Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN

TRABAJO FINAL DE GRADO

CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO 3 DE LA UNIVERSIDAD CHIQUITANA

VOLUMEN 1 / 2

MEMORIA

Proyectista: Martínez Pérez del Corral, Enrique

Directores: Hormías Laperal, Emili

Bestraten Castells, Sandra

Convocatoria: Junio de 2012

RESUMEN

El presente proyecto final de grado ha consistido en la dirección de obra de la construcción del TERCER MÓDULO DE LA UNIVERSIDAD CHIQUITANA, situada en la población de San Ignacio de Velasco, Bolivia. El proyecto se ha realizado dentro de la modalidad *pràcticum*, y recoge toda la experiencia del privilegio que representa participar en un proyecto de cooperación internacional en el marco del programa "Educación para el desarrollo, Bolivia" impulsado por la asociación *Universitat Sense Fronteres* (de ahora en adelante USF).

Universitat Sense Fronteres es una ONG que trabaja en la construcción de equipamientos educativos y socio-sanitarios en países en vías de desarrollo, y que concretamente lleva 12 años realizando proyectos y obras en Bolivia. Los estudiantes que participan en los proyectos de USF, reciben una formación específica previa en las asignaturas optativas Habitatge i Cooperació, y Tecnologies de Baix Cost, impartidas en l'ETSAB, y abiertas a toda la comunidad de la Universitat Politècnica de Catalunya, para garantizar la correcta ejecución de los proyectos. En relación al proyecto de cooperación al desarrollo, USF se encarga de la coordinación general así como de la identificación, formulación, seguimiento y justificación final de los proyectos. El presente trabajo final de grado de la carrera de Ingeniería de la Edificación de la EPSEB - UPC se integra en el proyecto de la Universidad Chiquitana, que USF lleva años desarrollando en Bolivia.

El presente trabajo expone, por un lado, todos aquellos aspectos relacionados directamente con la dirección de obra del tercer módulo de la Universidad Chiquitana durante 6 meses de estadía en Bolivia entre junio y diciembre de 2011. En el proyecto se muestra el proyecto arquitectónico, la tipología edificatoria propuesta, los materiales de construcción y las técnicas constructivas empleadas, describiendo con detalle todo el proceso constructivo de la obra. También, todo el estudio previo a la construcción referente al análisis estructural y presupuestario del módulo.

Previamente al desplazamiento a Bolivia, se ha realizado un estudio de las diferentes soluciones constructivas llevadas a cabo en los 2 módulos previamente construidos por USF en San Ignacio de Velasco, Bolivia. El objetivo ha sido entender y analizar las diferentes soluciones adoptadas evaluando la solución constructiva y estructural así como el coste de las mismas. En el trabajo también se explica cómo se organiza el trabajo voluntario tanto de los cooperantes como de la población local.

ÍNDICE

Volumen 1 / 2 MEMORIA TFG

1. INTRODUCCIÓN 5

2. MEMORIA DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

2.1. Método aplicado en la realización del trabajo final de grado 6

2.2. Antecedentes de la organización *Universitat Sense Fronteres*

2.2.1. Orígenes 7

2.2.2. Proyectos 7

2.2.3. Método de trabajo de *Universitat Sense Fronteres* 9

2.3. Marco Geográfico

2.3.1. Bolivia 11

2.3.2. Santa Cruz y San Ignacio de Velasco 11

2.3.3. Misiones Jesuíticas de Bolivia: Patrimonio de la Humanidad 12

2.4. Análisis de las tipologías constructivas en la arquitectura tradicional. 14

2.5. Materiales para la realización de los elementos estructurales

2.5.1. Ladrillo, adobe y BTC 16

2.5.2. Madera: Tajibo y Cuchi 17

2.6. Estudio analítico de las soluciones constructivas de la Universidad Chiquitana

2.6.1. Introducción: Solución utilizadas en el módulo 1 y 2 18

2.6.2. Modelos analíticos del estudio 19

2.6.3. Solución constructivas de los elementos estructurales 20

2.6.4. Solución de las tipologías de las cerchas 21

2.6.5. Cálculos de las soluciones constructivas 22

2.7. Descripción del proyecto de la Universidad Chiquitana

2.7.1. Contexto en los proyectos de *Universitat Sense Fronteres* *28*

2.7.2. ¿Por qué una Universidad en la Chiquitanía? 28

2.7.3. Diseño adaptado al entorno 29

2.7.4. Descripción funcional y constructiva 30

2.7.5. Materiales 32

2.8. Cálculo estructural 38
2.9. Mediciones y presupuesto 38

2.10. Dirección de obra
2.10.1. Proceso ejecutivo de la obra 40
2.10.2. Control de calidad. Recepción de materiales 55
2.10.3. Seguridad y salud 57
2.10.4. Seguimiento y evolución de la planificación de la obra 58
2.10.5. Trabajo voluntario 60

3. CONCLUSIONES 63

4. BIBLIOGRAFÍA 66

5. AGRADECIMIENTOS 68

Volumen 1 / 2 MEMORIA TFG

6. ANEJOS

6.1. PROYECTOS DE UNIVERSITAT SENSE FRONTERES 2000-2011

6.2. DOCUMENTACIÓN ACREDITATIVA: CONVENIO USF – ALCALDÍA DE SAN IGNACIO DE VELASCO 2011

6.3. ANÁLISI DE LAS TIPOLOGÍAS Y EQUIPAMIENTOS DE *UNIVERSITAT SENSE FRONTERES*

6.3.1. Planos del aula según tipología

1- Excavación y cimentación Sol. constructiva muro e:1/100
2- Excavación y cimentación Sol. constructiva pilastra e:1/100
3- Estructura vertical e:1/100
4- Cubierta Sol. constructiva muro e:1/100
5- Cubierta Sol. constructiva pilastra e:1/100
6- Despiece cercha Sol. constructiva muro e: 1/20
7- Despiece cercha Sol. constructiva pilastra e: 1/20
8- Despiece cercha Sol. constructiva pilastra II e: 1/20

6.3.2. Cálculo del estado de cargas según solución constructiva
6.3.3. Resultados y diagramas del programa estructural en el primer modelado

6.3.4. Cálculo de momentos y excentricidades en muro y pilastra
6.3.5. Resultados y diagramas del programa estructural en el segundo modelado
6.3.6. Cálculo de las cerchas a flexión, cortante y flecha
6.3.7. Cálculo de descenso de cargas según solución constructiva
6.3.8. Evolución de precios de materiales y mano de obra en los proyectos en San Ignacio de Velasco
6.3.9. Mediciones y presupuestos de las aulas según solución constructiva

6.4. DOCUMENTACIÓN DEL MÓDULO 3 DE LA UNIVERSIDAD CHIQUITANA
6.4.1. Planos del tercer módulo de la Universidad Chiquitana
1- Situación y emplazamiento e: 1/40000
2- Emplazamiento e: 1/1000
3- Distribución e: 1/100
4- Alzados e: 1/100
5- Sección A e: 1/50
6- Sección B e:1/100
7- Excavación e: 1/100
8- Cimentación de hormigón e: 1/100
9- Cimentación ladrillo e: 1/100
10- Estructura vertical e: 1/100
11- Distribución de vigas y durmientes e: 1/100
12- Pilastra norte y durmientes e: 1/20
13- Pilastra sur y durmientes e: 1/20
14- Ejón y correas e: 1/100
15- Distribución de cerchas e: 1/100
16- Despiece de cercha 1 e: 1/20
17- Despiece de cercha 1 e: 1/20
18- Despiece de cercha 2 e: 1/20
19- Despiece de cercha 2 e: 1/20
20- Machimbre e: 1/100
21- Cubierta de teja e: 1/100
6.4.2. Mediciones y presupuesto del tercer módulo de la Universidad Chiquitana

6.5. 30% DEL TRABAJO FINAL DE GRADO EN TERCERA LENGUA (INGLÉS)

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del trabajo es realizar la dirección de obra de la construcción del TERCER MÓDULO DE LA UNIVERSIDAD CHIQUITANA, situada en la población de San Ignacio de Velasco, Bolivia, como voluntario *Universitat Sense Fronteres*, entidad responsable del proyecto que lleva trabajando en Bolivia desde el año 2000.

La dirección de proyecto ha sido realizada por los profesores de la Universidad Politécnica de Catalunya, Emili Hormías Laperal y Sandra Bestraten Castells. También han colaborado la dirección in situ de la obra durante los meses de julio y agosto de 2011 los voluntarios de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Laia Molist, Oriol Roig y Laura Martínez bajo la supervisión también in situ del arquitecto Xavier Botet.

Al objetivo principal hay que añadir otros objetivos secundarios como:

Conocer soluciones de arquitectura bioclimática y sus virtudes desde el punto de vista de confort ambiental y ahorro energético.

Profundizar en el conocimiento de materiales de bajo coste como la tierra y la madera.aprendendiendo a utilizar en técnicas constructivas tradicionales y posibles mejoras que garanticen su seguridad y sobre todo durabilidad.

Analizar el proyecto ejecutivo previamente a la realización de la obra, incluyendo una comparativa según las soluciones constructivas de los distintos proyectos realizados por *Universitat Sense Fronteres* con el fin de justificar de manera técnica qué solución es la más viable y proponer mejoras para el proyecto actual y futuros.

Gestionar todos aquellos aspectos relacionados directamente con una dirección de ejecución de obra: soluciones constructivas adecuadas, recepción de materiales, control de calidad, seguridad y salud en la obra, gestión de trabajadores y voluntarios.

Conocer una realidad muy diferente a la nuestra y aprender de otras formas de vivir, al mismo tiempo que ayudar en hacer un mundo más justo y equitativo.

Dejar constancia escrita de como se organiza un proyecto de cooperación de construcción, los agentes que intervienen, y en especial del método de trabajo de USF viene desarrollando desde el año 2.000.

2 MEMORIA DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

2.1 MÉTODO APLICADO EN LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

El objetivo principal del trabajo es la dirección de obra del tercer módulo de la Universidad Chiquitana.

Se realizó una formación previa específica en construcción aplicada en proyectos de cooperación, asistiendo a las clases de la asignatura Tecnologies de Baix Cost que se imparte en la ETSAB – UPC durante el cuatrimestre de primavera del curso 2010-11.

Todos los proyectos de *Universitat Sense Fronteres* tienen como eje principal la mejora de las técnicas vernáculas como herramienta de desarrollo. Es por ello que los proyectos de USF suelen realizarse con materiales de bajo coste como la tierra sea cruda o cocida para la realización de las estructuras verticales, y madera para la solución de las cubiertas.

Para tener un mejor conocimiento de los trabajos de construcción a realizar en la construcción del módulo 3 de la Universidad Chiquitana, durante el periodo de formación, se realizó un estudio previo de los proyectos de la organización *Universitat Sense Fronteres* en Bolivia y en especial del proyecto concreto la Universidad Chiquitana, y de los 2 módulos construidos en años anteriores. Se identificaron las dos soluciones constructivas principales utilizadas en la construcción del equipamiento de la Universidad de la Chiquitania y que corresponden a las fases 1 y 2 respectivamente. Se recopiló toda la información disponible de las dos fases anteriores, haciendo un estudio comparativo de técnica y costes que permita cuantificar y valorar cual de las dos soluciones es más adecuada de cara a diseñar proyectos futuros.

Por otra parte, y ya centrado más en el estudio del proyecto que se iba a llevar a cabo en San Ignacio de Velasco, realizar el estudio estructural del tercer módulo de la Universidad Chiquitana así como realizar las mediciones y presupuestos del mismo. Para ello, desde la organización se me facilitó el proyecto básico, para ser desarrollado bajo la supervisión de los responsables de USF.

Por último se realiza la dirección de obra del módulo 3 de la UCHI. Esta consiste en la supervisión de la ejecución material, el control económico de la obra, la contratación de materiales, la gestión del personal de obra remunerado o voluntario, la seguridad en la obra y el control de calidad.

2.2 ANTECEDENTES DE LA ORGANIZACIÓN *UNIVERSITAT SENSE FRONTERES*

2.2.1 ORÍGENES

Universitat Sense Fronteres nace con la voluntad de actuar desde el espacio social de la arquitectura con la esperanza de crear una sociedad más justa, donde el trabajo en equipo y el conocimiento mutuo sean la base del aprendizaje[1].

Para ello, es imprescindible que en la elaboración de los proyectos se pueda contar con la presencia de voluntarios, los cuales han recibido, como también en mi caso, una formación específica en las asignaturas de libre elección "Habitatge i Cooperació" y "Tecnologia de baix cost en projectes de cooperació"- Cátedra UNESCO que se imparten en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB).

Estas dos asignaturas forman a los alumnos de la UPC como profesionales de la arquitectura con capacidad de acción en los proyectos de cooperación. En la formación se analizan soluciones urbanas y de organización en ciudades del tercer mundo. También se profundiza en el conocimiento y la investigación de tecnologías constructivas con materiales de bajo coste que puedan, a la vez, resolver de manera eficiente, sostenible y económica las necesidades que se dan en los países en vías de desarrollo.[1]

2.2.2 PROYECTOS

Desde el año 2000 *Universitat Sense Fronteres*, año tras año, ha ido participando en la construcción de equipamientos educativos y sociosanitarios. A pesar de que ha actuado en diferentes países, Bolivia y más concretamente la región de la Chiquitanía, ha sido el centro neurálgico de los proyectos de arquitectura y edificación, todos ellos bajo la óptica de la utilización de materiales locales y arquitectura bioclimática. *Véase tabla 2.1 y figura 2.1.*

También destacan multitud de proyectos dando apoyo a la construcción de hornos y galpones para mejorar la producción de los tejeros de la zona. Durante los últimos años los proyectos se han financiado con el apoyo de entidades como: **Centre de Cooperació per al Desenvolupament CCD-UPC**, **Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona**, **Diputació de Barcelona**, **Ajuntament de L'Hospitalet de Llobregat** y **UNNIM**. *Véase anejo 6.1., Proyectos de Universitat Sense Fronteres 2000-2011.*

---

1 **Párrafo del artículo L'ESCALA DE LA COOPERACIÓ. ASSOCIACIÓ UNIVERSITAT SENSE FRONTERES. Text: Rafael Diez Barreñada. Revista INDE, Informació i Debat del Col·legi d'Arquitectura de Catalunya. Juny de 2004**

Nº	AÑO	LUGAR	CONSTRUCCIÓN
1	2000	San Ignacio de Velasco	Aulas taller. Colegio Monseñor Rosenhammer
2	2001	San Ignacio de Velasco	Biblioteca. Colegio Monseñor Rosenhammer
3	2001	San Ignacio de Velasco	Guardería M. Aguirre Tapia
4	2001	San Ignacio de Velasco	Aulas taller. Colegio Germán Bush
5	2002	San José de Chiquitos	Colegio para discapacitados
6	2002	San Ignacio de Velasco	Aulas taller. Colegio Eduardo Avaroa
7	2003	San Miguel de Velasco	Aulas taller Sopocó
8	2003-2010	San José de Chiquitos	Guardería Teresa Laperal González
9	2003-2004	San Ignacio de Velasco	1r módulo Universidad Chiquitana
10	2004	San Rafael de Velasco	Biblioteca Montserrat
11	2006-2008	San Ignacio de Velasco	2n módulo Universidad Chiquitana
12	2010-2011	San José de Chiquitos	Centro al adulto mayor
13	2010-2011	San Ignacio de Velasco	3r módulo Universidad Chiquitana

Tabla 2.1: Tabla resumen de los proyectos más representativos de *Universitat Sense Fronteres* en la Chiquitanía, Bolivia.

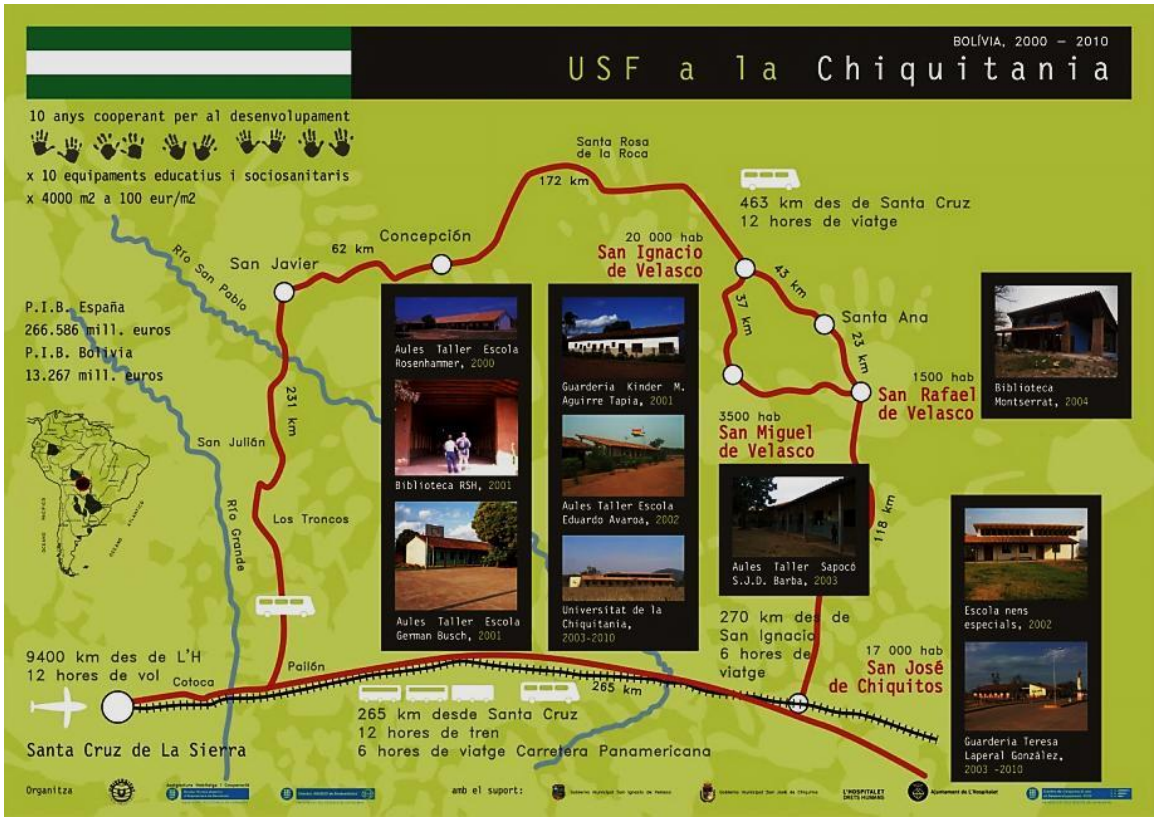


Figura 2.1.: Principales proyectos de *Universitat Sense Fronteres* en la Chiquitanía de 2000 hasta 2010, donde destaca la Universidad Chiquitana en San Ignacio de Velasco.

2.2.3 MÉTODO DE TRABAJO DE *UNIVERSITAT SENSE FRONTERES*

Universitat Sense Fronteres sigue, desde hace años, un mismo método para realizar los proyectos.

La mayor parte de los proyectos realizados por *Universitat Sense Fronteres* son equipamientos públicos gestionados por los ayuntamientos locales. Para ello se analizan las prioridades de las planificación de los entes locales y se apoyan proyectos previstos en los mismos y en otros casos se proponen nuevos equipamientos no previstos por los ayuntamientos de Bolivia pero necesarios para crear una red de servicios educativos y socio-sanitarios en poblaciones intermedias del país.

La continuidad de la presencia de USF en un mismo territorio permite que mientras se ejecuta un proyecto se empiezan a buscar y pensar otros equipamientos y servicios para realizar los próximos años. Para ello, se coordina con la alcaldía las distintas ideas y se comprueba*, in situ*, la viabilidad de las mismas. Una vez aprobado el nuevo boceto de proyecto, el consistorio, como contraparte, redacta una carta de necesidades donde expone y solicita el apoyo de *Universitat Sense Fronteres* para la realización del proyecto ideado.

La organización, una vez en Barcelona, define el proyecto y busca los recursos humanos y económicos para llevarlo a cabo. Las personas que participan en los proyectos de USF trabajan de forma voluntaria y suelen ser profesores de universidad o profesionales del mundo de la arquitectura. Aunque la participación más numerosa es la de estudiantes de arquitectura e ingeniería de edificación que hayan cursado las asignaturas de Habitatge i Cooperació o Tecnologies de Baix Cost per a la Cooperació. Para los estudiantes universitarios el proyecto se plantea como una aproximación a la realidad de un país en vías de desarrollo, y a su vez una primera experiencia directa con un proyecto real de construcción. Una vez montado el equipo humano, y siempre bajo la supervisión de profesionales de la arquitectura con experiencia integrados en USF, se redacta el proyecto arquitectónico a realizar.

A su vez, *Universitat sense Fronteres* también se encarga de buscar financiación para la ejecución del proyecto entre las diferentes convocatorias de cooperación para el desarrollo de entidades públicas y privadas, exponiendo los proyectos ya realizados y los propuestos. Des de hace años, el Centre de Cooperació per al Desenvolupament de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), entidad con la misión de impulsar la implicación activa de la UPC en cooperación para el desarrollo y realizar una tarea de formación y sensibilización

ante estas problemáticas, ayuda a los miembros de la UPC desplazados en el pago de billetes de vuelo, vacunas y otros recursos más directos.

Universitat sense Fronteres también se encarga de coordinar todos los aspectos del proyecto con la contraparte, que suelen ser ayuntamientos bolivianos. Estos últimos también colaboran económicamente con el proyecto aportando materiales auxiliares para la obra, mano de obra y maquinaria municipal, y a su vez corren con los gastos de alojamiento y manutención de los voluntarios de la UPC. Estos últimos se suelen realizar en familias de profesores de escuela o profesionales de la arquitectura afincados en la población, para incentivar el intercambio de conocimientos y la transferencia tecnológica.

Todos los acuerdos alcanzados entre los ayuntamientos locales y *Universitat sense Fronteres,* se plasman en un convenio de colaboración que firman ambas partes.

Una vez los voluntarios se desplazan, se reúnen con el Consejo Municipal y el alcalde para presentar *in situ* el proyecto y realizar los trámites necesarios para empezar. También se redacta y firma el convenio donde se establecen los compromisos de ambas partes y qué ayudas, por parte del consistorio, se van a aportar. *Véase anejo 6.2. Documentación acreditativa: Convenio USF – Alcaldía. 2011.*

A partir de aquí, y en un marco donde las exigencias burocráticas son mínimas, y con muchos vacios legales especialmente a cuanto normativa de edificación se refiere, los voluntarios de *Universitat sense Fronteres* inician el proyecto, encargándose en todo momento de gestionar la obra a todos los niveles: constructivo, financiero, administrativo, contratación de proveedores e industriales. Todo ello, siempre con el apoyo logístico-técnico del departamento técnico de la alcaldía y el constante asesoramiento en sede por parte de los arquitectos y en el caso de este trabajo final de grado de los directores del proyecto.

También, los voluntarios visitan las familias de acogida. Es muy importante el estar viviendo todo el tiempo con las familias ya que es la mejor manera de integrarse en la idiosincrasia del pueblo y ver y experimentar la realidad del pueblo. El hecho de vivir con las familias, facilita el contacto con la gente y engrana un vínculo perfecto para hacer participe al pueblo del proyecto. Para todo ello, los voluntarios, también son los encargados de organizar y coordinar el trabajo voluntario en la obra. *Véase apartado 2.7.5.*

2.3 MARCO GEOGRÁFICO

2.3.1 BOLIVIA

La construcción de la Universidad Chiquitana está situada en la población de San Ignacio de Velasco. Esta, está situada en el departamento de Santa Cruz, Bolivia. El estado Plurinacional de Bolivia, considerado como tal desde 2009, está situado en el centro-oeste de América del Sur. Colinda en el norte y este con Brasil, al sur con Paraguay y Argentina y al oeste con Chile y Perú. *Véase figura 2.2.*

Figura 2.2.: Bolivia en América del Sur

2.3.2 SANTA CRUZ Y SAN IGNACIO DE VELASCO

Bolivia se organiza territorialmente en nueve departamentos: Beni, Chuquisaca, Cochabamba, La Paz, Oruro, Pando, Potosí, Santa Cruz y Tarija. *Véase figura 2.3.* El Departamento de Santa Cruz, cuya capital es Santa Cruz de la Sierra, está situado en la zona más oriental del país colindando directamente con los países de Brasil y Paraguay y con los departamentos del Beni, Cochabamba y Chuquisaca.

Figura 2.3: Departamento de Santa Cruz y sus fronteras

Figura 2.4: Situación de San Ignacio de Velasco

El departamento, está constituido por quince provincias. La provincia de Velasco está formada por los pueblos de San Miguel de Velasco, Santa Ana de Velasco, San Rafael de Velasco y su capital, San Ignacio de Velasco.

La población de San Ignacio de Velasco está situada a 476 Km al este de la capital del departamento y a 167 Km de la frontera con Brasil. *Véase figura 2.4*. Tiene aproximadamente 56.000 habitantes según el censo nacional del año 2001 constituyéndose uno de los municipios más importantes de las quince provincias cruceñas, de la ruta misional y el más activo comercialmente por su cercanía con la frontera brasileña. Las costumbres indígenas se mantienen vivas en las comunidades cercanas y la revalorización del pasado misional ha incentivado la creación y proliferación de talleres de artesanía. El municipio tiene por vocación la actividad forestal, como también la ganadería, y los cultivos de café. El turismo es una actividad en auge,dada la cercanía con Brasil.

2.3.3 MISIONES JESUÍTICAS DE BOLIVIA: PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

Después del descubrimiento de América la colonización por parte de los españoles en Bolivia tuvo distintos objetivos. En la zona occidental, las riquezas minerales fueron motivo de asentamiento e imposición hispánica. En la zona oriental se ocupó la zona con la voluntad de "evangelizar" y controlar la línea de frontera, difusa a través de la selva, que dividía con el imperio portugués. En este caso, la colonización fue emprendida por sacerdotes de distintas órdenes religiosas, principalmente jesuitas y franciscanos. En la región oriental de Bolivia se establecieron las Misiones Jesuíticas a partir de la segunda mitad del siglo XVII. No se tratan de ruinas sino de pueblos que aun mantienen vivo el legado patrimonial y cultural de siglos atrás.

En cuanto al legado arquitectónico cabe destacar los templos jesuíticos. En 1609 se fundan las primeras Reducciones Jesuíticas en Paraguay. Los primeros templos se construían de forma precaria y provisional hasta que podían ser remplazados por nuevos edificios hechos en piedra y ladrillo dentro de cánones académicos del barroco europeo. En cambio, en las Misiones de Chiquitos, en Bolivia, fundadas a partir de 1690, se modifica la concepción estructural muraria de las primeras misiones por una estructura basada en un esqueleto de madera de marcado carácter premisional que era estabilizado por muros de adobe protegidos de la humedad propia del clima por grandes corredores perimetrales, consiguiendo una arquitectura mestiza, noble y duradera.[2] *Véase figura 2.5.*

2 **Párrafo del artículo PROYECTOS DE COOPERACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA EN CHIQUITOS. S.Bestraten, E.Hormías. Congreso Restapia 2012 Valencia. Junio de 2012.**

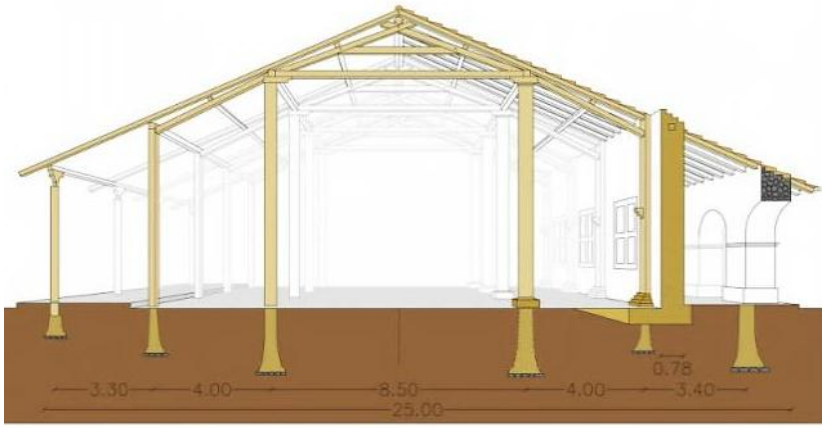


Figura 2.5: Esquema de la estructura de madera y muros de adobe de la Iglesia de San Miguel de Velasco.S.Bestraten, E.Hormías. Congreso Restapia 2012 Valencia. Junio de 2012.

La mayor parte de estos edificios realizados bajo la dirección del jesuita y arquitecto Martin Schmid (1694-1772), están claramente influenciados por los cánones del barroco y por toda la tradición constructiva del momento en Europa Central. El dominio por parte de los jesuitas de la técnica de la carpintería de armar permite resolver los edificios con luces mucho mayores que las realizadas hasta aquel momento por la arquitectura autóctona.

En 1990, y gracias al trabajo iniciado entre los años 70 y 80 por el arquitecto austríaco Hans Roth de recuperación y restauración de todo el patrimonio jesuítico, las misiones de Chiquitos fueron declaradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, poniendo en valor no sólo la arquitectura monumental de las iglesias sino también la arquitectura popular construida en tierra, así como el valor intangible de los oficios que han mantenido vivo este patrimonio. *Véase figura 2.6.*

Figura 2.6: Iglesia de Concepción restaurada en 1975 por Martin Schmid.

2.4 ANÁLISIS DE LAS TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS EN LA ARQUITECTURA TRADICIONAL. ANTECEDENTES DE *UNIVERSITAT SENSE FRONTERES*.

Desde que *Universitat Sense Fronteres* realiza proyectos en la zona de la Chiquitanía, han sido varias las soluciones constructivas utilizadas, todas ellas siguiendo una misma tipología y criterio arquitectónico. Para ello, siempre han tomado como modelo el patrimonio y legado arquitectónico; tomar aquellos principios patrimoniales y complementarlos con técnicas y diseños de carácter moderno.

Inicialmente, la arquitectura tradicional y el esquema de vivienda, muy similar al esquema estructural de las iglesias, fue el precursor de las construcciones por parte de *Universitat Sense Fronteres. Véase figura 2.7*. Esta arquitectura tradicional llevada a la vivienda, consistía en un módulo central de entre cinco y siete metros realizado con muros. A ambos lados, dos corredores, de tres metros y grandes aleros, realizados con horcones (pilares) y bigas todos de madera. La solución en cubierta era a dos aguas.

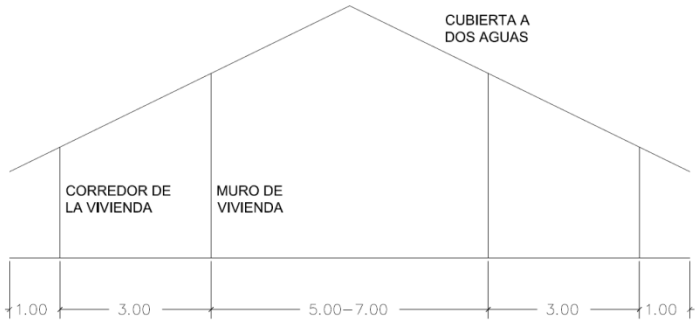


Figura 2.7.: Esquema de arquitectura tradicional en vivienda.

Desde *Universitat Sense Fronteres* se estudiaron las soluciones constructivas y su comportamiento para poder realizar los proyectos de la manera más fiel posible y respetando los cánones pero siendo críticos ante los aspectos de confort ambiental y de iluminación que la tradición no resolvía totalmente. La solución del esquema de vivienda carecía de efectividad en dos puntos básicos. Los grandes aleros aportan un microclima a ciertos espacios de la vivienda que son necesarios pero conllevan una reducción importante de la iluminación en el centro de la vivienda y una dificultad en la ventilación de la misma.

Desde USF se replanteo la sección tipo de los edificios propuestos volviendo la mirada a la misma tradición. La presencia de un pequeño lucernario en las iglesias misionales, que iluminaba de manea tangencial el altar mayor hizo replantear la solución de introducir un lucernario a lo largo de la cubierta que permitiera la entrada de luz y a la vez crear puntos de

ventilación natural y cruzada. Por ello, se realizó la rotura de la cumbrera (del esquema de arquitectura tradicional), formando una cubierta a un agua en el módulo central, sostenida por una cercha, que en el extremo del lucernario tiene un tornapuntas que permite volar mucho más la cubierta y proteger parcialmente el lucernario corrido del agua de la lluvia. A su vez la solución propuesta mantiene la presencia de como mínimo uno de los dos corredores perimetrales y en ocasiones los dos. *Véase figura 2.8*.

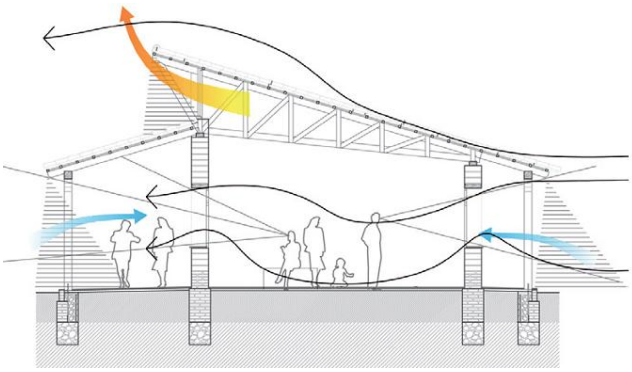


Figura 2.8.: Esquema de cercha a un agua, con lucernario y corredores. Fuente: Construcción con tierra en el siglo XXI. Autores: Sandra Bestraten, Emilio Hormias y Anna Altemir. Artículo publicado en el Monográfico de Tierra de Informes de la Construcción, Ietcc, Volumen 63 núm. 523. 3T 2011.

Así pues, desde *Universitat Sense Fronteres*, se optó por esta tipología constructiva creada a base de cerchas que cubren luces de entre seis y siete metros sustentadas en muros. Para los corredores se optaba por la misma solución; horcones y bigas. Con esta solución se construyó, entre otros proyectos, el Centro para discapacitados en San José de Chiquitos (2002), que fue el antecedente y prueba para la construcción del primer módulo de la Universidad Chiquitana. Años después, en 2004, con la construcción de la Biblioteca Montserrat en San Rafael de Chiquitos, se optó por la misma tipología, pero apoyando las cerchas por parejas, en pilastras situadas cada cuatro metros. Para poder diferenciar de ahora en adelante ambas soluciones constructivas se determinará *Solución Constructiva 1* a la correspondiente al primer módulo de la Universidad Chiquitana, y *Solución Constructiva 2* al segundo módulo. *Véase figura 2.11*

El motivo principal del cambio constructivo es el tiempo de ejecución de cada uno de los sistemas constructivos. Debido a que el cronograma es un factor fundamental en todo proyecto de cooperación, y debido a la climatología específica de la zona, en la qué existe una época de lluvias en la que no se puede construir en el exterior, se planteó la posibilidad de realizar otro tipo de estructura con el fin de llegar con rapidez a la cubierta y poder ejecutar aquellos elementos hechos de tierra a cubierto, como son los cerramientos. Ante la buena respuesta técnica de la solución, la viabilidad económica del proyecto y la mejora en la iluminación se propuso como cambio en el segundo módulo de la Universidad Chiquitana.

2.5 MATERIALES PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

2.5.1 LADRILLO, ADOBE Y BTC

Para la realización de los muros de fábrica y pilastras también de fábrica, diferenciaremos entre tres materiales: el ladrillo, el adobe y el BTC. *Véase figura 2.9.*

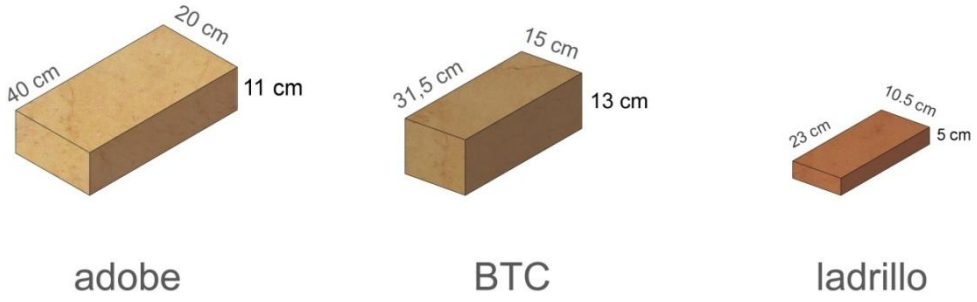


Figura 2.9.: Esquema de las diferentes piezas estudiadas según el material.

El **ladrillo** macizo (23*10.5*5 cm), llamado ladrillo adobito consiste en una masa arcillosa cocida en hornos tradicionales, tipo hormiguero, donde las temperaturas de cocción suelen ser bajas; alrededor de 825ºC. La tensión admisible del ladrillo macizo es de 0.83 N/mm^2. [3]

El **adobe** consiste en una masa de barro, frecuentemente mezclado con paja, moldeada en forma de paralelepípedo (40*20*11 cm), y secada al sol para formar muros de fábrica. Para la fabricación del adobe es necesario tierra arcillosa. Para que en el secado la retracción no agriete la pieza, se coloca paja en la mezcla, la cual tiene que ser cortada alrededor de unos 15 cm. De este modo, la paja también hace de *armado* mejorando la resistencia a compresión de la pieza. El mortero de fijación de las piezas se realiza mediante la misma mezcla que la de la producción de las piezas. La tensión admisible del adobe es de 0.25 N/mm^2. [3]

El **Bloque de Tierra Comprimida (BTC)**, (31.5*15*13 cm) es un material de construcción fabricado con una mezcla de tierra de dosificación parecida a un tapial tradicional y estabilizado con cemento. El proceso consiste en la fabricación de los bloques mediante la utilización de una prensa manual. Tras el prensado, los bloques entran en un proceso de curado húmedo seguido de un curado seco hasta que hayan pasado 28 días desde su fabricación. La tensión admisible del BTC es de 0.63 N/mm^2. [3]

---

3 **Datos extraídos del artículo PROYECTOS DE COOPERACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA EN CHIQUITOS. S.Bestraten, E.Hormías. Congreso Restapia 2012 Valencia. Junio de 2012.**

El mortero para la fijación de las piezas se realiza mediante la misma mezcla que la de la producción de las piezas.

La aportación del estabilizador, el cual también puede ser la cal, se hace evidente en la disminución del peso específico, el aumento de la resistencia a compresión, la disminución de la sensibilidad de la acción del agua, la disminución de la retracción por secado y el aumento de la resistencia a la erosión.

2.5.2 MADERA: TAJIBO Y CUCHI

En cuanto a la madera, es importante tener en cuenta que se trata siempre con maderas tropicales de gran densidad y muy pocas singularidades tipo nudos, gemas o acebolladuras. Los cálculos se han realizado a partir de la densidad y el Mòdul de Young de las maderas utilizadas asimilándolas en base a estos dos datos a las maderas que disponemos según nuestra normativa. En nuestro caso hemos diferenciaremos entre el tajibo y el cuchi en función del elemento y las solicitaciones a las que está sometido.

El **tajibo** se utilizará para la realización de las estructuras de la cubierta. La cercha será el elemento estructural de dicha cubierta. Se considera esta madera debido a su buena respuesta frente a las solicitaciones a flexión. También serán de madera las correas, parecillos y machihembrado.

Desde el punto de vista de cálculo, en el caso del tajibo con Módulo de Young de 13.000 N/mm2 y una densidad de 850kg/m3, se ha equiparado a una D 40.

El **cuchi**, será usado casi exclusivamente en los horcones (pilares), ya que responde a un tipo de madera mucho más adecuada frente a las variaciones de humedad ya utilizada por la tradición constructiva local como una buena solución en elementos en contacto con el terreno o expuestos directamente a las inclemencias meteorológicas. Amen de tener propiedades adecuadas frente a las variaciones de humedad, su respuesta frente a solicitaciones a compresión es mayor que el tajibo.

2.6 ESTUDIO ANALÍTICO DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE LA UNIVERSIDAD CHIQUITANA

2.6.1 INTRODUCCIÓN: SOLUCIONES UTILIZADAS EN EL MÓDULO 1 Y 2

Como ya se ha avanzado en el *apartado 2.4. Análisis de tipologías constructivas en la arquitectura tradicional. Antecedentes en Universitat Sense Fronteres,* el primer y el segundo módulo de la Universidad Chiquitana presentan diferencias.

El **primer módulo** (2003-2004) fue construido mediante muros de adobe y cerchas ligeras colocadas cada 90cm, *véase figura 2.10.* El **segundo módulo** (2006-2008) fue construido mediante pilastras de ladrillo, separadas a eje 4m, donde apoyaban cerchas dobles, *véase figura 2.11.* El **tercer módulo**, objeto de la dirección de obra del presente trabajo, se ha construido siguiendo la misma solución constructiva del segundo.

Figura 2.10.: Primer módulo de la Universidad Chiquitana, septiembre de 2004 (Solución Constructiva 1).

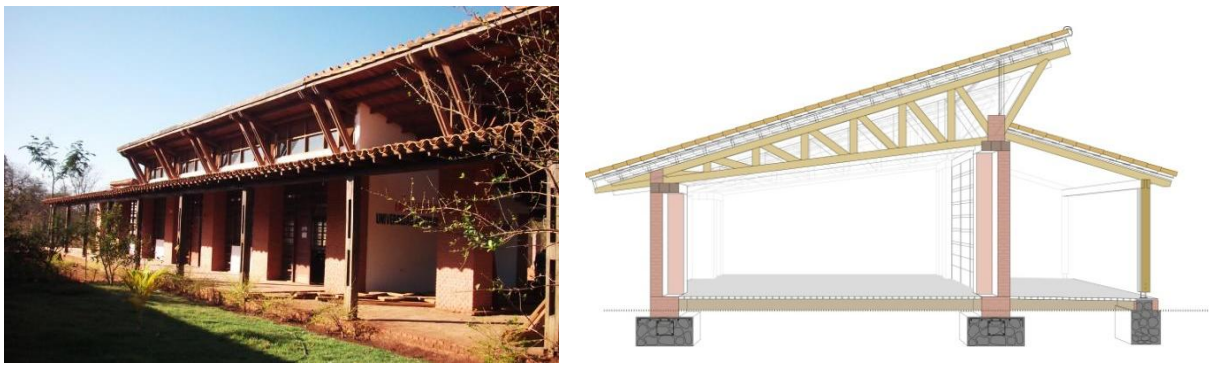


Figura 2.11: Segundo módulo de la Universidad Chiquitana, septiembre de 2008 (Solución Constructiva 2).

2.6.2 MODELOS ANALÍTICOS DE ESTUDIO

Para tener un conocimiento más objetivo de las dos soluciones anteriormente descritas, se ha realizado un estudio analítico de las mismas, ampliando las variables de los materiales utilizados en muros y pilastras, considerando el uso de el ladrillo cocido manual (ladrillo adobito), el adobe (tierra cruda) y el bloque de tierra comprimido, este último material muy habitual en los proyectos de cooperación al desarrollo. Todas las opciones de muro con tres materiales diferentes se han analizado con las dos soluciones de cubierta utilizadas en la Universidad Chiquitana hasta la actualidad.

El objetivo de este ejercicio es comprobar las secciones de trabajo, ver si se pueden optimizar y a su vez analizar los costes para definir que soluciones son más baratas.

Inicialmente se procederá a describir minuciosamente las soluciones constructivas y sus elementos y después se realizaran los cálculos pertinentes.

En cuanto a los modelos analíticos a estudiar, diferenciaremos, sin especificación de material, las soluciones constructivas utilizadas en la construcción del primer módulo (de ahora en adelante solución constructiva 1) y la utilizada en la construcción del segundo módulo (de ahora en adelante solución constructiva 2).

En lo que a la **solución constructiva 1** se refiere, consta de una cimentación mediante zapata corrida bajo muro y zapata aislada y arriostrada en los pilares de la galería. Se construye con la estructura portante de muro en todo su conjunto. Sobre él, y apoyadas a un dintel para evitar las cargas puntuales y excentricidades en el muro, la estructura de la cubierta se ha resuelto mediante la utilización de cerchas ligeras colocadas cada 90 cm. La subestructura será mediante tumbado; solución tradicional a base de la colocación de un enmallado (malla de gallinero), listones entre cerchas (separados entre ellos a una distancia 6 cm. menor a la largura de la teja) y un tendido de paja sobre el cual se extiende un mortero de cemento. Colocación de teja colonial como material de acabado.

En lo que a la **solución constructiva 2** se refiere, consta de una cimentación mediante zapata corrida bajo muro, zapatas aisladas bajo pilastras y zapatas aisladas y arriostradas bajo los pilares de la galería. La estructura se basa en la colocación de pilastras de 1x0.6m. separadas cuatro metros a eje. Esta pilastra tiene forma de U y sobre ella se apoyan dos grandes cerchas de madera de tajibo.

La estructura de la cubierta, realizada con las grandes cerchas, estará complementada por la colocación de tacos, situados entre las dos cerchas de la pilastra y colocados cada 60 cm sobre las que apoyaran las correas; estas, situadas entre pilastra y pilastra y sujetas por los tacos. Encima de esta subestructura irá la base de las tejas, que será mediante un machihembrado de madera. El acabado será de teja colonial.

Para la realización del estudio en función de las soluciones constructivas se tomará como modelo los dos primeros módulos de la Universidad Chiquitana. Para ello, se ha simplificado el estudio de tal manera que se trabajará bajo la unidad de aula de 63m^2 (9*7m). Así, el estudio irá enfocado a la unidad aula y porche (corredor o pasillo de aula). *Ver anejo 6.3.1., Planos del aula según solución constructiva.* De este modo, se hará un cálculo estructural de cada una de las modalidades junto con el estudio presupuestario de las mismas.

2.6.3 SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

A continuación de describirá la técnica constructiva para cada una de las soluciones constructivas que se han propuesto. En función del material, en el caso de los muros, los elementos resistentes tomarán una dimensión u otra.

MURO

Para la realización del estudio en la modalidad *muro* se ha considerado el grosor del mismo, del tamaño de la pieza colocada de carga o soga. Es por ello, que en función del material con el que se realice la fábrica, el grosor del muro será distinto. Para el muro realizado de ladrillo adobito el grosor será de 0.23 m., para el muro de adobe de 0.40 m. y para el muro de BTC de 0.315 m.

PILASTRA

Para la realización del estudio en la modalidad *pilastra* se ha considerado una medida unificada (0.60m x 1m) en los tres casos posibles, adecuando las piezas a las medidas del elemento. *Véase figura 2.12.*

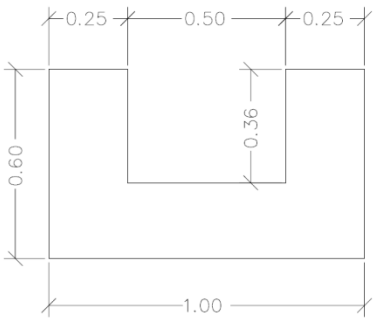


Figura 2.12: Medidas de la pilastra.

Para el cálculo de los elementos constructivos, *véase subapartado 2.4.4.*, no se ha tenido presente la totalidad de la fábrica, ya que sólo se ha estudiado el conjunto bajo la visión de las piezas y su resistencia. Para hacer un completo estudio de la fábrica habría que tener en cuenta también la junta.

También, mencionar que en el grosor del muro, considerado en función de la pieza, no se tiene presente comportamiento térmico del mismo. Estás variables, la junta y el grosor para respuesta térmica del cerramiento, también podrían ser consideradas motivo de estudio.

2.6.4 SOLUCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE LAS CERCHAS

En cuanto a la tipología de cerchas diferenciaremos entre dos. La cercha simple, presente en la solución constructiva 1 (muro) y la cercha doble presente en la solución constructiva 2 (pilastra). Ambas cerchas realizadas con madera de tajibo.

La primera, está formada con piezas de sección variables. La mayoría de las piezas son de pequeña escuadría (en lo que a secciones para cerchas se refiere) con el fin de conseguir más ligereza. Esta compuesta de un cuerpo central, formado por piezas de 2*6” (5.08*15.24 cm) y de tirantes a ambos lados formados por piezas de 1*4” (2.54*10.16 cm) y 2*4” (5.08*10.16 cm). En el cuerpo central hay presentes dos picos de flauta colocados a tresbolillo. La no disponibilidad de perfiles de madera tan largos, obliga empalmar piezas que se rigidizan con las barras verticales que conforman la cercha. *Véase figura 2.13.*

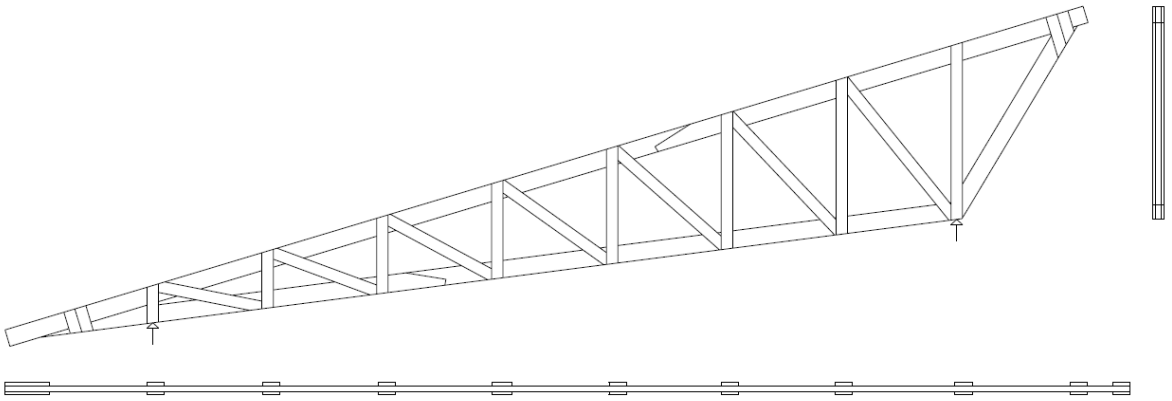


Figura 2.13.: Cercha utilizada en la solución constructiva 1.

La segunda, está compuesta en su totalidad de piezas de sección 2*6” (5.08*15.24 cm). Amen de esta característica, difiere de la anterior por crear una cercha tipo *sándwich*. Está construida mediante dos cuerpos laterales que abrazan a un entramado de tirantes situados en el centro.

Todo el conjunto está fijado mediante pernos. En este caso, el pico de flauta está situado en los cuerpos laterales siguiendo la colocación de los mismos a tresbolillo, tanto por un lado como por el otro. *Véase figura 2.14*

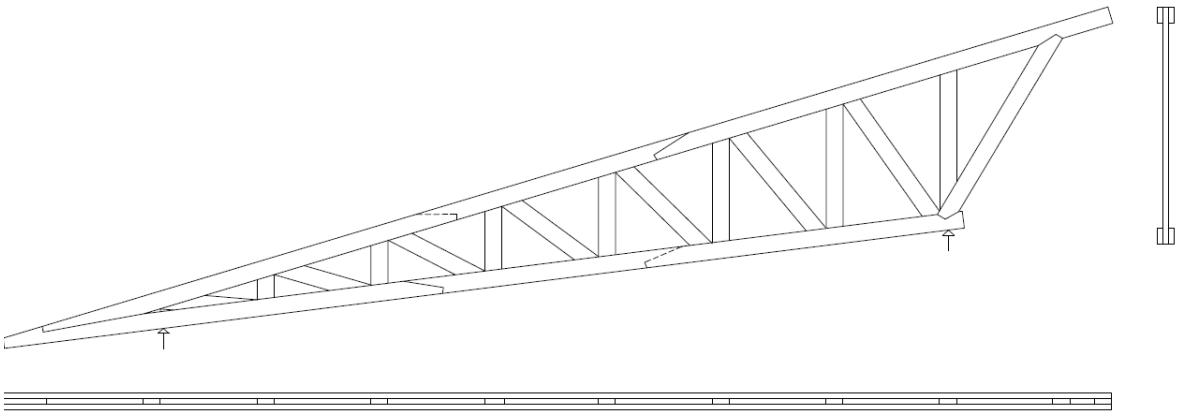


Figura 2.14.: Cercha utilizada en la solución constructiva 2.

2.6.5 CÁLCULO DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

Inicialmente, se realizará un cálculo de las cargas de la cubierta, según cada una de las soluciones, con el fin de poder hacer un completo descenso de cargas. Esto, junto con el modelado de las cerchas realizado en el programa de cálculo estructural *WinEva,* conformará el estudio estructural de los elementos de cada una de las soluciones

constructivas planteadas. *Véase anejo 6.3.2., Cálculo del estado de cargas según solución constructiva.*

Para ello, se ha seguido el esquema de zona de influencias que se puede ver a continuación, *véase figura 2.15.*, y con el que se ha determinado la carga que cada cercha soporta.

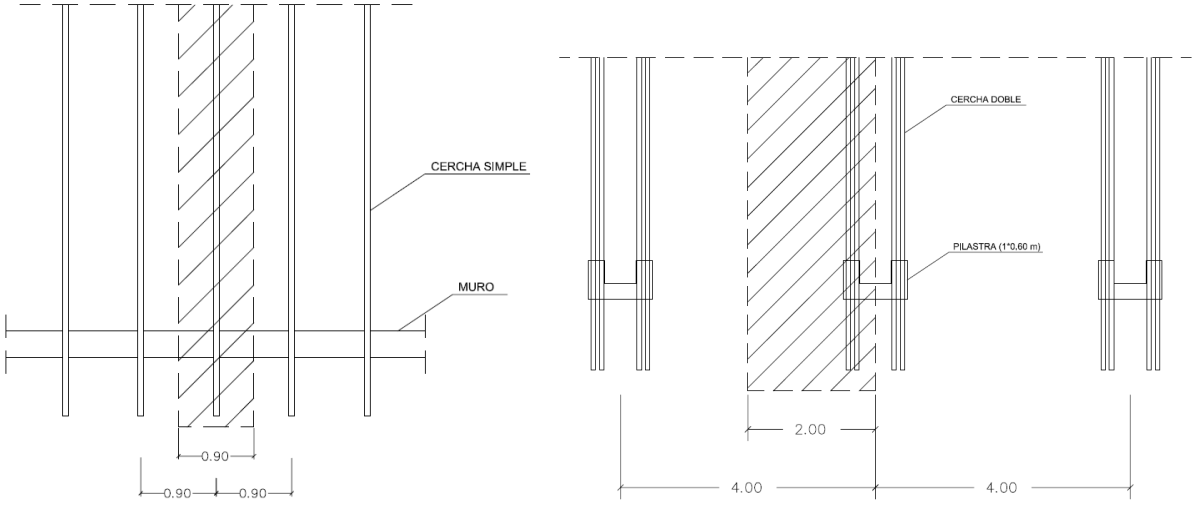


Figura 2.15.: Esquema de las zonas de influencia en las dos tipologías de cerchas.

Como cargas para la cercha se consideraran las cargas permanentes y la sobrecarga de uso. Como cargas permanentes (CP) se considerará la cubierta de teja colonial, el tumbado y los listones para la primera solución constructiva y la cubierta de teja, el machihembrado de madera, las correas y los tacos de tajibo.

En lo que a la cercha simple se refiere, recibe unas cargas permanentes de **1.08 KN/m**. La cercha doble recibe unas cargas de **2.18 KN/m.**

Con estos resultados se ha realizado un modelado lo más fiel posible a la realidad; considerando las barras rígidas. Aunque la estructura esté compuesta de distintas barras, las fijaciones mediante clavos y pernos tienen el objetivo de rigidizar el conjunto. Los rayos de júpiter se han considerado como nudos libres con las barras articuladas a ambos lados. Para los apoyos se optó, inicialmente, por fijarlos como articulaciones; no permitiendo el desplazamiento lateral de la cercha debido a la presencia de los durmientes. *Véase figura 2.16.* Para la sobrecarga de uso se ha considerado el valor mínimo para el mantenimiento de la cubierta. El valor se ha extraído de la tabla 3.1, *Valores característicos de las sobrecargas de uso,* del capítulo 3, *Acciones Variables* del Código Técnico de la Edificación, *CTE DB_SE-AE Acciones en la edificación*.

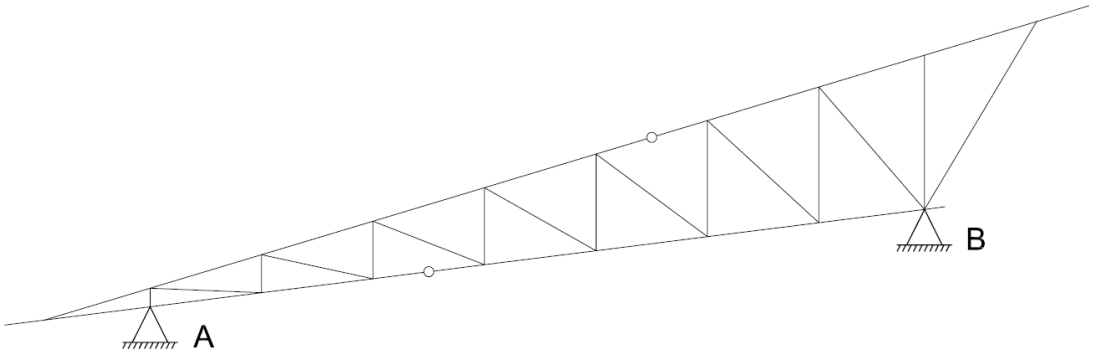


Figura 2.16.: Esquema del primer modelado de cercha.

Después de observar la respuesta de la cercha se replanteó el modelado. Ante la situación planteada, aparecían **reacciones en la componente horizontal de valor 13.19 KN, en la cercha simple, y de 18.69 KN, en a cercha doble**. *Véase anejo 6.3.3., Resultados y diagramas del programa estructural en el primer modelado.* Estos empujes transmitían a los muros unos momentos excesivamente elevados, creando excentricidades de más de un metro. *Véase anejo 6.3.4., Cálculo de momentos y excentricidades en el muro y la pilastra*.

Por esta razón, y observando bien el detalle constructivo, se replanteó nuevamente el modelado de la cercha. Pese a que el *punto B* sí que tiene limitado el desplazamiento horizontal debido a que el durmiente de la pilastra norte se lo impide, el *punto A* no tiene impedimento para poder desplazarse; sólo el rozamiento con el durmiente lo podría impedir totalmente, pero no es así. Es por eso, que la nueva modelación contempla que el *punto A* se convierta en nudo articulado pero con libertad de movimiento en el eje de las abscisas. *Véase figura 2.17.*

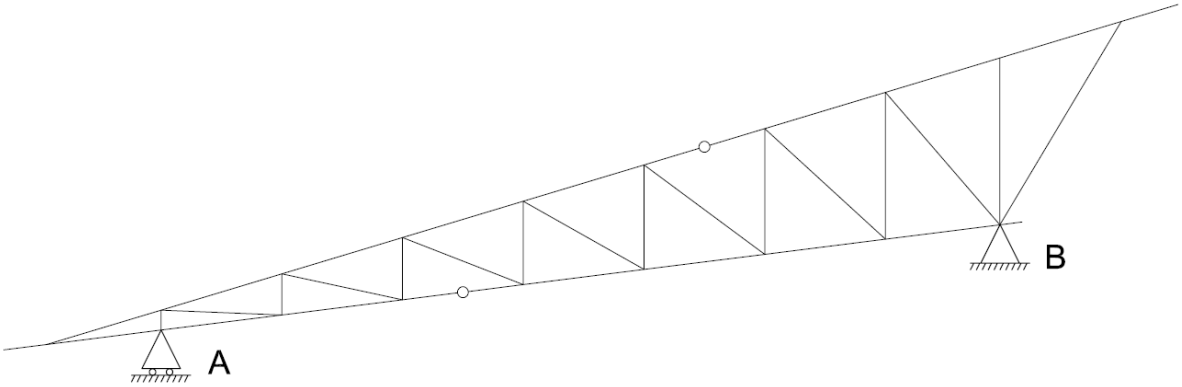


Figura 2.17.: Esquema del segundo modelado de cercha.

Esta nueva modelación de la estructura permite comprobar que no tiene ninguna componente de fuerzas horizontales, lo que implica que no genere empujes laterales que creen momentos y excentricidades al muro. *Véase anejo 6.3.5., Resultados y diagramas del programa estructural en el segundo modelado.* Esta situación es la más real. Seguramente el rozamiento del durmiente con la cercha produzca que aparezca empuje al muro/pilastra, pero este es mínimo teniendo en cuenta como está solucionado el encuentro.

Finalmente, se escoge esta opción como válida y se prosigue al cálculo de la comprobación de las cerchas a flexión, cortante y flecha. *Véase anejo 6.3.6., Cálculo de las cerchas a flexión, cortante y flecha.*

Los valores de tensión admisibles, característicos, a flexión es de 40 N/mm^2 y cortante 4 N/mm^2 del tajibo y el límite de flecha permitido, 24 mm, están muy por encima de las solicitaciones a la que está sometida cada cercha. Véase tabla 2.2.

	CERCHA SIMPLE (tipología 1)	**CERCHA DOBLE (tipología 2)**
FLEXIÓN [1]	3,94 N/mm^2	4,11 N/mm^2
CORTANTE [2]	0,41 N/mm^2	0,42 N/mm^2
FLECHA [3]	3,2 mm	2,6 mm

[1] Tensión admisible, caract. a flexión del tajibo = 40 N/mm^2
[2] Tensión admisible, caract. a cortante tajibo = 4 N/mm^2
[3] Flecha màxima admisible = 24,4 mm

Tabla 2.2.: Valores a flexión, cortante y flecha de las dos tipologías de cerchas.

A continuación, se realiza el descenso de cargas de cada solución junto con la variable MATERIAL (ladrillo, adobe o BTC) y la variable CERCHA (cercha simple o cercha doble). *Véase anejo 6.3.7., Cálculo del descenso de cargas según solución constructiva.*

A continuación se puede comprobar que todos los resultados en la cara inferior del muro/pilastra son inferiores a los valores admisibles del mismo en cada caso. *Véase tabla 2.3.* y *tabla 2.4.* El margen de seguridad muestra la tolerancia o diferencia entre la tensión admisible y la tensión en la cara inferior del muro o pilastra, la cual es más elevada en el ladrillo y BTC que no en el adobe.

	TENSIÓN EN CARA INFERIOR DE MURO	TENSIÓN ADMISIBLE DEL MATERIAL	MARGEN DE SEGURIDAD
MURO DE LADRILLO			
Norte	0,21 N/mm^2	0,83 N/mm^2	3,89
Sur	0,17 N/mm^2		4,85
MURO DE ADOBE			
Norte	0,16 N/mm^2	0,25 N/mm^2	1,57
Sur	0,12 N/mm^2		2,02
MURO DE BTC			
Norte	0,18 N/mm^2	0,63 N/mm^2	3,44
Sur	0,14 N/mm^2		4,38

Tabla 2.3.: Valores del descenso de cargas en la solución constructiva 1 (muro).

	TENSIÓN EN CARA INFERIOR DE LA PILASTRA	TENSIÓN ADMISIBLE DEL MATERIAL	MARGEN DE SEGURIDAD
PILASTRA DE LADRILLO			
Norte	0,22 N/mm^2	0,83 N/mm^2	3,79
Sur	0,19 N/mm^2		4,37
PILASTRA DE ADOBE			
Norte	0,21 N/mm^2	0,25 N/mm^2	1,21
Sur	0,18 N/mm^2		1,38
PILASTRA DE BTC			
Norte	0,21 N/mm^2	0,63 N/mm^2	2,94
Sur	0,19 N/mm^2		3,38

Tabla 2.4.: Valores del descenso de cargas en la solución constructiva 2 (pilastra).

Seguidamente se han elaborado las mediciones y presupuestos de cada una de las soluciones constructivas, con sus respectivos materiales. Para ello, y a falta de un banco de precios que dista mucho de los de la capital, Santa Cruz de la Sierra, se ha elaborado un banco de precios propio. *Véase anejo 6.3.8., Evolución de precios de materiales y mano de obra en los proyectos de San Ignacio de Velasco.* Este banco de precios se ha realizado recopilando toda la información de los proyectos llevados a cabo por *Universitat Sense Fronteres* en San Ignacio de Velasco los últimos 11 años. Esto permite por un lado analizar la evolución real de los precios de construcción en San Ignacio de Velasco, para asignar precios comparables entre las soluciones estudiadas 1 y 2, y que fueron construidas en años diferentes distanciados en el tiempo.

Por otro lado este banco de precios permite prever los incrementos de precios de las diferentes partidas para ajustar mejor los presupuestos de futuros proyectos

En los presupuestos, *véase anejo 6.3.9, Mediciones y presupuestos de las aulas según solución constructiva*, se ha considerado un coste nulo para las tareas de peón. Esto se debe a que las tareas de ayuda a los maestros albañiles se consiguen con el trabajo voluntario, amen de que la alcaldía cubre estos trabajos con la presencia de jornaleros en la obra que van a su cargo. Aunque en Catalunya se considera un valor de entre el 2-3% de costes indirectos, la repercusión de las herramientas i el personal auxiliar en este tipo de proyectos es menor. Es por ello que se ha considerado un 1%. En cuanto a los gastos generales se considera el desplazamiento, alojamiento y manutención de los voluntarios.

También cabe destacar que el valor que se determina del estudio es el valor del aula y el corredor de la misma. Se ha hecho el estudio teniendo en cuenta el corredor de las aulas, pero cabe decir que no es determinante, ya que, sea cual sea la solución constructiva y material utilizado, no varia el valor final de la unidad estudiada.

A continuación se muestra, un cuadro resumen de los valores totales de la construcción de las aulas en función de la solución constructiva y el material. *Véase tabla 2.5*.

	LADRILLO		ADOBE		BTC	
	Bs	**€**	**Bs**	**€**	**Bs**	**€**
MURO	85.913,05	9.450,43	82.402,04	9.064,22	87.001,66	9.570,18
PILASTRA	104.543,62	11.499,79	102.421,70	11.266,38	106.007,00	11.660,77

Valores en Bolivianos. A Junio de 2012: 1 Bs = 0,11 €

Tabla 2.5.: Cuadro resumen de los valores totales de construcción de las modalidades.

Se puede observar que las diferencias entre la construcción con muro y pilastras no son tan sustanciales pero sí a tener en cuenta. El aumento general entre una solución constructiva y otra, más allá del material, oscila entre el 20 y el 25%, siendo más económica la construcción realizada a base de muro. Con ello, se puede valorar muy positivamente que esta sea la solución más utilizada hasta el momento.

2.7 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE LA UNIVERSIDAD CHIQUITANA

2.7.1 CONTEXTO EN LOS PROYECTOS DE *UNIVERSITAT SENSE FRONTERES*

La educación es el principal factor en el desarrollo de una sociedad. Es por este motivo, que *Universitat Sense Fronteres* lleva años apostando en proyectos donde el eje principal sea la educación. La Universidad Chiquitana, proyecto que se inició en 2003, responde a un importante salto, en materia de educación, para la región, ya que era de vital importancia apostar por un centro público, y al alcance de toda la población, que garantizara la continuidad de los estudios secundarios. Todo ello, con el fin de poder dar a los jóvenes una formación técnica superior que desarrollara su potencial para dar a la región mayor competitividad y técnica en materia de desarrollo. No olvidemos que Bolivia es el país más pobre de Latinoamérica después de Haití.

San Ignacio de Velasco está situado en una zona rural y la realidad educativa de la población, y de la mayoría de poblaciones que comprenden la región de la Chiquitanía, es muy complicada. Son muy pocos los que pueden optar a una educación universitaria, ya que el hecho de desplazarse a la capital del departamento, Santa Cruz de la Sierra, Cochabamba o Sucre, únicas ciudades donde se puede acceder a dichos estudios, significa un esfuerzo económico demasiado elevado para las familias. Los pocos que tienen el privilegio de poder optar a esos estudios y terminarlos, deciden quedarse en las grandes ciudades en busca de mayores oportunidades, dejando así su tierra natal, “huérfana” de su conocimiento y su potencial de desarrollo.

2.7.2 ¿POR QUÉ UNA UNIVERSIDAD EN LA CHIQUITANIA?

El proyecto académico de la Universidad Chiquitana pretende acercar los estudios universitarios a toda la población indígena y crear un foco de desarrollo local, con el objetivo de crear técnicos que potencien su conocimiento en su tierra. De ese modo, la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, está apostando en la creación de carreras que incidan directamente en el desarrollo de la comunidad.

Por un lado, la carrera de educación: formar a buenos profesionales de la educación y la pedagogía es el primer paso para generar una escuela y formación de garantía desde las bases. Por otro lado, se apuesta por estudios como agrimensura (equivalente a topografía, forestal, agropecuaria, zootecnia). Estos estudios tienen un vínculo y relación directa en el desarrollo y motor económico de la región, puesto que si de algo se vale la

Chiquitanía y forma parte su economía, es de los bastos bosques, la agricultura y la ganadería. Así pues, es de vital importancia crear técnicos que procuren por una buena gestión forestal y por una visión global, técnica y profesional de la gestión ganadera y agrícola.

Es un pilar indispensable, y forma pate del proyecto, que la construcción de la universidad sea un proyecto común y en el que la población, de una manera u otra, se implique y se haga participe de su motor de desarrollo. Por un lado, la construcción está llevada a cabo con mano de obra local; albañiles y jornaleros (ayudantes) de San Ignacio de Velasco. Esto es muy importante de cara a crear una buena complicidad con el proyecto y engranar una transferencia tecnológica necesaria para el desarrollo de este proyecto y otros venideros. También, el hecho de que la mayoría de materiales utilizados en obra son locales, ayuda y se colabora en el desarrollo económico de la región y a la mejora y desarrollo de sus técnicas de producción. Crear proyectos donde se apueste por materiales locales implica incentivar a la organización y a la mejora de las técnicas productivas. Por otro lado, implicar a la población en la construcción con el trabajo voluntario de manera que el trabajo en equipo sea el eje principal en el progreso de la obra. *Véase apartado 2.5.5.*

2.7.3 DISEÑO ADAPTADO AL ENTORNO

La región de la Chiquitanía tiene un patrimonio cultural incalculable. La presencia misional dejó un patrimonio arquitectónico trascendental que aún ahora, y habiendo sido en 1990 declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, se mantiene vigente. Así pues, el esquema urbano misional es un elemento de referencia proyectual ya que forma parte de la identidad de estos pueblos. De este modo, se ha conseguido una construcción bioclimáticamente idónea en todos los sentidos; tanto arquitectónicamente como constructivamente.

En su globalidad, la Universidad Chiquitana, supone una actualización de las técnicas de la arquitectura tradicional del oriente boliviano basado en los materiales autóctonos: el adobe y la madera. Rescatando las bondades de la construcción con tierra, en crisis debido a la imagen de modernidad del hormigón y el acero, y la sostenible construcción con madera. El edificio realza su valor educativo y constituye un referente de la identidad regional aportando detalles de modernidad. Sumado a los materiales autóctonos y de comportamiento térmico inmejorable, se añade un diseño característico de la zona. [4]

4 **Síntesis del artículo CONSTRUCCIÓN CON TIERRA EN EL SIGLO XXI. S.Bestraten, E.Hormías, A.Altemir. Informes de la Construcción, Vol. 63, 523, 5-20 julio-septiembre 2011.**

Al estar el edificio situado en una zona subtropical con una época de intensa lluvias es necesario reducir el nivel de exposición de las paredes a las inclemencias y con ello reducir el mantenimiento. Es por eso que se ha optado por la colocación de *zócalos*, grandes aleros y porches. Estas soluciones constructivas contribuyen, por un lado, a proteger la base de los cerramientos y muros hechos de adobe contribuyendo a la no disgregación de los mismos a causa de la lluvia o aporte de humedad del terreno y, por otro lado, gracias a los aleros y porches, proteger, más si cabe, dichos cerramientos.

También, los porches, crean un microclima y un ambiente idóneo en la circulación del módulo; algo necesario en una región donde las altas temperaturas a lo largo del año son una constante.

Un diseño de cerchas que cubre una luz de unos 6.5 metros da al edificio una solución constructiva moderna y eficaz. Además, el diseño de cerchas crea un lucernario que supone un aporte de luz natural y un sistema de ventilación inmejorable. Este hecho, junto a su orientación, proporciona una disminución de la aportación lumínica artificial amen de crear un espacio apto para el estudio.

2.7.4 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL Y CONSTRUCTIVA

El tercer módulo de la Universidad Chiquitana está formado por tres aulas, una exterior y dos interiores, un pasillo que une las mismas y una zona de baños. *Véase tabla 2.6. Véase anejo 6.4.1., planos del tercer módulo de la Universidad Chiquitana*

DEPENDENCIA	SUPERFICIE (m^2)
Aula 1	52
Aula 2	52
Aula 3	52
Corredor de aulas	101,2
Baños	20
TOTAL	**277,2**

Tabla 2.6.: Tabla de superficies útiles del tercer módulo de la Universidad Chiquitana

Los sistemas constructivos a emplear, la calidad de los materiales y el proceso constructivo son los siguientes:

ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

Se realiza la excavación de zanjas para cimientos continuos y aislados hasta una cota de -1,05 metros de profundidad en terreno de calidad compacto, realizado mediante medios manuales. Las tierras extraídas se utilizarán para la fabricación de adobes. En caso de sobrar tierras estas se usaran como relleno.

CIMENTACIONES

La cimentación se realizará mediante zapata corrida bajo muro, zapatas aisladas en las pilastras y zapatas aisladas arriostradas en los pilares de las galerías. Dimensiones según planos. Se realiza según el método tradicional: una primera capa de 60 cm de profundidad de hormigón ciclópeo que consiste en la mezcla de piedra, grava, arenilla y cemento con una proporción de 1:4:2 (cemento : arenilla : grava) con un armado superior (parrilla de 5/8”). A continuación se realiza la cimentación de ladrillo adobito de 40 cm de profundidad.

ESTRUCTURA

La estructura del edificio se divide en dos. Por un lado, pilastras de ladrillo de 1x0.6m, separadas cuatro metros a eje, en forma de U que serán el apoyo de la estructura de la cubierta hecha a base de cerchas de madera (tajibo). Para garantizar un apoyo continuo sobre la pilastra se colocan tres durmientes perpendiculares a los brazos de la U sobre los que apoyaran las cerchas. Más allá de colaborar con el reparto de las cargas, la forma de U le confiere, a la pilastra, una cierta estabilidad frente al pandeo generado por la compresión y al posible momento generado por las solicitaciones de la cubierta. Por otro lado, muros de adobe con función estructural en la zona de baños. Para el corredor de aulas se opta por unos pilares y vigas de madera de cuchi y tajibo respectivamente.

CERRAMIENTOS Y DIVISIONES INTERIORES

El cerramiento es de adobe colocado a soga. Las divisiones interiores serán también de adobe colocadas también a soga.

CUBIERTAS

Inclinada del 30%. La estructura de la cubierta estará compuesta por cerchas. Habrá dos tipologías de cerchas; una de una vertiente y otra de dos vertientes. Un entramado de correas situadas entre cerchas compondrá la subestructura de la cubierta. El acabado será de teja colonial sobre un machihembrado de madera.

ACABADOS INTERIORES

En los paramentos verticales se realiza el revoco maestrado consistente en cemento, cal y arena. Y el revoque de baño con cerámica de gres.

Los paramentos horizontales se realizan con enyesado guarnecido y enlucido a buena vista.

La pintura se hace a la cal en todo el módulo, tanto en el interior como en el exterior del mismo.

PAVIMENTOS

El piso se ejecuta al modo tradicional con contra piso de ladrillo *adobito* y acabado con cerámica de gres.

CARPINTERÍA Y CERRAJERÍA

Se realiza toda la carpintería con marcos fijos de madera tajibo y las hojas de madera tipo roble. Se colocan vidrios sencillos y varillas metálicas anti robo.

2.7.5 MATERIALES

En cuanto a los materiales principales que se vana emplear en a construcción cabe destacar el adobe, la madera y la arcilla cocida (ladrillo y teja).

ADOBE

En los últimos años la tierra y la madera como materiales de construcción, han sido aparcadas dando paso al hormigón y el acero. En tiempos donde la visión sostenible en la construcción se convierte en uno de los ejes principales, es de vital importancia recuperar aquellos materiales que la historia ha validado, mejorar sus técnicas y sus soluciones constructivas aprovechando los nuevos conocimientos y poder argumentar mediante datos técnicos y casos prácticos su perfecta viabilidad en estos tiempos.

En la parte consistente a la tierra el adobe ha formado parte de la construcción. El adobe consiste en una masa de barro, frecuentemente mezclado con paja, moldeada en forma de paralelepípedo, y secada al sol para formar muros de fábrica. Para la fabricación del adobe es necesario tierra arcillosa. Para que en el secado la retracción no agriete la pieza, se coloca paja en la mezcla, la cual tiene que ser cortada alrededor de unos 15 cm. *Véase figura 2.18.* De este modo, la paja también hace de *armado* mejorando la resistencia

a compresión de la pieza. Unas de las mejoras técnicas que se implementó en la obra fue añadir paja a la mezcla de unión de las piezas (mortero). La mezcla, hecha también con barro, mejoraba la resistencia y no fisuraba si se le añadía paja.

El proceso de fabricación del **adobe** consiste en, una vez seleccionada la tierra idónea, cernirla y librarla de raíces. Se coloca en forma de cono-volcán, se le añade agua y se deja reposar. Al día siguiente se le añade la paja y se bate la mezcla. La manera más tradicional y eficaz de garantizar una homogeneidad en el material es pisar. *Véase figura 2.19.* Finalmente y después de conseguir una mezcla lo suficientemente compacta y espesa se coloca, con las manos y ayudándose con los puños para conseguir una mayor compactación, la mezcla en el molde, previamente humedecido. *Véase figura 2.20.* Las piezas resultantes pueden tener medidas muy variables. En nuestro caso, los adobes han sido de 40 x 20 x 11cm. Se desprenden del molde para el proceso de secado, al sol, durante una semana. *Véase figura 2.21.*

Figura 2.18: Cortado de la paja.

Figura 2.19: Proceso de batido con los pies.

Figura 2.20: Proceso de moldeado con puños.

Figura 2.21: Secado de adobes.

La tierra se convierte en el material idóneo para formar parte del proyecto por varios motivos. Por un lado, es un material de bajo impacto medioambiental, ya que la tierra para fabricarlos se obtiene de la propia excavación. Eso implica que la fabricación de las piezas tenga un repercusión al medio prácticamente nula. Por otro lado, la tierra posee unas características inmejorables.

Aunque tradicionalmente los muros de tierra han formado parte de la estructura portante de los edificios, el uso actual de paredes de tierra no tiene porqué ser exclusivamente con finalidad estructural. Está demostrada la solvencia del material aplicado a cerramientos de edificios con estructura independiente, como es el caso del tercer módulo de la Universidad Chiquitana. Aunque sí que en una parte de la construcción se usa el adobe como elemento estructural, hay una buena parte del material destinado a los cerramientos, dándole un comportamiento higrotérmico al edificio que garantiza un sistema de climatización pasivo excelente. Los muros de tierra, tradicionalmente, no han requerido ningún tipo de aislamiento añadido ya que su factor de transmisión térmica (U) es comparable al de otros materiales convencionales usados para tal efecto. La conductividad térmica del adobe es de 0.46W/mk.[5]

Así pues, orientando de manera adecuada el edificio se optimiza al máximo estas característica. Gracias al material, las propiedades de la tierra son inmejorables, y la geometría de las piezas se puede conseguir satisfactorios resultados. Su inercia térmica permite acumular una gran cantidad de calor haciendo mantener constante la temperatura interior del edificio.

Además, la tierra presenta otras muchas propiedades que ayudan a certificar su viabilidad. Por un lado, la tierra como material se considera prácticamente incombustible, no propaga el fuego y no emite gases tóxicos, siendo su resistencia al fuego, y asemejándose mucho a otros materiales para tal efecto de REI 90 min. Además, considerar que estos muros también están revestidos de una mezcla en base a tierra. Por otro lado, la alta densidad de la tierra favorece que este material sea favorable como aislante acústico, dando una solución optima a las necesidades establecidas.

5 **Párrafo del artículo CONSTRUCCIÓN CON TIERRA EN EL SIGLO XXI. S.Bestraten, E.Hormías, A.Altemir. Informes de la Construcción, Vol. 63, 523, 5-20 julio-septiembre 2011.**

Los adobes se realizaron en la obra y se fabricaron con la misma tierra de la excavación y con paja de los campos próximos a la construcción de manera manual y aprovechando, en la mayoría de ocasiones, la visita de los voluntarios. Eso significa que los dos materiales y su producción tienen un impacto nulo en lo que hace referencia a la repercusión medioambiental amen de disminuir considerablemente los costes de producción. Este hecho, ante los elevados problemas que conlleva la extracción, fabricación y transporte de otros materiales, se convierte en un potencial a tener en cuenta y mejorar más si cabe de cara a un futuro más sostenible en la construcción.

Para el tercer módulo de la Universidad Chiquitana el adobe protagoniza una doble función. Por un lado, formará parte de los muros de la zona de baños, teniendo una clara función estructural, y por otro lado, formará parte de los cerramientos de las aulas, sin ninguna función estructural, pero sí con un claro objetivo de aislamiento térmico.

MADERA

Para la estructura de la cubierta principal y la de la zona del pasillo de aulas se ha optado por la madera, diferenciando, en cada uno de los casos, el tipo de la misma según las solicitaciones requeridas. Así pues, se ha trabajado con tajibo y cuchi. *Véase figura 2.22.*

El **Tajibo**, usado en las vigas, durmientes de las pilastras, cerchas, tacos, correas, machimbre y vigas de pasillo de aulas, es una madera que se encuentra en bosques húmedos subtropicales, muy abundante en la zona oriental de Bolivia. Se trata de una madera cuya respuesta frente a solicitaciones a flexión es muy notoria. *Véase figura 2.23.*

El **cuchi**, usado en los horcones (pilares) del pasillo de aulas, responde a un tipo de madera adecuada frente a las variaciones de humedad siendo una buena solución en elementos en contacto con el terreno o expuesto directamente a las inclemencias meteorológicas. Amen de tener propiedades adecuadas frente a las variaciones de humedad, su respuesta frente a solicitaciones a compresión es mayor que el tajibo.

En el corredor de aulas, la unión entre los horcones y las vigas, pese a ser de diferentes maderas, puede realizarse sin ningún problema debido a la propiedades elásticas de ambas tipologías, las cuales son semejantes. Para el tajibo el módulo de elasticidad es de $1.3x10^5$ Kg/cm^2 y para el cuchi es de $1.52x10^5$ Kg/cm^2; la semejanza de ambos módulos permitía sin ningún problema poder unir las dos tipologías de madera

Figura 2.22: Madera de tajibo en aserradero.

Figura 2.23: Recepción de tijeras de tajibo.

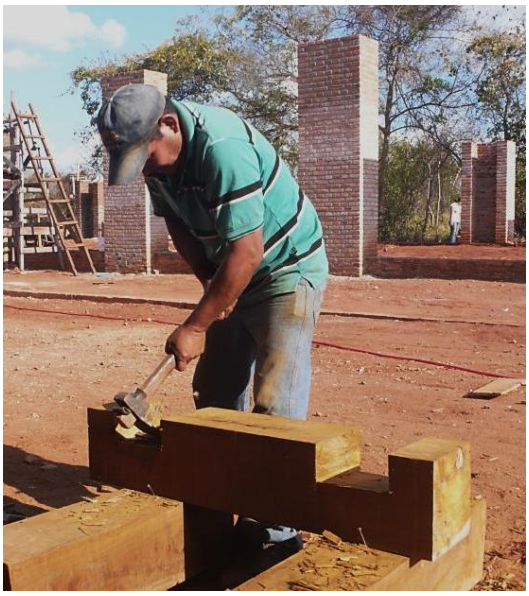


Figura 2.24: Tallado manual y cepillado de la madera.

LADRILLO ADOBITO Y TEJA COLONIAL

Finalmente, la tierra, cocida en hornos tradicionales tipo hormiguero, es también el principal engranaje de la estructura de la obra. El ladrillo macizo (23*10.5*5 cm), llamado ladrillo adobito y cocido manualmente en los aledaños de San Ignacio de Velasco por tejeros, ha sido el material con el que se han realizado las pilastras de 1x0.60 m separadas cuatro metros a eje. Estas pilastras tienen forma de U y sobre ellas se apoyan dos cerchas de madera de tajibo. También, la realización de la cubierta se ha hecho mediante teja colonial de 40 cm, realizada en las tejerías. *Véanse figuras 2.25., 2.26. y 2.27.*

Figura 2.25.: Ladrillos y tejas crudas. Secado al sol.

Figura 2.26.: Horno de cocción de ladrillos y tejas.

Figura 2.27.: Ladrillos y tejas ya cocidas.

2.8 CÁLCULO ESTRUCTURAL

Inicialmente se procederá a realizar un descenso de cargas del tercer módulo, introduciendo los valores en el programa de cálculo de estructuras WinEva con el fin de comprobar como responde la cercha proyectada ante las solicitaciones. De ese modo, comprobar en qué márgenes de seguridad estamos trabajando y ver cuál es la respuesta de la estructura ante sus solicitaciones. Para ello se aprovecha el estudio realizado anteriormente, *véase apartado 2.4.4*, donde uno de los casos era igual que el tercer módulo de la Universidad Chiquitana; pilastras de ladrillo con cercha doble. *Véase tabla 2.9.*

	TENSIÓN EN CARA INFERIOR DE LA PILASTRA	TENSIÓN ADMISIBLE DEL MATERIAL	MARGEN DE SEGURIDAD
PILASTRA DE LADRILLO			
Norte	0,22 N/mm^2	0,83 N/mm^2	3,79
Sur	0,19 N/mm^2		4,37

Tabla 2.9.: Valores del descenso de cargas del tercer módulo de la Universidad Chiquitana.

2.9 MEDICIONES Y PRESUPUESTO

Aunque es posible encontrar un banco de precios de Santa cruz de la Sierra, capital del departamento al que pertenece San Ignacio de Velasco, la diferencia de precios entre la zona urbana y rural es considerable. Ante esta situación, y la falta de documentación en relación a una referencia de precios y rendimientos de mano de obra, se ha optado por la elaboración de un banco de precios propio. Para ello, se ha tomado toda la información presupuestaria de los proyectos llevados a cabo por *Universitat Sense Fronteres* a lo largo de los años en San Ignacio de Velasco, y se ha elaborado una relación de precios desde 2000 hasta el 2010 de todos los materiales y mano de obra.

El objetivo ha sido elaborar una documentación que permitiera ver la evolución de precios a lo largo de los años en San Ignacio de Velasco y así poder acotar al máximo el presupuesto de manera que fuera lo más real posible. *Véase anejo 6.3.8., Evolución de precios de materiales y mano de obra en los proyectos de San Ignacio de Velasco.* Este cuadro permitió hacer un supuesto del valor de materiales y mano de obra que se acercó muy considerablemente a los valores reales que nos encontramos una vez desplazados a tierras chiquitanas.

Pese a poder realizar este cuadro sobre la evolución de precios, la variación de los mismos, inclusive aun estando en San Ignacio de Velasco, ha sido considerable. Esto, en mayor o menor grado, afectó al presupuesto que inicialmente se propuso. *Véase anejo 6.4.2. Mediciones y presupuesto del tercer módulo de la Universidad Chiquitana.* Los materiales que sufrieron una variación de precio, a la alza, fueron el cemento y la madera.

Inicialmente, en junio de 2011, el cemento tenia un precio de 1.36 Bs/Kg, y durante los seis meses sufrió una subida de entre un 13% y un 14%, llegando a diciembre de 2011 ha tener un precio de 1.54 Bs/Kg. Esta variación de precios ha sido causada por la subida de los carburantes. Hay que tener en cuenta que parte del transporte del cemento, proveniente de Santa Cruz de la Sierra, es por carretera. De este modo, como es normal, la subida de los carburantes condicionó el precio del material.

En cuanto a la madera, las nuevas leyes de explotación forestal implicaban una variación del precio. Años atrás, la explotación de la madera en la zona no estaba controlada. Este hecho hacia que hubiera una unificación de precios entre los aserraderos, ya que todos tenían los mismos medios. La entrada de nuevas legislaciones implicaba a los aserraderos tener que costear cláusulas y contratos. Así pues, para poder tener el mismo beneficio, el material tenía que subir de precio.

Hay ciertas observaciones en cuanto a los presupuestos. Primeramente, aclarar el por qué no se ha considerado el valor de los peones o ayudantes en los detalles de precios. Son tareas de obra que se realizan con la colaboración de voluntarios de la ciudadanía en obra. También, porqué una de las condiciones de la contraparte es poder ofrecer jornaleros que estén permanentemente en la obra. Seguidamente, justificar el valor de los costes indirectos en un 1%; considerando que en Catalunya están alrededor del 3% se ha tenido en cuenta que la tecnificación de los elementos auxiliares, la repercusión de los mismos y la mano de obra auxiliar es mucho inferior. Finalmente el valor del 5% los gastos generales comprende el desplazamiento de los voluntarios, la manutención y alojamiento. Para ello, se ha considerado un valor de dos voluntarios, que es la media en las construcciones de *Universitat Sense Fronteres*. En cuanto al beneficio se refiere, se considera nulo puesto que es una entidad sin ánimo de lucro.

2.10 DIRECCIÓN DE OBRA

La dirección de obra del tercer módulo de la Universidad Chiquitana comprende muchos aspectos a tener en cuenta. Durante los seis meses de estadía en San Ignacio de Velasco hubo toda una variedad de tareas a realizar para que el proyecto se llevara a cabo de la mejor manera posible.

Primeramente, hubo que reunirse con la alcaldía y el Consejo Municipal para definir el convenio y hacer un esbozo de las líneas de actuación que se seguirían a lo largo de los meses en relación a la construcción. Seguidamente, y centrado más concretamente en la construcción, se realizó la contratación del personal de la obra (albañiles y jornaleros), se mantuvo contacto con los proveedores de materiales e industriales y se organizó la administración de la obra.

También, hubo que coordinar el trabajo voluntario organizando encuentros en los colegios y animando a los alumnos a colaborar en media jornada de trabajo y buscando espacios en los medios de comunicación local (radio y televisión) con el fin de dar a conocer el proyecto.

2.10.1 PROCESO EJECUTIVO DE LA OBRA

El proyecto de la Universidad Chiquitana empieza en 2003, con la construcción del primer módulo. Éste se finalizó en septiembre de 2004. El segundo módulo se construyó entre el 2006 y el 2008. El tercer módulo de la Universidad Chiquitana, fue iniciado en junio de 2010 por los compañeros voluntarios Xavier Botet, arquitecto y Laia Molist, estudiante de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB).

En el tiempo que estuvieron allí iniciando el tercer módulo, de junio a septiembre de 2010, se realizó la cimentación de hormigón ciclópeo de todo el módulo y la cimentación de ladrillo en las aulas. También se iniciaron las pilastras de ladrillo. *Véase figura 2.28.*

La segunda fase del tercer módulo empezó a finales de junio de 2011 y terminó a finales de diciembre de 2011. En este periodo, se acabó la cimentación de ladrillo, se subieron las pilastras de ladrillo, se armó la estructura de cerchas para las aulas y pilares para el corredor. También los muros del baño. Se dejó techado y con el contrapiso de ladrillo adobito colocado. *Véase figura 2.29.* Faltó por colocar los tabiques, los acabados, la carpintería, el piso y la instalación eléctrica.

Figura 2.28: Módulo en junio de 2011.

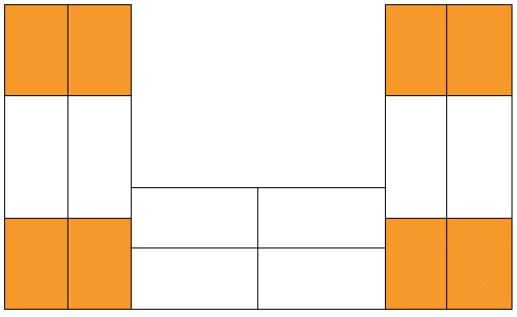
Figura 2.29.: Módulo en diciembre de 2011.

Antes de llevar a cabo la nueva fase del tercer módulo, hubo un estudio de todo el proceso constructivo del año anterior con el fin de cerciorarse que todo aquello ejecutado seguía las directrices de los planos de obra.

A continuación se hará una descripción de los procesos constructivos donde la dirección de obra se ha hecho más evidente durante la segunda fase del tercer módulo incidiendo en aquellos elementos que requerían una supervisión y control más precisa.

PILASTRAS DE LADRILLO

La composición de la pilastra mediante las piezas no es exacta. De modo que hacia falta explicar bien a los albañiles y jornaleros el despiece de cada una de las hiladas, incidiendo, sobretodo, en la rotura de las juntas. Para ello, aun teniendo el despiece en los planos e identificar en cada caso el tamaño de las piezas, fue tarea de dirección de obra crear unos modelos a escala real para explicar al persona de a obra como se debía ejecutar y facilitar el seguimiento. *Véase figura 2.30.* La peculiaridad incide, también, en que ciertas piezas de cada hilada son de menor dimensión.



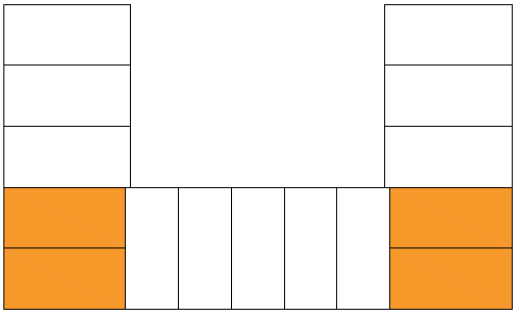


Figura 2.30.: Despiece de las hiladas de la pilastra.

Otro punto importante en realización de las pilastras fue el control ejecución de la junta. El objetivo era supervisar que el tendel tuviera un grosor de entre 7 y 10 mm. A menudo, la tradición y la falta de control hace crear tendeles y llagas más gruesas con el fin de ahorrar tiempo e hiladas. Para realizar las pilastras y seguir un mismo criterio en la ejecución de cada una, se determinó ejecutarlas a la vez, *véase figura 2.31*., la norte y la sur. De este modo, ir controlando las hiladas con más facilidad. Finalmente, revisar que el tipo de junta será degollada en todo el perímetro exterior de la pilastra.

Figura 2.31.: Ejecución de las pilastras.

SANEAMIENTO

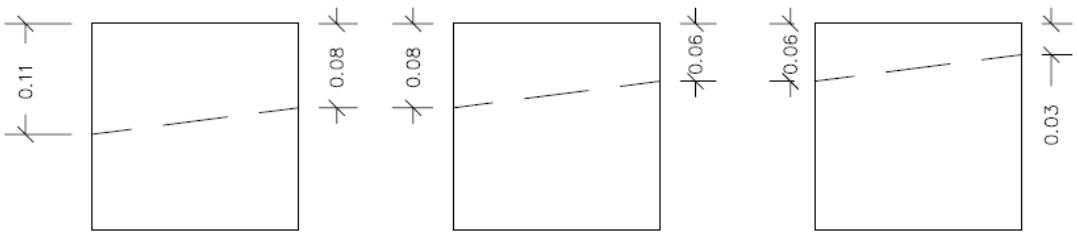
En los planos no se especificaba qué tipología ni medidas de tubos había que utilizar para la ejecución de las instalaciones de aguas servidas. Para ello, hubo que calcular las unidades de descarga y así determinar el diámetro y pendiente de los tubos. En este caso, había que considerar, también, que la falta de mantenimiento provocaría la variación de algunos valores con el fin de garantizar al máximo la seguridad de estos elementos. *Véase figura 2.32*. El material de los tubos se consideró que fuera de PVC. Para ello, se tuvo que pedir que fuera traído especialmente des de Santa Cruz de la Sierra.

Figura 2.32.: Ejecución de los tubos de aguas servidas.

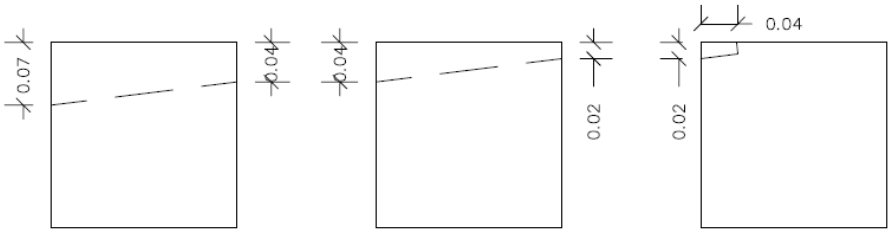
DURMIENTES I DINTELES

Las cerchas apoyan en los durmientes y vigas situadas encima de las pilastras. Para la ejecución de los mismos hubo que crear esquemas y modelos de explicación al personal de la obra.

Cada pieza que compone el conjunto de los tres durmientes situados encima de la pilastra, tiene una hendidura concreta formando la pendiente adecuada para recibir la cercha*. Véase figura 2.33.*



SECCIÓN DURMIENTES DE LAS PILASTRAS SUR



SECCIÓN DURMIENTES DE LAS PILASTRAS NORTE

Figura 2.33: Despiece de los durmientes y vigas de las pilastras.

Figura 2.34.: Ejecución de los durmientes.

Figura 2.35.: Distribución de los durmientes y vigas. Puesta en obra de las vigas mediante grúa.

Fue tarea de dirección de obra el control de la seguridad en esta fase, puesto que se trabajó con maquinaria. La afectación por caídas de objetos a distinto nivel era un riesgo que hacía falta minimizar; por ello, se tuvo acceso a cascos y se acordonó la zona de actuación. Por su puesto, se garantizó la buena fijación de los elementos a la hora de elevarlos.

Figura 2.36.: Visión de los durmientes de las pilastras (norte y sur).

CERCHAS

Para la realización de las cerchas fue imprescindible crear bien la triangulación principal con el fin de crear las líneas maestras para armar la cercha. La dirección de obra consistió en marcar el despiece en la madera i fijar los puntos donde había que clavar los clavos y fijar los pernos.

Figura 2.37.: Proceso de ejecución de las cerchas y elevación mediante grúa.

Para la puesta en obra de las mismas, se colocaron, inicialmente, dos troncos que servirían para poder asegurar las dos primeras cerchas (cercha a dos aguas). A partir de aquí, cada cercha que se colocara se aseguraba mediante ripa (sobrantes de madera de cedro o roble) a la anterior. *Véase figura 2.38.*

Figura 2.38: Cerchas colocadas y aseguradas mediante ripa.

MURO DE ADOBE

Figura 2.39: Ejecución de paredes y muros de adobe.

Para subir paredes de adobe se controló el replanteo de la pared, la horizontalidad de las hiladas, el grueso de las juntas, para que no superasen los 2 cm, y que se colocaran a contrajunta. *Véase figura 2.39*

TACOS Y CORREAS

En la colocación de los tacos fue tarea de dirección de obra hacer el replanteo de donde se iban a situar las piezas, para la correcta colocación de las correas. *Véase figura 2.40.* A su vez, igual de importante el control de colocación de las correas, puesto que fue el elemento que acabó de marcar la planeidad final de la cubierta, ya que es la base del machimbre.

Figura 2.40: Colocación de tacos y correas encima de las cerchas.

MACHIMBRE

En la colocación del machimbre era necesario controlar que se mantuviera la junta de la unión entre las piezas, constante. Pese a que las piezas han sido manufacturadas, el proceso de elaboración no deja las piezas perfectamente correctas. Es por eso que hubo que controlar que las piezas encajaran bien. *Véase figura 2.41.* También, fue necesaria la constante supervisión de las fijaciones del machimbre a las correas mediante los clavos.

Figura 2.41: Colocación de machimbre de tajibo encima de las correas.

HORCONES Y VIGAS DEL CORREDOR DE AULAS

Para la ejecución de los horcones se tubo presente la buena disposición de las piezas que conformaban el pilar y la correcta fijación, mecánica mediante pernos, de las mismas. Asimismo, la correcta verticalidad y alineación entre todos ellos. *Véase figura 2.42*. Asimismo con las vigas a las cuales había que realizar pequeñas hendiduras para el correcto encaje con los horcones.

Figura 2.42: Colocación de horcones y vigas en corredor de aula.

BIGUETAS DEL CORREDOR DE AULAS

En la colocación de las tijeras del corredor de aulas se especifico el orden de colocación con el fin de asegurar que todas siguieran una misma guía y cerciorar que aquellas situadas entre las pilastras estuvieran equidistantes.

Para ello, el proceso de colocación de las viguetas fue el siguiente. Primeramente se colocaron las dos tijeras de los extremos. *Véase figura 2.43.* De ese modo, estas harian de guía para la colocación de las siguientes.

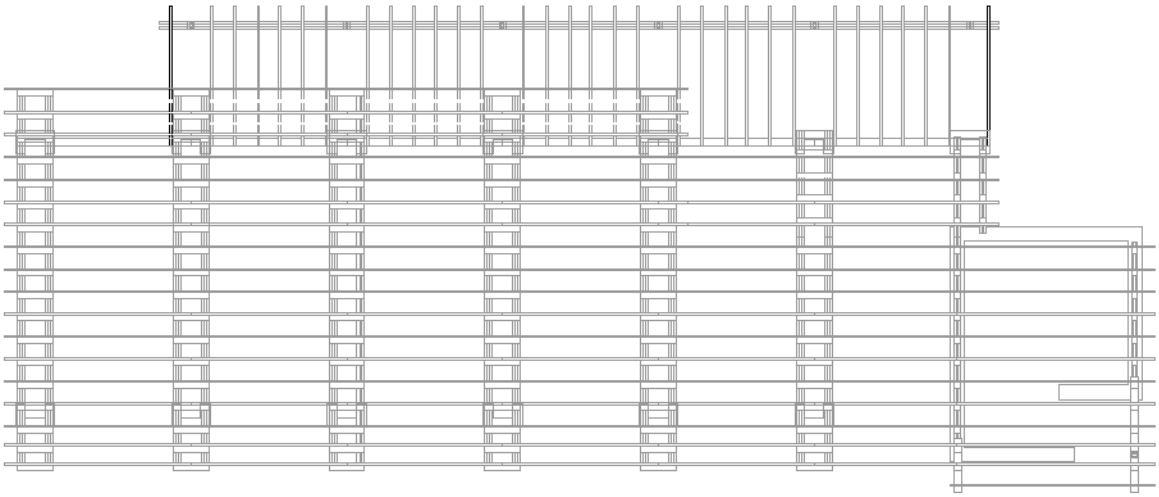


Figura 2.43: Colocación de las tijeras situadas en los extremos.

Seguidamente se colocaron las tijeras situadas justo al límite con las pilastras, acotando el espacio donde se tendrían que colocar el resto de tijeras situadas entre las pilastras. *Véase figura 2.45* La colocación de estas tijeras venía guiada por las dos de los extremos. Se colocaron un total de diez tijeras.

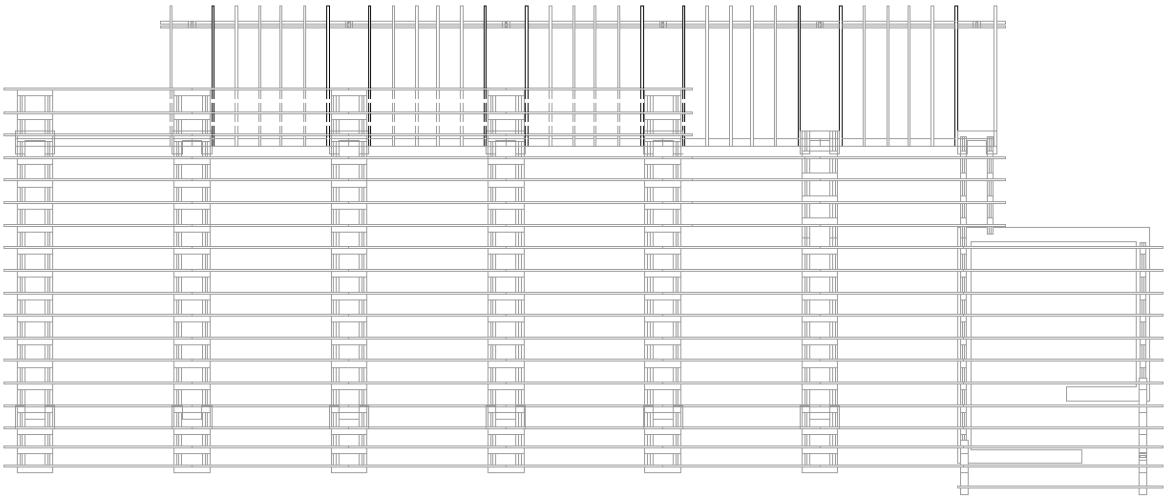


Figura 2.45: Tijeras situadas en los límites con las pilastras.

Finalmente se colocaron las tijeras situadas entre las pilastras. Las anteriores sirvieron, además de guía, para poder crear, con más facilidad, la equidistancia de estas. Se colocaron un total de veinte tijeras. *Véase figura 2.46*

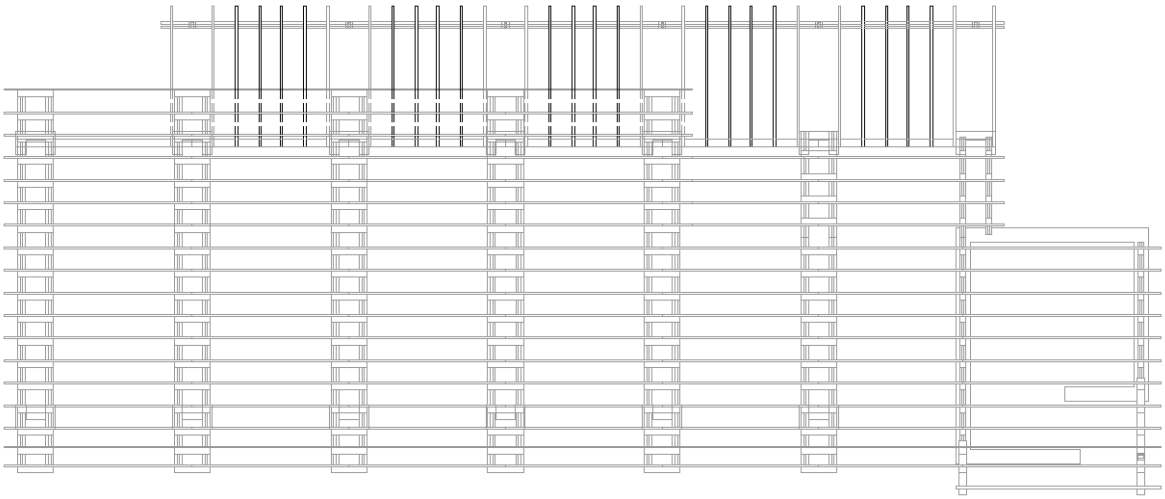


Figura 2.46: Tijeras situadas entre las pilastras.

CUBIERTA

La disposición de las piezas en la cubierta es muy importante. Es por eso que, y ante unas tejas realizadas manualmente en las tejerías, era necesario un correcto control de las piezas para garantizar que ninguna estuviera mal cocida. En cualquier caso, también controlar que las piezas mejor cocidas fueran las que conformaran las hiladas de canal de la cubierta, ya que son las que más agua transportan en caso de lluvia. *Véase figuras 2.47.*

Supervisar, también, que el solape entre las piezas fuera el necesario para garantizar la máxima estanqueidad posible.

Figura 2.47: Proceso de colocación de tejas en cubierta.

CONTRAPISO DE LADRILLO

Fue tarea de dirección de obra supervisar que el contrapiso garantizara la planeidad máxima para poder recibir el mosaico. Este proceso es necesario ya que forma parte del puente entre las tierras de relleno y el acabado del piso final. *Véase figura 2.48*

Figura 2.48: Contrapiso realizado con ladrillo adobito.

VISIÓN GENERAL DE LOS TRES MÓDULOS DE LA UNIVERSIDAD CHIQUITANA

Figura 2.49: Visión de los tres módulos de la Universidad Chiquitana.

ESTADO FINAL DE LA OBRA

Figura 2.50: Estado final de obra en diciembre de 2011.

2.10.2 CONTROL DE CALIDAD. RECEPCIÓN DE MATERIALES

Aunque en las zonas más urbanas de Bolivia sí existe una mínima normativa en referencia a la construcción, los agentes intervinientes y todo lo que hace referencia a la puesta en obra de materiales, en la zona rural, que es nuestro caso, no hay normativa alguna. Es por ello que la recepción de materiales, el control de calidad de los mismos y el control de puesta en obra también tienen un papel importante para los voluntarios.

Ante un marco normativo, cuando el técnico recibe un material, tiene que tener presente varios ítems que van complementados con la documentación que debe presentar el fabricante. En esta documentación se acredita las características del material, las prestaciones, garantías… En el caso de San Ignacio de Velasco, la aceptación o no de un material en obra depende del criterio directo del técnico, ya que el proveedor no acredita ningún proceso de fabricación ni ninguna característica del mismo. Así pues, ante esta situación, y para garantizar la mayor fiabilidad ante la recepción de materiales, hay que encontrar las herramientas necesarias para ello. Según el material que se recepciona en obra habrá que tener presente ciertas características. A continuación, según el material, se expondrá qué criterios se han tomado, todos ellos con una gran importancia visual.

Los **ladrillos** adobitos provienen de las tejerías cercanas a San Ignacio de Velasco. Si la disponibilidad de la obra lo permitía, nos dirigíamos a las tejerías para comprobar qué tipo de ladrillos cargaban; con ello se concretaba de qué horno se cargaba, de qué parte del mismo… Haya habido la posibilidad de poder dirigirse a las tejerías o no, ante una recepción de ladrillos en obra hay dos puntos esenciales a tener en cuenta. Por un lado, el color. La cocción de los ladrillos en los hornos tradicionales no es homogénea, por lo que hay ladrillos que quedan más cocidos por el hecho de estar más cercanos al fuego (con un color claramente negro y carbonizado) y otros más crudos (color blanquecino) por estar en la superficie del horno. Así pues, es necesario comprobar que haya una homogeneidad en todos los ladrillos y ver que más del 85% de los ladrillos estén dentro del rango de ladrillos de un color rojizo. Por otro lado, el sistema de descarga de los ladrillos nos permite comprobar si la cocción ha sido la adecuada y si la resistencia es óptima. La descarga de ladrillos se realiza manualmente mediante el lanzamiento de los mismos, llamado el voleado. Des de lo alto del camión un operario coge entre cinco y ocho ladrillos y los lanza a otro compañero, situado ya en la zona donde se van a acopiar, el cual los recepciona al vuelo. En la recepción se crea un impacto entre todos los ladrillos que nos puede dar una idea del comportamiento de los mismos. *Véase figura 2.51.*

Figura 2.51: Sistema de descarga de ladrillos. Voleado de ladrillos.

Para las **tejas**, el proceso es el mismo, ya que la cocción es en hornos tradicionales (con lo que el color es un claro indicativo) y la descarga es mediante el voleo de tejas. En las tejas, el sonido del golpeo de las tejas individuales es también un claro ejemplo de cocción. Aunque es difícil describir el sonido correcto de la teja bien cocida es semejante al leve sonido de campana. Con ello, se puede hacer una buena diferenciación de las que están mejor cocidas. Estas se utilizaran en las piezas de canal de la cubierta y las menos cocidas en las piezas de tapa; de ese modo garantizamos que la porosidad no sea un problema en aquellas piezas que más agua llevan.

La **madera**, al ser un material natural, tiene varias características a tener en cuenta y fácilmente reconocibles. La madera proviene de los aserraderos de San Ignacio de Velasco, dónde el acceso a ellos no es tan fácil como en las tejerías. Ante una recepción en obra de madera hay que valorar los siguientes ítems. Por un lado, verificar la presencia de nudos y evitar que el contenido de los mismos no sea excesivo, a poder ser nulo. De este modo garantizar que la mayor parte sea duramen. Por otro lado, y muy relacionado con el anterior, evitar madera de color o tejidos claros. Este hecho nos facilitará reconocer si la madera recibida contiene demasiada albura o no. En este caso, habrá que rechazarla debido a que aun es madera joven y nueva. En cualquiera de los casos habrá que garantizar la no presencia de fisuras y grietas.

2.10.3 SEGURIDAD Y SALUD

Actualmente, en esta zona rural, no existe ninguna normativa que haga referencia a las medidas de seguridad que hay que tomar en la obra ante los distintos peligros a los que se exponen los trabajadores. Así pues, es tarea de los voluntarios crear una metodología, orden y concienciación en la obra para minimizar al máximo los peligros y aumentar el máximo la seguridad. Sobretodo la tarea recaía en educar en la seguridad y mostrar pedagógicamente el porqué de tomar medidas. Como ya pasa en nuestro país, es difícil el completo cumplimiento de la seguridad en obra con el añadido de la falta de recursos de San Ignacio de Velasco. Es por ello que es responsabilidad de los voluntarios poner los máximos esfuerzos y herramientas al servicio de los albañiles y jornaleros.

Una buena manera de evaluar la seguridad en obra es comprobar qué mejoras se han implementado; valorar el antes y el después, teniendo presente que la mentalidad de la seguridad en obra es nula.

Una costumbre muy arraigada y justificada por las altas temperaturas de San Ignacio de Velasco es llevar *chinelas* (sandalias). Posiblemente, debido a la falta de recursos, no se les podía exigir que llevaran botas de punta rígida, pero si un buen zapato cerrado. Con ello evitaríamos daños causados por pequeños impactos, caídas de material… También se les inculcó llevar pantalones largos. Aunque no son muy habituales los rasguños en piernas puede resultar un factor a tener en cuenta. La gorra o protección en la cabeza para evitar insolaciones parece que es una medida que tienen más interiorizada.

Dependiendo de la tarea a realizar adecuábamos más, en la medida de lo posible, los elementos de protección individual de cada trabajador. Los guantes, diferentes en función de la sensibilidad que requería el trabajo, eran un constante en la obra. Se les pudo proporcionar un juego a cada uno, con lo que también se les concienció en la responsabilidad de cuidar su material de seguridad y trabajo.

Ante el **cepillado de la madera**, que fue una tarea constante a lo largo de la obra, se pudo incidir más en la protección visual, con la colocación de gafas protectoras, la inhalación de polvo, con mascarillas, y los constantes rasguños causados por las astillas, con guantes. *Véase figura 2.52.* Estos elementos de protección individual también fueron facilitados para la realización del corte de hierros para las armaduras de la cimentación.

Figura 2.52: Guantes, mascarilla y gafas en el cepillado de la madera.

También se implementó una mejora en las técnicas de andamio, los cuales, hasta ahora, se ejecutaban con el clavado de cuatro maderas dispuestas de manera aleatoria. De este modo, los andamios, caballetes y demás estructuras para trabajar en altura se compusieron según un orden, y creando constantes puntos de sujeción amen de crear estratégicas cruces de San Andrés que rigidizaran el conjunto.

Para trabajos de mayor complejidad como son la **elevación de cerchas y bigas** se pudo disponer de la colaboración de una grúa. Con ello garantizábamos mucha más seguridad, ya que la tradición y la falta de recursos les lleva a subir bigas y cerchas mediante cuerdas, poleas o por simple apoyo en los diferentes andamios y caballetes.

La constante presencia de los voluntarios en la obra era una garantía del completo cumplimiento de los parámetros de seguridad y de facilitar en todo momento las herramientas necesarias para el correcto cumplimiento. Con todo ello la satisfacción en este campo es muy buena ya que la obra se ha realizado sin ningún incidente a tener en cuenta.

2.10.4 SEGUIMIENTO Y EVOLUCIÓN DE LA PLANIFICACIÓN DE LA OBRA

La planificación realizada antes de desplazarse no se corresponde a la ejecutada finalmente.

Ha sido en dos ocasiones, principalmente, que se ha tenido que revisar y hacer una actualización de programa para poder adecuar la temporización a las actividades y ver de qué manera se garantizaban los trabajos y los plazos dentro del margen establecido.

Primeramente, los trámites iniciales para realizar la obra demoraron más de lo previsto. Las numerosas reuniones con la alcaldía y varios puntos sin resolver hicieron que

se empezaran los trabajos de construcción una semana y media más tarde. Entre esos puntos había la colaboración por parte del consistorio de 4 jornaleros (peones). Dicha colaboración tardó en llegar. En este punto también cabe citar que hubo algunas dificultades para contactar con los albañiles y no fue hasta pasada unas semanas que tuvimos todo el personal activo en la obra.

Seguidamente, y este ha sido un contratiempo que se ha ido repitiendo a lo largo de la construcción debido a la tipología constructiva de la misma (estructura de la cubierta y corredor de aulas de madera), las nuevas ordenanzas forestales, han hecho que las entregas de madera por parte de los aserraderos demorara en demasía. Una mala gestión y unas exigencias estatales imposibles de cumplir para los aserraderos hacían que estos tuvieran que cerrar y hacer que la madera fuera un material difícil de adquirir. Con ello, el precio de la madera se elevó, hecho que en el presupuesto se vio también afectado. En años anteriores la ausencia de leyes y gestión forestal hacía que la madera fuera un material fácil de explotar habiendo una oferta que superaba la demanda. Ante esta situación, y con el objetivo de poder sanear los bosques y en proyección a un mejor futuro, las autoridades han empezado a acotar y planificar las explotaciones forestales. Ello significaba, y no habiéndose adaptado aún a las nuevas circunstancias, que la madera escaseara. Esta afectación de la madera se centralizó en dos puntos; el primero, en la realización de las cerchas: la ejecución de las mismas era el inicio de todo el proyecto. El segundo, los constantes retrasos en las correas y el machimbre.

Para finalizar, otro contratiempo de la obra ha sido la falta de regularidad de los jornaleros (peones) en la obra. Estos iban a cargo de la alcaldía y debido a ciertas situaciones de impago no permanecían en la obra. Esta situación hacia que los trabajos se tuvieran que repartir entre los albañiles. Esto conllevaba no poder cumplir los tiempos de ejecución según lo previsto.

2.10.5 TRABAJO VOLUNTARIO

Como ya se ha citado anteriormente, el proyecto se ha llevado a cabo, también, gracias al trabajo voluntario del pueblo y a la aportación de una mano de obra desinteresada con el objetivo de acercar el propósito a toda la población.

En este tipo de proyectos es de vital importancia la inestimable e incalculable aportación de la ciudadanía. Es básico hacer participe al pueblo de la construcción por varios motivos.

Por un lado, y el más importante, hacer ver al pueblo que aquello que se está construyendo es para ellos, y que, al fin y al cabo, ellos son los verdaderos beneficiarios y protagonistas del proyecto. Esto sólo se consigue haciendo que el ciudadano esté presente en la obra (de una manera u otra). Esto hace que la gente se dé cuenta de la importancia que tiene formar parte del levantamiento de su motor de desarrollo y de como el trabajo en equipo es la llave para avanzar.

Por otro lado, la aportación de la ciudadanía cubre muchas tareas de obra que hacen avanzar más rápido. Esto supone poder mejorar la temporización.

Para poder conseguir que esta tarea voluntaria tenga un efecto positivo hace falta trabajarla bien; es necesaria una buena preparación.

Primero, hace falta exponer claramente a la población cuál es nuestra tarea, qué se va a construir y qué objetivos se quieren alcanzar con ello. De nada sirve pedir colaboración al pueblo si éste no es consciente de su papel, su importancia, ni entiende qué se le pide y por qué se le pide. Así pues, hace falta una detallada y bien explicada presentación del proyecto y su globalidad para que entiendan que no tiene sentido sin su ayuda. Con ello se opta por tener unos espacios en los medios de comunicación local, televisión y radio, apareciendo en ellos varias veces a la semana con el fin de ir explicando a la población como avanza la obra y pidiendo su presencia en la misma. *Véase figura 2.53.* También, organizar reuniones con las OTB (Organización Territorial de Barrios) y las unidades educativas (colegios).

Figura 2.53: Aparición en los medios de comunicación (radio y televisión) de San Ignacio de Velasco.

Segundo, hace falta hacer una buena previsión en la obra y ver de qué manera el pueblo puede sumar y cuáles son las tareas aptas (dependiendo del perfil de personas). Este hecho es importante porque, por un lado, el pueblo tiene que sentir que su esfuerzo y dedicación es útil y no es trabajo en vano. De ese modo, el trabajo se hará con ilusión, y esta se contagia. Por otro lado, adecuar el trabajo; saber lo que pueden hacer los más pequeños, los adultos y la gente mayor. Todos pueden aportar en algo, simplemente hace falta saber explotar aquello realmente necesario y tener las herramientas necesarias para incentivar a ello.

Esta colaboración es un escenario inmejorable para poder engranar una magnífica tarea de difusión técnica. Esto hace que haya una transferencia tecnológica incalculable. Es importante que todos aporten con su manera de hacer, trabajar, construir y colaborar (de ellos se aprende mucho) pero también es importante aprovechar la ocasión para poder explicar ciertos aspectos constructivos; la costumbre y tradición, a menudo, crean unos vicios constructivos que son fácilmente reparables si conseguimos que participen en la obra y, de manera pedagógica, se muestra de qué manera se puede mejorar la construcción. Este hecho es muy útil de cara a mejorar la autoconstrucción; concepto muy habitual en la zona.

Con todo ello, se decidió dar especial atención a los jóvenes, los verdaderos impulsores de un cambio y mejora social. De se modo, se optó por coordinar un seguido de encuentros con los alumnos de ciclo medio (los cuatro cursos anteriores al acceso a estudios universitarios). Se pasó aula por aula explicando el proyecto y pidiendo la colaboración con media jornada de trabajo voluntario. Si alguien es realmente protagonista en este proyecto son los jóvenes, ya que son los beneficiarios directos de la Universidad y

los que, de un modo u otro, aprovecharan esta oportunidad que se les brinda. Así pues, entre julio, agosto y septiembre pasaron por la obra 298 alumnos amen de padres de familia y otros voluntarios. *Véanse figura 2.54. y 2.55.*

Figura 2.54: A la izquierda, alumnos de 3º medio colaborando en el transporte de materiales para cimentación, julio de 2010. A la derecha, mujeres colaborando en el relleno de tierras, agosto de 2010.

Figura 2.55: A la izquierda alumnos de 4º medio colocando el cartel de la obra. A la derecha, alumnos de 2º medio mostrando el diploma de acreditación por la colaboración en la construcción del tercer módulo de la Universidad Chiquitana. Agosto de 2011.

3 CONCLUSIONES

- EXPERIENCIA GENERAL

Esta experiencia de este trabajo final de grado ha sido totalmente enriquecedora tanto a nivel técnico como personal.

En lo primero, me ha abierto un campo que hasta ahora desconocía, y el cual muestra un largo camino a recorrer. La actual formación universitaria no incide en la formación de construcción con tierra, madera ni en la conservación del patrimonio. Es muy importante que los técnicos tengamos conocimientos y herramientas para poder abordar cualquier ejecución; y la construcción con tierra es una vertiente que no está contemplada actualmente. Esta oportunidad me ha mostrado las grandes cualidades de estos dos materiales y ver sus aplicaciones y combinaciones para solventar los condicionantes constructivos que se presenten.

En lo segundo, ha sido muy positivo el haber tenido la posibilidad de compaginar el trabajo con la convivencia directa con una familia de San Ignacio de Velasco. Ha sido muy gratificante poder vivir con una familia y poder sentir, de primera mano, la realidad social y la idiosincrasia del pueblo ignaciano. No olvidemos que más allá de lo puramente constructivo el proyecto transciende en lo personal, y el contacto con la población y el sentir la comunión mutua es esencial para desarrollar de manera positiva la globalidad del proyecto.

- TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

El conocimiento de la arquitectura y los materiales locales es esencial para poder identificar sus debilidades y poder proponer mejoras. En este caso las mejoras van ligadas a aspectos de confort ambiental, pero también de durabilidad de los elementos constructivos: sobrecimiento de ladrillo y buenos voladizos para proteger la arquitectura en tierra, la conexión de los pilares de madera con el terreno mediante pletinas metálicas. También son mejoras definir la cota del edificio teniendo en cuenta la futura urbanización de las calles del entorno, el control de calidad en la producción de materiales como el adobe, seleccionando las tierras más apropiadas, supervisando el pastado, emmoldado y secado de los mismos.

Pero lo más importante, pero a su vez más invisible por intangible, es que la transferencia tecnológica real se consigue con la participación voluntaria directa de la población local en la ejecución del edificio, pudiendo, así, de manera pedagógica, justificar todos los aspectos constructivos innovadores incorporados en la construcción.

- EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

La zona y climatología es un condicionante principal para poder llevar a cabo la proyección de un edificio. Esta experiencia me ha dado la oportunidad de poder conocer otra tipología constructiva y poder valorar como esta resuelve las solicitaciones a las que se expone. Conocer esta región, también me ha permitido mirar hacia atrás y conocer una arquitectura tradicional y cómo esta plantea soluciones constructivas algunas extrapolables a nuestra arquitectura.

En relación a las soluciones de estructura vertical utilizadas y los materiales respectivos (ladrillo, adobe y BTC), los ensayos y cálculos realizados permiten validar las técnicas constructivas ya que se demuestra que los márgenes de seguridad con los que se trabaja están por encima de lo requerido. Esto ratifica y consolida el argumento en favor de la construcción con tierra y como la aplicación a nuevas técnicas constructivas (como sería el caso del BTC) desarrolla nuevos campos de actuación.

En base a los resultados obtenidos en el *apartado 2.6.4, Cálculos de las soluciones constructivas*, destacar que los valores de los márgenes de seguridad son considerablemente elevados. En el caso del adobe, el valor no es tan elevado, pero se mantiene en el 1.5. En el caso del ladrillo y el BTC la tensión admisible es hasta cuatro veces superiores. Cabe recordar que el estudio no contemplaba la resistencia del conjunto de la fábrica, inclusive la junta. Esto mejoraría, más si cabe a los valores del ladrillo y BTC y acabaría de reafirmar el buen margen de seguridad que tiene el adobe.

En ambas soluciones constructivas, el empleo del adobe en la estructura vertical muestra el valor económico más bajo. Tampoco se convierte en una diferencia considerable respecto a las soluciones planteadas con ladrillo y BTC, pero sí refleja un menor valor en el presupuesto. La materia prima y el bajo coste de producción del material reducen el coste de la ejecución de la estructura vertical con este material. El aumento del coste de la estructura vertical en el caso del BTC es debido a la aportación del cemento, aunque no hay que olvidar los múltiples beneficios del estabilizador.

En lo que a cantidad de madera se refiere, los valores son parecidos siendo superior la aportación de madera en la solución constructiva 2. La diferencia entre realizar la cercha simple o la doble es de 0.16 m^3.

- DIRECCIÓN DE OBRA

Tener la oportunidad de poder llevar la dirección de obra de un edificio durante el Trabajo Final de Grado, es una experiencia muy gratificante y de la cual, en este caso, derivan multitud de sensaciones.

Por un lado, esta oportunidad, da la posibilidad de enfrentarte al edificio y saber generar estrategias y herramientas para solventar aquellos problemas que se generan a lo largo de la construcción. Uno comprueba la complejidad del elemento construido, de la dificultad para controlar todas las variables que acompañan al proceso constructivo, y ayuda a darse cuenta en qué aspectos uno necesita mejorar y en cuáles debe potenciar.

Por otro lado, también da la posibilidad de engranar una comunicación directa con el personal de la obra, el verdadero ejecutor de la construcción. Esto es muy importante puesto que la diferencia técnica y social hacen tener que adecuar el lenguaje y trabajar la confianza para que el mensaje llegue sin ningún problema. Es de vital importancia ya que nuestra función, en la obra, es *traducir* los planos a un lenguaje entendible.

- USF Y LA COOPERACIÓN

Desde *Universitat Sense Fronteres* se trabaja para que los proyectos, más allá del simple concepto de construirlos y abordar el problema, generen una ayuda para preservar el patrimonio contruido no solo monumental sino también anónimo, dándolo a conocer incorporando mejoras que fomentan mejoras en la producción local de materiales. Es por eso que es tan importante una formación previa, la cual agradezco haber tenido el privilegio de recibir, para poder desenvolverme con seguridad ante las cuestiones técnicas que se planteaban a lo largo de la construcción.

4 BIBLIOGRAFÍA

LIBROS Y PUBLICACIONES

- Monseñor Antonio Eduardo Bösl, (1988), *UNA JOYA en la selva boliviana*.

- Monseñor Antonio Eduardo Bösl, (1997), *TESOROS de la Iglesia Chiquitna*.

- Pedro Querejazu, (1995), *Las Misiones Jesuíticas de Chiquitos*.

- Agencia Española de Cooperación Internacional, Oficina Técnica de Cooperación, PLAN MISIONES, (2005), *Plan de Rehabilitación Integral de las Misiones Jesuíticas de Chiquitos*. Fundación BHN Línea Editorial La Papelera.

- Andrés Baroja, B. y Baringo Sabater, P., (2004), *Rendiminetos de la Mano de Obra en la Edificación.*

- Andrés Baroja, B. y Baringo Sabater, P., (2004), *Guía para ordenar presupuestos.*

- Diez Barrañeda, R., (2004), *L'escala de la Cooperació. Associació Universitat Sense Fronteres*, Revista INDE, Informació i debat del Col·legi d'Arquitectura de Catalunya, juny de 2004.

- Bestraten Castells, S. y Homrías Laperal, E., (2010), *Construir desde la cooperación al desarrollo en entornos patrimonio de la Humanidad*. IV Congreso Internacional Patrimonio Cultural y Cooperación al Desarrollo.

- Bestraten Castells, S., Hormías Laperal, E. y Altemir, A., (2011), *Construcción con Tierra en el siglo XXI.* Informes de la Construcción, Vol 63, 523, 5-20.

- Bestraten Castells, S., Hormías Laperal, E., (2012), *Proyectos de Cooperación para la conservación de la arquitectura de tierra en Chiquitos, Bolivia. Congreso Restapia 2012. Valencia Junio 2012.*

- Bestraten Castells, S., Hormías Laperal, E., (2007), *Sostenibilidad y Cooperación*. I Congreso UPC Sostenible 2015

DOCUMENTOS EN LÍNEA

- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. Ministerio de Interior, Gobierno de España, <http://www.codigotecnico.org/web> [consulta: marzo de 2012].

- INSUCONS. Análisis de precios unitarios, presupuestos de obra y materiales de la construcción en Bolivia, <http://www.insucons.com> [consulta: abril de 2012].

5 AGRADECIMIENTOS

- A la organización *Universitat Sense Fronteres* por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto de cooperación y en particular a Emilio Hormías Laperal y Sandra Bestraten Castells, directores del proyecto y a los cuales les debo el haber podido tener tan magnífica experiencia. Por el constante seguimiento y confianza que me han dado, gracias.

- A todos los profesores que he tenido a lo largo de estos años los cuales me han proporcionado las bases para realizar el proyecto, gracias.

- A Xavi Botet, arquitecto, miembro de *Universitat Sense Fronteres,* por su desinteresada colaboración en el proyecto y ayuda en todo aquello relacionado con las estructuras en particular, gracias.

- A Oriol Roig y Laura Martínez, estudiantes de "l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona" por haber compartido los estudios previos y los primeros meses de la obra, gracias.

- A la población de San Ignacio de Velasco por voluntariedad en colaborar en la obra y en especial a los albañiles y jornaleros con los que he tenido el privilegio de compartir las horas de obra y de los cuales he aprendido mucho. También a la familia con la que compartí mis meses de estadía en San Ignacio de Velasco, a Chito y Negrita, gracias.

- A mis familiares, amigos y todas aquellas personas que de un modo u otro han colaborado en hacer posible el proyecto.

- Y muy especialmente, a MIS PADRES: por toda la confianza, paciencia, consejos, apoyo e ilusión brindada en la realización al presente trabajo pero sobretodo, también, durante mi etapa de estudios. Sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

6 ANEJOS