inercia necesaria y verificar que la sección no se vaya a deformar.



Por el teorema de ejes paralelos, la inercia será:

$$R = 0.075 \text{ m} \quad r = 0.05 \text{ m} \quad d = 0.125 \text{ m}$$

$$A = \pi(R^2 - r^2) = 0.009817 \text{ m}^2$$

$$I_T = (\pi/2)(R^4 - r^4) + 2A \cdot d^2 = 0.0003466 \text{ m}^4$$

$$\Rightarrow I_n < I_T$$

Luego verificamos que cuente con el modulo de sección necesario:

$$Z_n = M/f_m = 9649.01 \text{ Nm} / 15 \text{ MPa}$$

$$Z_n = 0.000643 \text{ m}^3$$

$$Z = I_T / 0.20 \text{ m} = 0.0003466 \text{ m}^4 / 0.20 \text{ m} = 0.001733 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow Z_n < Z$$

Por lo tanto, podemos asegurar que la sección no se deformará excesivamente, además se propone que las vigas se unan entre sí por culmos transversales (el que aparece al centro de la imagen), con el fin de rigidizar la estructura y evitar el pandeo lateral.

Cuidados del bambú como material de construcción

Al igual que con cualquier otra especie maderable, hay que darle ciertos cuidados a la madera de guadua para que alcance sus valores óptimos de resistencia y evitar que sea atacado por hongos o insectos, especialmente los últimos, pues se sabe que las chinches que transmiten los parásitos causantes del mal de Chagas-Mazza (parecido a la enfermedad del sueño), suelen habitar en los culmos de bambú.

Selección de los culmos

La selección de los culmos de guadua, según el uso que se le vaya a dar en la construcción, depende principalmente de su edad. Los culmos jóvenes de entre 6 meses y un año de edad, se utilizan en la fabricación de esterillas y otros tejidos; los culmos de entre 2 y 3 años de edad se utilizan en la elaboración de esterillas, latas (secciones longitudinales de guadua) y cables; los culmos maduros, de más de 3 años, se utilizan para la construcción de estructuras y los culmos más viejos, más de 5 años de edad, se utilizan en la fabricación de pisos laminados.

En especial, si lo que queremos es utilizar los culmos para la construcción de estructuras, uno de los criterios para saber si el culmo tiene la edad adecuada, es la aparición de hongos color gris claro o de barbas en los entrenudos, pero varía según la especie. Por otra parte, se recomienda que la cosecha se realice durante la temporada seca o con menos lluvias, el corte debe hacerse al ras o por encima del primer nudo⁶¹, algunos autores también recomiendan que el corte se realice entre las fases lunares de cuarto menguante, cuarto creciente o luna nueva y entre el crepúsculo y el alba, debido a que los contenidos de savia y glucosa en la planta son menores lo que reduce los tiempos de curado o secado, sin embargo, no está comprobado y se requieren más estudios acerca del tema.

Curado y Secado

Estos son los métodos naturales de aumentar la durabilidad de la guadua.

- Curado en la mata

Después de cortar el culmo, se deja con ramas y hojas, se apoya lo más verticalmente posible sobre otras guaduas y se aísla del piso, poniéndolo sobre una piedra por ejemplo. Se deja en esta posición por unas cuatro semanas, para que la savia del culmo se drene, después se cortan las ramas y hojas y se pone a secar. Este método es hasta ahora

⁶¹ Hidalgo López, Oscar, *Manual de Construcción con Bambú*, Estudios Técnicos Colombianos Ltda.-Editores, Bogotá, Colombia, p. 2.

el más recomendable, ya que los culmos no se manchan y conservan su color.

- Curado por inmersión

Los culmos recién cortados se sumergen en una piscina o en un río, durante 4 semanas que es el tiempo que tardan los culmos en remplazar su savia por agua, posteriormente se dejan secar los culmos. Este método, aunque es muy utilizado, no es muy eficaz y mancha los culmos, además si permanece más tiempo del necesario dentro del agua, pierde resistencia y se vuelve quebradizo.

- Curado al calor

Se colocan los culmos de manera horizontal, sobre una excavación de entre 30cm y 40cm con brazas en el fondo, los culmos deben girarse constantemente para evitar que se quemen, también se utiliza este método para enderezar los culmos torcidos. En Japón se usa un método similar, se colocan los culmos en una cámara durante 20min a una temperatura entre 120°C y 150°C, es muy efectivo pero se corre el riesgo de que las contracciones en los culmos produzcan agrietamientos.

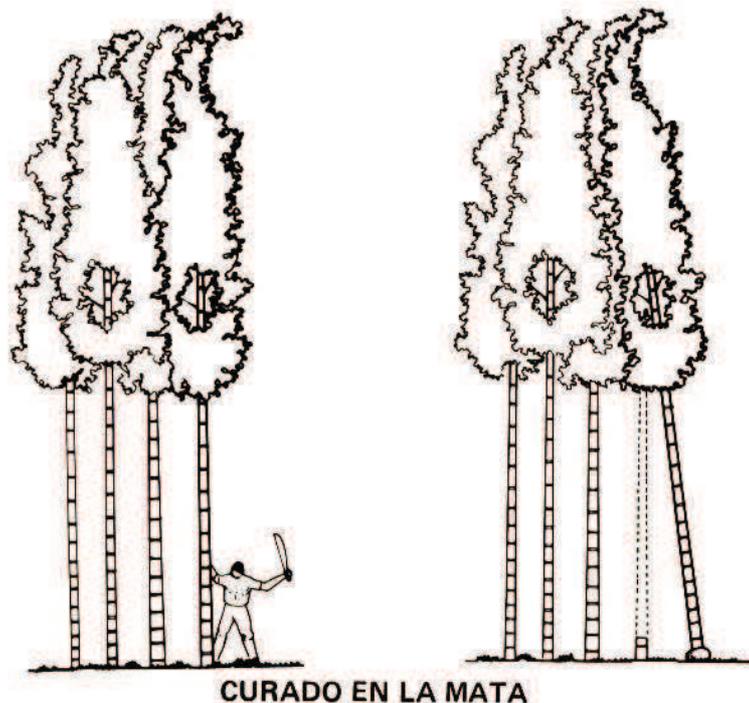


Ilustración 30: Hidalgo López, op. cit.

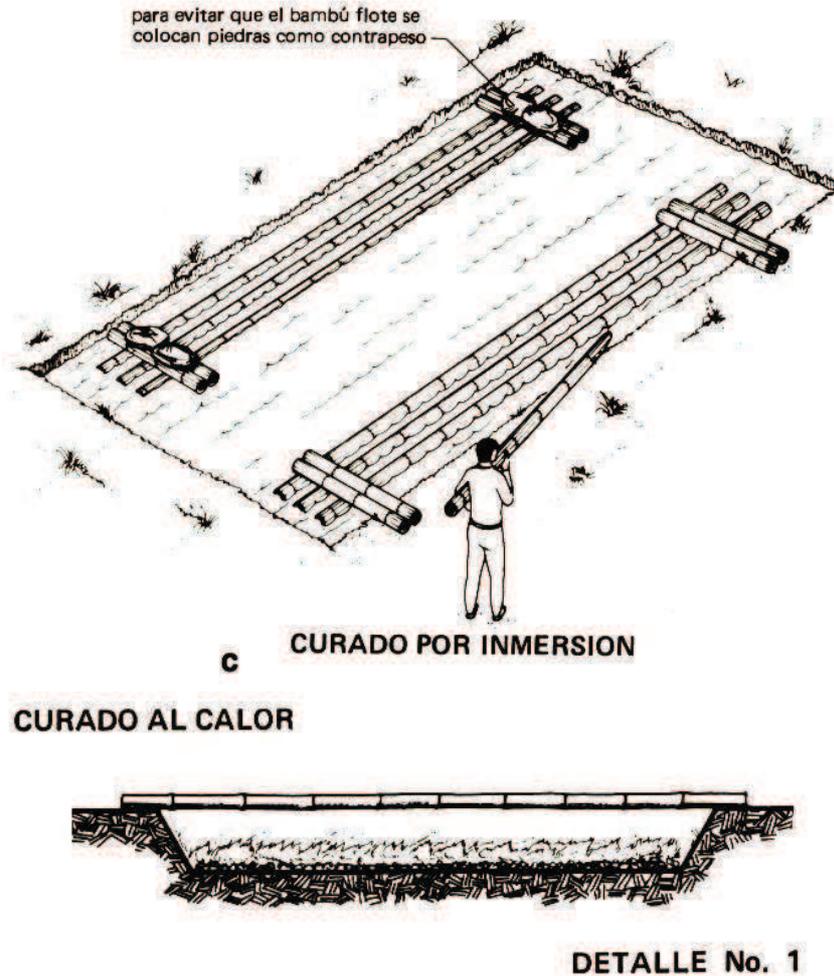


Ilustración 31: Hidalgo López op. cit. p. 3

- Métodos de secado

El secado se puede realizar de diversas maneras, al igual que con la madera se puede hacer al aire libre, en estufas, en secadores solares y en el caso de los culmos por ser huecos se puede realizar el secado por inyección de aire.



Ilustración 32: A la izquierda método de secado al aire libre, a la derecha método de secado por inyección de aire.

Preservación contra hongos e insectos

El tratamiento contra hongos e insectos, puede realizarse justo después de haber cortado la guadua, pero se recomienda que antes pase por el proceso de curado o secado, para aumentar la eficacia de los tratamientos. Muchas de las sales y otros químicos que se utilizan para preservar la guadua, son tóxicos para el ser humano y agresivos con el medio ambiente, así que sólo mencionaré los métodos menos tóxicos y amigables con el medio ambiente:



Ilustración 33: Horno vertical para ahumado de guadua. Fuente: Montoya Arango, Jorge A., Preservación y secado.

- Preservación con humo

Se hace quemar biomasa, en combustión incompleta, para generar humo, el humo se inyecta en una cámara confinada en la que se encuentran los culmos de guadua, se deja que el humo impregne tanto las paredes como la estructura interior de la guadua, el exceso de humo sale por una chimenea. La temperatura dentro de la cámara debe de mantenerse entre los 52°C y 57°C durante las dos semanas del proceso, los vapores condensados del humo se transforman en ácido piroleñoso que puede utilizarse en la agricultura, ganadería o como preservativo para madera.

- Inmersión con solución ácido bórico y bórax

Primero se perforan los nudos o tabiques de los culmos, los agujeros deben ser preferentemente de 12.7mm (1/2"), posteriormente se sumergen en un tanque que contiene la solución de ácido bórico y bórax en relación 2:1 al 3%, durante 4 días.

- Inyección con solución de ácido bórico y bórax

Para aplicar este método, se debe perforar cada entrenudo con un orificio cerca del nudo inferior y otro cerca del nudo superior, los orificios deben ser de máximo 3.2mm (1/8"), después se inyectan entre 10ml y 20ml por cada agujero, bañando las paredes interiores del culmo.

- Método Boucherie y Boucherie modificado

El método fue ideado originalmente por el Dr. M. A. Boucherie, para tratar la albura de la madera (la parte blanca), este método fue modificado para tratar diversas especies de bambú. El proceso consiste en reemplazar la savia por alguna otra solución preservativa, por ejemplo ácido bórico y bórax al 3% o ácido piroleñoso. En el método original se usa un tanque normal en el que se deposita la solución y ésta se hace pasar a través del culmo, por gravedad. En el método modificado, se utiliza un tanque hidroneumático y se hace pasar la solución a través del culmo, por medio de presión. La duración de este proceso varia, se debe revisar continuamente para determinar el momento en el que la solución ha reemplazado completamente la savia. Si se utiliza el ácido piroleñoso se debe filtrar la solución antes de utilizarla.

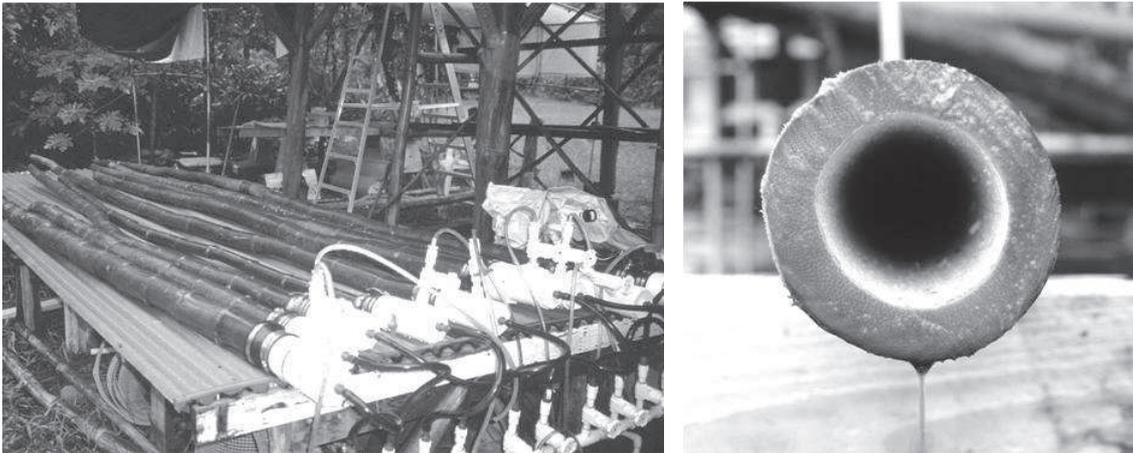


Ilustración 34: Con el método Boucherie modificado se pueden tratar varios culmos a la vez, a la izquierda vemos una foto de la solución, goteando por el extremo opuesto al de inyección, éste se debe recolectar. Fuente: Liese, Walter, *Preservation of a bamboo culm in relation to its structure*, Simposio Intenacional Guadua, Pereira, Colombia, 2004.

En un estudio realizado por la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, se evaluó la eficacia de cada uno de los métodos anteriores, los resultados mostraron que el método de inmersión es el más efectivo, seguido por el ahumado, ya que con este método se pueden secar los culmos al 10% o 12% de humedad y preservarlos contra insectos al mismo tiempo; estos dos métodos son también los más caros (aproximadamente 0.15 US\$/m y 0.2 US\$/m). En cuanto al método Boucherie no se puede decir mucho, los resultados del estudio muestran que es el menos efectivo contra ataque de insectos, sin embargo, aún hace falta perfeccionar el procedimiento, sólo

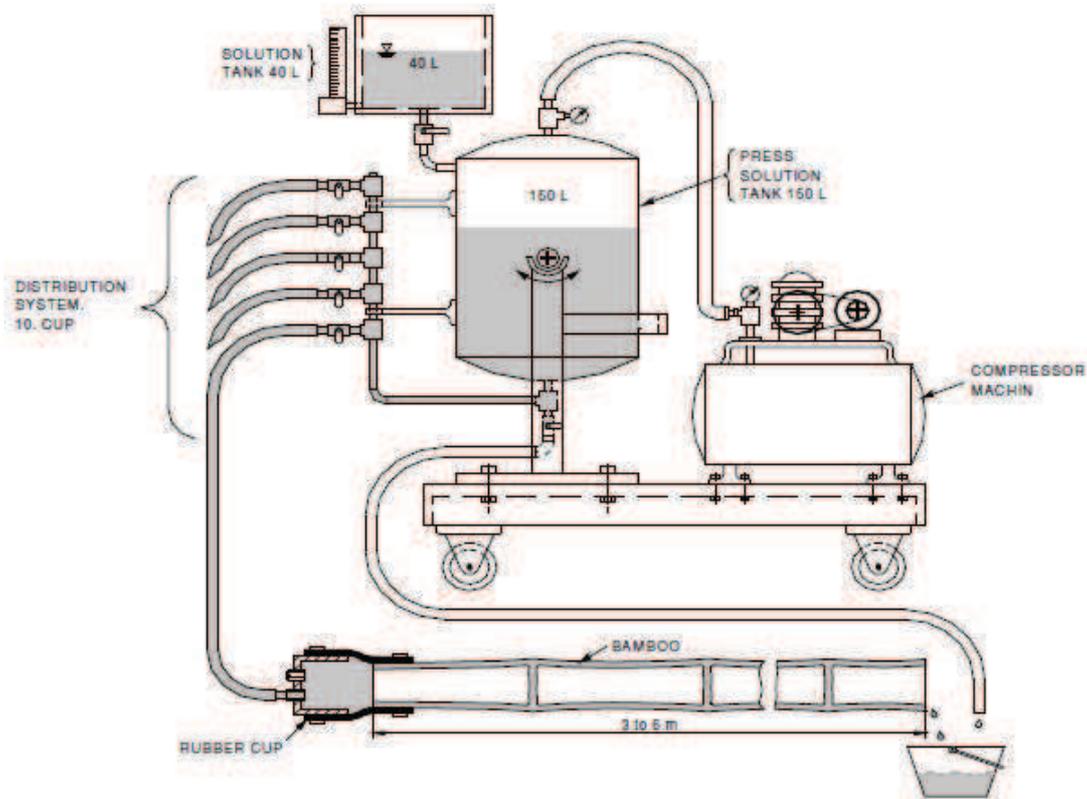


Ilustración 35: Diagrama del método Boucherie. Fuente: Montoya Arango, Jorge A., *Técnicas de Preservación de la Guadua, Diplomado "Silvicultura y manejo, postcosecha de la guadua"*, UTP, Pereira, Colombia, Junio 2005.

entonces podrá darse un resultado confiable; lo que es evidente, es que si se aplica el método de curado por inmersión previamente, la permeabilidad de los culmos aumenta y esto a su vez aumenta la eficacia del método Boucherie; y por otro lado, el ácido piroleñoso, en realidad no funciona como solución preservativa. Por último, los resultados referentes al método de inyección muestran que no es un método muy eficaz en la preservación de los culmos, pero si es adecuado para hacer tratamientos preventivos o correctivos en culmos ya tratados⁶².

Recomendaciones generales

Características del material

- Los culmos que se utilicen deben provenir de guaduas maduras (más de 3 años de edad),

⁶² Montoya Arango, Jorge Augusto, *Investigación Tecnológica en Métodos para la Preservación de la Guadua*, UTP, Pereira, Colombia, Mayo 2002.

- Los culmos deben secarse, para que su contenido de humedad esté entre 10% y 12%. Es necesario inmunizar contra hongos e insectos.
- Los culmos deben ser homogéneos, distancias entre nudos similares y no más de 2cm de diferencia entre los diámetros de los extremos de cada pieza.
- Hay que evitar usar culmos agrietados, si las grietas no son tan grandes, se pueden utilizar los culmos, pero debe colocarse un zuncho metálico para evitar que la grieta se agrande.

Cimentaciones

- Los elementos verticales de guadua, deben apoyarse sobre algún material más resistente como concreto o tabique, es decir puede apoyarse directamente sobre el cimiento o sobre un murete, pero evitando que la guadua quede en contacto con el suelo o con algún medio húmedo. Algunos autores recomiendan que los culmos deben colocarse mínimo 50cm por encima del nivel de suelo.
- La fijación de los elementos verticales de guadua a los cimientos se realiza con espárragos de 12.7mm (½") de diámetro, estos deben extenderse unos 40cm o un entrenudo completo dentro del culmo, los entrenudos perforados se rellenan con mortero cemento arena 1:2. Los culmos no deben apoyarse directamente sobre el concreto, en cambio, se usa un separador metálico o de algún otro material impermeable.
- No es recomendable que los culmos se empotren en el concreto, pero de ser así, se recomienda que se recubran las paredes de la cavidad en la que se colocará la guadua, con polietileno, una emulsión asfáltica o algún otro material bituminoso. Otra alternativa es utilizar una camisa metálica, ésta es mucho más efectiva, ya que además de ofrecer protección contra la humedad, proporciona una mayor resistencia al cortante.

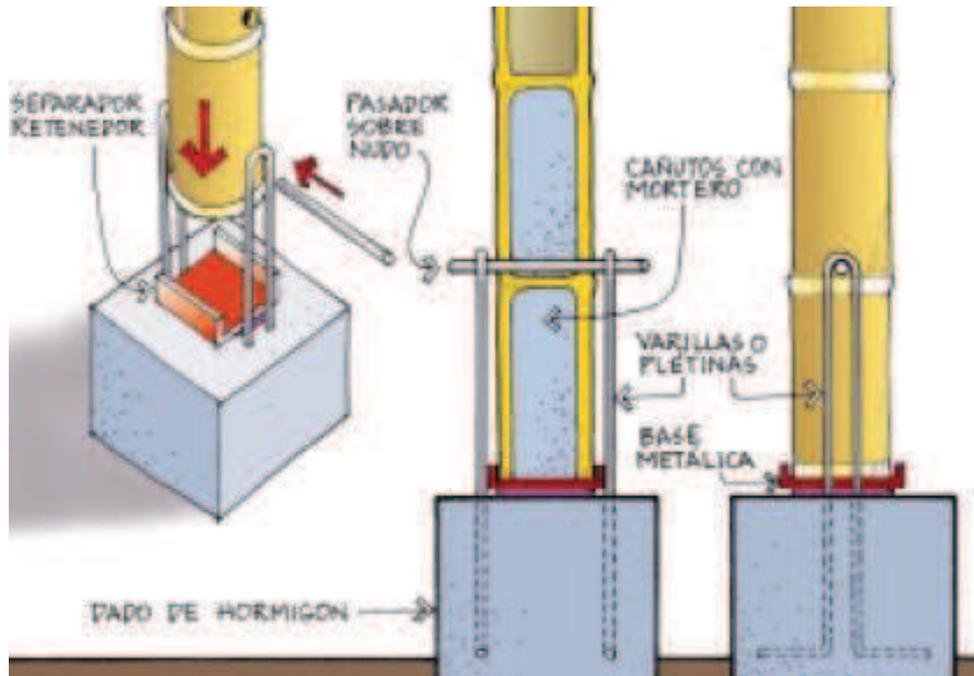


Ilustración 37: La unión con el cemento también puede realizarse por el exterior, en cualquier caso, los primeros entrenudos se deben rellenar con mortero cemento arena.

Fuente: *Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado*, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica

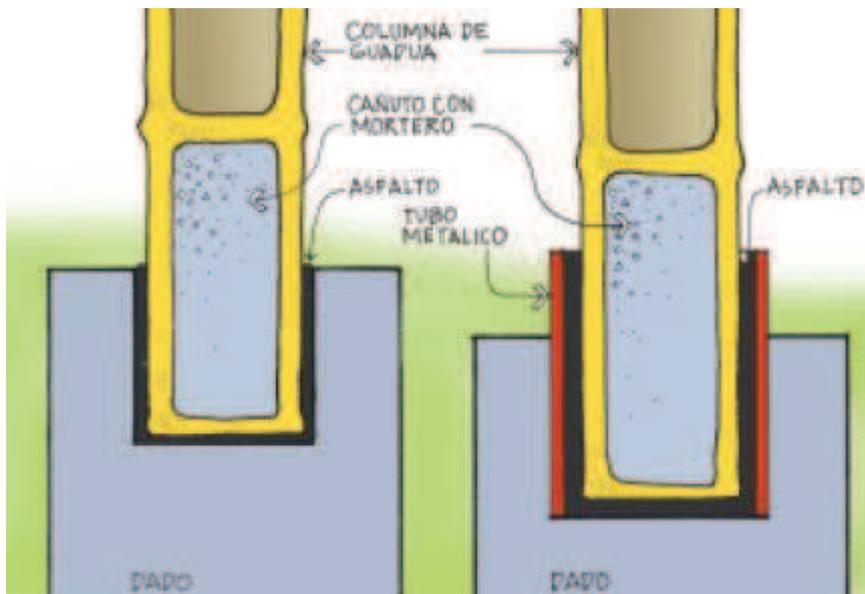


Ilustración 36: Empotre de los culmos en el cemento de concreto.

Fuente: *Ibidem*.

Entrepisos

- Al igual que los entrepisos de madera, los entrepisos de guadua se realizan colocando viguetas separadas 30cm o 41cm a ejes, para cargas grandes, o 60cm, para cargas más ligeras.

- Sobre las viguetas de guadua se colocan tablonces de madera o tableros de triplay de 19mm ($\frac{3}{4}$ "), si se desean reducir las vibraciones del entrepiso se puede colocar una segunda capa de triplay, esto también aumenta la resistencia al fuego del entrepiso.
- Los entresuelos pueden realizarse colocando una esterilla encima del terreno mejorado en vez de una losa de concreto.
- No es recomendable que los culmos se sometan a cargas puntuales, pues se corre el riesgo de que estos fallen por aplastamiento, en caso de que se sometan los culmos a este tipo de esfuerzos, se debe procurar que un nudo quede justo debajo de la carga puntual, es incluso mejor colocar un cilindro de madera dentro del culmo cuando es posible, o rellenar los entrenudos sobre los que actúan las cargas, con mortero cemento-arena.

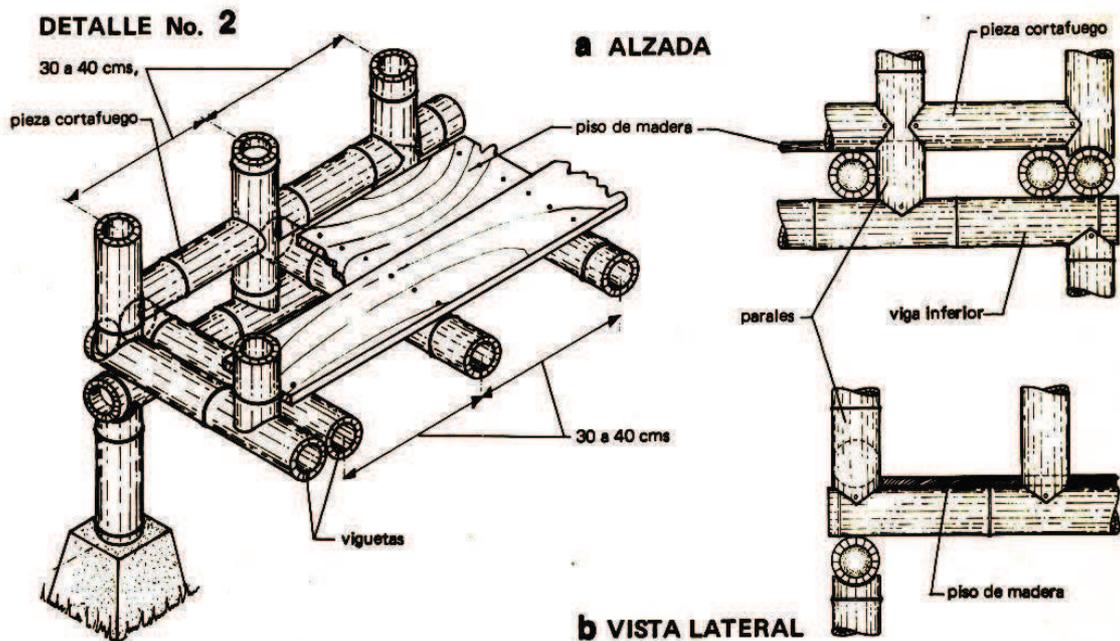


Ilustración 38: Se muestra una pieza de guadua que está sometida a cargas puntuales, en este caso no es necesario rellenar los entrenudos con mortero, ya que el elemento trabaja a flexión, lo que le da la libertad de deformarse y evitar el aplastamiento. Fuente: Hidalgo López, op. cit., p. 27.

Muros

Existen diversos sistemas de muro, el más sencillo está compuesto por una esterilla tejida que se monta sobre un marco de guadua. El más común de todos los sistemas, es el bahareque, éste se compone de un marco de guadua sobre el cual se monta una esterilla y finalmente se recubre con un aplanado de tierra, de barro y estiércol (boñiga) o de cemento arena en proporción 1:2, algunas recomendaciones para tener un buen muro de bahareque son:

- La separación entre los puntales de guadua, debe ser 30cm o máximo 41 cm.
- Hay que procurar que quede un nudo en la base de los puntales, para evitar que se fracturen en caso de que se golpeen para plomearlos.
- Si se utiliza esterilla muy delgada y flexible, la separación entre los puntales debe ser la mínima (30cm), para evitar que el aplanado se agriete.
- La esterilla se puede fijar utilizando una tira de corteza de la misma guadua, clavándola por encima de la esterilla, al centro de cada uno de los puntales. Otra alternativa es utilizar un alambre galvanizado y enrollarlo en las cabezas de los clavos. La separación entre los clavos debe ser de unos 8cm.
- Por lo general las esterillas son de forma trapezoidal, por tal motivo, se deben colocar de manera opuesta los extremos, es decir, el extremo más ancho de una esterilla se coloca arriba del extremo más angosto de la esterilla inferior, de esta manera se cubre uniformemente el marco.

Una variación del sistema bahareque consiste en emplear láminas (latas) de guadua y rellenar el espacio vacío del marco con una mezcla de arcilla y paja, finalmente se recubren los muros con un aplanado.

Un sistema un poco más refinado es el de pared japonesa, que utiliza un entramado de latas de bambú o bambúes muy delgados, fijados a un marco de madera y amarradas entre sí, sobre éste se coloca un tejido de hilo abierto y luego se recubre con 3 o cuatro capas de mortero. Con este método se pueden construir muros muy delgados y resistentes.

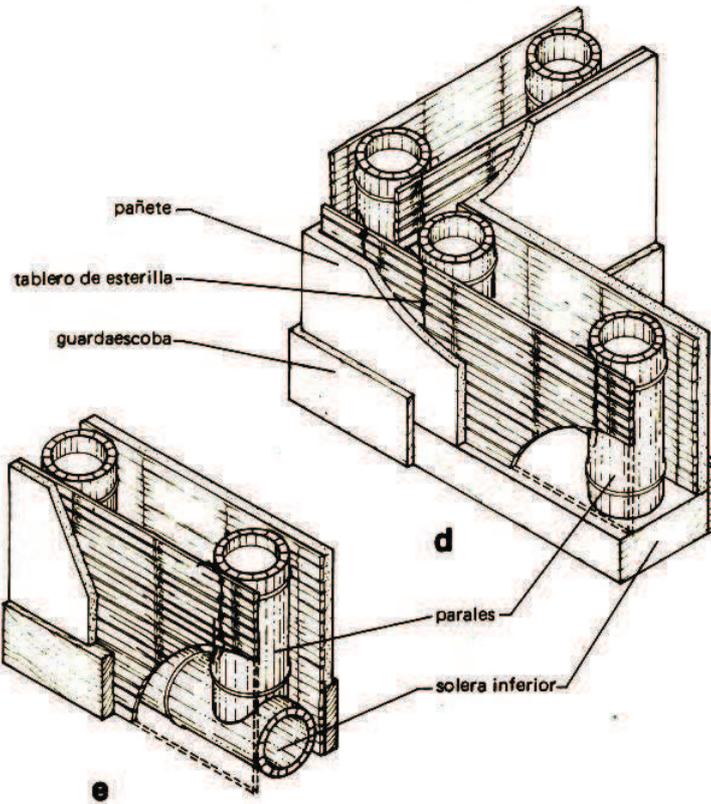


Ilustración 39: Muro de bahareque. Fuente: Hidalgo López, op. cit., p. 29.

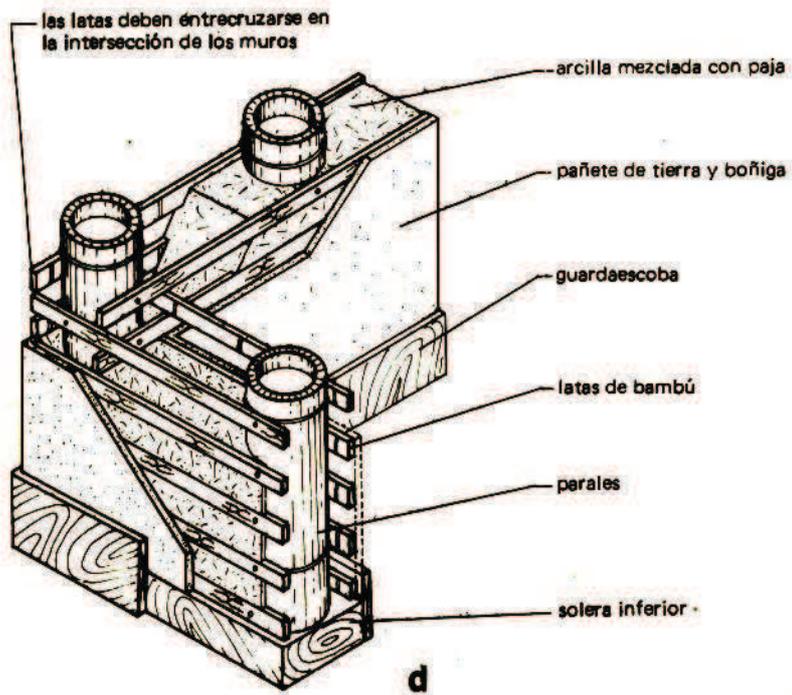


Ilustración 40: Muro estilo bahareque con relleno de tierra. Fuente: op. cit. p. 30.

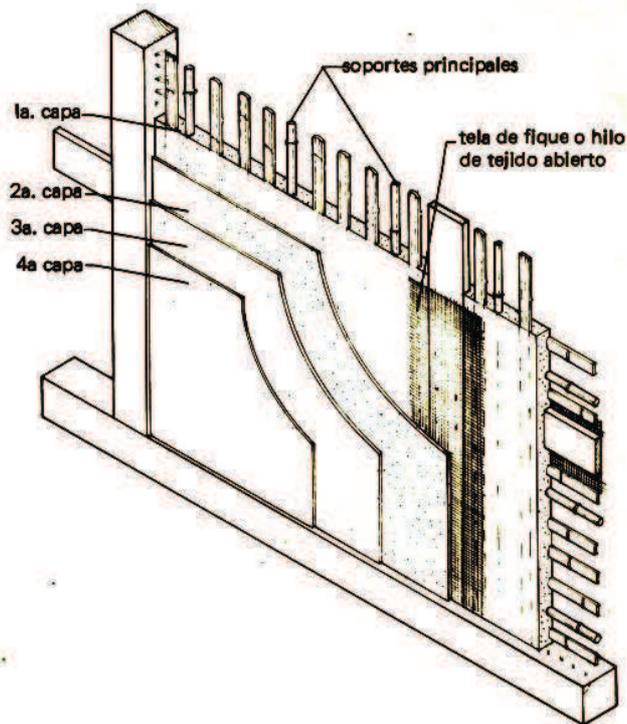


Ilustración 41: Pared japonesa. Fuente: op. cit. p. 33.

Conexiones entre culmos

- No es recomendable que las uniones se realicen con amarres, sobre todo si las piezas de guadua van a someterse a esfuerzos de tracción, también deben evitarse las uniones con clavos, éstas sólo se aplican para fijar piezas de madera aserrada a los culmos.
- Se pueden unir culmos amarrándolos con cables o zunchos metálicos, procurando que los culmos estén secos, de tal manera que no se contraigan después de amarrados, aflojando el amarre, pero lo mejor es utilizar pernos metálicos y rellenar los entrenudos con mortero cemento-arena, ésta es la conexión que ha demostrado tener mejor desempeño en los elementos sometidos a esfuerzos de tracción.
- Cuando se realizan cortes en forma de boca de pescado para realizar una conexión, se debe procurar que los culmos embonen bien, si no es así, se corre el riesgo de que el culmo con el corte se rasgue. Los cortes en forma de boca de pescado se realizan con una sierra copa del diámetro de los culmos.

Sistema ganchos-mortero

Algunas recomendaciones básicas para las uniones con pernos y mortero son las siguientes:

- Las perforaciones para los pernos deben realizarse en los tercios exteriores de los entrenudos, 3cm a 10cm separados del nudo. El diámetro de estas perforaciones debe ser de 9.5mm (3/8”).
- Todos los entrenudos que sean perforados se rellenan con mortero cemento-arena, para hacerlo se realiza una perforación de máximo 25.4mm (1”) en los tercios cercanos a los nudos, luego con ayuda de un embudo se rellena el entrenudo y se hace vibrar para que no queden burbujas dentro.
- Para reforzar las conexiones se utilizan zunchos metálicos de 12.7mm (1/2”) de ancho.
- Cuando se requiera una pieza más larga, se realizará un ensamble, al menos los dos primeros entrenudos del ensamble deben rellenarse con mortero, se colocarán zunchos en los extremos empalmados.
- Los elementos estructurales que requieran de un mayor momento de inercia y por tanto estén formados por varios culmos, deben trabajar como una sola pieza, para ello se unen con pernos a todo lo largo de la sección.

Sistema constructivo aplicado al proyecto

Sistema muro de tierra compactada con refuerzos verticales de bambú.

Cimentación

En el proyecto se proponen zapatas corridas de concreto armado, sobre una capa de terreno mejorado.

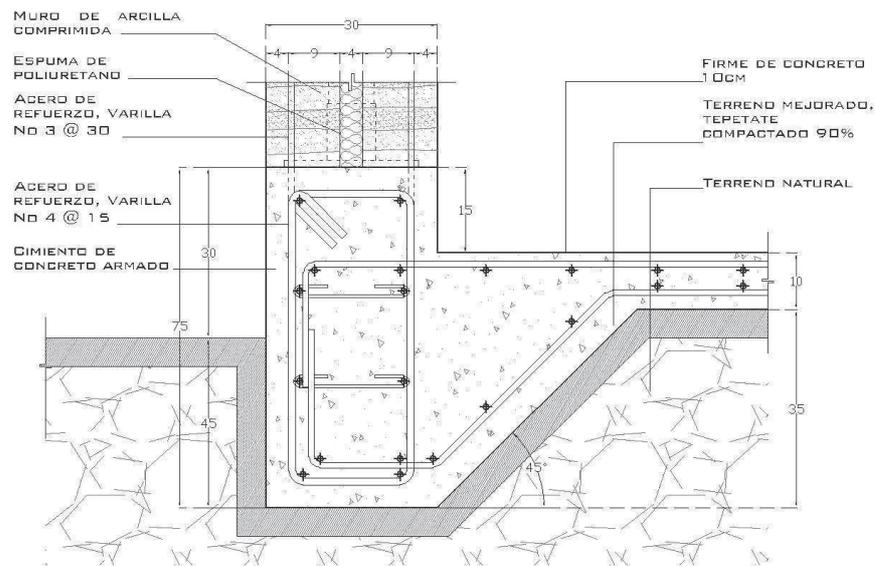


Ilustración 42: Se muestra una zapata de colindancia diseñada para el proyecto.

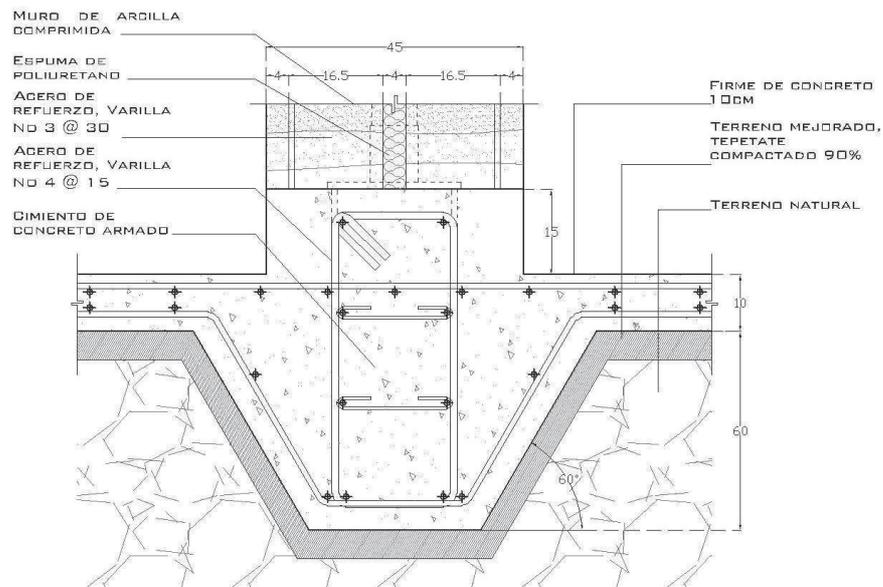


Ilustración 43: Se muestra una zapata intermedia diseñada para el proyecto.

Refuerzos verticales

Se propone utilizar culmos de bambú ahogados en los muros como refuerzos verticales, estos se anclan a los cimientos utilizando camisas de acero para evitar el contacto directo con el concreto. Se propone que la separación máxima entre refuerzos sea de 1.20m para evitar utilizar castillos de concreto y mantener el acabado aparente de los muros.

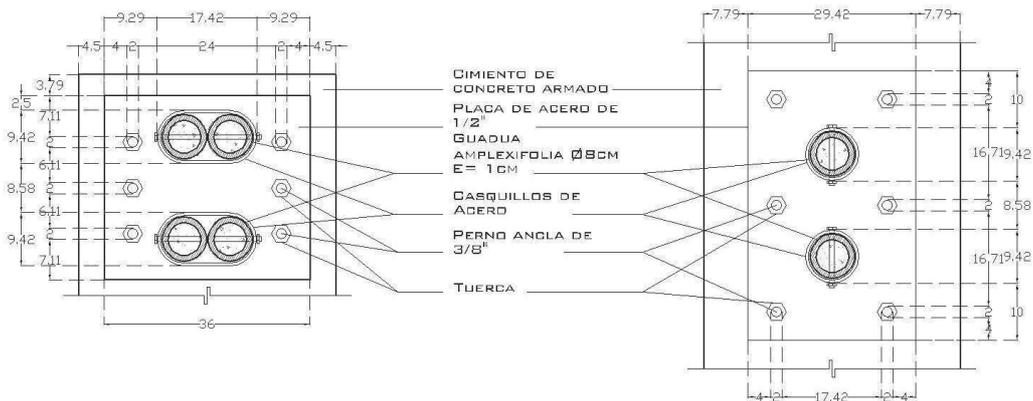


Ilustración 44: Se muestra la placa de anclaje diseñada para dos refuerzos diferentes, el de la izquierda es un refuerzo diseñado para un extremo de muro, el de la derecha es el refuerzo tipo, colocado a cada 1.20m.

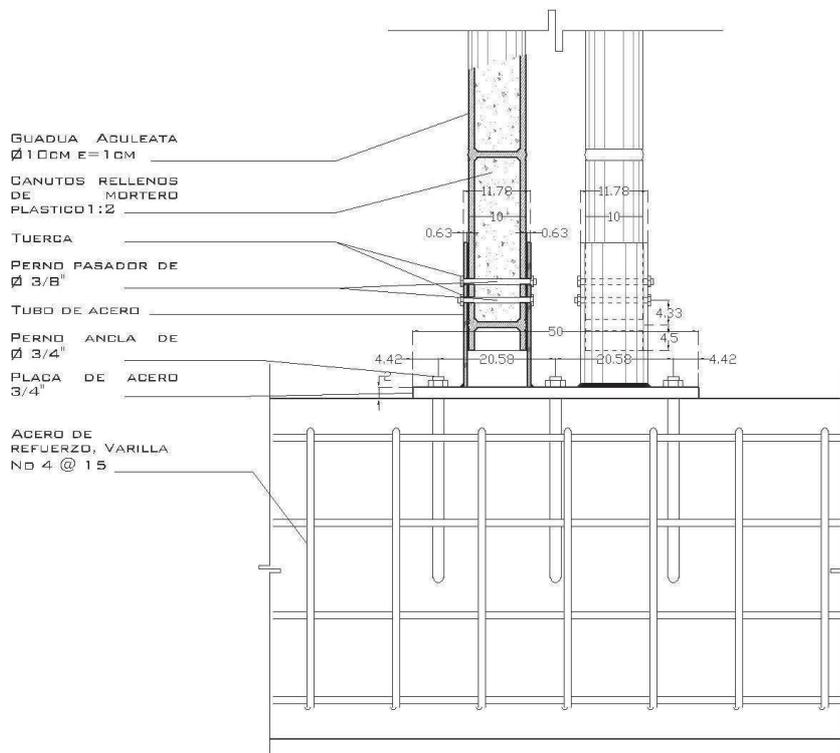


Ilustración 45: Se muestra el alzado del anclaje tipo, se utilizan dos culmos, para poder anclar las vigas de entrepiso en medio de los dos.

Vanos y refuerzos horizontales

Se propone reforzar todos los vanos con vigas de bambú, algunas de ellas empotradas en los muros y otras completamente ahogadas. Las vigas se fijan a los refuerzos verticales, evitando que se deslicen y garantizando que los esfuerzos se transmitan adecuadamente a los muros. Como refuerzos horizontales se propone un armado sencillo con varillas No. 3 a todo lo largo de los muros, para proporcionar mayor resistencia a los empujes laterales.

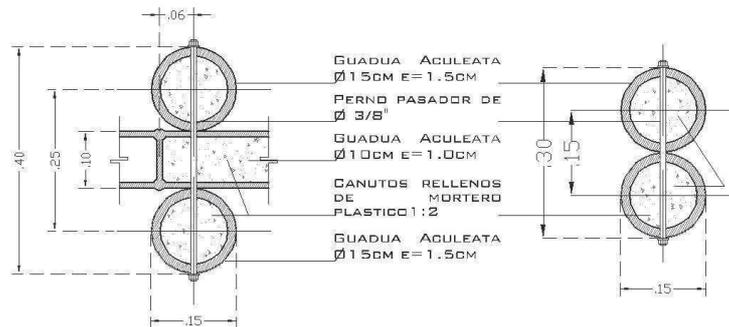


Ilustración 46: Se muestran dos tipos de vigas diseñadas para el proyecto, en la viga de la derecha el culmo intermedio sirve para evitar el pandeo de las vigas.

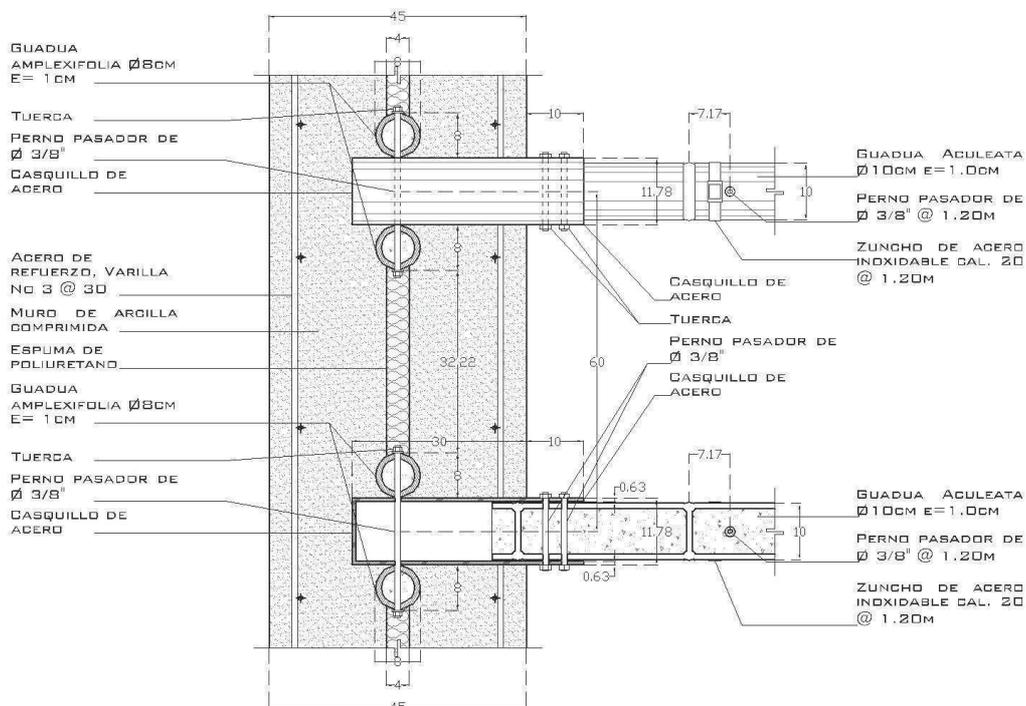


Ilustración 47: Se muestra la manera en que se empotran las vigas a los refuerzos verticales, además se pueden apreciar los refuerzos de acero.

Remate de muros

En el proyecto se propone utilizar muros estabilizados con cemento, así que no es necesario utilizar una trabe de remate, no obstante se utilizan placas de acero para mejorar la unión entre los muros y la techumbre.

Acabado de muros

Ya que la mezcla de tierra es estabilizada, no es necesario utilizar alguna pintura o recubrimiento especial para los muros, tampoco es necesario utilizar algún tipo de pantalla contra la humedad, esto permite que los muros puedan dejarse aparentes al exterior, en el interior el acabado también es aparente pero se coloca un zoclo de barro cocido para facilitar la limpieza del piso.

Sistema de entrepiso de bambú

Anclaje a los muros

Se propone utilizar camisas de acero para empotrar las vigas de entrepiso a los muros, las camisas se anclan a los refuerzos verticales de tal manera que el entrepiso distribuya los esfuerzos horizontales en todos los muros, utilizando este sistema los muros pueden compactarse a su máxima altura. Esto permite colocar primero la cubierta y trabajar con mayor comodidad en los interiores.

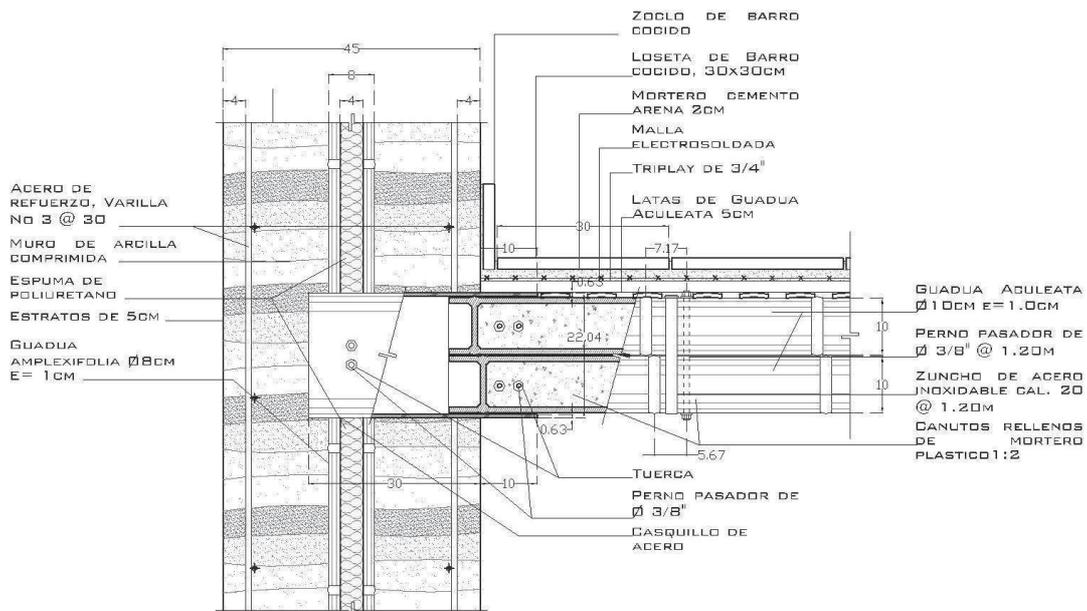


Ilustración 48: Con este sistema, pueden compactarse los muros a su máxima altura, dejando las camisas de acero ahogadas, para recibir posteriormente los culmos de bambú.

Conexiones

Para armar las vigas de bambú, los culmos se fijan entre sí, utilizando pernos, rellenando los entrenudos y zunchando alrededor de las uniones. Si se requieren vigas muy largas, pueden unirse culmos por sus extremos utilizando el mismo sistema de ganchos y mortero, estas uniones también pueden utilizarse en las conexiones entre vigas principales y secundarias del entrepiso, garantizando la transmisión de las cargas.

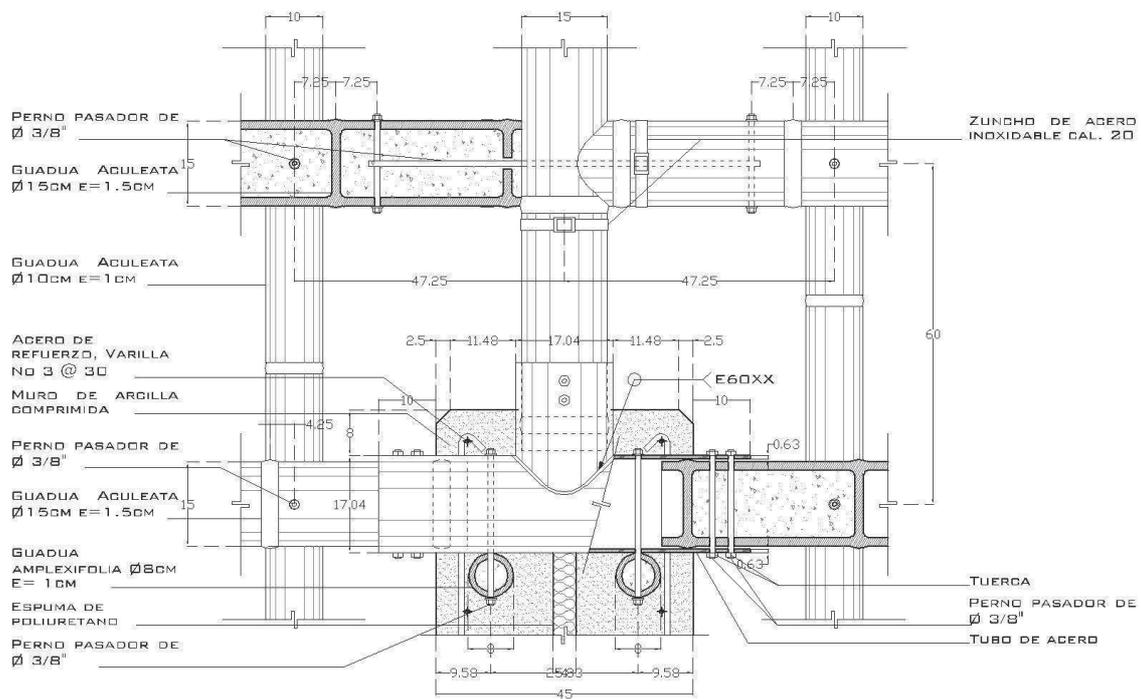


Ilustración 49: Se muestran tres vigas de entrepiso apoyadas sobre un muro, también se muestra en la parte superior la manera en que se conectan las vigas de entrepiso con una viga portante.

Acabados de entrepiso

Se proponen sólo dos tipos de acabados en los entrepisos para mantener la paleta de colores y materiales: loseta de barro cocido (vidriado) en el edificio de investigaciones, en donde se requiere un piso resistente y fácil de limpiar; mientras que en el edificio de gobierno y la biblioteca se propone utilizar duelas de bambú, pues es mucho más elegante y son espacios de uso menos pesado.

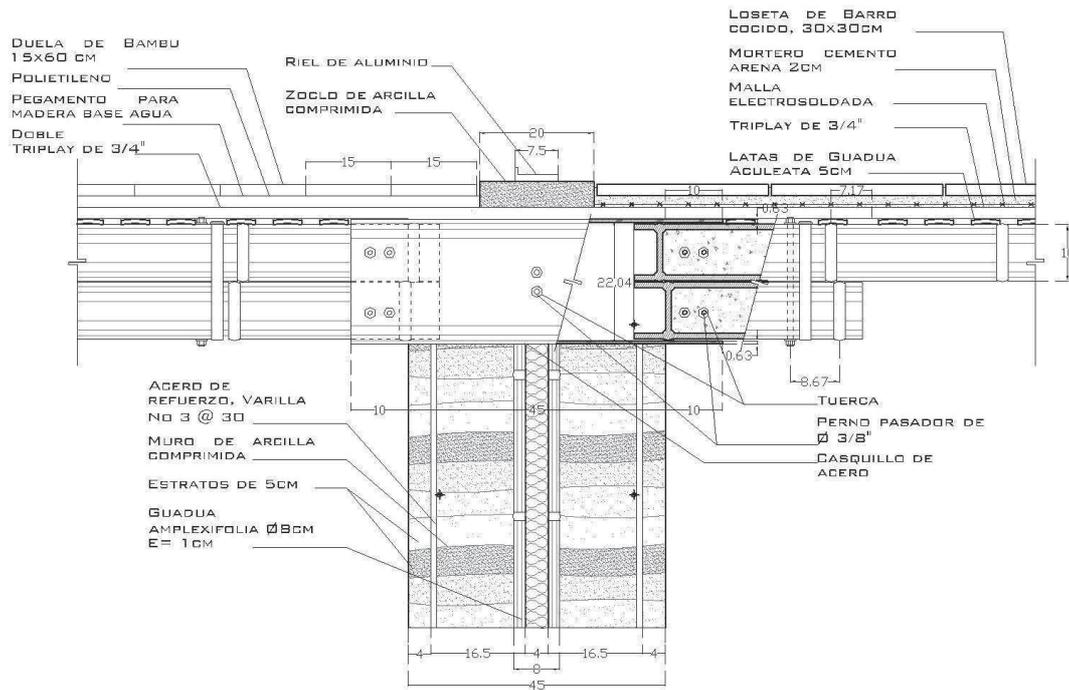


Ilustración 50: Se muestran los acabados de entrepiso, a la izquierda duela de bambú (oficina), en medio entrecalle de tierra compactada, a la derecha losetas de barro cocido (terraza).

Sistema de techos

Armaduras

Para sostener las cubiertas se propone utilizar armaduras de bambú que permitan librar un mayor claro y utilizar menos material, obteniendo una cubierta ligera y flexible.

Unión con muros y vigas portantes

Al igual que las vigas de entrepiso y los refuerzos verticales, las armaduras se anclan a los muros o se apoyan en las vigas portantes, utilizando camisas de acero. El sistema requiere la fabricación de algunas piezas especiales, como las conexiones articuladas y otras uniones de nodos, pero brindan un mejor soporte y facilitan la conexión entre los elementos estructurales. En las uniones con muros se utiliza una placa de acero en la corona del muro, para distribuir mejor las cargas.

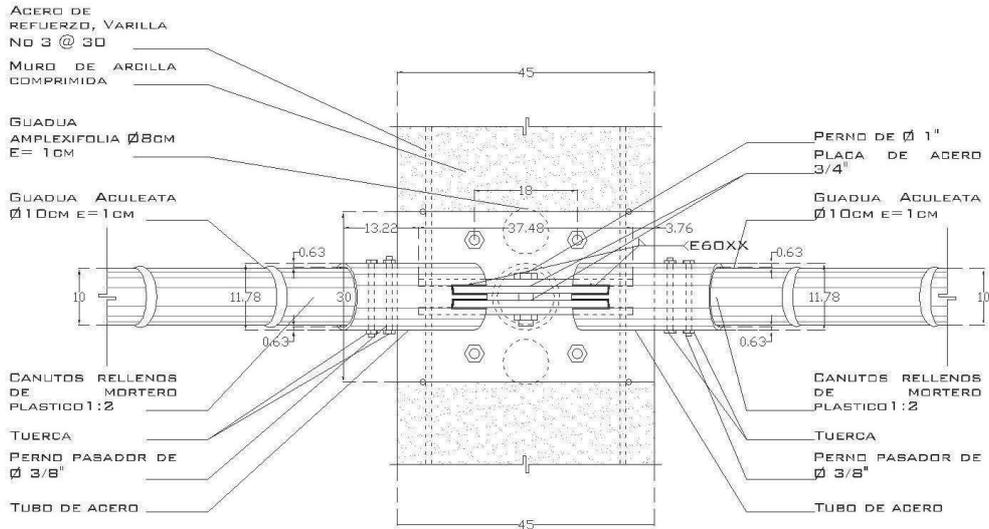


Ilustración 51: Se muestra una conexión articulada para nodo de armadura (planta) y la placa diseñada para conectarla al muro.

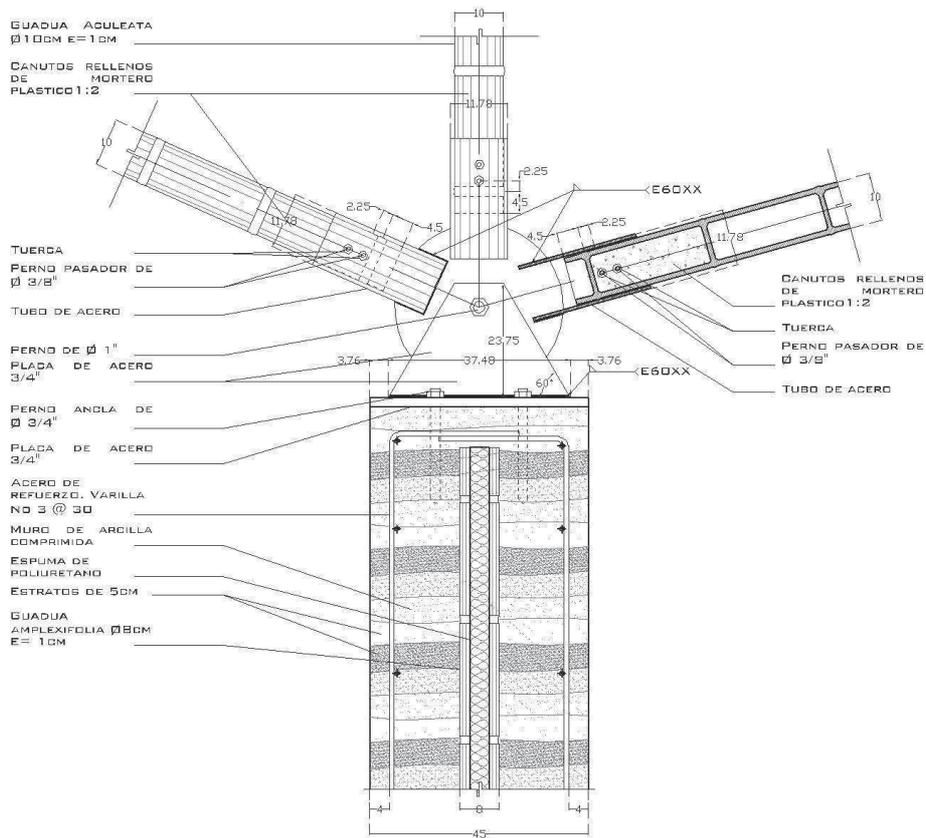


Ilustración 52: Se muestra una conexión articulada para nodo de armadura (alzado), la conexión debe ser fabricada en taller y llevada a la construcción. Con esta conexión se evita el exceso de ganchos dentro de los culmos de bambú.

Nodos

En el sistema ganchos y mortero, generalmente los ganchos se colocan por dentro, pero en la construcción de armaduras esto es un poco complicado pues en las uniones entre nodos con más de tres barras, los ganchos se cruzan entre sí dificultando el acomodo de los mismos, es mucho más fácil colocar los ganchos por fuera, en ambos lados del culmo, en todo caso los entrenudos son rellenos con mortero cemento arena. En el caso de los nodos que conectan las armaduras con los muros, es necesario fabricar camisas de acero a la medida del nodo.

Acabados de cubierta

Se propone utilizar tejas de barro sobre una capa de triplay, son un poco pesadas pero su apariencia es mucho más agradable que la de un cascarón de concreto o de la lámina de acero. Las bajadas de agua pluvial y las canaletas pueden fabricarse con los mismos culmos de bambú, simplemente partiendo el culmo a la mitad y retirando los entrenudos.

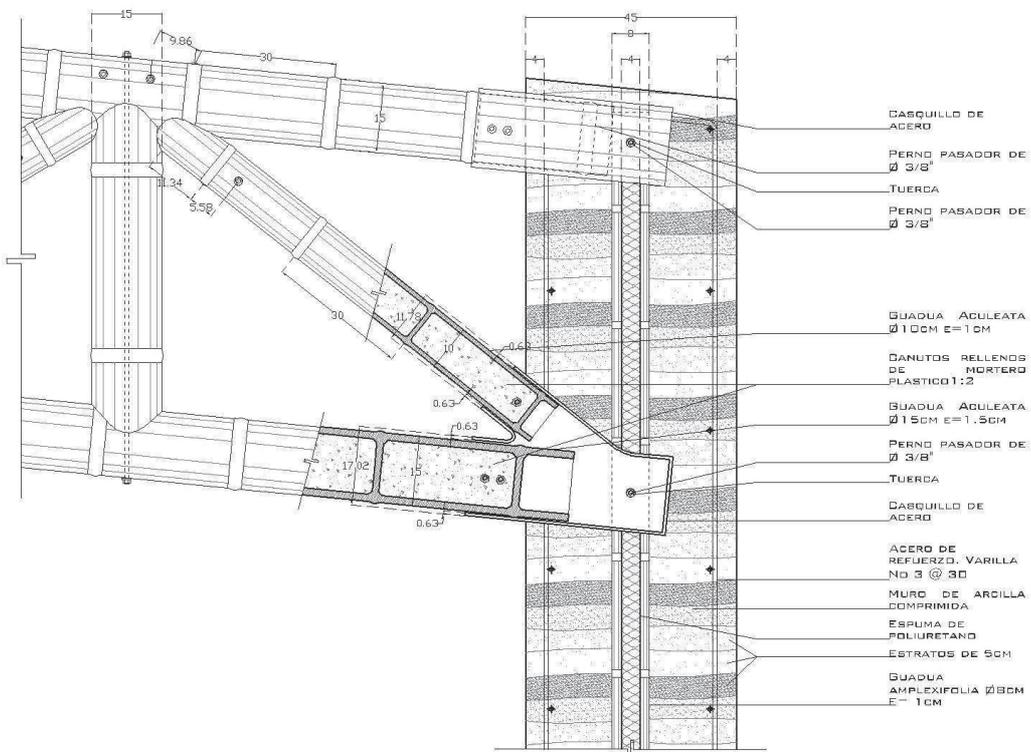


Ilustración 53: Se muestra el diseño especial de una camisa de acero para empotrar una armadura al muro de tierra.

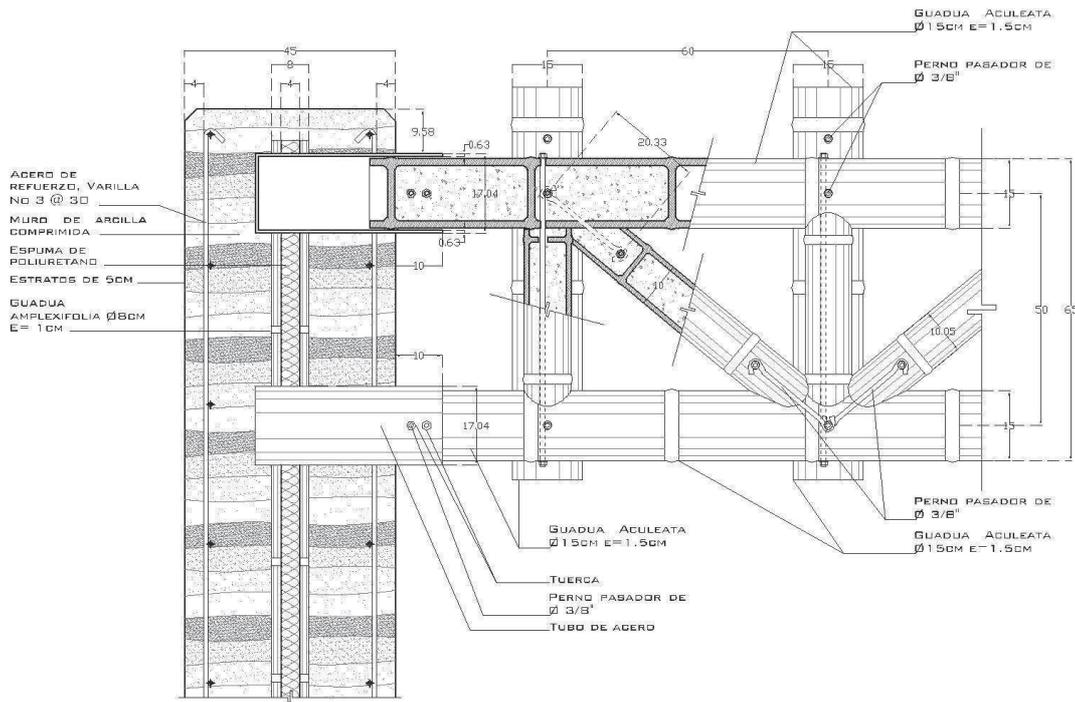


Ilustración 54: En la parte inferior derecha se muestra el detalle de conexión entre nodos con más de tres barras.

Escaleras

Se propone que las escaleras consistan en huellas soportadas por vigas de bambú empotradas a los muros de tierra, utilizando el mismo sistema de apoyo propuesto para las vigas de entepiso. Los materiales de acabado son los mismos que se utilizan en los entepisos.

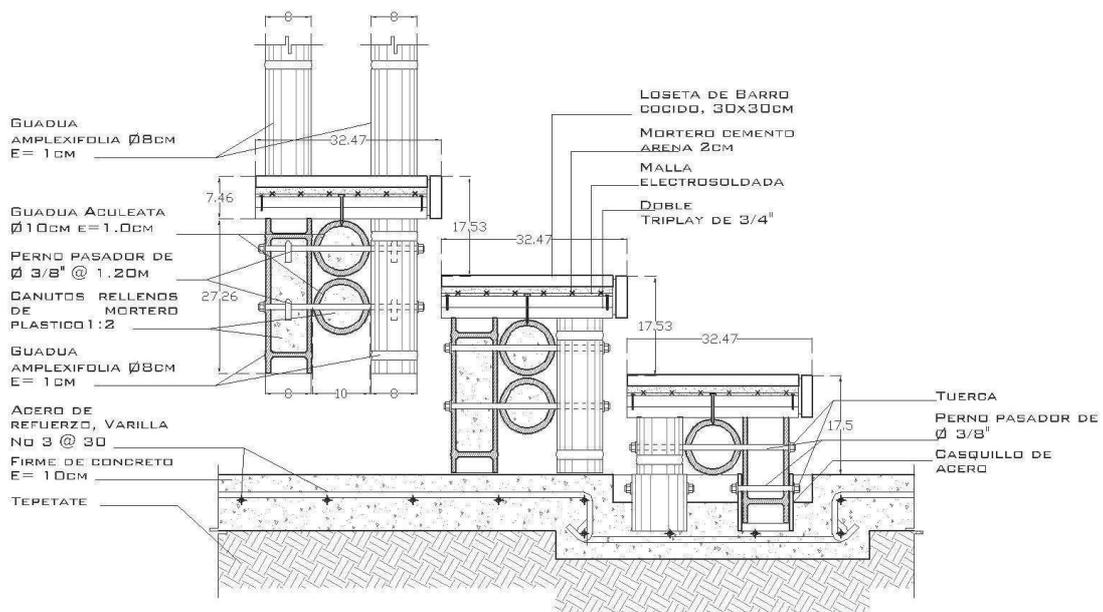


Ilustración 55: Se muestra el embarque de una escalera, el primer escalón (a la derecha) se apoya en el suelo, los demás escalones se encuentran en voladizo.

Comentarios finales y conclusiones

Hoy sabemos que el cambio climático no es un mito y debemos darnos cuenta que es nuestra obligación hacer algo por detenerlo, de lo contrario sufriremos graves consecuencias. En nuestro caso, debemos esforzarnos por realizar una arquitectura más amigable con el medio ambiente, es muy probable que esto ayude a la solución del problema, pues la arquitectura influye en casi todos los aspectos de la sociedad.

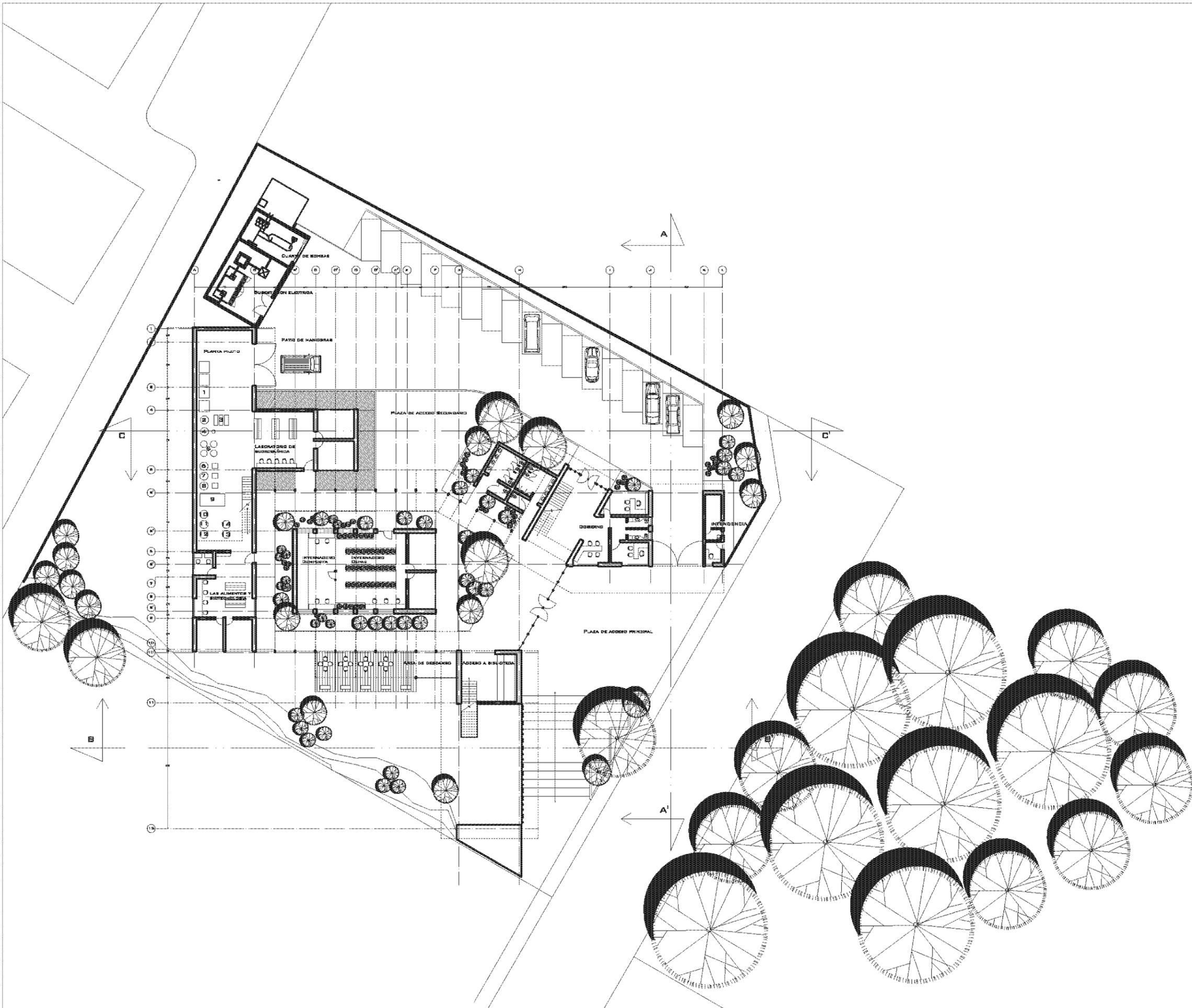
Si queremos realizar tal arquitectura, es importante reducir el impacto de las construcciones, para lograrlo existen muchas alternativas, desde un buen diseño arquitectónico, el desarrollo de nuevos métodos y técnicas, o simplemente la correcta elección de los materiales. Los materiales adecuados no siempre son los de menor impacto ambiental, deben ser materiales locales, duraderos, abundantes, económicos, adecuados al clima y fáciles de utilizar; es claro (por lo presentado en este documento) que la tierra y el bambú son materiales con muchas de estas cualidades, pero también tienen sus limitaciones y desventajas, que deben considerarse antes de decidir utilizarlos, ya que el resultado podría ser negativo. Debe considerarse lo siguiente:

- Ambos materiales requieren de ciertas medidas para garantizar su durabilidad, como un buen detallado arquitectónico y una rigurosa supervisión de la calidad de los materiales y el proceso de construcción.
- Aunque la tierra es el material de construcción más abundante, no es adecuada para todo tipo de climas, por ejemplo, en regiones frías o muy húmedas, es casi indispensable estabilizar la mezcla de tierra agregando cemento, esto reduce su capacidad de ser reciclada y aumenta el impacto ambiental que genera (comparable al del concreto).
- No es correcto utilizar bambú en cualquier parte del mundo, por ejemplo en México, es adecuado utilizar bambú en regiones como Veracruz, Oaxaca o Morelos, pues en estos estados se cultiva; en cambio, no es correcto utilizarlo en la Ciudad de México, ya que transportarlo desde las zonas donde se cultiva implica mayor contaminación que la producida al utilizar concreto o acero que pueden conseguirse fácilmente en la ciudad.

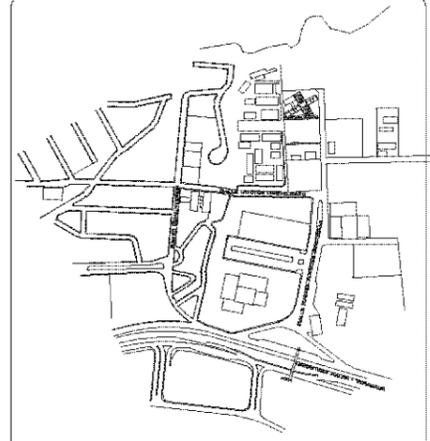
- A diferencia de la construcción con tierra que es fácil de realizar, pues no requiere de herramientas, equipo o mano de obra especializada, la construcción con bambú es un poco complicada. Por la forma redonda y hueca de los culmos, fijar algunas piezas puede llegar a ser difícil y requerir del diseño de piezas especiales. El sistema con gachos y mortero ha demostrado ser estructuralmente eficiente, pero rellenar los entrenudos con mortero implica un incremento en el peso de la estructura y el impacto ambiental de la construcción.
- Existe poca información y bibliografía acerca de los métodos y técnicas de construcción, así mismo hace falta mejorar las normas y reglamentos que se ocupan de estos materiales.

Comparadas con sus múltiples cualidades: bajo impacto ambiental, economía, resistencia, belleza y confort; sus limitaciones no parecen graves, pero es importante tomarlas en cuenta, el número de construcciones en los que se emplean estos materiales crece día con día y debe evitarse que su uso se vuelva indiscriminado.

En conclusión, la correcta elección de los materiales ayudará a realizar una arquitectura más amigable con el medio ambiente, la tierra y el bambú son buenas alternativas en la mayoría de los casos, a pesar de sus limitaciones. Se han obtenido buenos resultados en materia de vivienda social, principalmente, pero existen también ejemplos de arquitectura de mayor envergadura y exigencia técnica en los que se ha utilizado tierra o bambú con buenos resultados.



NORTE



- 1.- MOLINOS
- 2.- TANQUE DE ALCALIZADO
- 3.- CALENTADORES
- 4.- TANQUE DE CLARIFICADO
- 5.- EVAPORADORES
- 6.- TACHO A
- 7.- TACHO B
- 8.- TACHO C
- 9.- ALMACENAMIENTO DE MELADURA
- 10.- TANQUE DE FERMENTACION
- 11.- PRIMER DESTILADOR
- 12.- SEGUNDO DESTILADOR
- 13.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL
- 14.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLARRÁN GARCÍA

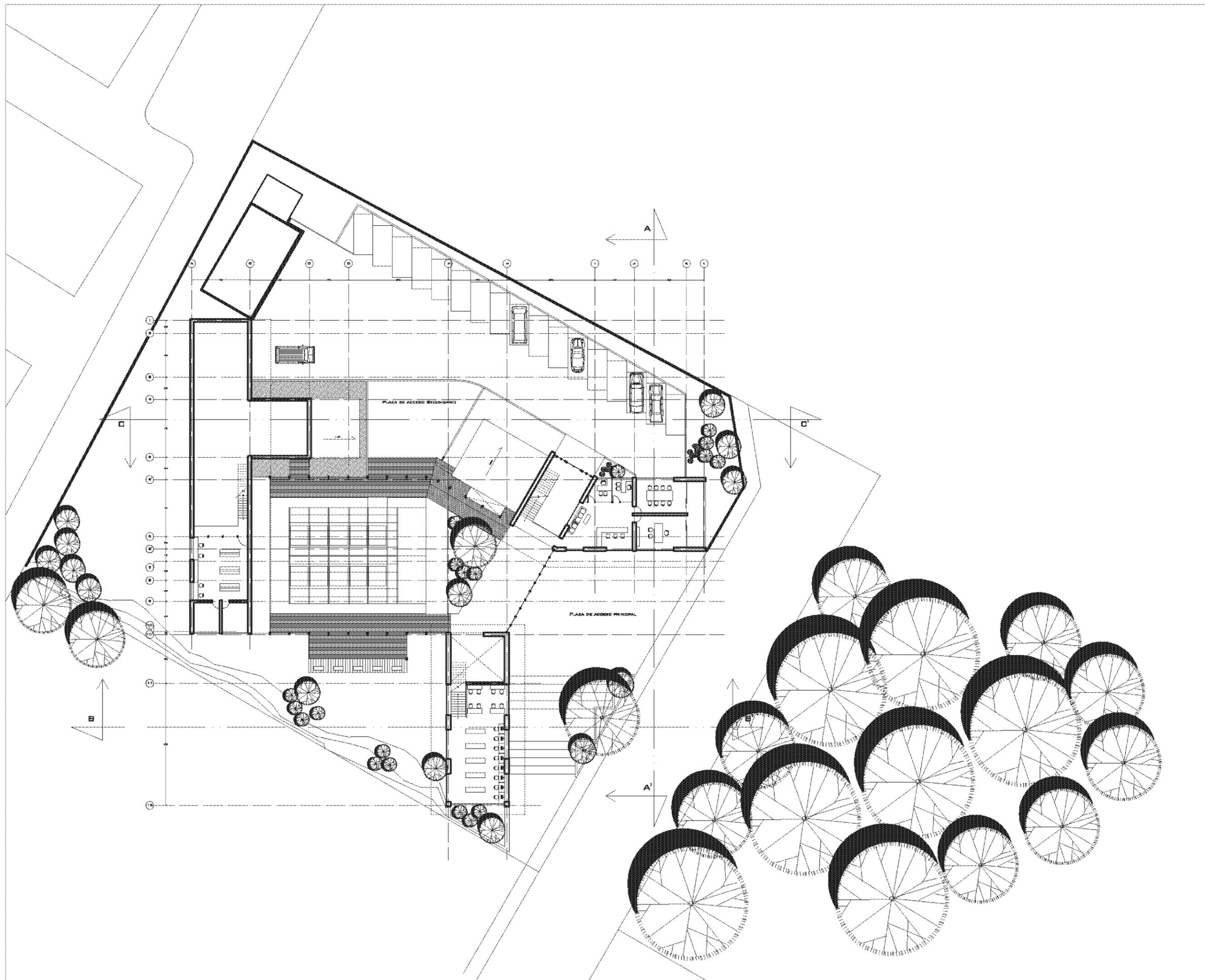
CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y
CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR



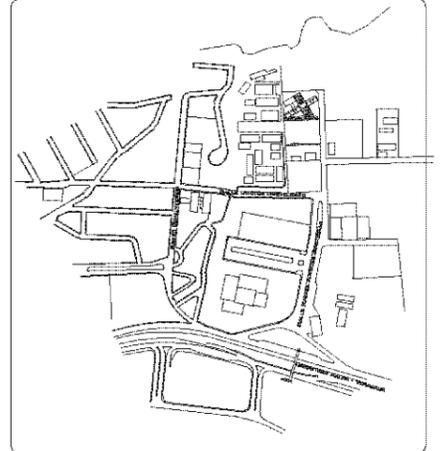
FECHA: JUNIO 10 2009	ESCALA: 1:200	PROYECTO: Canales López Christian	REGISTRO: ING. RAFAEL PARRALES
TIPO DE OBRA: PROYECTO	AUTORIZACIÓN: ESTUDIOS	COORDINADOR: SANTOS LÓPEZ CHRISTIAN	ELABORADO: DR. JULIETA BALBARD

PLANTA BAJA

A-01



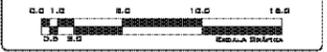
NORTE



- 1.- MOLINOS
- 2.- TANQUE DE ALBALEADO
- 3.- CALENTADORES
- 4.- TANQUE DE BLANQUEADO
- 5.- EVAPORADORES
- 6.- TANQUE A
- 7.- TANQUE B
- 8.- TANQUE D
- 9.- ALMACENAMIENTO DE MELADURA
- 10.- TANQUE DE FERMENTACION
- 11.- PRESAS DESTILADOR
- 12.- BEBUNDO DESTILADOR
- 13.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE STANGOL
- 14.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE STANGOL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLADRÁN GARCÍA

CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y
CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR



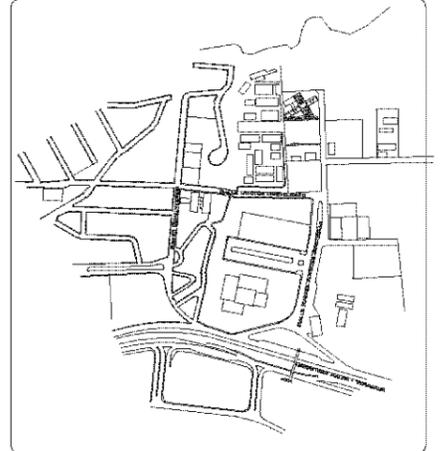
FECHA: JUNIO 10 2009	ESCALA: 1:200	PROYECTO: CANAÑA LAMP CHRISTIAN	REVISOR: ING. RAFAEL RAMÍREZ
TIPO DE OBRA: PROYECTO	AUTORIZACIÓN: MÉTRICO	DESAÑO: GENERA LAMP CHRISTIAN	DISEÑO: DRA. ENRIQUE TAPIA DRA. JULIETA BALBARD

PLANTA ALTA

A-02



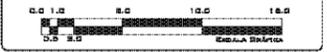
NORTE



- 1.- MOLINOS
- 2.- TANQUE DE ADOLIZADO
- 3.- CALENTADORES
- 4.- TANQUE DE CLARIFICADO
- 5.- EVAPORADORES
- 6.- TANQUE A
- 7.- TANQUE B
- 8.- TANQUE C
- 9.- ALMACENAMIENTO DE MELADURA
- 10.- TANQUE DE FERMENTACION
- 11.- PRIMER DESTILADOR
- 12.- SEGUNDO DESTILADOR
- 13.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL
- 14.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL

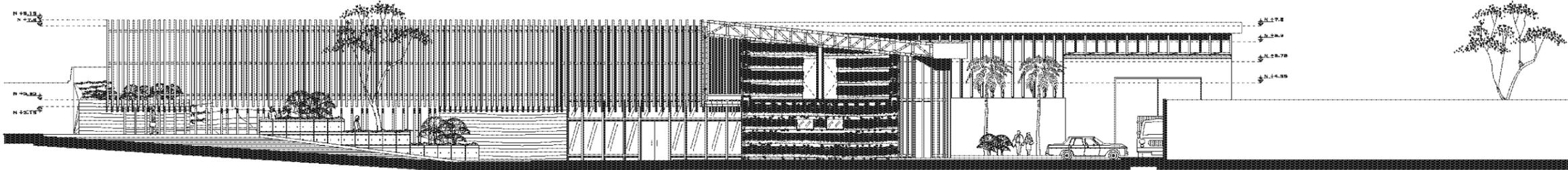
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLADRÁN GARCÍA

CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y
CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

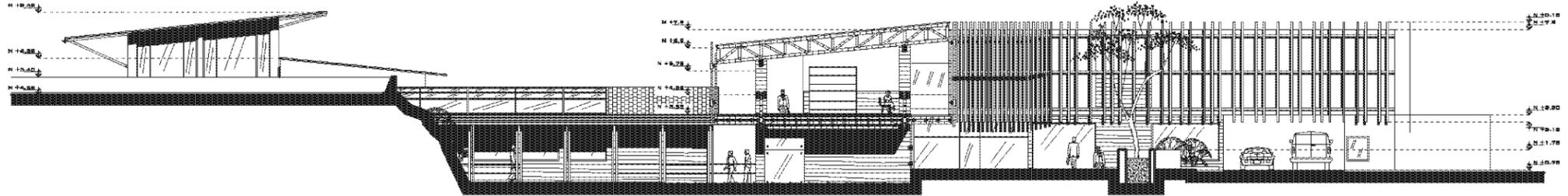


FECHA: JUNIO 10 2009	ESCALA: 1:200	PROYECTO: CANAÑA LÓPEZ CHRISTIAN	REVISÓ: ING. RAFAEL RAMÍREZ
TIPO DE OBRA: PROYECTO	AUTORIZACIÓN: MÉTRICO	DEBIDO: INGENIERO LÓPEZ CHRISTIAN	ELABORÓ: ING. ENRIQUE TORALBA ING. JULIANA BALBARDI

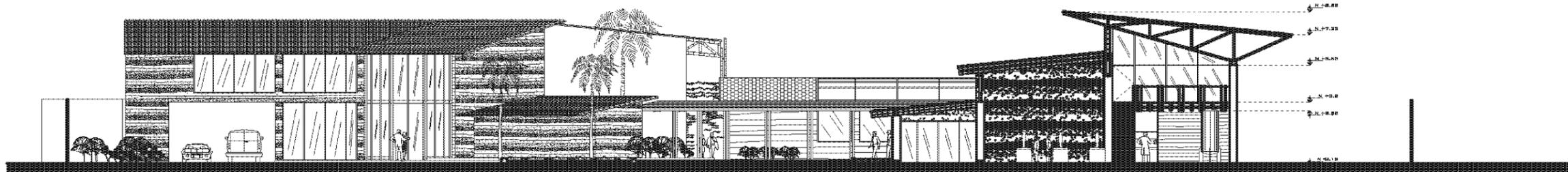
PLANTA DE CONJUNTO A-03



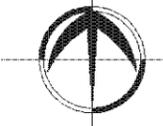
ALZADO A-A'
FACHADA Y CORTE DE EDIFICIO DE GOBIERNO



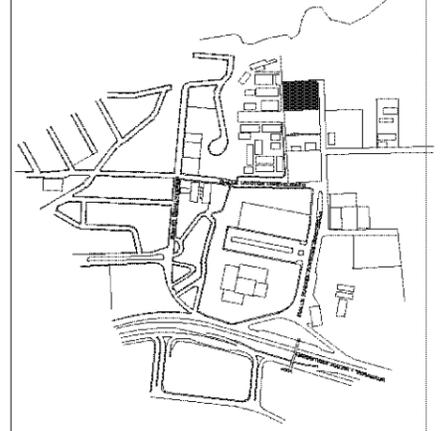
ALZADO B-B'
FACHADA Y CORTE DE BIBLIOTECA



ALZADO C-C'
FACHADA INTERIOR Y CORTE DE LABORATORIO 1

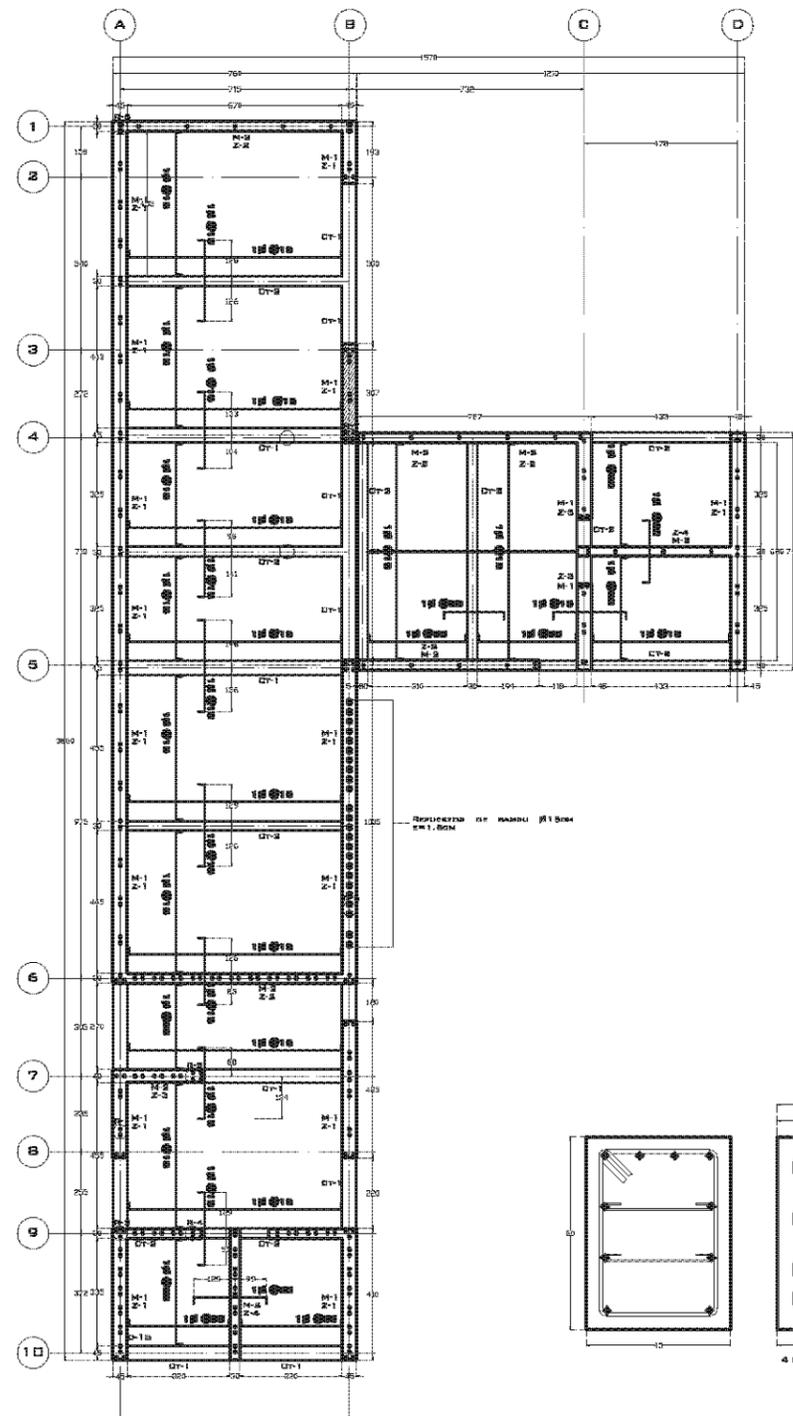


NORTE

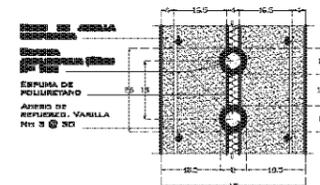


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO TALLER JOSÉ VILLADRÁN GARCÍA			
CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR			
FECHA: JUNIO 10 2009	ESCALA: 1:125	PROYECTO: CAMPUS L. AMÉLIE CHRISTIAN	REVISÓ: ING. MARÍA PATRICIA DR. ENRIQUE TABARCA DR. JULIETA BALBARD
TIPO DE OBRA: PROYECTO	ACTIVACIÓN: MÉTRICO	DEBUIÓ: GENEVA LÓPEZ CHRISTIAN	ELABÓ: DAVID
CORTES Y FACHADAS			A-04

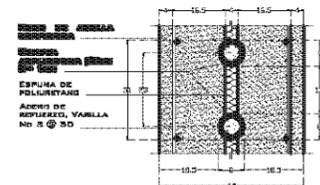
TIPOS DE REFUERZOS EN MUROS



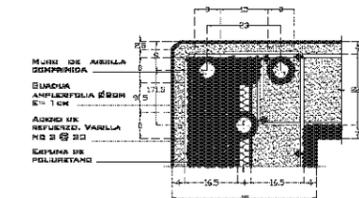
PLANTA DE CIMENTACION



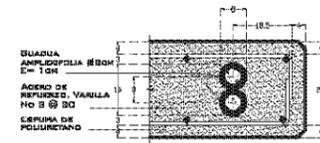
REFUERZO R-1
2 CAÑAS DE SUADUA # 80M E=1.0M
E=1.00M



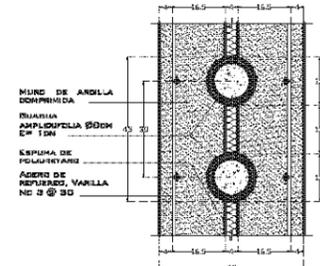
REFUERZO R-2
2 CAÑAS DE SUADUA # 80M E=1.0M
E=1.50M



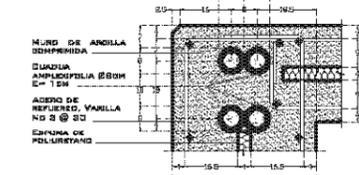
REFUERZO R-3
DERRAMADO, 2 CAÑAS DE SUADUA
#80M E=1.0M



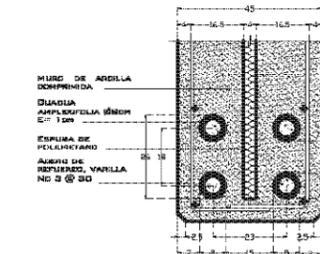
REFUERZO R-4
2 CAÑAS DE SUADUA # 80M E=1.0M
E=0.00M



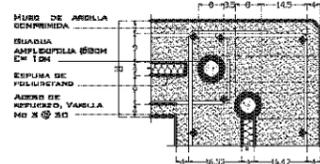
REFUERZO R-5
2 CAÑAS DE SUADUA # 150M
E=1.50M; E=1.50M



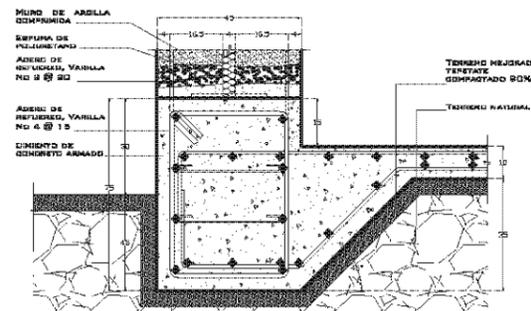
REFUERZO R-6
DERRAMADO, 4 CAÑAS DE SUADUA
80M E=1.0M E=1.50M; E=0



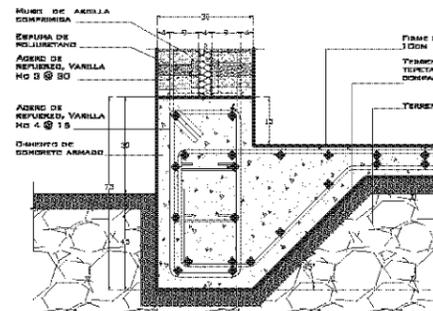
REFUERZO R-7
DERRAMADO, 4 CAÑAS DE SUADUA
#80M E=1.0M; E=1.50M; E=1.00M



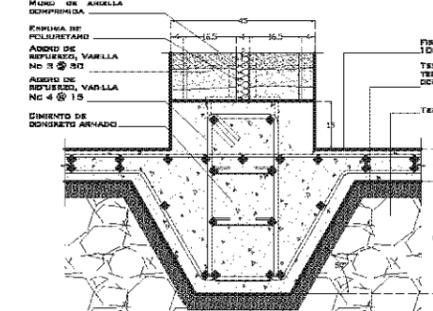
REFUERZO R-8
DERRAMADO, 2 CAÑAS DE SUADUA
#80M E=1.0M



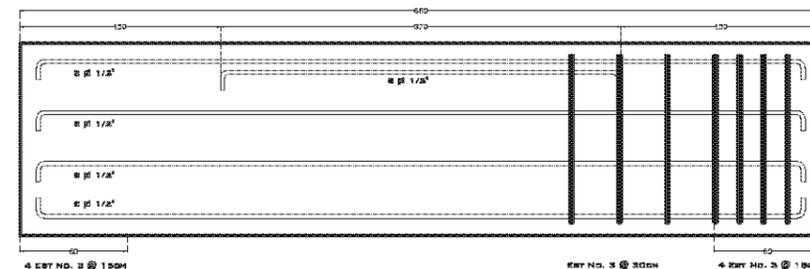
CIMENTO Z-1
CIMENTO DE CONCRETO ARMADO
MURD EXTERIORES



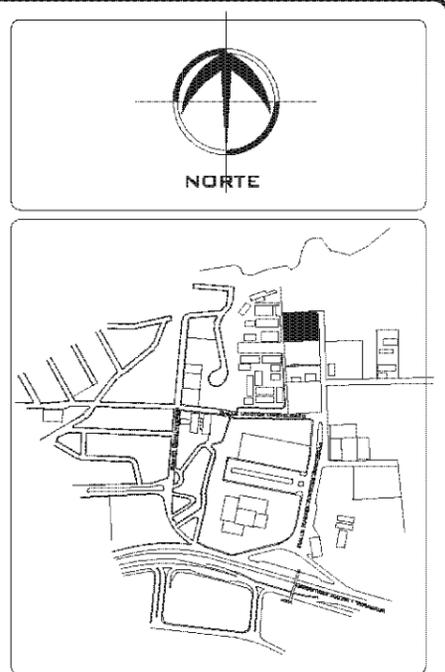
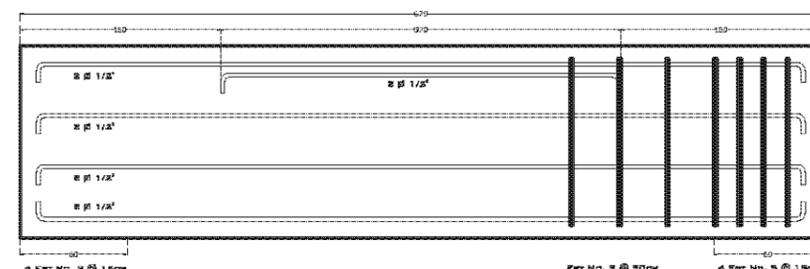
CIMENTO Z-2
CIMENTO DE CONCRETO ARMADO
MURD EXTERIORES



CIMENTO Z-3
CIMENTO DE CONCRETO ARMADO
MURD INTERIORES



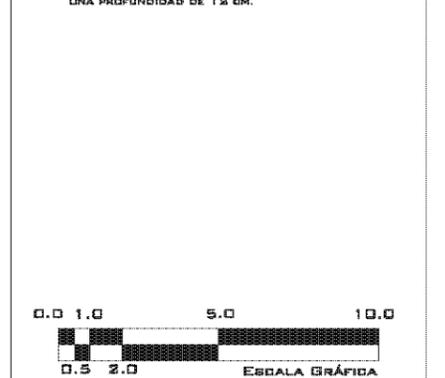
CONTRATRABE CT-2
CONTRATRABE DE CONCRETO ARMADO 45X60CM



SIMBOLOGÍA

	4M INGRESA CONTRAVAZOQUE O TRASE DE CONCRETO 45X60
	6M INGRESA CONTRAVAZOQUE O TRASE DE CONCRETO 30X60
	8M INGRESA TIPO DE MURD Y BARRA
	10M INGRESA MURD DE 45 CM DE ESPESOR
	15M INGRESA MURD DE 60 CM DE ESPESOR
	20M INGRESA MURD CONVIERTE DE 80 CM DE ESPESOR
	30M INGRESA ARMADO DE LA LOSA
	INDICA VIGA O ARMADURA DE BAMBÚ

- NOTAS**
- EL BAMBÚ UTILIZADO PARA LOS REFUERZOS VERTICALES EN LOS MUROS SERA SIEMPRE DEL TIPO QUADRIA ANFISOTROPICA, EXCEPTO EN LOS CASOS QUE SE INDICAN.
 - EL DIAMETRO MAXIMO DE LOS PERROS UTILIZADOS EN LAS CONEXIONES DE BAMBÚ SERA DE 3/8".
 - TODO LOS CORTES REALIZADOS EN EL BAMBÚ SE REALIZARAN A UN MAXIMO DE 10 CM DE DISTANCIA DE LOS NUDOS Y A UN MINIMO DE 3 CM.
 - LA DIFERENCIA MAXIMA ENTRE LOS DIAMETROS EN LOS EXTREMOS DE UNA CAÑA, NO DEBERA SER MAYOR A 1.5 CM.
 - LOS ESTRAZOS EN LOS MUROS DEBERAN SER COMPACTADOS A UN MAXIMO DE 50M, PARTIENDO DE UNA PROFUNDIDAD DE 1.5 CM.



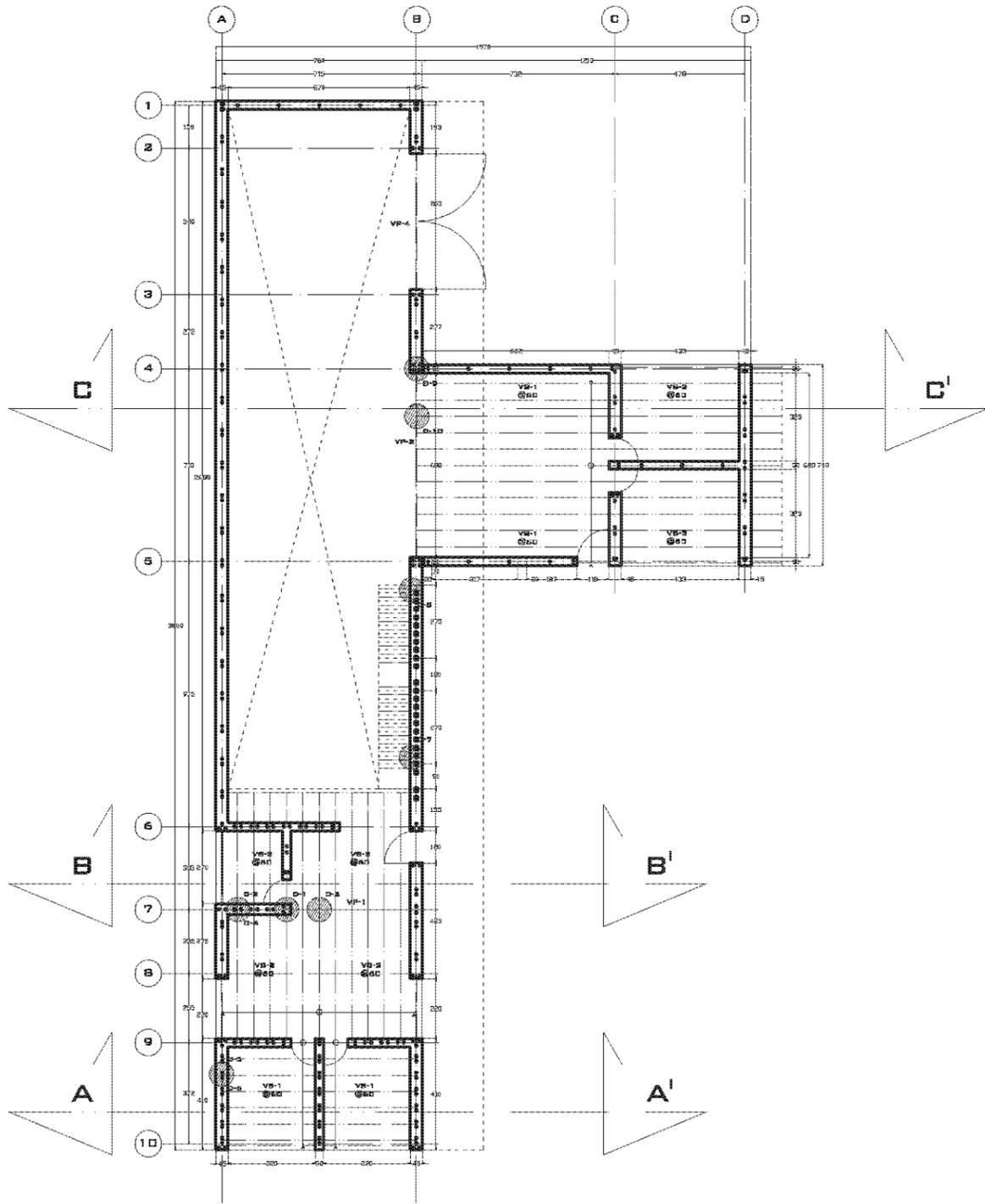
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLALBÁN GARCÍA

DENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

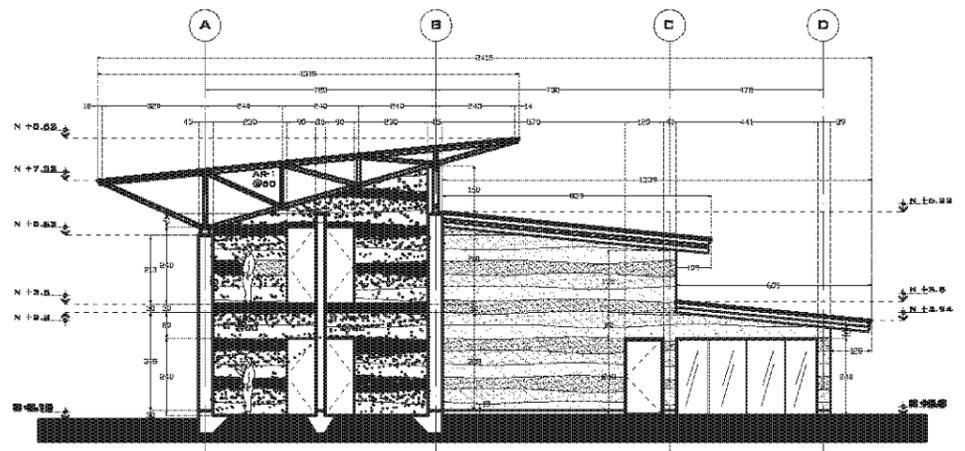
FECHA: JUNIO 10 2009	ESCALA: 1:100	PROYECTO: CANAÑA LA FERIA CHRISTIAN	PROFESOR: DR. MAIRA INFANTE
TÍTULO DE TESIS: PROYECTO	AUTORIZACIÓN: M. TALLER	ELABORADO: GONZALEZ LÓPEZ CHRISTIAN	COLABORADOR: DR. ENRIQUE TABARONA, DR. JULIANA BALBADO

EDIFICIO DE LABORATORIOS, PLANTA DE CIMENTACION

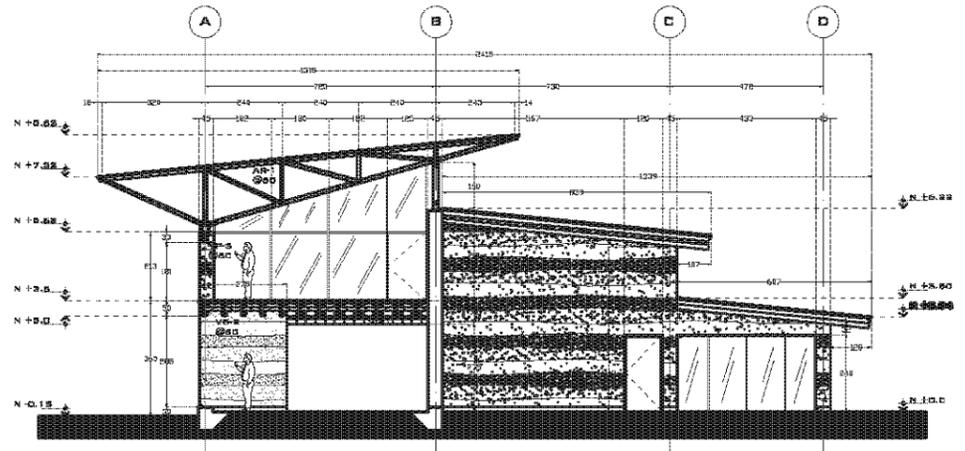
E-01



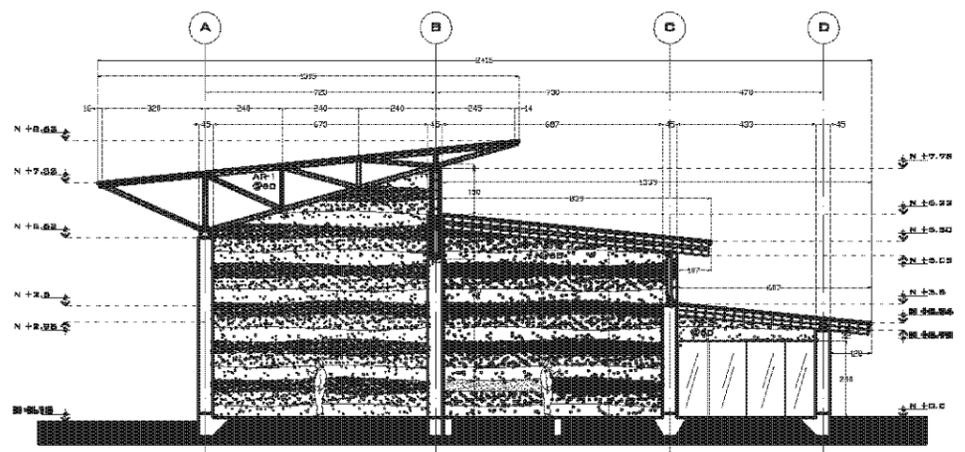
PLANTA DE ENTREPISO



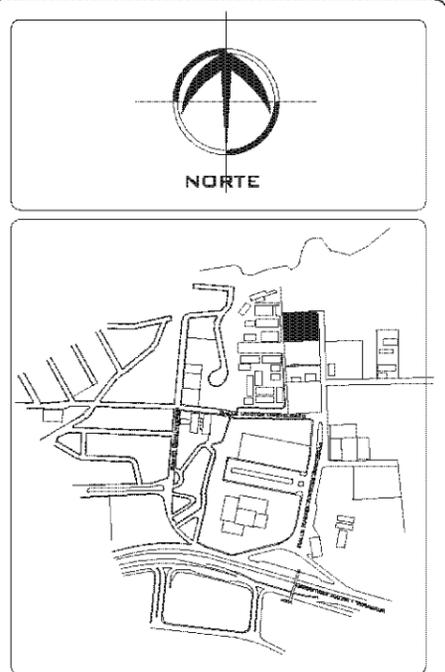
CORTE A-A'



CORTE B-B'



CORTE C-C'

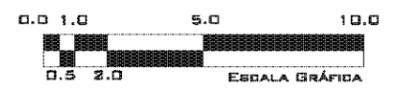


LEYENDA

- VR-1 INGRESA CONTRAVIENTO DE TIPO DE BARRIDO 40x60
- VR-2 INGRESA CONTRAVIENTO DE TIPO DE BARRIDO 30x60
- VB-1 INGRESA TIPO DE MURO Y BARRERA
- VB-2 INGRESA TIPO DE MURO Y BARRERA
- VR-1 INGRESA MURO DE 40 CM DE ESPESOR
- VR-2 INGRESA MURO DE 60 CM DE ESPESOR
- VR-3 INGRESA MURO CONTRAVIENTO DE 80 CM DE ESPESOR
- VR-4 INGRESA ARMADO DE LA LOSA
- INDICA VIGA O ARMADURA DE BAMBÚ

NOTAS

- EL BAMBÚ UTILIZADO PARA LOS REFUERZOS VERTICALES EN LOS MURDOS SERA SIEMPRE DEL TIPO CUADRA ANSUSTIFOLIA, EXCEPTO EN LOS CASOS QUE SE INDICAN.
- EL DIAMETRO MAXIMO DE LOS PERNOS UTILIZADOS EN LAS CONEXIONES DE BAMBÚ SERA DE 3/8"
- TODOS LOS CORTES REALIZADOS EN EL BAMBÚ SE REALIZARAN A UN MAXIMO DE 10 CM DE DISTANCIA DE LOS NUDOS Y A UN MINIMO DE 3 CM.
- LAS DIFERENCIAS MAXIMAS ENTRE LOS DIAMETROS EN LOS EXTREMOS DE UNA CAÑA, NO DEBERA SER MAYOR A 1.5 CM.
- LOS ESTRATOS EN LOS MURDOS DEBERAN SER COMPACTADOS A UN MAXIMO DE 5CM, PARTIENDO DE UNA PROFUNDIDAD DE 1.5 CM.



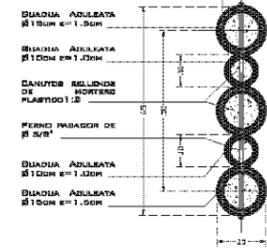
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLALBA GARCÍA

DENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

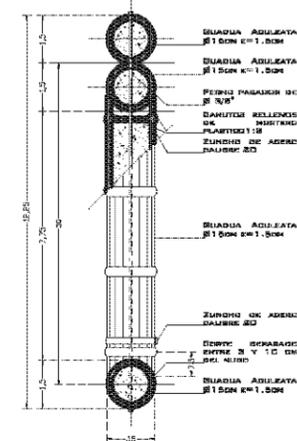
PROYECTO: E-02	ESCALA: 1:100	PROYECTISTA: DAMAZA LÓPEZ CHRISTIAN	REVISOR: DR. MARÍA PATRICIA DEL ROSARIO TORRES
TIPO DE OBRA: PROYECTO	ACTIVACIÓN: METRIS	COORDINADOR: GONZÁLEZ LÓPEZ CHRISTIAN	CLIENTE: DR. JULIANA BALBASTO

EDIFICIO DE LABORATORIOS E-02

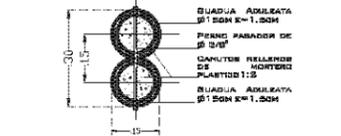
DETALLES DE SECCIONES DE VIGAS



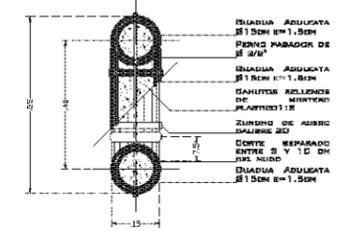
VIGA PRINCIPAL VP-1
 3 CAÑAS DE QUADRIA \emptyset 100mm x 1.00m Y 2 CAÑAS DE QUADRIA \emptyset 100mm x 1.00m



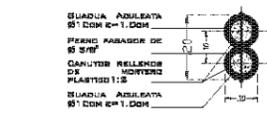
VIGA PRINCIPAL VP-2
 ARMADURA DE QUADRIA, VER DETALLE ABAJO



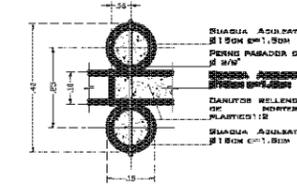
VIGA PRINCIPAL VP-3
 2 CAÑAS DE QUADRIA \emptyset 100mm x 1.00m



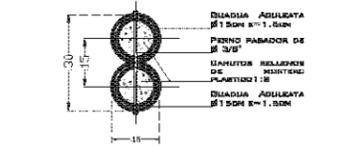
VIGA PRINCIPAL VP-4
 VIGA VIERENDEEL DE QUADRIA CON MONTENES @ 60CM



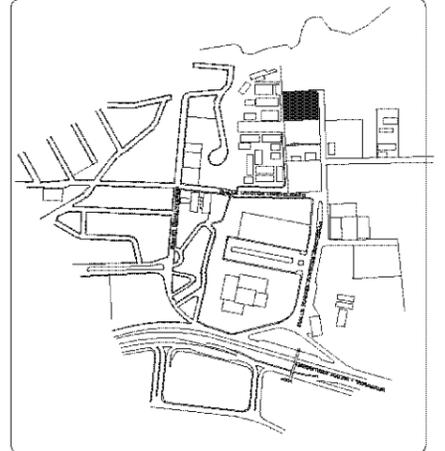
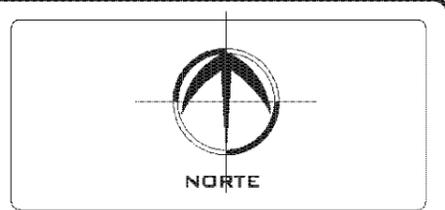
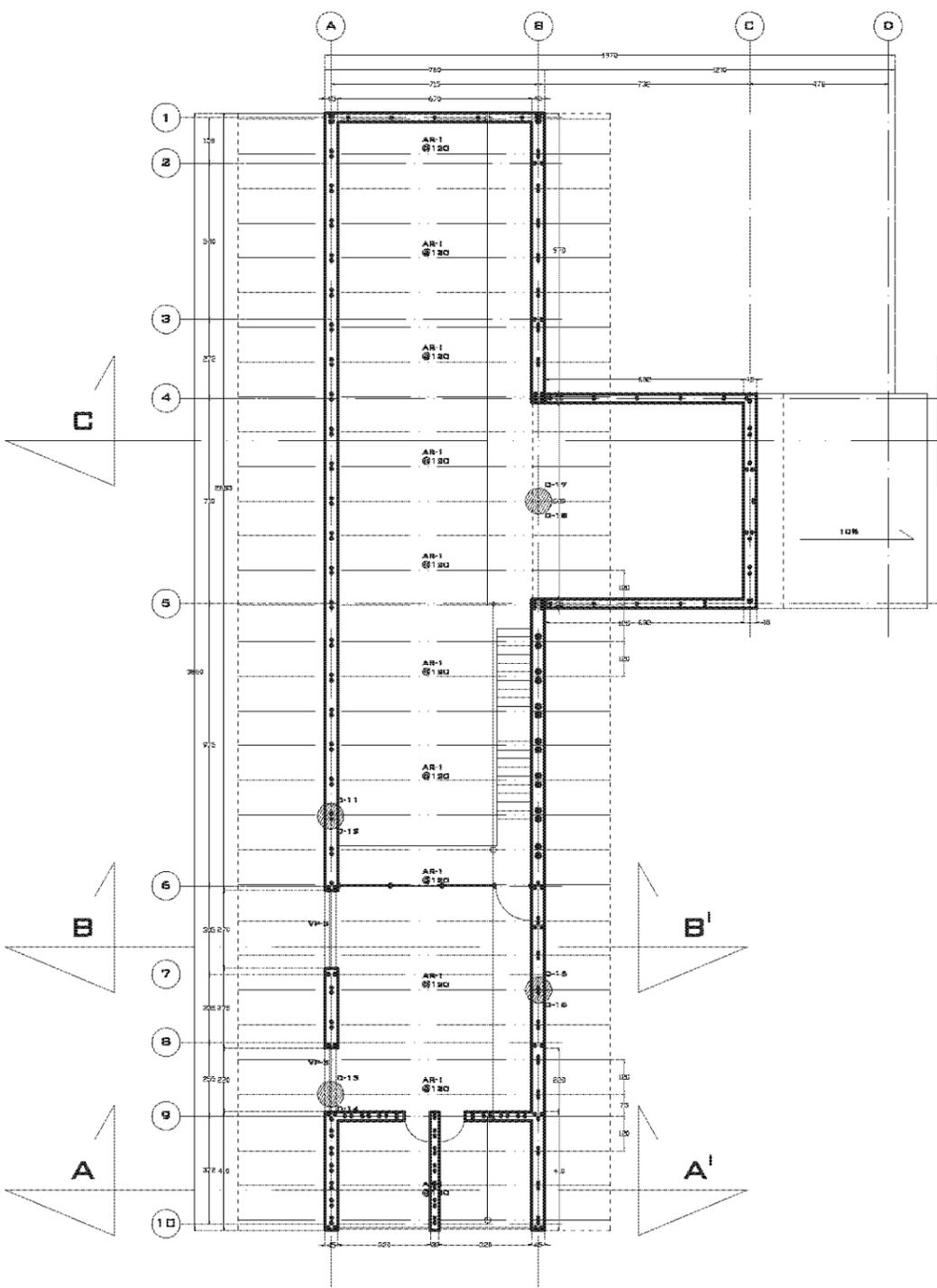
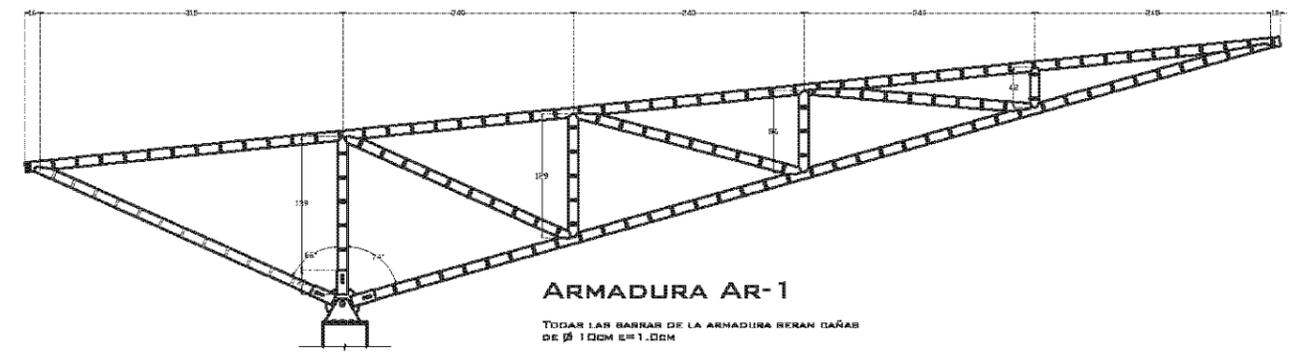
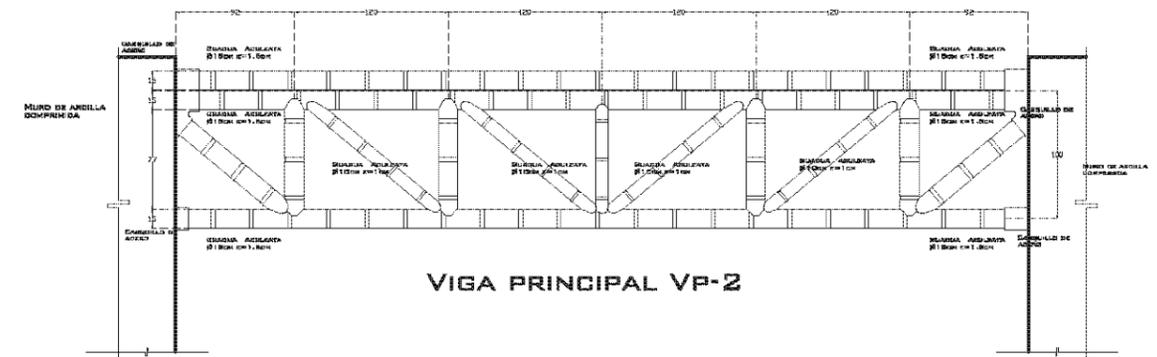
VIGA SECUNDARIA VS-1
 2 CAÑAS DE QUADRIA \emptyset 100mm x 1.00m



VIGA SECUNDARIA VS-2
 2 CAÑAS DE QUADRIA \emptyset 100mm x 1.00m, SEPARADAS POR UNA CAÑA DE QUADRIA \emptyset 100mm x 1.00m



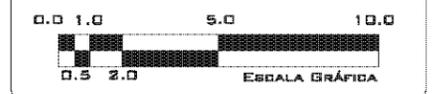
VIGA SECUNDARIA VS-3
 2 CAÑAS DE QUADRIA \emptyset 100mm x 1.00m



LEGENDA

=====	0M1	INDICA CONTRAVIENTO DE TIPO DE SERRADO 40X60
=====	0M2	INDICA CONTRAVIENTO DE TIPO DE SERRADO 30X60
=====	0M3	INDICA TIPO DE MUÑO Y SERRA
=====	0M4	INDICA MUÑO DE 40 CM DE ESPESOR
=====	0M5	INDICA MUÑO DE 50 CM DE ESPESOR
=====	0M6	INDICA MUÑO CONVENIDO DE 60 CM DE ESPESOR
=====		INDICA ARMADO DE LA LOSA
=====		INDICA VIGA O ARMADURA DE BANBU

- NOTAS**
- EL BANBU UTILIZADO PARA LOS REFUERZOS VERTICALES EN LOS MUROS SERA SIEMPRE DEL TIPO QUADRIA ANSUSTIFOLIA, EXCEPTO EN LOS CASOS QUE SE INDICEN.
 - EL DIAMETRO MAXIMO DE LOS PERNOS UTILIZADOS EN LAS CONEXIONES DE BANBU SERA DE 3/8".
 - TODOS LOS CORTES REALIZADOS EN EL BANBU SE REALIZARAN A UN MAXIMO DE 10 CM DE DISTANCIA DE LOS NUDOS Y A UN MINIMO DE 3 CM.
 - LA DIFERENCIA MAXIMA ENTRE LOS DIAMETROS EN LOS EXTREMOS DE UNA CAÑA, NO DEBERA SER MAYOR A 1.5 CM.
 - LOS ESTIAYOS EN LOS MUROS DEBERAN SER COMPACTADOS A UN MAXIMO DE 5CM, PARTIENDO DE UNA PROFUNDIDAD DE 1.5 CM.

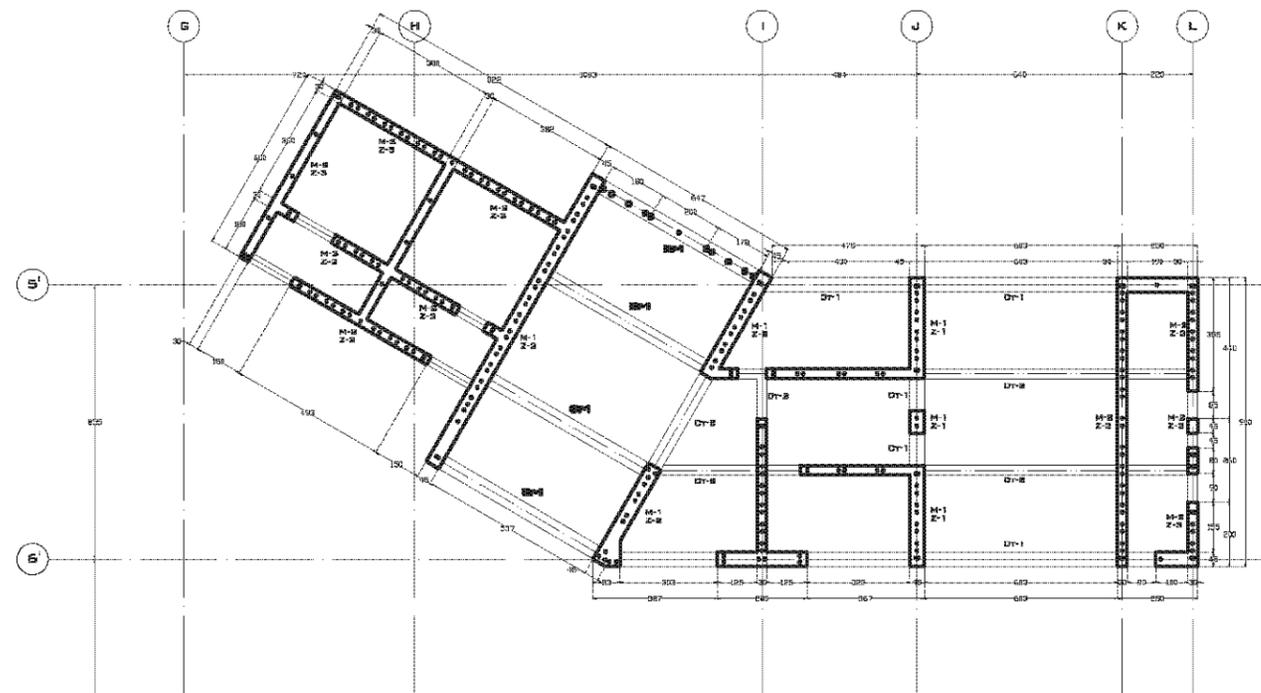


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 TALLER JOSÉ VILLADÓN GARCÍA

DENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

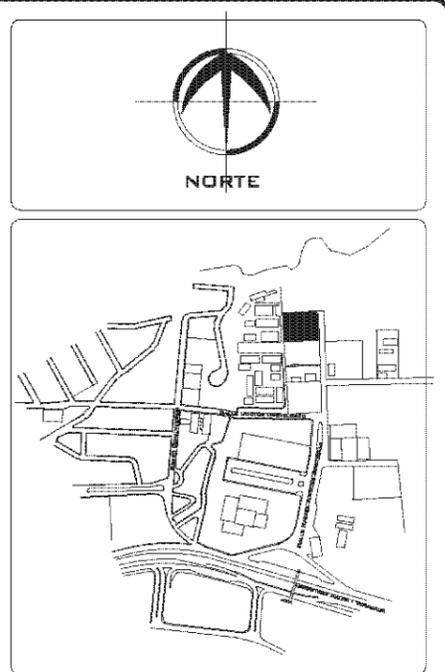
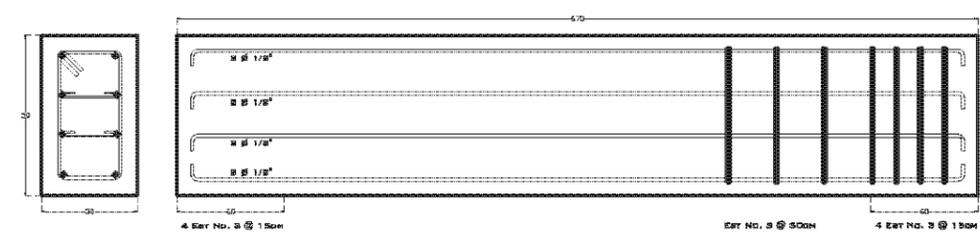
PROYECTO: EDIFICIO DE LABORATORIOS	ESCALA: 1:100	PROYECTISTA: GONZALO LÓPEZ CHRISTIAN	PROYECTISTA: DR. MARÍA PATRICIA DEL ROSARIO TABARCA
TIPO DE OBRA: PROYECTO	ACTIVACIÓN: METRIS	COORDINADOR: GONZALO LÓPEZ CHRISTIAN	COORDINADOR: DR. JULIANA BALBUENA

EDIFICIO DE LABORATORIOS E-03

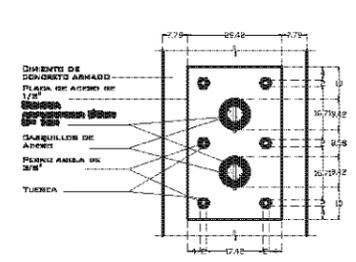


TRABE DE LIGA TL-1

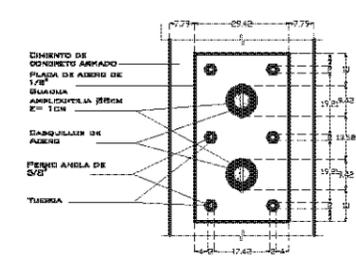
TRABE DE CONCRETO ARMADO REFORZADO



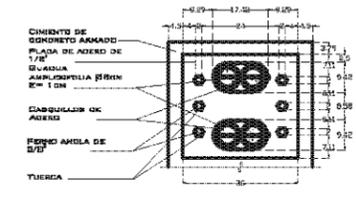
TIPOS DE REFUERZOS EN MUROS



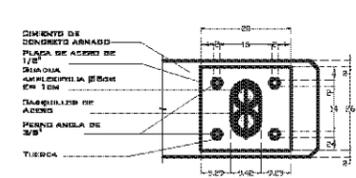
ANCLAJE DE R-1



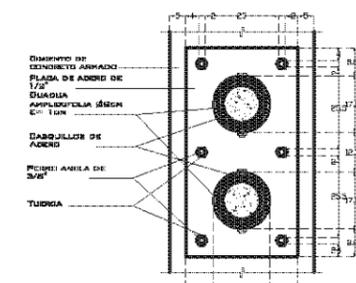
ANCLAJE DE R-2



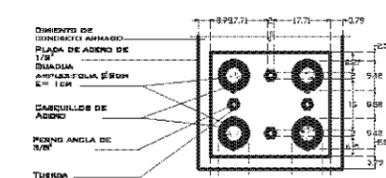
ANCLAJE DE R-6



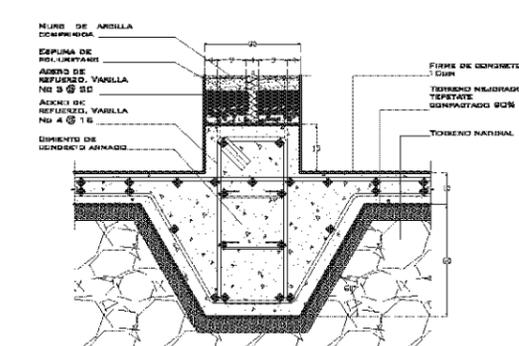
ANCLAJE DE R-4



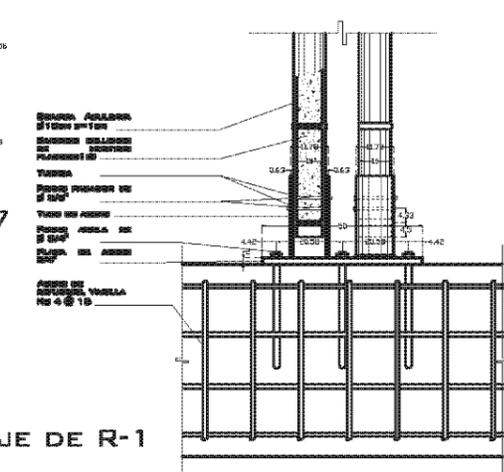
ANCLAJE DE R-5



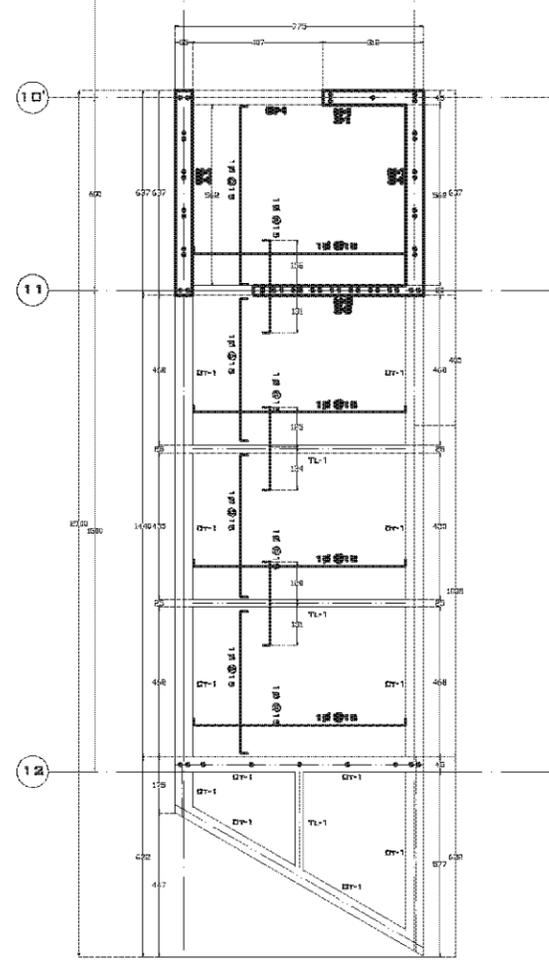
ANCLAJE DE R-7



CIMENTO Z-4
CIMENTO DE CONCRETO ARMADO
MUROS INTERIORES



ANCLAJE DE R-1

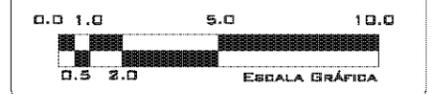


PLANTA DE ENTREPISO

SIMBOLOGÍA

	MUR DE ANILLA DE CONCRETO 40x40
	MUR DE ANILLA DE CONCRETO 40x40
	MUR DE ANILLA DE CONCRETO 40x40
	MUR DE ANILLA DE CONCRETO 40x40
	MUR DE ANILLA DE CONCRETO 40x40
	MUR DE ANILLA DE CONCRETO 40x40
	MUR DE ANILLA DE CONCRETO 40x40
	MUR DE ANILLA DE CONCRETO 40x40
	INDICA VIGA O ARMADURA DE BANBU

- #### NOTAS
- EL BANBU UTILIZADO PARA LOS REFUERZOS VERTICALES EN LOS MUROS SERA SIEMPRE DEL TIPO GUADUA ANSUSTIFOLIA, EXCEPTO EN LOS CASOS QUE SE INDIQUE.
 - EL DIAMETRO MAXIMO DE LOS PERNOS UTILIZADOS EN LAS CONEXIONES DE BANBU SERA DE 3/8".
 - TODO LOS CORTES REALIZADOS EN EL BANBU SE REALIZARAN A UN MAXIMO DE 10 CM DE DISTANCIA DE LOS NUDOS Y A UN MINIMO DE 3 CM.
 - LA DIFERENCIA MAXIMA ENTRE LOS DIAMETROS EN LOS EXTREMOS DE UNA CAÑA, NO DEBERA SER MAYOR A 1.5 CM.
 - LOS ESTRAJOS EN LOS MUROS DEBERAN SER COMPACTADOS A UN MAXIMO DE 5 CM, PARTIENDO DE UNA PROFUNDIDAD DE 1.5 CM.



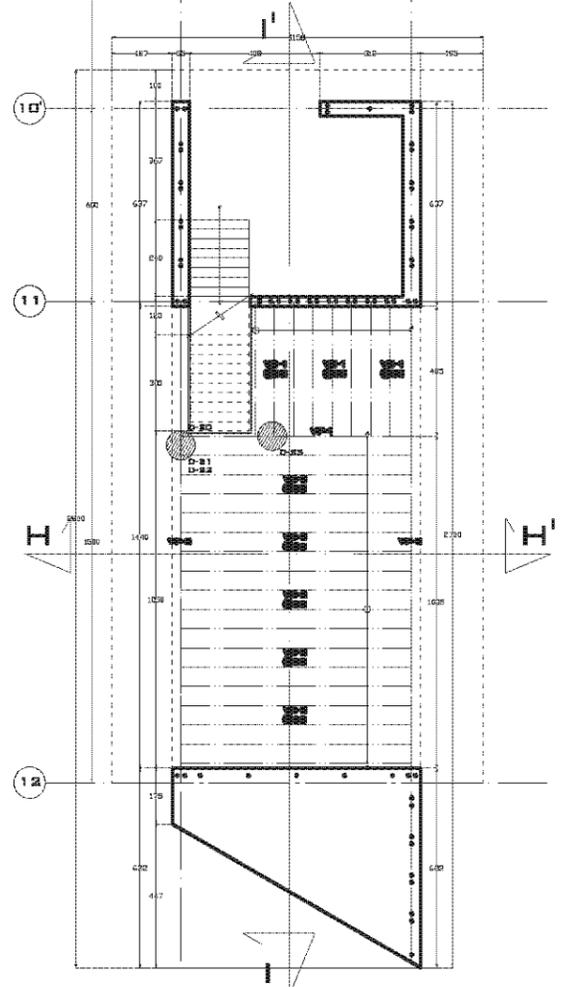
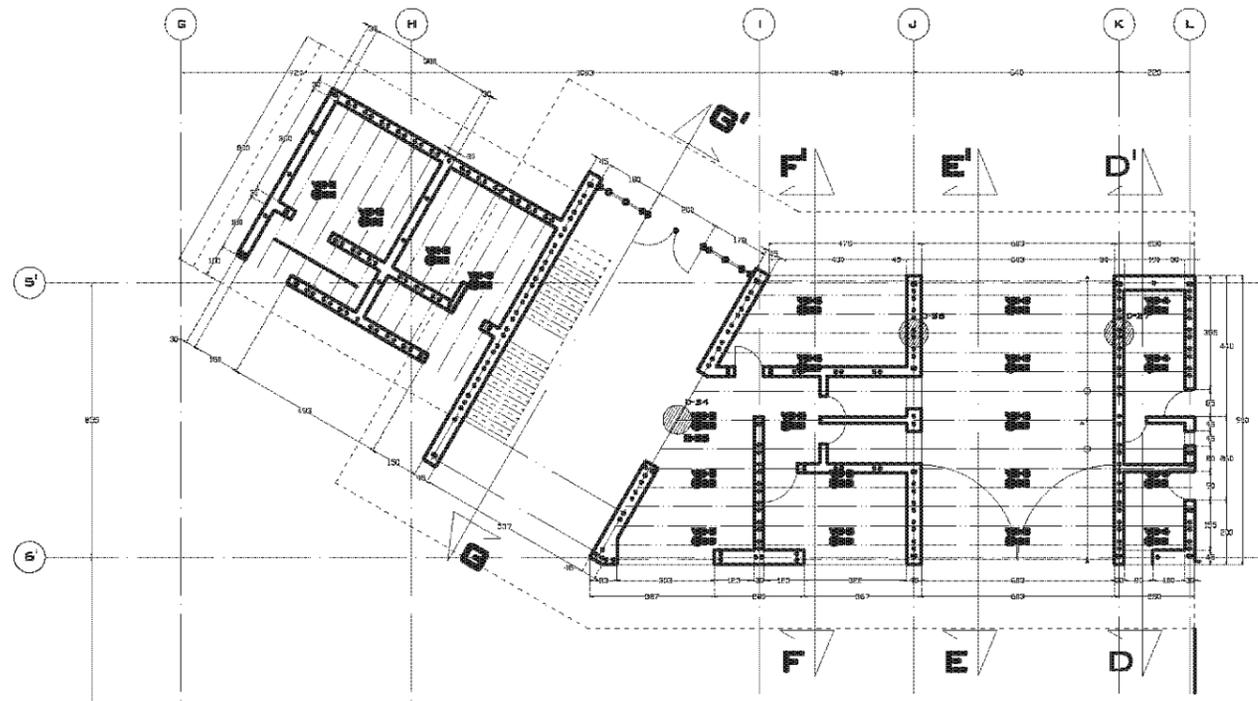
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLANOVAS GARCÍA

DENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

FECHA: JUNIO 10 2009	ESCALA: 1:100	PROYECTO: Edificio de Gobierno y Biblioteca	PROFESOR: DR. JOSÉ VILLANOVAS GARCÍA
TÍTULO: PROYECTO	AUTORIZACIÓN: M. T. GARCÍA	ELABORACIÓN: GONZALO LÓPEZ CHRISTIAN	REVISOR: DR. JOSÉ VILLANOVAS GARCÍA

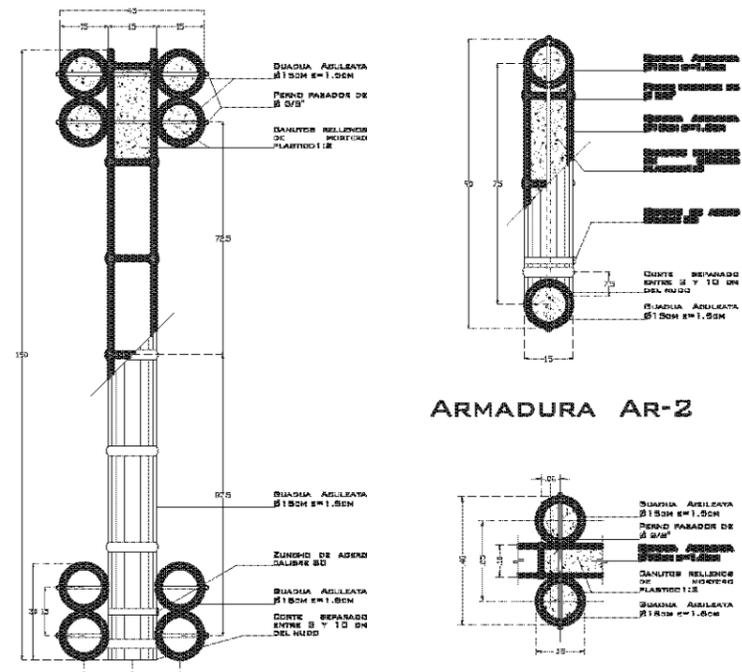
EDIFICIO DE GOBIERNO Y BIBLIOTECA, PLANTA DE CIMENTACIÓN

E-04



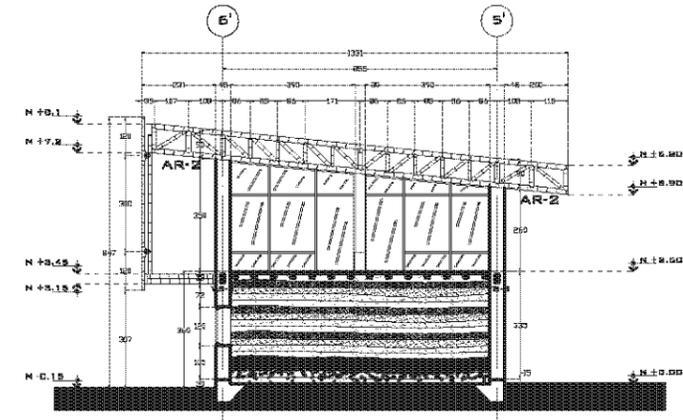
PLANTA DE ENTREPISO

DETALLES DE SECCIONES DE VIGAS

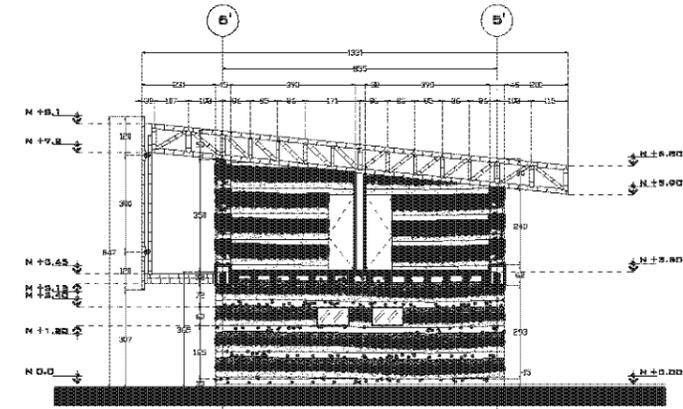


ARMADURA AR-2

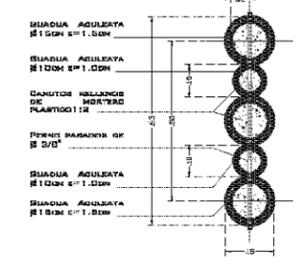
VIGA SECUNDARIA VS-2



CORTE D-D'



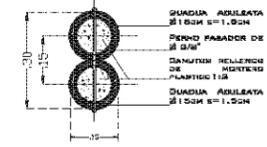
CORTE E-E'



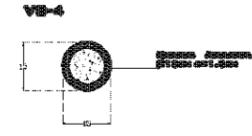
VIGA PRINCIPAL VP-1
3 CAÑAS DE GUADUA Ø 150M E=1.50M Y 2 CAÑAS DE GUADA Ø 100M E=1.00M



VIGA SECUNDARIA VS-1
2 CAÑAS DE GUADUA Ø 100M E=1.00M

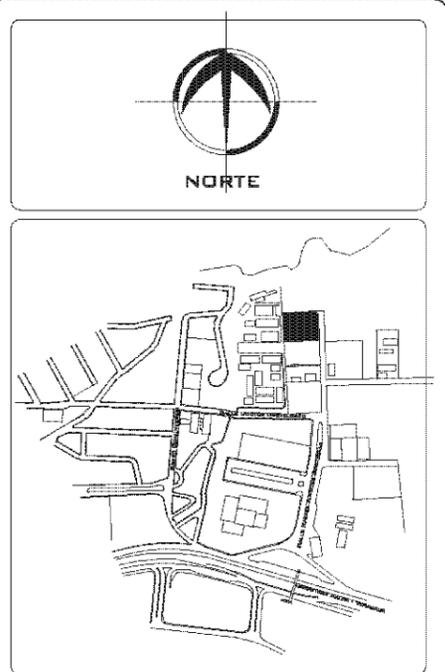


VIGA SECUNDARIA VS-3
2 CAÑAS DE GUADUA Ø 150M E=1.50M



VIGA SECUNDARIA VS-2
2 CAÑAS DE GUADUA Ø 150M E=1.50M, SEPARADAS POR UNA CAÑA DE GUADUA Ø 100M E=1.00M

VIGA PRINCIPAL VP-5
VIGA VIERENDEEL DE GUADUA Ø 150M E=1.50M, CON DOBLE MONTEN @ 1.50M

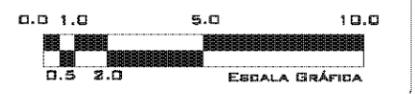


SINBOLOGÍA

- 6M INGRESA CONTRAVAZA DE TABLA DE SIDERITO 40x50
- 6M INGRESA CONTRAVAZA DE TABLA DE SIDERITO 30x40
- 6M INGRESA TIPO DE MURO Y SARTA
- 6M INGRESA MURO DE 40 CM DE ESPESOR
- 6M INGRESA MURO DE 20 CM DE ESPESOR
- 6M INGRESA MURO CONTRAVAZA DE 20 CM DE ESPESOR
- INGRESA ARMADA DE LA LOSA
- INDICA VIGA O ARMADURA DE SANGU

NOTAS

- EL SANGU UTILIZADO PARA LOS REFUERZOS VERTICALES EN LOS MURDOS SERA SIEMPRE DEL TIPO GUADUA ANSUSTIFOLIA, EXCEPTO EN LOS CASOS QUE SE INDICALE.
- EL DIAMETRO MAXIMO DE LOS PERROS UTILIZADOS EN LAS CONEXIONES DE SANGU SERA DE 3/8"
- TODOS LOS CORTES REALIZADOS EN EL SANGU SE REALIZARAN A UN MAXIMO DE 10 CM DE DISTANCIA DE LOS NUDOS Y A UN MINIMO DE 3 CM. LAS DIFERENCIAS MAXIMA ENTRE LOS DIAMETROS EN LOS EXTREMOS DE UNA CAÑA, NO DEBERA SER MAYOR A 1.5 CM.
- LOS ESTIAYOS EN LOS MUROS DEBERAN SER COMPACTADOS A UN MAXIMO DE 50M, PARTIENDO DE UNA PROFUNDIDAD DE 1.5 CM.



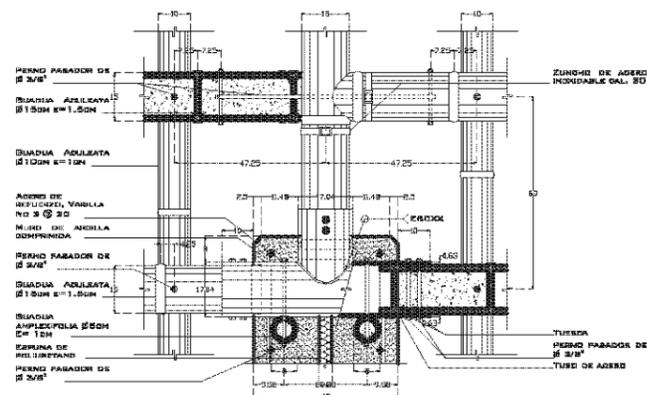
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLARRÁN GARCÍA

DENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

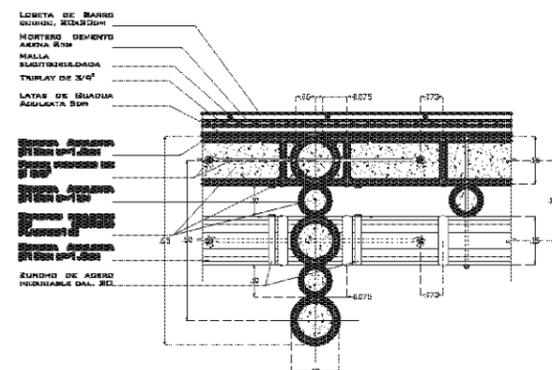
PROYECTO: 10 0000	ESCALA: 1:100	PROYECTADO: DAMAZO LÓPEZ CHRISTIAN	REVISADO: MTC. MARÍA PATRICIA DEL ROSARIO TABARCA
TIPO DE OBRA: PROYECTO	ACTIVACIÓN: MÉTODOS	COORDINADO: GONZÁLEZ LÓPEZ CHRISTIAN	DISEÑADO: JULIANA BALBARD

EDIFICIO DE GOBIERNO Y BIBLIOTECA

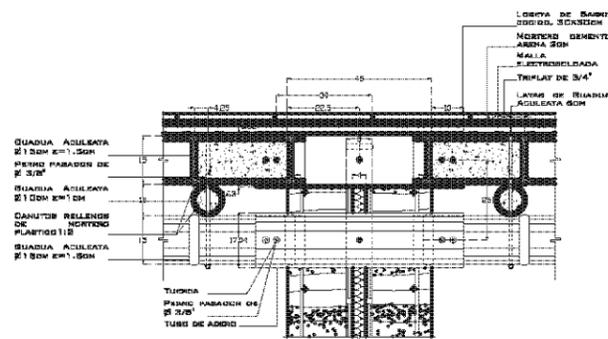
E-05



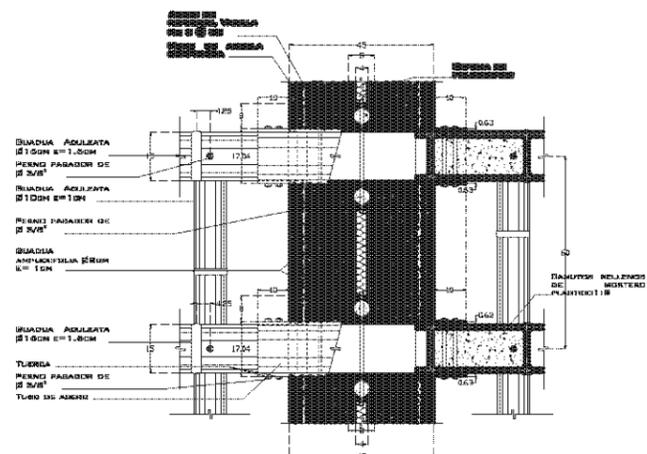
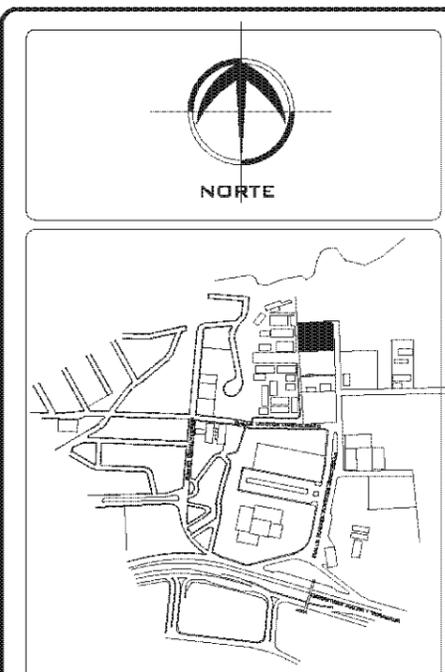
DETALLE D-1
CONEXION DEB VIGAS Y VIGA PRINCIPAL VP-1 (ALZADO)



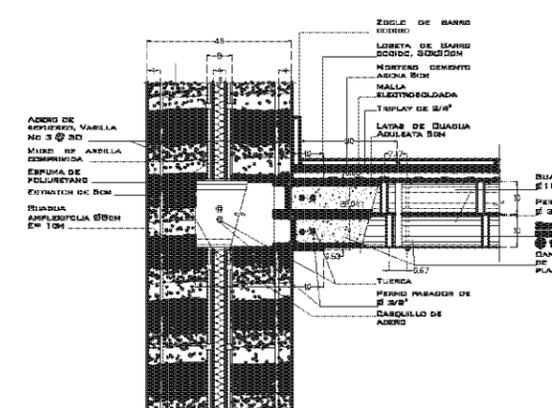
DETALLE D-2
CONEXION VIGAS SECUNDARIAS VS-2 Y VIGA PRINCIPAL VP-1 (ALZADO)



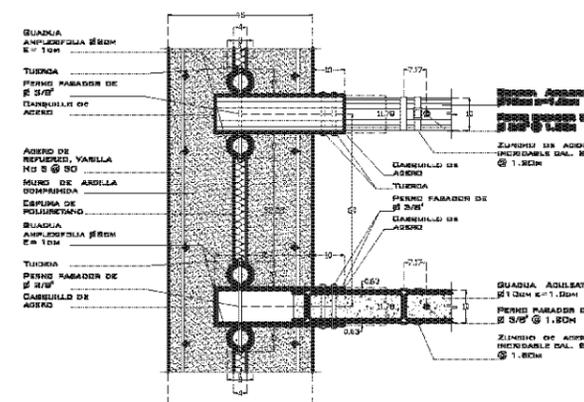
DETALLE D-3
CONEXION VIGAS SECUNDARIAS VS-2 Y MURO M-1 (ALZADO)



DETALLE D-4
CONEXION VIGAS SECUNDARIAS VS-2 Y MURO M-1 (PLANTA)



DETALLE D-5
CONEXION VIGAS SECUNDARIAS VS-3 Y MURO M-1 (ALZADO)



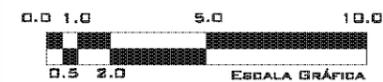
DETALLE D-6
CONEXION VIGAS SECUNDARIAS VS-3 Y MURO M-1 (PLANTA)

LEGENDA

- Ø4 INGRESA CONTRAVIGAS DE TRABE DE CEMENTO 40000
- Ø6 INGRESA CONTRAVIGAS DE TRABE DE CEMENTO 30000
- Ø8 INGRESA TIPO DE MURO Y BARRA
- Ø4 INGRESA MURO DE 40 CM DE ESPESOR
- Ø6 INGRESA MURO DE 60 CM DE ESPESOR
- Ø8 INGRESA MURO CONVENCIONAL DE 80 CM DE ESPESOR
- INGRESA ARMADO DE LA LOSA
- INDICA VIGA O ARMADURA DE BARRA

NOTAS

- EL BARRA UTILIZADO PARA LOS REFUERZOS VERTICALES EN LOS MUROS SERA SIEMPRE DEL TIPO GUADUA ANTIREFLEJA, EXCEPTO EN LOS CASOS QUE SE INDICAN.
- EL DIAMETRO MAXIMO DE LOS PERNOS UTILIZADOS EN LAS CONEXIONES DE BARRA SERA DE 3/8\"/>
- TODO LOS CORTES REALIZADOS EN EL BARRA SE REALIZARAN A UN MAXIMO DE 10 CM DE DISTANCIA DE LOS NUDOS Y A UN MINIMO DE 3 CM.
- LA DIFERENCIA MAXIMA ENTRE LOS DIAMETROS EN LOS EXTREMOS DE UNA BARRA, NO DEBERA SER MAYOR A 1.5 CM.
- LOS ESTRAZOS EN LOS MUROS DEBERAN SER COMPACTADOS A UN MAXIMO DE 5CM, PARTIENDO DE UNA PROFUNDIDAD DE 1.5 CM.



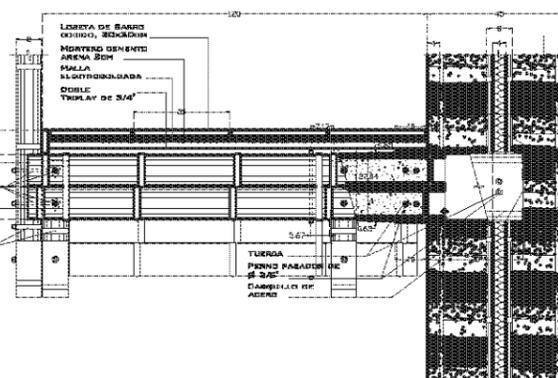
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLALBÁN GARCÍA

DENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

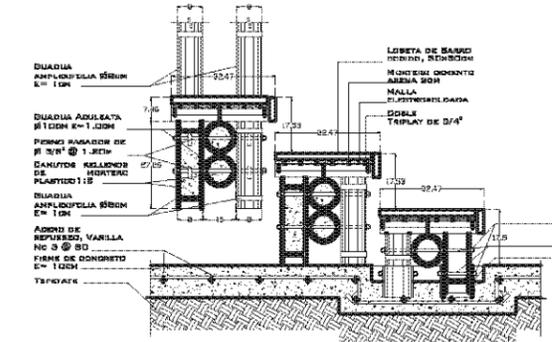
PROYECTO 11185	PROYECTISTA CARMONA LÓPEZ CHRISTIAN	REVISOR MIG. JUAN PABLO GARCÍA
TÍTULO PROYECTO	AUTORIZACIÓN MÉTRICO	REVISOR GONZÁLEZ LÓPEZ CHRISTIAN

EDIFICIO DE LABORATORIOS, DETALLES CONSTRUCTIVOS

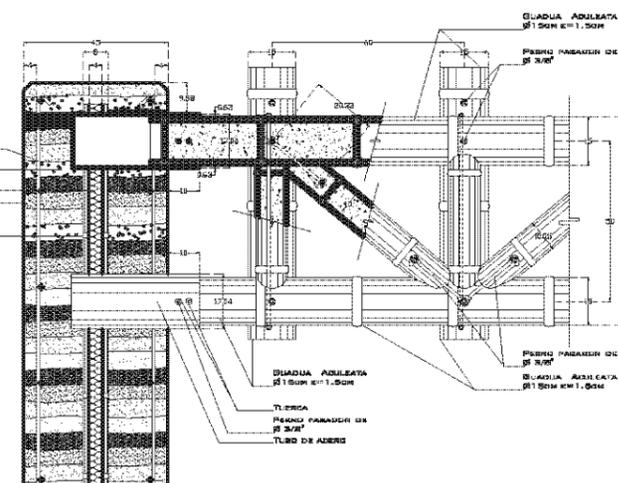
E-07



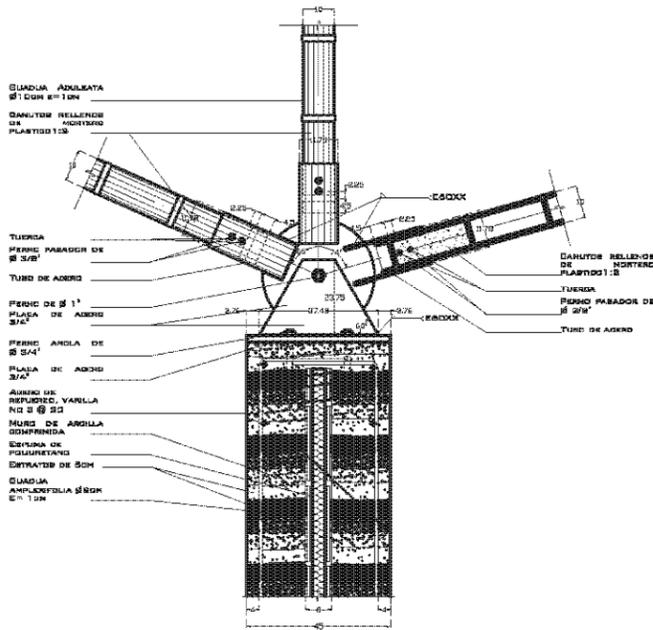
DETALLE D-7
DETALLE DE ESTRUCTURA, CONEXION DE VIGA SECUNDARIA VS-3 Y MURO M-1 (ALZADO FRONTAL)



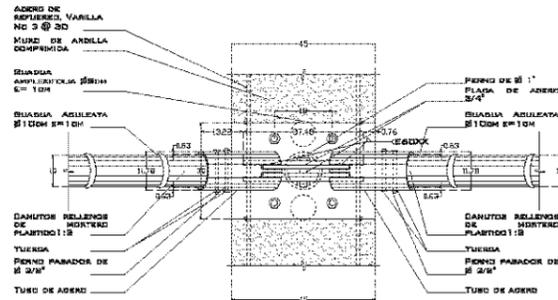
DETALLE D-8
DETALLE DE ESTRUCTURA, CONEXION DE VIGA SECUNDARIA VS-3 Y MURO M-1 (ALZADO LATERAL)



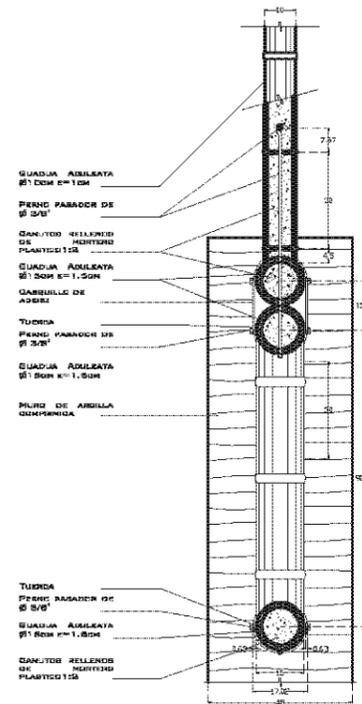
DETALLE D-9
DETALLE DE ARMADURA VP-2 Y CONEXION CON MURO M-1 (ALZADO)



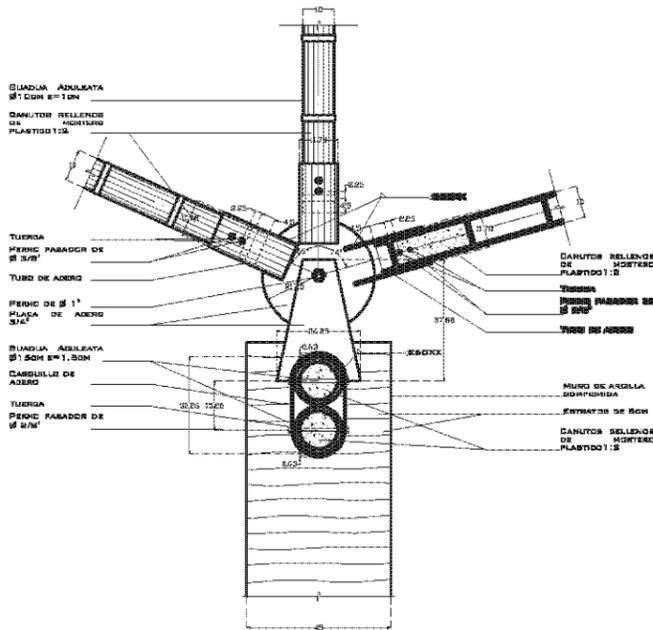
DETALLE D-11
APOYO ARTICULADO DE ARMADURA AR-1 EN MURO M-1 (ALZADO)



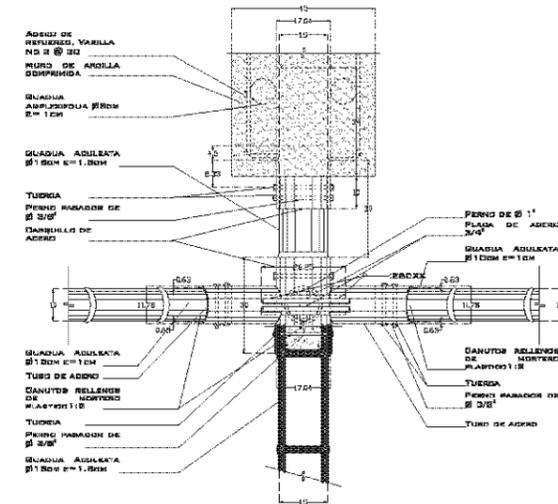
DETALLE D-12
APOYO ARTICULADO DE ARMADURA AR-1 EN MURO M-1 (PLANTA)



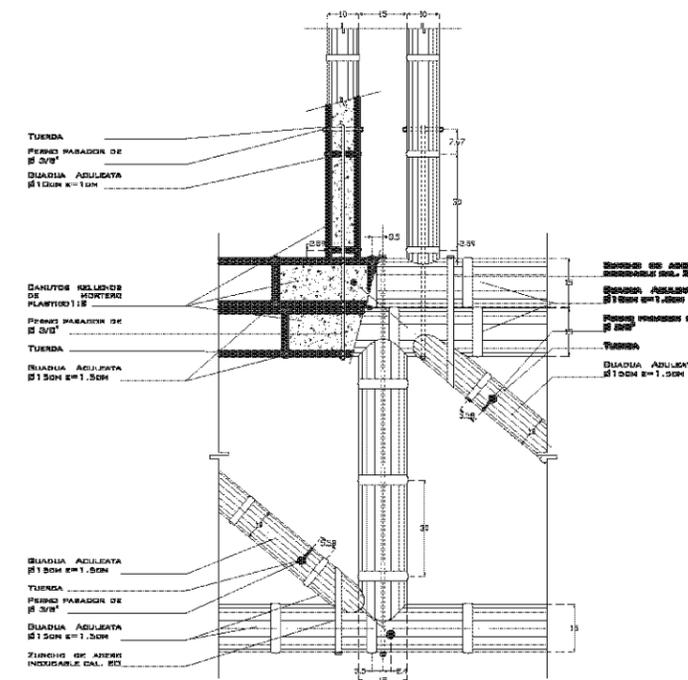
DETALLE D-18
APOYO DE ARMADURA AR-1 EN ARMADURA VP-2 (ALZADO FRONTAL)



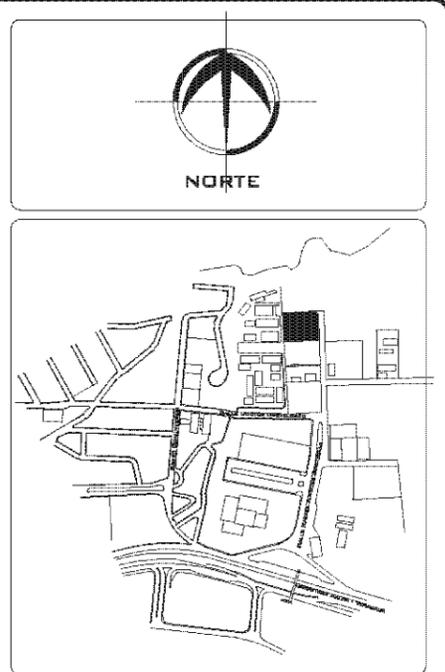
DETALLE D-13
APOYO ARTICULADO DE ARMADURA AR-1 EN VIGA PRINCIPAL VP-3 (ALZADO)



DETALLE D-14
APOYO ARTICULADO DE ARMADURA AR-1 EN VIGA PRINCIPAL VP-3 (PLANTA)



DETALLE D-19
APOYO DE ARMADURA AR-1 EN ARMADURA VP-2 (ALZADO LATERAL)

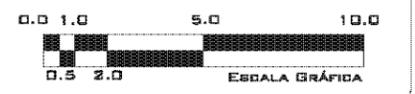


LEYENDA

- 404 INDICA CONTRAVIENTO DE TIPO DE ESPESOR 40x50
- 406 INDICA CONTRAVIENTO DE TIPO DE ESPESOR 50x60
- 407 INDICA TIPO DE MURO Y BARRA
- 408 INDICA MURO DE 40 CM DE ESPESOR
- 409 INDICA MURO DE 50 CM DE ESPESOR
- 410 INDICA MURO COMPRESO DE 80 CM DE ESPESOR
- INDICA ARMADO DE LA LOSA
- INDICA VIGA O ARMADURA DE BAMBÚ

NOTAS

- EL BAMBÚ UTILIZADO PARA LOS REFUERZOS VERTICALES EN LOS MUROS SERA SIEMPRE DEL TIPO GUADUA ANSUSTIFOLIA, EXCEPTO EN LOS CASOS QUE SE INDIQUE.
- EL DIAMETRO MAXIMO DE LOS PERNOS UTILIZADOS EN LAS CONEXIONES DE BAMBÚ SERA DE 3/8".
- TODOS LOS CORTES REALIZADOS EN EL BAMBÚ SE REALIZARAN A UN MAXIMO DE 10 CM DE DISTANCIA DE LOS NUDOS Y A UN MINIMO DE 3 CM. LA DIFERENCIA MAXIMA ENTRE LOS DIAMETROS EN LOS EXTREMOS DE UNA CAÑA, NO DEBERA SER MAYOR A 1.5 CM.
- LOS ESTIQUES EN LOS MUROS DEBERAN SER COMPACTADOS A UN MAXIMO DE 50N, PARTIENDO DE UNA PROFUNDIDAD DE 15 CM.



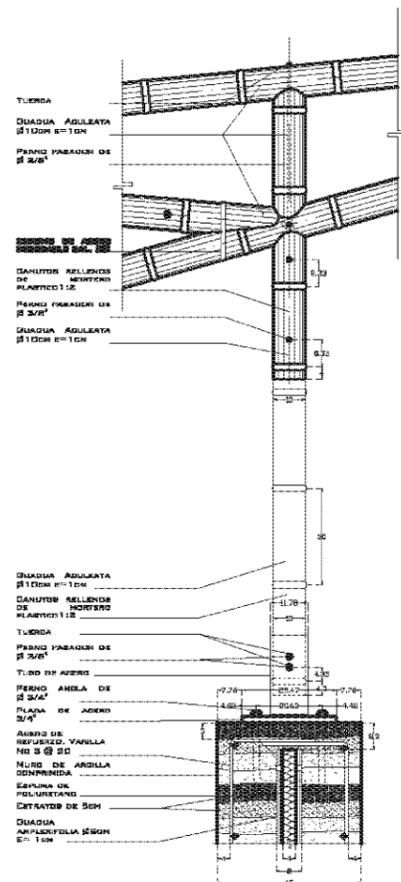
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLALBÁN GARCÍA

DENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

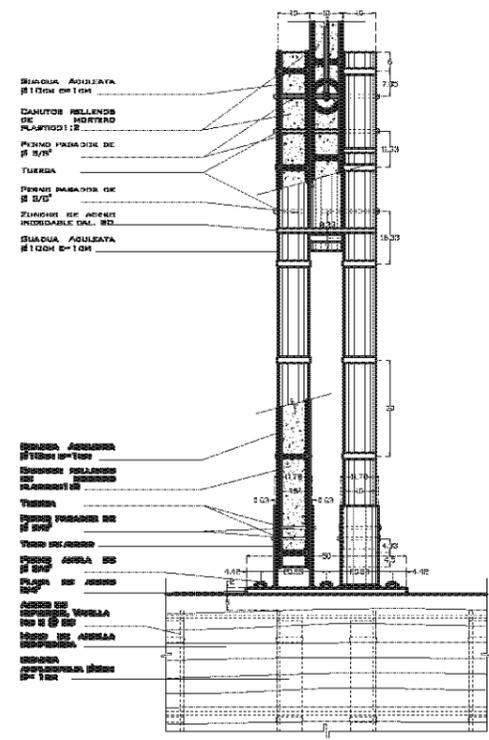
PROYECTO: 11185	PROYECTISTA: FRANCISCO LÓPEZ CHRISTIAN	PROFESOR: DR. MAURICIO PARRALES
TÍTULO DE TESIS: PROYECTO	ASISTENTE: GABRIEL GÓMEZ LÓPEZ CHRISTIAN	COLABORADOR: DR. ENRIQUE TABARONA
		DR. JULIANA BALBASTO

EDIFICIO DE LABORATORIOS, DETALLES CONSTRUCTIVOS

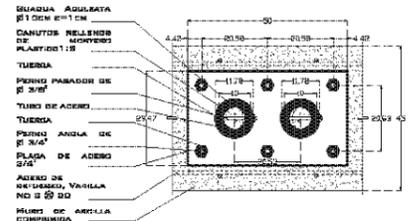
E-08



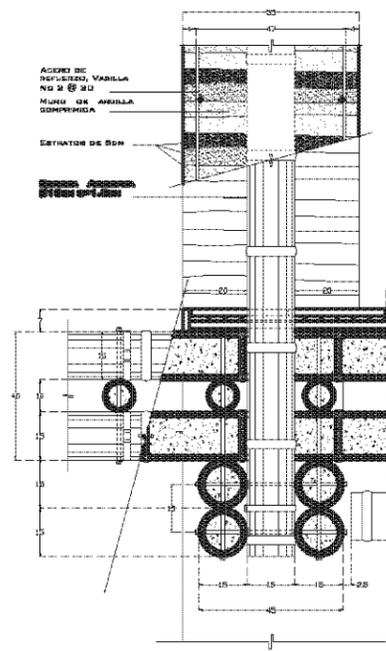
DETALLE D-15
APOYO DE ARMADURA AR-1 EN MURO M1 (ALZADO FRONTAL)



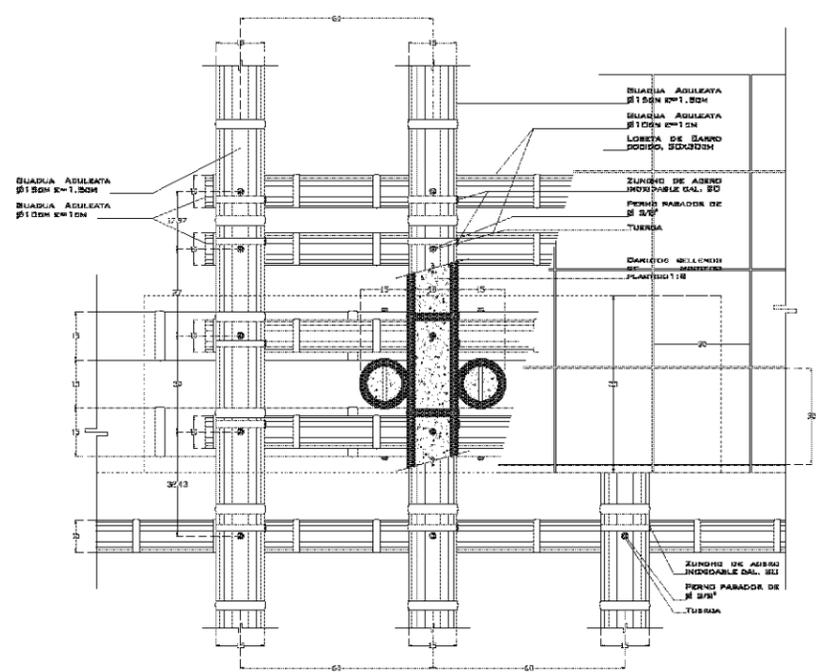
DETALLE D-16
APOYO DE ARMADURA AR-1 EN MURO M-1Y ANLAJE DEL APOYO (ALZADO LATERAL)



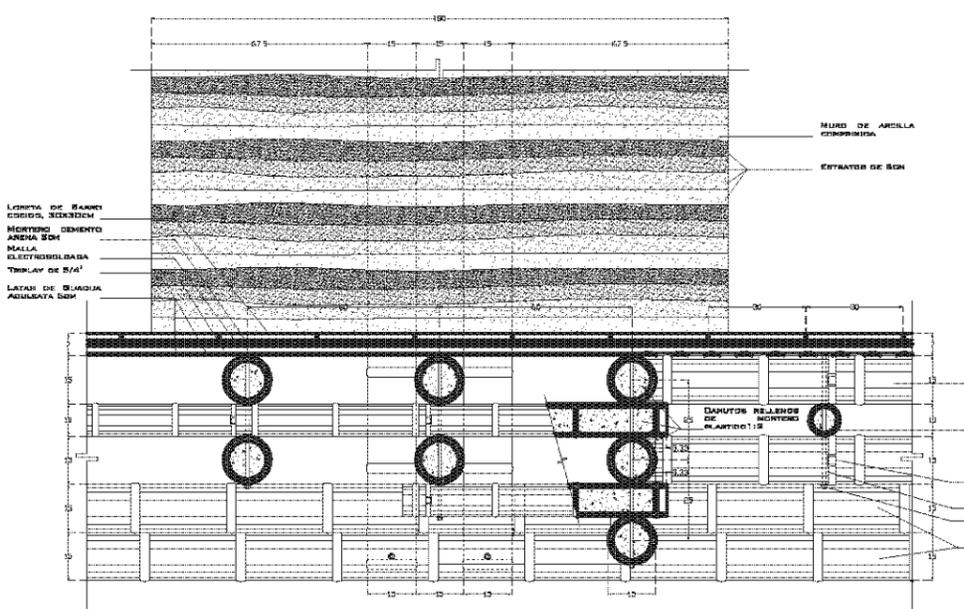
DETALLE D-17
DETALLE PLACA DE ANLAJE PARA APOYO DE ARMADURA AR-1 (PLANTA)



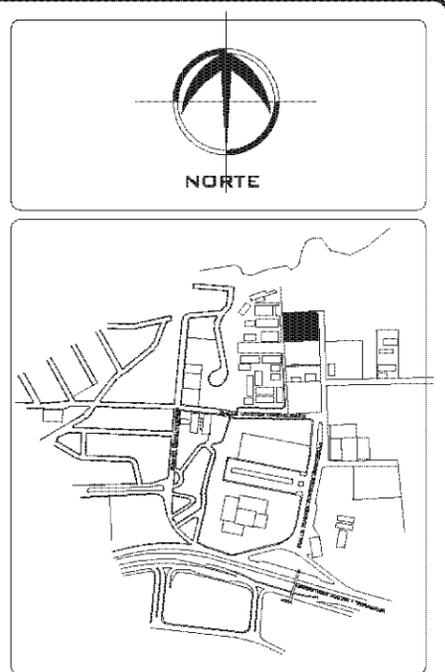
DETALLE D-22
CONEXION DE VISA PRINCIPAL VP-5 CON VISA SECUNDARIA VS-2 (ALZADO FRONTAL)



DETALLE D-20
CONEXION DE VISA PRINCIPAL VP-5 CON VISA SECUNDARIA VS-2 (PLANTA)



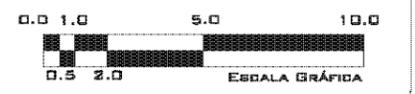
DETALLE D-21
CONEXION DE VISA PRINCIPAL VP-5 CON VISA SECUNDARIA VS-2 (ALZADO LATERAL)



LEGENDA

—	Ø4	INERSA CONTRAFUERE DE TRABAJO DE ESPESOR 40000
—	Ø6	INERSA CONTRAFUERE DE TRABAJO DE ESPESOR 30000
—	Ø8	INERSA TIPO DE MURO Y BARRA
—	Ø10	INERSA MURO DE 40 CM DE ESPESOR
—	Ø12	INERSA MURO DE 50 CM DE ESPESOR
—	Ø14	INERSA MURO DE 60 CM DE ESPESOR
—	Ø16	INERSA MURO DE 80 CM DE ESPESOR
—	Ø18	INERSA MURO DE 100 CM DE ESPESOR
—	Ø20	INERSA ARMADO DE LA LOSA
—	—	INDICA VIGA O ARMADURA DE BAMBÚ

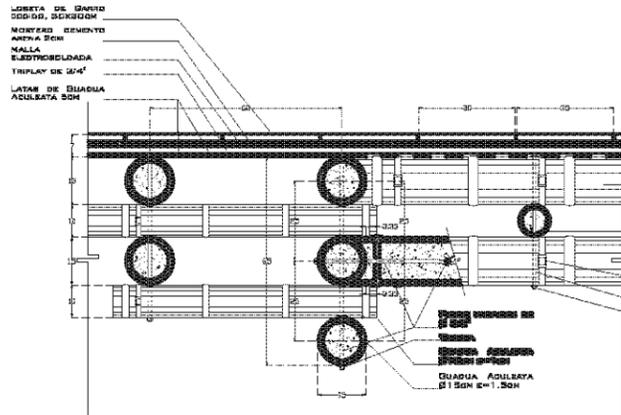
- NOTAS**
- EL BAMBÚ UTILIZADO PARA LOS REFUERZOS VERTICALES EN LOS MUROS SERA SIEMPRE DEL TIPO GUADUA ANSUSTIFOLIA, EXCEPTO EN LOS CASOS QUE SE INDICIE.
 - EL DIAMETRO MAXIMO DE LOS PERNOS UTILIZADOS EN LAS CONEXIONES DE BAMBÚ SERA DE 3/8".
 - TODOS LOS CORTES REALIZADOS EN EL BAMBÚ SE REALIZARAN A UN MAXIMO DE 10 CM DE DISTANCIA DE LOS NUDOS Y A UN MINIMO DE 3 CM.
 - LA DIFERENCIA MAXIMA ENTRE LOS DIAMETROS EN LOS EXTREMOS DE UNA CAÑA, NO DEBERA SER MAYOR A 1.5 CM.
 - LOS EXTRAYOS EN LOS MUROS DEBERAN SER COMPACTADOS A UN MAXIMO DE 50N, PARTIENDO DE UNA PROFUNDIDAD DE 1.5 CM.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLALBÁN GARCÍA

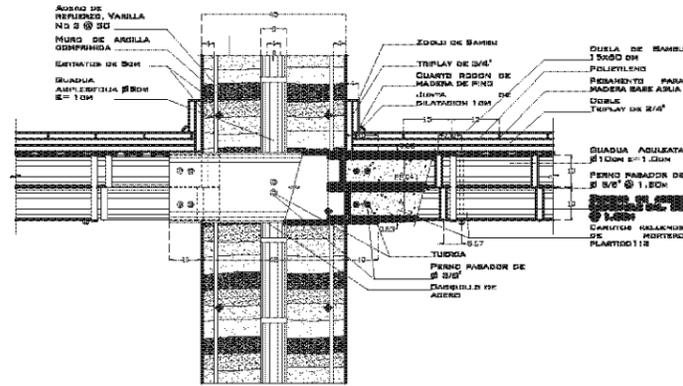
DENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

PROYECTO: 11135	PROYECTANTE: CAROLINA LÓPEZ CHRISTIAN	PROYECTISTA: DR. MARÍA FERNÁNDEZ DE CÁRDENAS
TÍTULO: PROYECTO	ASISTENTE: M. TUDOR	COLABORADOR: GONZALO LÓPEZ CHRISTIAN
EDIFICIO DE GOBIERNO Y BIBLIOTECA, DETALLES CONSTRUCTIVOS		E-09



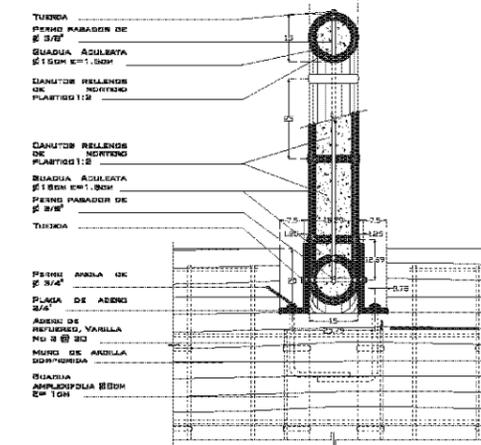
DETALLE D-23

CONEXION DE VIGA PRINCIPAL VP-1 CON VIGA SECUNDARIA V2-1 Y VIGA SECUNDARIA V2-2 (ALZADO LATERAL)



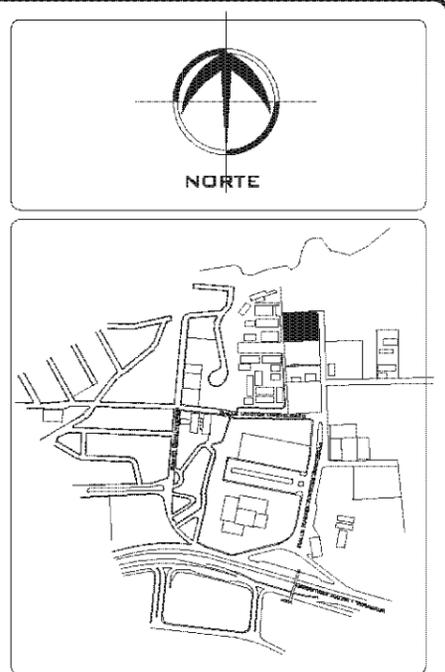
DETALLE D-26

DETALLE DE CONTINUIDAD EN VIGA SECUNDARIA V2-3 (ALZADO LATERAL)

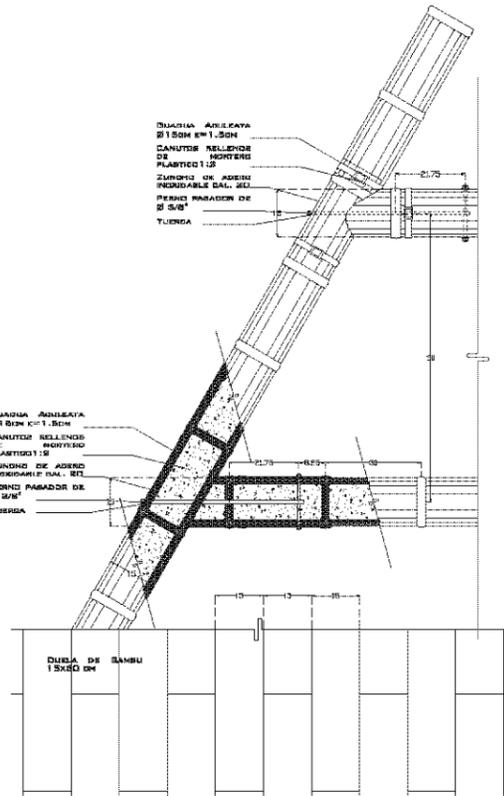


DETALLE D-29

DETALLE DE APOYO DE ARMADURA AR-2 EN MURO M-1 (ALZADO FRONTAL)

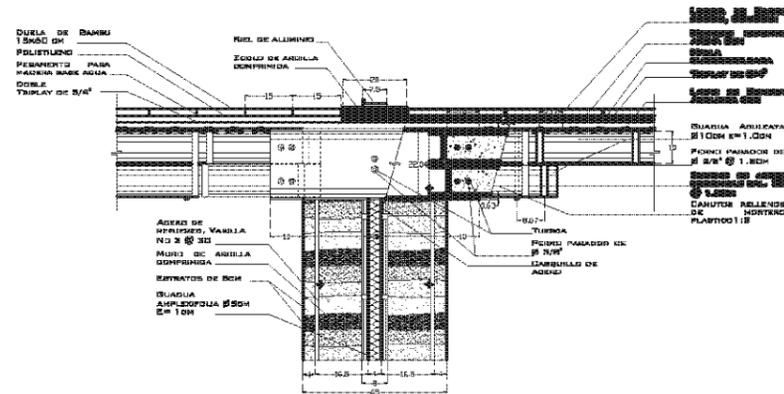


NORTE



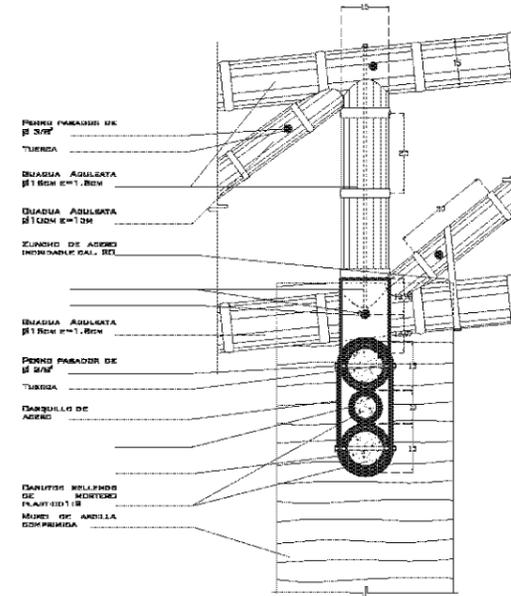
DETALLE D-24

CONEXION DE VIGA SECUNDARIA V2-3 Y VIGA SECUNDARIA V2-2 (PLANTA)



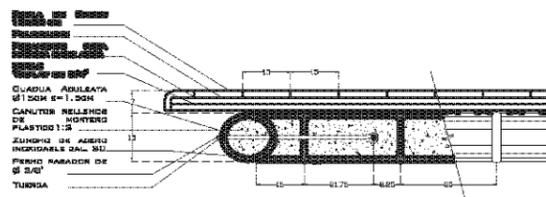
DETALLE D-27

DETALLE DE CONTINUIDAD EN VIGA SECUNDARIA V2-3 Y VIGA SECUNDARIA V2-4 (ALZADO LATERAL)



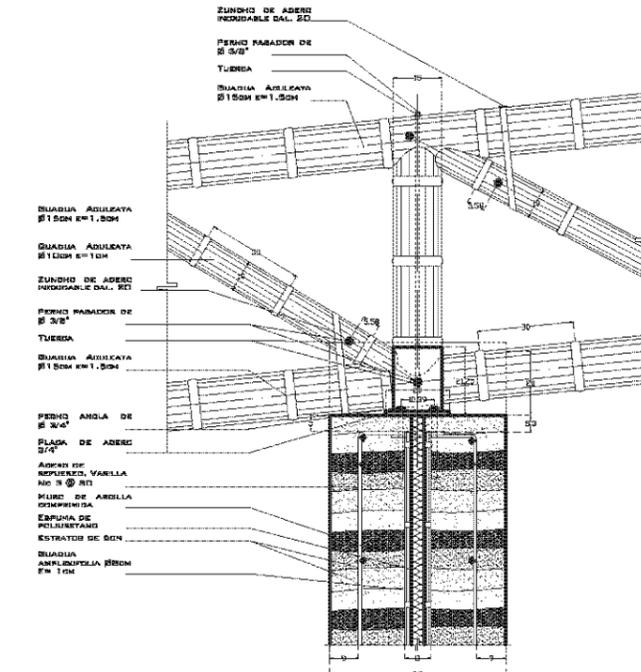
DETALLE D-30

DETALLE DE APOYO DE ARMADURA AR-2 EN VIGA PRINCIPAL VP-1 (ALZADO FRONTAL)



DETALLE D-25

CONEXION DE VIGA SECUNDARIA V2-3 Y VIGA SECUNDARIA V2-2 (ALZADO FRONTAL)



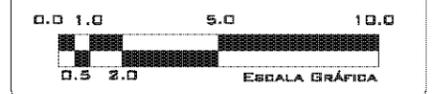
DETALLE D-28

DETALLE DE APOYO DE ARMADURA AR-2 EN MURO M-1 (ALZADO LATERAL)

ENCUENTROS

—	INERSIA CONTRAVIGA DE TRABAJO DE ESPESOR 4000
—	INERSIA CONTRAVIGA DE TRABAJO DE ESPESOR 3000
—	INERSIA TIPO DE MURO Y BARRA
—	INERSIA MURO DE 40 CM DE ESPESOR
—	INERSIA MURO DE 20 CM DE ESPESOR
—	INERSIA MURO CONVENCIONAL DE 20 CM DE ESPESOR
—	INERSIA ARMADA DE LA LOSA
—	INDICA VIGA O ARMADURA DE BAMBÚ

- NOTAS**
- EL BAMBÚ UTILIZADO PARA LOS REFUERZOS VERTICALES EN LOS MUROS SERA SIEMPRE DEL TIPO GUADUA ANSUSTIFOLIA, EXCEPTO EN LOS CASOS QUE SE INDICAN.
 - EL DIAMETRO MAXIMO DE LOS PERNOS UTILIZADOS EN LAS CONEXIONES DE BAMBÚ SERA DE 3/8".
 - TOODOS LOS CORTES REALIZADOS EN EL BAMBÚ SE REALIZARAN A UN MAXIMO DE 10 CM DE DISTANCIA DE LOS NUDOS Y A UN MINIMO DE 3 CM.
 - LA DIFERENCIA MAXIMA ENTRE LOS DIAMETROS EN LOS EXTREMOS DE UNA CAÑA, NO DEBERA SER MAYOR A 1.5 CM.
 - LOS ESTRAJOS EN LOS MUROS DEBERAN SER COMPACTADOS A UN MAXIMO DE 5CM, PARTIENDO DE UNA PROFUNDIDAD DE 1.5 CM.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TALLER JOSÉ VILLALBÁN GARCÍA

DENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS Y CIENTÍFICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

EDIFICIO DE GOBIERNO Y BIBLIOTECA, DETALLES CONSTRUCTIVOS

E-10

Bibliografía

Libros y ensayos

Belausteguigoitia, Juan Carlos, *Informe de Responsabilidad Social 2009, Versión en línea*, PEMEX, 2009.

Bernstein, Lenny et ali., *Cambio climático 2007, Informe de síntesis*, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Ginebra, Suiza, 2007.

Coordinación del Programa de Cambio Climático, Instituto Nacional de Ecología, *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2002*, México D.F. 2 de Octubre de 2006.

Cortés Rodríguez, G.R. 2000. Los bambúes nativos de México. CONABIO. Biodiversitas.

Digitalización del Campo Cañero en México para Alcanzar la Agricultura de Precisión de la Caña de Azúcar, Ingenio la Gloria, S.A., PRONAC, México, Enero 2009.

Edwards, Brian, *Guía Básica de la Sostenibilidad*, Gustavo Gili, México 2009.

El Cambio Climático en América Latina y El Caribe (versión preliminar), PNUMA/ORPALC, SEMARNAT, 2004.

Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Veracruz (Periodo 1961-2003), INIFAP, Veracruz, México, Mayo 2006.

Farbiaz F., Josef, Jaime Mogollón S., Samuel Darío Prieto R., *Manual de Construcción Sismo resistente de Viviendas en Bahareque Encementado*, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, ISBN 958-96394-5-3.

Florian-Patrice, Nagel, "Electricity from wood through the combination of gasification and solid oxide fuels cells", *Tesis Doctoral (Ph. D. Thesis)*, Swiss Institute of Technology Zurich, 2008.

Gabrielli de Azevedo, José Sérgio, *Biocombustíveis em um Contexto Global*, PETROBRAS, Junio de 2009.

Graham McHenry, Paul, Adobe, *Cómo Construir Fácilmente*, Editorial Trillas, D.F., México, Enero 1996.

Guajardo González, Gonzalo, Francisco Javier Serrano Franco, *Guía Técnica para Elaborar un Ensayo*, Facultad de Filosofía, Universidad Autónoma de Querétaro, México, Marzo 2001.

Guillaumin Croda, Mauricio, *El Bambú, una Alternativa Sustentable*, BAMBUVER, A.C., Veracruz, México, Octubre 2008.

Herrera Flores, Jordy, *Bioenergéticos, Avances en su Desarrollo*, SENER, D.F., México, Junio 2008.

Hidalgo López, Oscar, *Manual de Construcción con Bambú*, Estudios Técnicos Colombianos Ltda.-Editores, Bogotá, Colombia.

Lehmann, Johannes, "Bioenergy in the black", *Frontiers in the Ecology and the Environment* 5, 2007.

Liese, Walter, *Preservation of a bamboo culm in relation to its structure*, Simposio Intenacional Guadua, Pereira, Colombia, 2004

Londoño, Ximena, Luis Fernando Botero, *Sistemática, Silvicultura, Cadena Productiva y Usos del Bambú*, Seminario Regional PROSA, Sociedad Colombiana del Bambú, Tucumán, Argentina, Octubre 2006.

López Muñoz, Luis Felipe, David Trujillo Cheatle, *Diseño de Uniones y Elementos en Estructuras de Guadua*, UTP, Pereira, Mayo 2002.

Maniatidi, Vasilios, Walker, Peter, *A Review of Rammed Earth Construction*, University of Bath, Inglaterra, Mayo 2003.

Manual de Evaluación, Rehabilitación y Refuerzo de Viviendas de Bahareques Tradicionales Construidas con Anterioridad a la Vigencia del Decreto 052 de 2002, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Colombia 2005.

Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Colombia 2005.

Manuales y Talleres FUNDEGUADUA, Estructura de Bambú-Guadua, Facultad de Arquitectura UNAM, FUNDEGUADUA, D.F., México, Octubre 2008.

Manuales y Talleres FUNDEGUADUA, Estructura de Bambú-Guadua, Instituto de Ecología, FUNDEGUADUA, Veracruz, México, Octubre 2008.

Minke Gernot, *Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture*,

Montoya Arango, Jorge A., *Investigación Tecnológica en Métodos para la Preservación de la Guadua*, UTP, Pereira, Colombia, Mayo 2002.

Montoya Arango, Jorge A., *Técnicas de Preservación de la Guadua, Diplomado "Silvicultura y manejo, postcosecha de la guadua"*, UTP, Pereira, Colombia, Junio 2005.

Morales Pinzón, Tito, *Ensayo Preliminar de Contenido de Azúcar en la Guadua*, UTP, Pereira, Colombia, Mayo 2002.

New Mexico Earthen Building Materials Code, 2006, 14.7.4.14NMAC 2006.

Ordoñez Candelaria, Víctor Rubén et. ali., *Caracterización Tecnológica de las Especies Mexicanas de Guadua (Poaceae Bambusoideae) y sus Aplicaciones en la Construcción*, CONAFOR-2002-C01-5670.

Principios de Tecnología Azucarera para Personal Administrativo y Técnicos de Campo, Curso de actualización ATAM 2009, Central Motzorongo, S.A. de C.V., México, Abril 2009.

Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2007-2012, SAGARPA.

Recomendaciones Técnicas Generales para Construcción de Viviendas de Uno y Dos Pisos con Elementos Estructurales de Guadua, FUNDEGUADUA, México, Octubre 2008.

Resehna Energética Brasileira, Exercício de 2009 (preliminar), Ministério de Minas e Energia, Marzo 2010.

Reubens, Rebecca, *Bamboo in Sustainable Contemporary Design*, International Network for Bamboo and Rattan, 2010.

Salas Delgado, Eduardo, *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia, Simón Vélez: "Símbolo y búsqueda de lo primitivo"*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Noviembre 2006.

Unión Nacional de Cañeros, A.C.-CNPR, *Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, Título Quinto*, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de Agosto de 2005.

Uso de Etanol como Oxigenante en Gasolinas, PEMEX, México, Mayo 2008.

Ximena Londoño, "Recurso sostenible de incalculable valor", en *Guadua, Arquitectura y Diseño*, Villegas Asociados S.A., Villegas Editores, Bogotá, Colombia, Julio 2003.

Zhu Zhaohua, *La industria del bambú en China, traducción de Ximena Londoño*, INBAR.

Artículos de periódico o revista

Arquine, "Escuela de Artes Plásticas de Oaxaca", en *Hogares Inteligentes*, México, 4 de Agosto de 2009.

Becerra Pérez, Luis Armando, "La industria del etanol en México", en *ECONOMIAUNAM*, vol. 6, núm. 16.

Bravo Garzón, Roberto, Raúl Cortés García, "Producción de Biocombustibles en México: la caña de azúcar", en *La ciencia y el hombre, Revista de ciencia y tecnología de la Universidad Veracruzana (versión web)*, volumen XXII, núm. 1, Enero-Abril de 2009.

Cruz, Antimio, "México desarrollará industria de bambú", en *Milenio*, 5 de Enero de 2009.

Díaz-Bautista, Alejandro, "Un Análisis Económico Político para México del Protocolo de Kyoto", en *DELOS: Revista Desarrollo Local Sostenible*, Vol. 1, No. 1, Febrero 2008.

Enciso L., Angélica, "Trasnacional daña manglares en Sonora para extraer biodiesel", en *La Jornada*, 15 de Octubre de 2007.

Hartman, Eviana, "A Promising Oil Alternative: Algae Energy", *The Washington Post*, 6 de Enero de 2008.

Merlos, Andrea, Ricardo Gómez, "Aprueban Ley de Bioenergéticos; prohíben usar maíz para etanol", en *El Universal*, D.F., México, 16 de Octubre de 2007.

Notimex, "Sagarpa justifica importación de alimentos", en *El Universal*, 5 de Octubre de 2010.

Pérez U., Matilde, "México ha gastado 80 mil mdd en importaciones de alimentos", en *La Jornada*, 2 de Agosto de 2007.

Ramos, Alejandro, "Perfilan energía 'verde'", en *Reforma*, 27 Enero de 2008.

Rosas, Francisco, "Es inviable producir el etanol a base de azúcar: productores", en *El Universal*, 17 de Mayo de 2007.

Sánchez, Julián, "Industria azucarera en crisis de producción", en *El Universal*, 14 de Noviembre de 2010.

Páginas y artículos de internet

"Fusion basics", "Fusion as a future energy source", URL: <http://www.jet.efda.org/fusion-basics/>.

"Kyoto Protocol", URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol#cite_note-24, Enero 2011.

Anzil, Federico, "Biocombustibles", URL: <http://www.zonaeconomica.com/biocombustibles>

Caballero, Margarita, Socorro Lozano y Beatriz Ortega, "Efecto invernadero, cambio climático, calentamiento global..." en *Revista Digital Universitaria*, 10 de Octubre de 2007.

Celina Rostam, "Rammed Earth Construction", URL: <http://arch.usc.edu/Programs/Research/RammedEarthConstruction>

CNNExpansión.com, “Las propuestas del debate energético”, en *CNNEXPANSIÓN.com*, 13 de Mayo de 2008.

Enríquez Poy, Manuel, “Caña de Azúcar en México Ancestral Cultivo del Futuro”, en SugarJournal.com, Mayo 2009.

Enríquez Poy, Manuel, “Producción de Etanol Anhidro en Ingenios Azucareros”, URL: http://www.senado.gob.mx/comisiones/LX/grupo_tlcan/content/banco_datos/biocarburantes/biocarburantes2.pdf, 2005.

Holcim, “Fact Sheet-Climate Change”, URL: http://www.holcim.com/holcimcms/uploads/CORP/Holcim_FactSheet_ClimateChange_2008.pdf

<http://es.wikipedia.org>

http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=233,4940553&_dad=portal&_schema=PORTAL

<http://ramtec.com.au/index.php>

<http://www.bamboocentral.org/>

<http://www.bambumex.org>

<http://www.camaraazucarera.org.mx>

<http://www.cemex.com/SustainableDevelopment.aspx>

<http://www.centromariomolina.org>

<http://www.conae.gob.mx>

<http://www.conbam.info/index.html>

<http://www.construtierra.org>

<http://www.dachverband-lehm.de>

<http://www.earth-auroville.com>

<http://www.fundeguadua.com>

<http://www.geimexico.org>

<http://www.geimexico.org/avances.html>

<http://www.globalbioenergy.org>

<http://www.greenspec.co.uk/sessearch.php>

<http://www.imagendelgolfo.com.mx/resumen.php?id=165907>

<http://www.inbar.int>

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.shtml

<http://www.ojtat.org>

<http://www.papelmantequilla.com>

<http://www.rammed-earth.info>

<http://www.rammed-earth.info/>

<http://www.rauldevillafranca.com.mx/home.html>

<http://www.sirewall.com>

<http://www.terre-crue.fr>

<http://www.zafranet.com>

IPCC 2000, "Special report on Land Use, Land-Use Change and Forestry", URL:
http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/, 2001.

Lehmann, Johannes, "Biochar Soil Management",
URL: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/research/biochar/biochamain.html>

Lehmann, Johannes, "Terra Preta de Indio",
URL: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/research/terra%20preta/terrapretamain.html>.

Martínez, José Manuel, "Los diez desastres más costosos en México", *CNNEXPANSIÓN.com*, 8 de Noviembre de 2007.

Morales, Roberto, "Sonora albergara megaplanta de etanol", en *CNNEXPANSIÓN.com*, 13 de Febrero de 2009.

Notimex, "El porqué de la importancia de la gasolina", en *CNNEXPANSIÓN.com*, 12 de Junio de 2008.

Notimex, "Molina se pronuncia por energía alterna", en *CNNEXPANSIÓN.com*, 27 de Mayo de 2008.

Relea, Fransesc, "México afronta la reforma energética ante el fin de sus reservas", en *EL PAIS.com*, México 2 de Marzo de 2008.

Stamm, Jörg, *La Evolución de los Métodos Constructivos en Bambú*, Puebla, México, Marzo 2008, URL: <http://www.bambumex.org/ArquitecturayBambuJorge%20Stamm.pdf>.

UOL Noticias, "Consumo de álcool supera o de gasolina pela primeira vez em 20 anos", en *Cornelio Noticias*, 11 de Abril de 2008.

World Steel Association, "A global approach to CO₂ emissions reduction for steel industry",
URL:
<http://www.worldsteel.org/pictures/storyfiles/Gobal%20approach%20position%20paper.pdf>,
2010.