

Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

Facultad de Construcciones.

TRABAJO DE DIPLOMA

Título:

**Modelación de un Sistema Modular de
Andamio de Bambú.**

Diplomante: Daniel Jazel Tamayo Mayor.

Tutor: Dr. Ing. Jorge Félix Hernández González

Asesora: Dra. Ing. Lena Mora Rodríguez

Curso 2009-2010

Exergo:

“... no se equivoca el hombre que ensaya distintos caminos para alcanzar sus metas; se equivoca el que por temor a equivocarse, no camina...”

C. Murphy.

Agradecimientos:

A mis tutores por toda la ayuda brindada.

*A mi esposa Patricia por su dedicación y compañía en la conformación de este
trabajo*

A mi mamá y mi papá por ser parte de la etapa final de este trabajo

A mis hermanas, Elizabeth y Beatriz por darme su alegría en cada momento

A los profesores Santiago, e Ibáñez, por la ayuda brindada

A mis amigos Keyni, Keilor, Daniel.

A Lourdes que me ha estimulado a avanzar

A mi profesora Yudania por acompañarme en mis estudios

*A todos los profesores de la facultad de construcciones, por la formación que he
recibido a lo largo de mi carrera.*

*A todas las personas, familiares, amigos, conocidos, que de una u otra forma
contribuyeron a la realización de esta investigación.*

Dedicatoria:

A mis padres.

A mis abuelos Pedro y Ana.

Resumen:

En Cuba, desde hace varios años, el sector de la construcción se ha encontrado afectado, específicamente las construcciones de viviendas, y arreglos de las mismas.

En diferentes lugares del país se ha empleado el bambú como material de construcción, así sea en encofrados, apuntalamientos, y en andamios.

Por lo que la presente investigación se encarga de la modelación de un Sistema de Andamio de bambú cuyos objetivos investigativos tributan a determinar la seguridad de un sistema modular de andamios de bambú previamente diseñado para ser empleado en las obras constructivas en Cuba. Así como analizar las combinaciones de carga a que estará sometido el andamio de bambú, calcular la resistencia a tracción y compresión de los elementos que lo conforman y realizar mediante el programa Staad Pro un análisis de la estabilidad de andamios de bambú.

El material empleado fue la *Bambusa Vulgaris* especie de bambú que se encuentra más abundante en Cuba. Una vez llevada a cabo la investigación, corrido el programa se analizan los resultados de este sistema modular.

Índice:

INTRODUCCIÓN / 1

CAPÍTULO 1: BASES TEÓRICO CONCEPTUALES Y ESTADO DEL ARTE SOBRE LA MODELACIÓN ESTRUCTURAL DE UN SISTEMA MODULAR DE ANDAMIOS DE BAMBÚ/7

1.1 Andamios, características generales /8

1.2 El bambú como material ecológico y como recurso constructivo, características, usos para la construcción de andamios /13

1.3 Andamios de bambú, antecedentes y utilidad de los mismos /16

1.4 Estudios precedentes de andamios de bambú en Cuba /18

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS / 23

2.1 Introducción del Capitulo /23

2.2 La modelación virtual del problema real/23

 Modelo de la geometría del problema/24

 Modelo de las cargas/24

 Modelo del material/24

2.3 Geometría de los elementos/25

2.4 Bambusa vulgaris como material/27

2.5 Estados de cargas/27

 Las de cargas de área o superficie/ 28

 Las cargas concentradas/ 28

 Magnitudes de las cargas /28

2.6. Modelación en el programa Staad Pro 2006 /28

2.7. Modelación de las Cargas/31

2.7.1 Cargas que generan esfuerzos Axiales/31

2.7.2 Cargas que generan Vuelco/34

2.8. Conclusiones Capitulo I /35

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS / 36

3.1 Esfuerzos a que va a estar sometida la estructura /36

3.1.1 Análisis de elementos en Compresión/37

3.1.2 Elementos sometidos a tracción /39

3.2 Desplazamientos/40

3.3 Cargas que generan el vuelco/40

3.3.1 Momentos estabilizantes/40

3.3.2 Momentos desestabilizantes/40

CONCLUSIONES/44

RECOMENDACIONES/45

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS/46

ANEXOS/

Introducción

Desde tiempos remotos los hombres se han interesado por realizar sus diseños de la forma más satisfactoria posible, buscando obtener las soluciones que en cada momento han considerado eficientes. En ese sentido, los resultados alcanzados en cada época histórica se han visto precisados, entre otras muchas razones, por el nivel de los conocimientos científicos, las tecnologías o por la disponibilidad de recursos.

El constante desarrollo de la Ingeniería Civil ligado a la ardua labor de los investigadores ha permitido la aparición y modernización de nuevos y variados Métodos de Modelación Estructural, logrando con esto una mayor aplicación a obras reales y un mejor entendimiento de los fenómenos y problemas que se generan en las estructuras. Los nuevos avances de las Ciencias de la Computación aplicada a la ingeniería ha permitido la obtención de soluciones más aproximadas que se acercan aun más al problema o fenómeno real. Además el desarrollo acelerado de las tecnologías y materiales de la construcción hace necesario que se continúen implementando novedosos métodos científicos.

En Cuba, desde hace varios años la situación económica se ha encontrado afectada, lo cual ha tenido repercusión en el sector de la construcción, específicamente en las construcciones de viviendas, y arreglos de las mismas.

En diferentes lugares del país específicamente en la provincia de Santiago de Cuba se ha empleado el bambú como material de construcción, así sea en encofrados, apuntalamientos, y en andamios.

Las insuficientes soluciones y la carencia de materiales para el desarrollo y elaboración de andamios, encofrados, y puntales que se afrontan en el proceso constructivo de las obras en Cuba, se han manifestado con mayor protagonismo en las viviendas construidas por medios propios, que responden a deprimentes soluciones de puntales y encofrados, que carecen de un diseño racional sobre bases y datos técnicos, con el uso de materiales y recursos en mal estado, y de forma inadecuada que ha traído problemas técnicos-constructivos. (Gijón,R, 2009)

Como resultado de una investigación de la Universidad de Oriente, se propone el diseño de un sistema modular de encofrado, apuntalamiento y elementos auxiliares de andamios con el empleo del bambú como solución alternativa y sustentable, encausado a erradicar la escasez de recursos maderables y poner en práctica un sistema, que responda a las necesidades de las construcciones en Cuba. En especial de las viviendas construidas por medios propios, para así resolver los problemas técnicos y económicos del proceso constructivo de las mismas, con un aporte práctico, novedoso y actual, que pone a consideración el uso de nuevas tecnologías y materiales.

Para validar técnicamente el empleo de este sistema modular de andamios de bambú surge la necesidad de realizar la presente investigación, la cual pretende efectuar una modelación, específicamente del sistema de andamios de bambú, (antes diseñado). En aras de comprobar la estabilidad, y eficiencia del mismo, lo cual constituye un avance económico para el país.

La estabilidad y seguridad de los andamios de bambú toma un peso fundamental en la presente investigación. A partir de la utilización del software profesional Staad Pro, se pueden modelar las cargas que puede soportar el andamio.

Este trabajo tiene un gran significado económico ya que es nuestro país debemos buscar eficiencia. Está demostrado a lo largo de los años en otros países que el bambú es un recurso natural el cual puede brindar grandes beneficios a las obras constructivas, ya que es una planta de rápido crecimiento y su eficiencia es similar a la de otro material.

Como parte de un trabajo integral para este estudio, la modelación de un diseño estructural de los andamios de bambú propuestos a partir de estudios previamente realizados, tiene un peso importante en la evaluación de estos con fines constructivos. La respuesta estructural ante las modificaciones y nuevas alternativas para estos andamios, deberá ser enfrentada con el rigor científico y técnico que este estudio demanda por su importancia y trascendencia.

Por lo que como situación problemática, o problema de la investigación nos planteamos:

Problema de la Investigación:

¿Será seguro implementar un sistema modular de andamios de bambú, previamente diseñado arquitectónicamente, en las construcciones en Cuba?

Hipótesis de Investigación:

A partir de la modelación estructural de un sistema modular de andamios de bambú, antes diseñado, con la ayuda de software profesional Staad Pro, se obtiene la respuesta estructural referida a seguridad, y efectividad del mismo, a ser empleado en las obras en Cuba, a fin de lograr reducir los costos de la construcción, así como un beneficio sustancial principalmente en la construcción de viviendas por esfuerzo propio, aumentando la calidad de las construcciones en el país.

Objetivos de la investigación:**Objetivo General:**

Determinar la seguridad de un sistema modular de andamios de bambú propuesto para ser empleado en Cuba.

Objetivos Específicos:

1. Analizar las combinaciones de carga a que estará sometido el andamio.
2. Calcular la resistencia a tracción y compresión del andamio modular de bambú.
3. Realizar mediante el programa Staad Pro un análisis de la estabilidad de andamios de bambú.

Tareas Científicas de la Investigación:

En la presente investigación el procedimiento científico efectuado queda organizado de la siguiente forma:

Recopilación bibliográfica preliminar, definición, aprobación del tema y elaboración del plan de trabajo.

Estudio bibliográfico y análisis de la temática, específicamente sobre los siguientes aspectos:

- 1- Modelación, conceptos y definiciones.
- 2- Métodos numéricos aplicados al cálculo (programa Staad Pro) y diseño en ingeniería.
- 3- Estudios precedentes de la investigación y metodologías utilizadas para su análisis.

4- Modelación Estructural con la utilización del software de computación Staad Pro, de un sistema modular de andamios de Bambú, en cuanto a: modelo geométrico de la estructura, modelo de las acciones actuante, modelo de las cargas, modelo del material, solución del modelo del problema real y análisis de los resultados.

- Redacción del Capítulo I: “Bases teórico conceptuales y estado del arte sobre la modelación estructural de un sistema modular de andamios de bambú”.

- Modelación de la estructura y redacción del Capítulo II: Fundamentos Metodológicos.

- Estudio de los documentos normativos y de la literatura clásica sobre el tema.

Familiarización con el empleo del programa Staad Pro, para la modelación de la estructura.

- Redacción del Capítulo III: Análisis de los resultados.

Formulación de conclusiones parciales.

Redacción de las “Conclusiones y Recomendaciones” del trabajo.

Novedad Científica

Estudio del comportamiento estructural de un sistema modular de andamios de bambú propuesto, mediante el uso del programa Staad Pro 2006, en aras de conocer la seguridad que brinda el mismo para ser empleado en las obras constructivas en Cuba, lo cual constituye un logro para la economía del país.

Aportes Relevantes de la investigación:

Aportes de carácter científico: Utilizar técnicas avanzadas de modelación y software de última generación Staad Pro 2006 durante la solución de la modelación de un sistema modular de andamios de bambú.

Aportes de carácter práctico: Ofrece el diagnóstico de la modelación de un sistema modular de andamio de bambú, referido a la seguridad del mismo, a emplearse en las obras constructivas en Cuba. Lo cual constituye un logro a nivel social, ya que resuelve un problema práctico, específicamente el empleo de estos andamios de fácil construcción, y con alta efectividad.

Valor Metodológico:

Se relacionan los procedimientos de modelación existentes para la determinación de las respuestas de las estructuras. De acuerdo a las condiciones reales de la obra, se realiza un estudio de la modelación de las cargas, de la geometría y del material; y el comportamiento e interrelación de estos factores sobre la estructura.

Valor Práctico Ingenieril:

Se fomenta la generalización de procedimientos existentes en la actualidad para la modelación de estructuras ante las acciones de cargas y las respuestas de las mismas.

Se contribuye a la comprensión del campo de aplicación de dichos procedimientos y a la obtención de una respuesta de los modelos mucho más cercana al comportamiento estructural real.

Se exponen criterios técnicos preliminares que permiten un acercamiento al comportamiento estructural y a la verificación de la estructuración planteada en la modelación de una obra de interés social.

Se aplican dichos procedimientos y herramientas de modelación permitiendo una comprensión más clara de los fenómenos relacionados con el comportamiento estructural, así como del análisis que se efectúa en la comparación de los resultados obtenidos.

Metodología general de la investigación

1. Definición del Problema de Estudio.
2. Recopilación de la Bibliografía General.
3. Formación de la Base Teórica General.
4. Planteamiento de Hipótesis.
5. Definición de Objetivos.
6. Definición de las Tareas Científicas.
7. Estudio bibliográfico y análisis del estado del arte de la temática.
8. Modelación estructural de la obra en cuestión.
9. Conclusiones y Recomendaciones.

Estructura de la investigación:

La estructura de la presente investigación tiene una correspondencia directa con la metodología de investigación establecida y concretamente, con el desarrollo particular de cada una de las etapas de la investigación. Esta se compone de una introducción general, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

Capítulo I

Capítulo I. “Bases teórico conceptuales y estado del arte sobre la modelación estructural de un sistema modular de andamios de bambú”.

Los intentos por ampliar y diversificar las soluciones en los sistemas de estructuras provisionales que sirven para sustentar los procesos constructivos han sido motivo de estímulo a la creatividad de los profesionales de la construcción según las necesidades y la disponibilidad de recursos en cada contexto lo que unido a la competencia que se demuestra al obtener soluciones técnicas seguras permitirá la garantía de la calidad de la propuesta.

La historia que se escribe con los descubrimientos, sean azarosos o inducidos, permite que se puedan reconocer entre los materiales empleados para conformar soluciones técnicas temporales aquellos comúnmente utilizados y otros de nueva introducción los que conformarán el arsenal de recursos disponibles para lograr eficiencia en el proceso constructivo.

Desde la más remota antigüedad el hombre ha hecho uso de los andamios para llevar adelante obras constructivas de diversa índole, esto ha facilitado el trabajo y más allá de ello ha comprometido a los profesionales de la construcción a encontrar soluciones probadamente seguras sin desdeñar todo aporte que provienen de la sabiduría popular.

A pesar del advenimiento de modernas y complejas estructuras para dar soporte a las construcciones se dispone de diversas soluciones en los sistemas de andamios como el de bambú.

Los andamios de bambú y la seguridad de los mismos, concebidos a partir de las necesidades de una ingeniería civil dispuesta al uso de diversos materiales ha resultado un tema de tanta importancia que ha acaparado el interés de estos especialistas de la construcción.

Considerando que la ingeniería civil debe asumir un carácter ecológico en las soluciones que propone, y además garantizar la seguridad para los usuarios es de esperar que una profesión comprometida con su entorno encuentre en el empleo del bambú un material natural que ofrezca soluciones alternativas y confiables para la conformación de andamios que resulten económicos, eficaces, efectivos y seguros.

1.1 Andamios, características generales

Los andamios son estructuras temporales, con uniones entre elementos que permiten el montaje y desmontaje de los mismos, que contribuyen a la realización de edificios, viviendas y puentes ya que se hacen para permitir el acceso de los obreros a la construcción, y existen diferentes tipologías de acuerdo a los materiales a emplear.

Según el diccionario de la Real Lengua Española (1) (Larousse), los andamios son armazones provisionales de tablonos o vigas metálicas, levantados delante de una fachada para facilitar la construcción, la reparación de muros, paredes y otros.

Otros autores definen como andamio una estructura provisional que sustenta plataformas de trabajo para operarios, materiales y herramientas en varios niveles, que se emplea en faenas de construcción, transformaciones, reparación, mantención o demolición de edificios, obras civiles e instalaciones industriales. (2)

Los andamios pueden tener diversas formas y tamaños, dependiendo de la complejidad suelen tener un plan de montaje. Sin ellos serían engorrosos los trabajos en las obras constructivas, ya que los mismos facilitan el trabajo y le restan complejidad.

Clasificación de andamios existentes:

Una de las clasificaciones a la que haremos referencia es la propuesta en la norma chilena (NCh 997.Of1999; NCh998. Of1999, NCh2501/1.Of2000 y NCh2501/2.Of2000) basada en función del material predominante, la forma de apoyo, el uso y sistema.

Según material predominante se clasifican en:

- Andamios de madera
- Andamios de metal
- Andamios mixtos

Según su forma de apoyo:

- Andamio de apoyo simple
- Andamio anclado
- Andamio en volado
- Andamio colgante
- Andamio de plataforma auto-elevadora

Según su uso:

- Andamio de fachada
- Andamio estructural
- Andamio para circulación
- Andamio para actos públicos
- Andamios de interior

Según el sistema:

- Andamio de doble pie derecho
- Andamio metálico tubular
- Andamio metálico modular
- Andamio colgante
- Andamio de plataforma auto-elevadora

A continuación se describen características generales de algunos de los andamios más utilizados en las obras constructivas en la actualidad, independientemente de la clasificación anteriormente citada. (3)

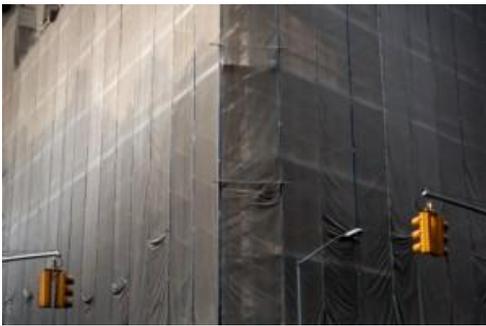
Andamios plegables

Los andamios plegables (ver figura 1.1) surgieron como una forma fácil de ahorrar espacio a personas que necesitan de un andamio constantemente, pero que carecen del suficiente espacio para almacenarlo adecuadamente en su taller o empresa.



Fig. 1.1: Andamios plegables

Andamios metálicos



acero galvanizado o andamios de aluminio.

Fig. 1.2: Andamios metálicos

Andamios en fachadas

Los andamios en fachadas son generalmente instalados para hacer algún tipo de obra (normalmente de rehabilitación o reformas) sobre la estructura externa de los edificios.

En la figura 1.3 se muestra este tipo de andamio.



Fig. 1.3: Andamios en fachadas

Andamios de interiores

Los andamios pequeños como el mostrado en la figura 1.4 son ideales para aquellos espacios donde no puede montarse un andamio convencional por una serie de razones determinadas. Los andamios de interiores, por ser pequeños, son muy utilizados sobre todo por pintores que necesitan realizar los trabajos en espacios de reducidas dimensiones como por ejemplo una habitación de una vivienda.



Fig. 1.4: Andamios de interiores

Andamios motorizados (o de auto elevación)

Los andamios motorizados o de auto-elevación (ver figura 1.5), son una solución para darle mayor facilidad a los operarios sobre trabajos en fachadas a gran altura. La motorización de los andamiajes es un proceso costoso pero que garantiza que los trabajos se pueden realizar en un 70% menos de tiempo, y el tiempo en muchos trabajos de construcción representa una relación directa con costos.



Fig. 1.5: Andamios motorizados

Los andamios motorizados tienen su origen en los Estados Unidos, donde se comenzaron a utilizar para poder acceder con mayor rapidez sobre las fachadas de los rascacielos, edificios que superan los 100 metros de altura y que con un andamio tradicional se triplicaría el tiempo en realizar las tareas.

Andamios modulares

Los sistemas de andamios se pueden dividir en tres tipos principales: los andamios tubulares, los andamios móviles y los andamios modulares. Los



andamios tubulares y los andamios móviles son ampliamente utilizados en el sector industrial y se adaptan fácilmente para hacer frente a espacios cerrados donde hay muchos obstáculos, como tuberías, escaleras, marcos de acero estructural, entre otros, estos requieren una considerable experiencia de montaje y son casi siempre erigidos por experimentados montadores de andamios.

Con el uso más reciente de los andamios modulares, la posibilidad de disponer de barras y sistemas de sujeción resulta de gran importancia para el proceso constructivo, pues son fáciles de montar y desmontar, ganando en tiempo y seguridad durante su empleo.

Andamios de bambú:

Los andamios de bambú son muy utilizados en Asia, China y otras partes del mundo, debido a la facilidad de manejarlos, estos se dejan levantar y desmontar rápidamente. No se requiere de maquinaria, herramientas eléctricas ni de aparatos de amarre. Lo cual favorece en las diferentes construcciones que se realizan. (4)



Fig. 1.6: Andamios de bambú

Luego de consultar la bibliografía actualizada sobre la temática, este autor considera necesario profundizar en el estudio del bambú, la descripción de las características, los principales usos generales en la actualidad y la vinculación específica en procesos constructivos dependiendo de las especies más adecuadas para este fin, ya que resultará una alternativa aprovechable para su uso en andamios en Cuba.

1.2 El bambú como material ecológico y como recurso constructivo, características, usos para la construcción de andamios

El bambú es uno de los materiales más usados desde la más remota antigüedad por el hombre para aumentar su comodidad y bienestar. En el mundo de plástico y acero de hoy, el bambú continúa aportando su centenaria contribución y aun crece en importancia.

El bambú es denominado “el acero del siglo XXI” ya que sin duda alguna, sus características lo hace un material de enorme futuro por su ligereza, flexibilidad y bajo costo, es tan resistente y flexible que también se le ha denominado “acero vegetal”.

Esta planta tiene un tallo conocido como “culmo o caña de bambú” que en algunos casos puede llegar a crecer hasta un diámetro de 30 centímetros y unos 40 metros de altura. Crece en casi todos los continentes menos en Europa.

En algunas culturas antiguas de América Latina usaban las especies nativas de bambú (entre otros usos), como urnas funerarias (Ecuador y Colombia). El mercado del bambú movió en el año 2003 un comercio mundial de más de 15.000 millones de dólares, y generó empleo a más de 40.000.000 de personas en todo el mundo.

A esta planta se le han atribuido más de 1500 usos y utilidades a lo que se adiciona ser un recurso renovable y sostenible.

El bambú es la planta que más rápido crece en todo el mundo. Por lo general crece en una época del año que dura de tres a cuatro meses, pero en ese tiempo lo hacen tan rápido que en un día una sola caña puede alcanzar el metro de altura, con adecuadas condiciones. Un bambú típico está listo para ser utilizado en su diversidad de aplicaciones en sólo tres años, cuando alcanza su dureza máxima.

Las varas de algunas variedades de bambú crecen a un ritmo de 1 metro por día cuando se originan de una planta madura y algunas variedades pueden alcanzar su altura total hasta en menos de 3 meses. Las varas de bambú primero "crecen" hasta el tamaño de la variedad, y luego "maduran", adquiriendo sus características de dureza, flexibilidad y resistencia que las han hecho famosas en el mundo entero. (Bravo, Y, 2009)



Fig. 1.7: Siembra de bambú en Bayamo, Cuba. PM.

2010

Según (Bravo, Y. 2009), existen motivos medioambientales para estimular las plantaciones de bambú pues aporta más oxígeno y fija más CO₂ que ninguna otra planta del mundo, debido a la rapidez con que crece.

Existe gran cantidad de especies y variedades de bambú con las cuales se construyen muebles, pisos, panelerías, vigas y columnas, estructuras para refuerzo del hormigón, viviendas, puentes, accesorios, postes para cercos, techos y andamios, por lo que se convierte en un material de gran valor debido a su empleo en disímiles actividades, siendo de gran uso para el hombre.

El bambú es un miembro de la familia de las gramíneas, con más de 90 géneros y más de 1200 especies. Aunque existen variedades que tienen hasta 40 metros de altura, el bambú es una especie de "pasto gigante" cuya altura promedio excede los 20 metros.

Las especies del género *Guadua*, ver figura 1.8, son conocidas con diferentes nombres comunes. En Colombia se las conoce como caña brava, caña mansa, garipa, *guadua*; en Ecuador recibe el nombre de caña brava; en Perú la llaman *guadua*, *ipa*, *marona*; en Venezuela *juajua*, *puru puru*; en Costa Rica *guadua*; en Cuba bambú o caña brava, y en otros países de América Central tarro y otate.



Fig. 1.8: Culmos de *Guadua* tomado de www.inbar.itn/LA_Office/Guadua.htm (5)



Fig. 1.9: Diferentes diámetros del bambú tomado de www.inbar.itn/LA_Office/Guadua.htm (5)

Bambú en Cuba:

El bambú también ha comenzado a mostrar en Cuba las bondades que lo hacen tan imprescindible en otras regiones del mundo. En Cuba se encuentran siete géneros de la subfamilia más primitiva, Bambusoideae, tres de ellos endémicos.

La confección de muebles, artesanías, andamios, y hasta una primera casa de bambú son las partes más visibles del proyecto de desarrollo local que existe en Cuba, en él participan siete provincias y como principal beneficiario esta el sector campesino. Este proyecto, encaminado al cultivo de esta valiosa planta la cual está jugando un rol importante para la economía del país, tiene entre sus ventajas la creación de una fuente racional de obtención de madera, la creación de empleos, la protección de los suelos y el hábitat para un importante número de especies naturales.

Conocido como "la gramínea maravillosa", el bambú crece en zonas templadas de Asia y América se cultiva en Cuba y se distingue por su resistencia estructural, liviandad y hábitat perenne.

Una vez que se siembra el bambú estará ahí toda la vida, protege los suelos y las cuencas hidrográficas. (Acosta, D 2005).

Evelio Torres, agricultor de la región holguinera refiere "sembré matica por matica" un verdadero bosque de bambú que crece en el Valle de Mayabe, en las afueras de la ciudad de Holguín. Las tierras erosionadas y casi sin vida "han vuelto las aves y los reptiles", refiere Torres. (Acosta, D 2005)



Fig. 1.10: Corte del bambú Holguín, Cuba.

En Cuba, en las últimas décadas del triunfo de la revolución la disponibilidad de andamios ha estado afectada por la situación económica difícil dada la crisis económica y el déficit de los recursos maderables para la conformación de estos elementos.

Las insuficientes soluciones y la carencia de materiales para el desarrollo y elaboración de andamios necesarios para el proceso constructivo de las obras en Cuba es una realidad que puede ser sobrepasada ante la posibilidad de poder disponer del recurso natural en el bambú, hacen de esta opción un reto para la ingeniería civil.

1.3 Andamios de bambú, antecedentes y utilidad de los mismos

Se estima que el primer andamio de bambú en China fue construido hace unos 5000 años mientras la estructura básica y los métodos de levantamiento tienen una historia de alrededor de 2000 años. Hoy en día, pese a competencia abierta con andamios metálicos, los andamios de bambú siguen competitivos y eficientes en la construcción de edificios en Hong Kong y áreas vecinas. Debido a su alta adaptabilidad y bajos costos de construcción los andamios de bambú se dejan construir en poco tiempo, en cualquier forma y siguiendo los rasgos irregulares arquitectónicos de un edificio. Los andamios de bambú muestran una relación muy favorable entre su costo y rendimiento y se dejan fácilmente manejar, ajustar y cortar en pedazos. Adicionalmente tienen mayor resistencia contra ciclones, un factor importante en muchas áreas.

El bambú es suficientemente ligero para ser manipulado o manejado por una sola persona. Debido a la facilidad de manejarlo, los andamios de bambú se dejan levantar y desmontar rápidamente. No se requiere maquinaria, herramientas eléctricas ni aparatos

de amarre, solo manos, herramientas manuales sencillas y nailon o alambre para amarrar. Actualmente la altura típica de un andamio de bambú en Hong Kong es de 15 metros. La instalación de soportes de acero a intervalos regulares permite que las partes más altas de un edificio estén dentro del alcance del andamio. (Stamm, J, 2008) Aparte de su amplia aplicación en construcciones, los andamios de bambú también se utilizan para poner afiches y para decoración, demolición y obras públicas. Es un hecho comprobado que los andamios de bambú son altamente competitivos con andamios metálicos en todos los aspectos, incluyendo trabajo, costo, reciclaje y seguridad. La práctica de andamios con bambú perdura en muchos países asiáticos, e incluso, es común observar sus estructuras en ciudades tan desarrolladas urbanísticamente como Hong Kong. Gigantescos andamios se pueden ver no sólo en pequeñas construcciones, sino además, en torres de más de 40 pisos en construcción, estructuras que parecen estar a punto de caer, pero que en la práctica son eficientes y sólidos.

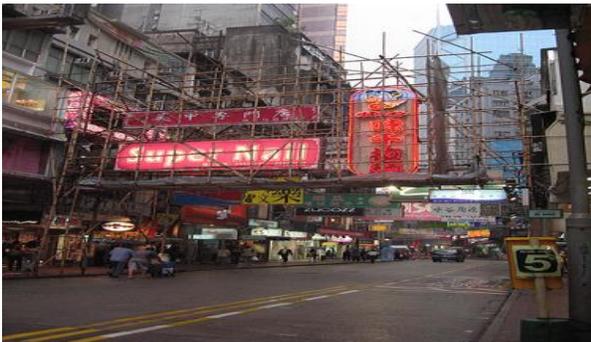


Fig. 1.11: Fotos de diferentes andamios de Bambú.

En China las obras de rehabilitación de viviendas de toda la ciudad, de una altura máxima de aproximadamente seis plantas, se realizan con andamios de bambú, este material se transporta de cualquier manera unos sobre otros generalmente en carretillas, se apilan sin ningún orden en la acera o donde más cercanos queden a la fachada sobre la que se va a trabajar. Pueden llegar a subirse hasta seis alturas, y la forma de apoyarlos en el terreno, el empotramiento que en otros andamios se realiza con anclajes o similar, el andamio de bambú se apoya directamente sobre la superficie que sea, sin ningún tipo de encuentro, utilizándolo en todas partes sin ningún temor a contratiempos o accidentes.

1.4 Estudios precedentes de andamios de bambú en Cuba

En Cuba, desde hace varios años la situación económica se ha encontrado afectada, lo cual ha tenido repercusión en el sector de la construcción, específicamente en las construcciones de viviendas, y arreglos de las mismas.

En diferentes lugares de Cuba como en Santiago de Cuba se ha empleado el bambú como material de construcción, en encofrados, apuntalamientos, y en andamios.

Los encofrados, así como la utilización de andamios se han visto afectados por las dificultades económicas con un alto déficit de los recursos maderables para la conformación de estos elementos. Las insuficientes soluciones y la carencia de materiales para el desarrollo y elaboración de andamios, encofrados, y puntales que se afrontan en el proceso constructivo de las obras en Cuba, se han manifestado con mayor protagonismo en las viviendas construidas por medios propios, que responden a deprimentes soluciones de puntales y encofrados, que carecen de un diseño racional sobre bases y datos técnicos, con el uso de materiales y recursos en mal estado, y de forma inadecuada que ha provocado problemas técnicos-constructivos. (Gijón, R, 2009)

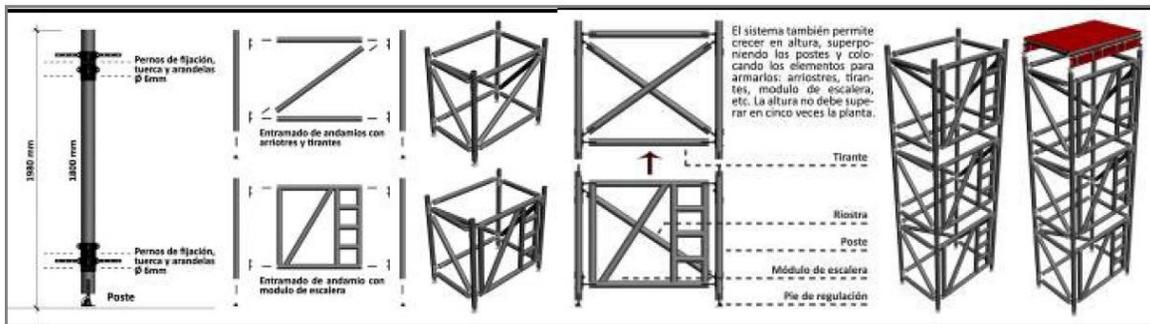


Fig.1. 12: Puntales de bambú para encofrado de una vivienda en la ciudad de Santiago de Cuba, foto de: Juan Manuel Pascual Menéndez.

En la provincia Santiago de Cuba se llevó a cabo un estudio el cual fue encaminado a plantear el diseño de un sistema modular de encofrado, apuntalamiento y elementos auxiliares de andamios con el empleo del bambú como solución alternativa y sustentable, dirigido a erradicar la escasez de recursos maderables y poner en práctica un sistema, que respondiera a las necesidades de las construcciones en Cuba, y en especial de las viviendas construidas por medios propios, para así solucionar problemas técnicos y económicos del proceso constructivo de las mismas, con un aporte práctico, novedoso y actual, que pone a consideración el uso de nuevas tecnologías y materiales. A partir de estos elementos se llegó a evaluar y determinar las posibles soluciones o variantes más factibles para el diseño de encofrados y apuntalamientos con el uso del bambú. (Gijón, R, 2008)

Con la realización de este estudio se pudo conocer, la caracterización de los distintos elementos y accesorios del sistema modular de encofrado, los mismos permiten tener una visión sobre las propiedades y especificidades de estos, expresado a través de esquemas y gráficos, mediante los cuales se puede interpretar fácilmente su forma de montaje, desmontaje, colocación en obra, forma de trabajo, así como los distintos usos que puede tener cada uno de ellos. El diseño de puntales, paneles y andamios con el empleo del bambú, y 10 accesorios de metal constituyen los principales elementos de un sistema de encofrado diseñado con el objetivo de efectuar diferentes combinaciones que permiten dar respuesta a los casos más usuales que se presentan en las

construcciones de viviendas por esfuerzo propio, y edificios sociales de pequeña envergadura. El sistema diseñado permite también lograr tantas combinaciones como exijan las obras, dependiendo de las características específicas de cada una de ellas. Partiendo de una retícula modulada en 300mm, se podrán encofrar elementos estructurales de parámetros verticales, horizontales e inclinados. La conjunción de los distintos elementos hace posible que se logren entramados de encofrados, mucho más estables con mayor aprovechamiento de los materiales renovables a partir de acoplamientos sencillos, mínimas herramientas, gran velocidad y fácil montaje, proporcionando los elementos necesarios para que puedan ser llevados a cabo por una sola persona con los conocimientos mínimos necesarios. El análisis económico comparativo ha permitido conocer que, el sistema propuesto a pesar de tener un costo inicial bastante elevado con respecto a los encofrados con madera aserrada de pino es más rentable, ya que la diferencia en número de usos de este, hace que su costo sea hasta un cincuenta por ciento menor que el de los encofrados tradicionales que se emplean en la construcción de viviendas por esfuerzo propio en Cuba. (Gijón,R , 2009)



El sistema modular de encofrado, apuntalamiento y elementos auxiliares de andamios diseñado, consiste en un conjunto de piezas modulares (de pequeñas dimensiones), elaboradas con cañas de bambú (“Bambusa Vulgaris” de 100mm de diámetro), tableros y perfiles I de madera contrachapada del mismo material, que son arriostrados y ensamblados con distintos accesorios metálicos, que conforman además las piezas de unión en el proceso de montaje a pie de obra. Las principales virtudes del sistema radican en la estudiada simplicidad de su uso, que parte de elementos sencillos y con muy pocos accesorios. La ligereza de los paneles facilita cada uno de los pasos de armado y desencofre, ya que un solo hombre puede sostener un panel, lo cual deriva

en que el operario requiera un mínimo de entrenamiento, así como la ausencia total del uso de grúas y herramientas costosas. Su resistencia y versatilidad hacen de él un sistema capaz de solucionar con sus elementos modulares la mayoría de las situaciones que se presentan en edificaciones de viviendas por esfuerzo propio y obras sociales, evitando limitaciones de diseño y creatividad formal. Es un sistema de encofrado que se puede emplear en elementos verticales y horizontales, cuya combinación permite lograr elementos estructurales tales como: vigas, columnas, muros y losas de múltiples y variadas dimensiones. El diseño del mismo requiere distintos componentes como: paneles de encofrado, puntales de tracción-compresión que también son empleados como rigidizadores y escuadras en elementos verticales, perfiles I de madera contrachapada para las viguetas en encofrados de losas y vigas; así como toda una gama de accesorios metálicos para el ensamble, arriostre, uniones, etc. de los propios elementos. (Gijón,R, 2009)

Todas las consideraciones antes mencionadas, son válidas y constituyen un precedente importante para futuras investigaciones en este sector, este autor cree necesario específicamente para la realización de un diseño o revisión de un sistema de andamios de bambú conectados entre sí, por uniones metálicas, que permitan el fácil montaje y desmontaje del mismo, así como la comprobación de la estabilidad de los mismos, mencionando que esto constituye un logro trascendental, ganando en disminución de tiempo de trabajo (al montar y desmontar los mismos), y constituye un avance económico de envergadura para el país en la construcción.

Conclusiones Parciales del Capítulo:

1. A partir de la revisión bibliográfica este autor concluye que se necesita realizar la modelación estructural del sistema de andamios propuesto por la Universidad de Oriente para ver si es posible la construcción del mismo a partir del análisis de estabilidad.
2. Se utilizará la *Bambusa Vulgaris* como especie de bambú naturalizada en Cuba y se realizará todo el análisis y la modelación del sistema a partir de las propiedades de esta especie.
3. El andamio propuesto de acuerdo a las clasificaciones anteriores según el material es mixto, por estar compuesto por bambú y metal, según su uso es de fachada y además cumple las características de ser modular.

Capítulo II

- **Capítulo II:** Fundamentos Metodológicos:

2.1 Introducción del Capítulo

Desde el punto de vista de la Seguridad en Construcción, la validación del andamio de bambú le permite ser implementado vigilando aquellos elementos que puedan afectar la seguridad de este equipo auxiliar.

Los andamios de bambú, deberán proyectarse, montarse y mantenerse convenientemente de manera que se evite que se desplomen o se desplacen accidentalmente. A tal efecto, sus medidas se ajustarán al número de trabajadores que vayan a utilizarlos.

Las dimensiones, la forma y la disposición de las plataformas de un andamio deberán ser apropiadas para el tipo de trabajo que se va a realizar, ser adecuadas a las cargas que hayan de soportar y permitir que se trabaje y circule en ellas con seguridad.

Deben ser construidos con elementos sanos y ejecutados por personas idóneas; ser resistentes y seguros contra desplazamientos laterales, teniendo siempre presente las fuerzas que actúen sobre este.

En el presente capítulo se va a realizar la modelación de un sistema de andamios modular de bambú, aplicando técnicas de modelación numérica.

El programa utilizado es el Staad Pro en su versión 2006 el cual permite cumplir con los objetivos propuestos a desarrollar en el trabajo Investigativo.

Para los trabajos de modelación se realiza un plan metodológico a seguir el cual se muestra a continuación.

2.2 La modelación virtual del problema real

Para resolver la mayoría de los problemas reales se hace necesario llevar a cabo la modelación numérica, debido a lo compleja que resultan en ocasiones las soluciones y a la inexistencia de herramientas matemáticas y físicas de solución que permitan enfrentar estos problemas.

Se establecen diferentes esquemas para explicar el proceso de modelación, pero en todos se estudia el problema real a partir de subdividirlo en diferentes modelos, ver figura 2.1. Un adecuado análisis en este sentido se plantea en (Bonilla, 2008), describiéndose a continuación el proceso para cada caso de estudio:

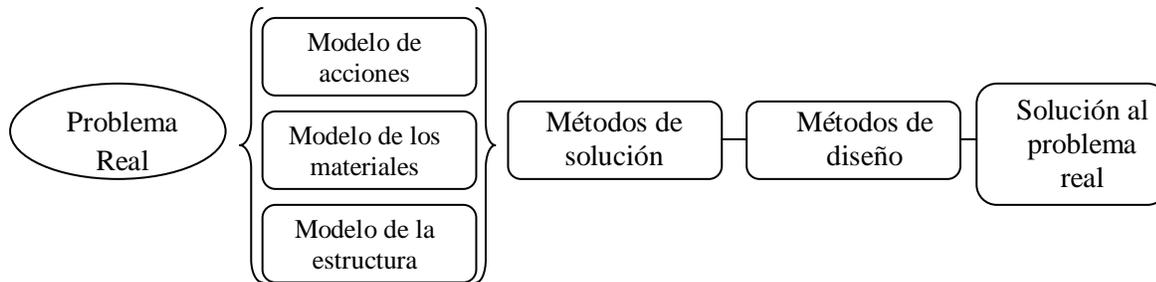


Fig. 2.1: Esquema del proceso de modelación en la ingeniería

2.1.1 Modelo de la geometría del problema

En todos los casos de estudio se adopta la modelación tridimensional (3D), con sección de tipo sólido de extrusión deformable y homogéneo, respetando la geometría y dimensiones generales o particulares del elemento real a modelar.

2.1.2 Modelo de las cargas

La carga real es simulada en los modelos para la tracción y la compresión como acción uniforme y distribuida, en dirección coincidente con el grado de libertad no restringido por las condiciones de borde, en la sección transversal del elemento en dos puntos intermedios definidos de su longitud según se aplica para ensayos con cuatro puntos de apoyo.

2.1.3 Modelo del material

El material, a partir de los resultados obtenidos en la revisión bibliográfica (Catasús, 2007), a compresión en el momento del corte 28.2MPa y a Tracción 84.3 MPa luego de ponerlas a secar al aire alcanzan una resistencia de 31.6 MPa a compresión y 116.6 MPa a tracción. Para la comparación de los resultados vamos a tomar la menor resistencia del material la cual es después del corte.

2.3 Geometría de los elementos:

A continuación se presentan las dimensiones de todos los elementos que formaran parte del sistema modular de andamios propuesto y que se evaluara su seguridad en este trabajo. El sistema de andamios modular de bambú tiene una altura por nivel armado de 1,8m llegando a alcanzar una altura máxima de 5,4m.

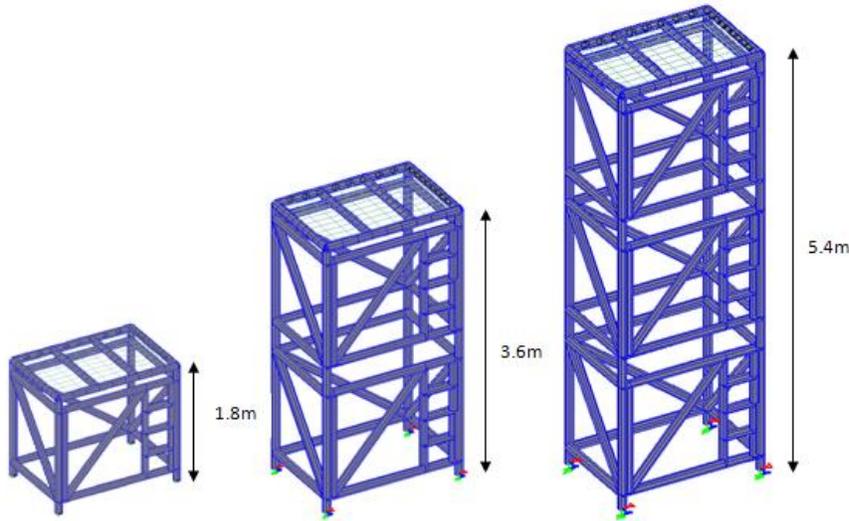


Fig.2.1 “Vistas de los andamios en sus tres niveles”.

Visto en la planta sus dimensiones son de 1.8m x1.2m.

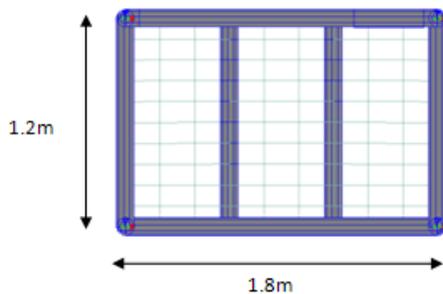


Fig.2.2 “Vista en Planta”.

Está constituido por elementos de Bambú especie *Bambusa Vulgaris* la cual se considera que tenga 100mm de diámetro y 20mm de espesor de sección tubular a lo largo del elemento.

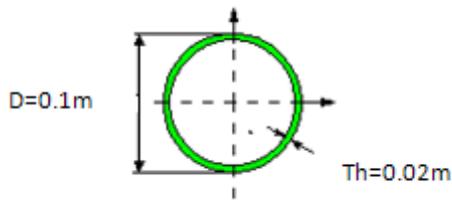


Fig.2.3 “Sección de bambú”.

Este andamio modular de bambú fue previamente diseñado arquitectónicamente por elementos de distintas dimensiones de longitud los cuales ensamblan mediante uniones metálicas que permiten el fácil montaje y desmontaje del sistema.

Dimensiones de los elementos que componen el Sistema de andamios modular teniendo en cuenta las uniones.

- Postes de 1.8m de altura.
- Arriostres de 1,84 m y 2.28m

Tirantes de 1.2m y 1,8m

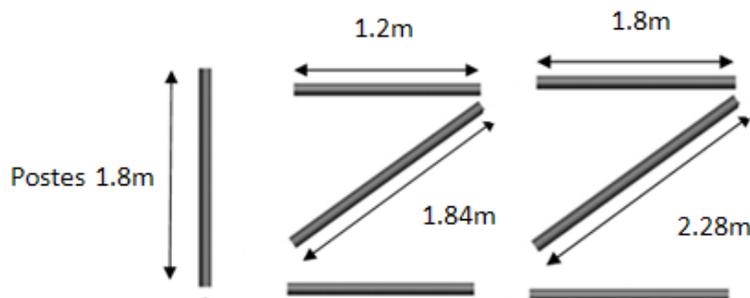


Fig.2.4 “Tirantes y Arriostres”

- El módulo de escalera de 1,4m x1,8m.

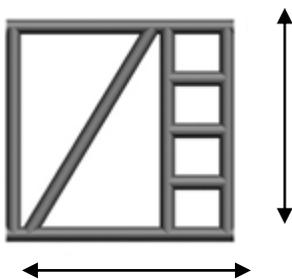


Fig.2.5 “Modulo de Escalera”.

2.4 Bambusa vulgaris como material:

Para poder realizar la modelación de este sistema de andamios de Bambú es necesario conocer todas las características y propiedades de la *Bambusa vulgaris* o más conocido por caña brava. Se decidió trabajar específicamente con esta especie, debido a que la misma la podemos encontrar con facilidad en nuestro país, y cuenta con una extrema resistencia a compresión, lo cual facilita el trabajo en el territorio.

La Bambusa Vulgaris que se da en Cuba tiene una altura promedio que oscila entre 13-16 metros, con un diámetro entre 8-12 cm y un grosor entre 8-12 mm. (Gijón,R, 2009)

Las características de esta especie, hacen de la misma un material factible y económico para la construcción de andamios, ya que su estructura física cuenta con característica que le proporciona alta, y resistencia con relación a su peso. Las cañas son redondas o casi redondas en su sección transversal, ordinariamente huecas, y con tabiques transversales rígidos, estratégicamente colocados para evitar la ruptura al curvarse. En esta posición pueden actuar más eficientemente, proporcionándole resistencia mecánica.

La Bambusa Vulgaris posee medidas y formas que la hacen manuable, y almacenable, de forma conveniente y económica, la textura de las cañas hace fácil la división a mano en piezas cortas (aserrándolas o cortándolas), o en tiras angostas, por lo no se necesitan máquinas costosas, sino sólo herramientas simples, los bambúes tienen poco desperdicio y ninguna corteza que eliminar; los mismos son fáciles de cortar, de transportar, trabajar, por ser elementos muy livianos. La acumulación de fibras de alta resistencia en la zona externa hace que sea efectivo a las fuerzas de tracción, flexión y cortante, teniendo gran elasticidad; debido a sus características mecánicas y técnicas, es mucho mejor que la madera empleada en la construcción. (Gijón,R, 2009)

2.5 Estados de cargas:

El andamio va a estar sometido a diversas cargas como son el peso de sí mismo y las distintas cargas que pueden darse de acuerdo a las situaciones o sea (Cargas de uso). La suma de estas dos generan las combinaciones y valorar cual es la más crítica es el trabajo que se va a realizar para así poder evaluar el comportamiento de la estructura.

Descripción de las cargas actuantes de uso:

2.5.1 Las de cargas de área o superficie que se van aplicar en la modelación corresponden a (el peso de una carretilla un elemento que se va a montar o una herramienta de trabajo entre otras depende de la etapa contractiva) estas cargas los valores de estas cargas

2.5.2 Las cargas concentradas van a ser los trabajadores ya sea operarios o pintores situados en distintas posiciones del andamio.

2.5.3 Magnitudes de las cargas

Hoy en día los muchos de los andamios que se producen están definidos por las cargas a las cuales va a enfrentarse en su vida útil. Para poder definir la magnitud de la carga de este andamio modular de bambú fue necesario explorar en los manuales de los grandes fabricantes de andamios y en este caso se tomó un valor de 2,5KN/m de carga superficial correspondiente a un andamio de fachada.

Los trabajadores van a generar una carga concentrada y para determinarla se tuvo en cuenta el peso promedio de una persona el cual oscila entre 60 y 80 kg y si también a esto le adicionamos el peso de un cubo de mezcla una mochila u otra herramienta pesada etc. Todo esto aproximadamente es igual a 100kg que cuando se aplica la conversión a KN = 1KN.

Los trabajadores cuando van bajando o subiendo por las escaleras provocan un momento que tiende a desestabilizar el andamio este momento está definido por el peso de sí mismo y la distancia de su brazo

2.6 Modelación en el programa Staad Pro 2006:

La modelación se realizó del andamio en el programa Staad Pro en su versión del 2006.

Uno de los requisitos más importantes es que la modelación que se va a realizar se lo más parecido a la estructura real para así poder analizar bien su comportamiento. Por lo que a continuación expongo consideraciones que se tuvieron en cuenta en dicha modelación.

En el andamio no vamos a tener en cuenta las uniones metálicas o sea nos vamos a centrar en evaluar el comportamiento de la *Bambusa Vulgaris* como único material que compondría el andamio.

En el programa:

- Se trabajaron las unidades en el sistema internacional de medidas (KN y m) para así para así facilitar los resultados y la entrada de datos.
- La modelación de la estructura se realizó en el espacio.
- Las barras de bambú se van a considerar como si fuera un material heterogéneo sin tener en cuenta que la resistencia pueda variar a lo largo de la barra.
- Las elementos unidores se van considerar que trabajan como articulaciones.
- Las Propiedades que se entraron del material fueron los correspondientes a la *Bambusa Vulgaris*.
- Debajo de la plataforma de trabajo la cual se modeló como plate, se colocó un bastidor Fig. que apoya en los extremos de los postes con barras espaciadas cada 60 cm.

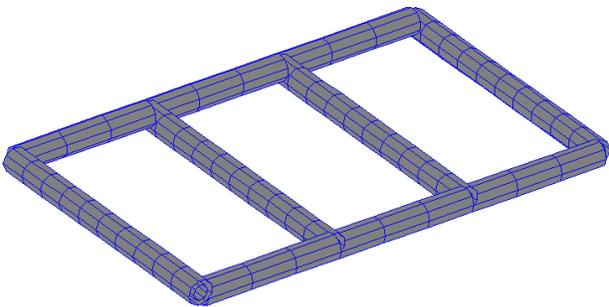


Fig.2.6 Bastidor

- Para la discretización la superficie se dividió en 10 por el eje X y 10 por el Z Global

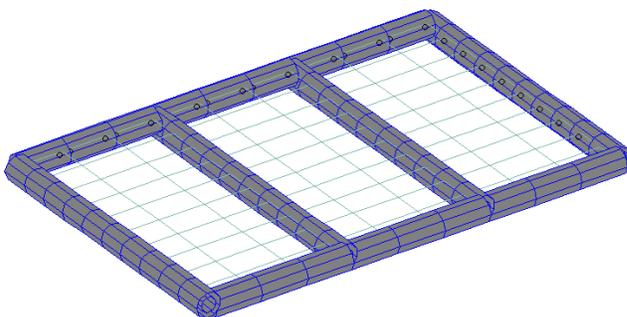


Fig.2.7 “Discretización del Plate”

- Se articuló cada apoyo de el Plate a los nodos correspondientes

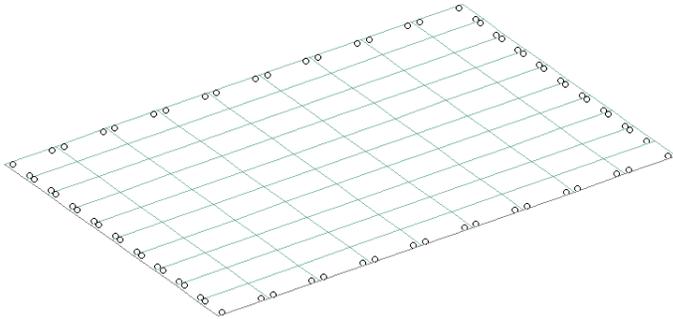


Fig.2.8 “Articulaciones en el Plate”.

- Se articularon todos los elementos a los postes los cuales son continuos Fig.

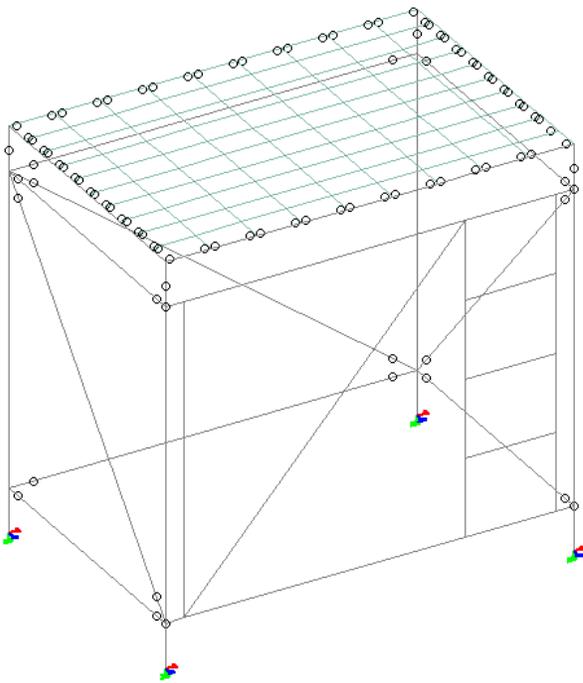


Fig.2.9 “Articulaciones en toda la estructura”.

- Los soportes de la estructura del andamio son articulados, para la modelación se les dio una pequeña restricción al MY de 0.01KN-m/deg porque si no El programa presentaba a la hora de correrlo 4 warning debido a estabilidad.
- Luego se realizó la modelación para un segundo y un tercer nivel estando ya lista la estructura para proceder a introducir cargas.

2.7 Modelación de las Cargas:

La modelación se realizó con los valores normativos. Se analizaron las situaciones y combinaciones de cargas a las cuales puede estar sometido dicho andamio a lo largo de su vida útil.

A la hora de la modelación no se tuvieron en cuenta las cargas horizontales como son: las de vientos extremos y no extremos, sismos y accidentales.

A continuación las cargas y combinaciones que muestran se modelaron para el andamio en sus tres niveles.

2.7.1 Cargas que generan esfuerzos Axiales:

1. Carga en toda la plataforma de trabajo de $2,5\text{KN/m}^2$, producto de las recomendaciones de la norma de andamios utilizada.

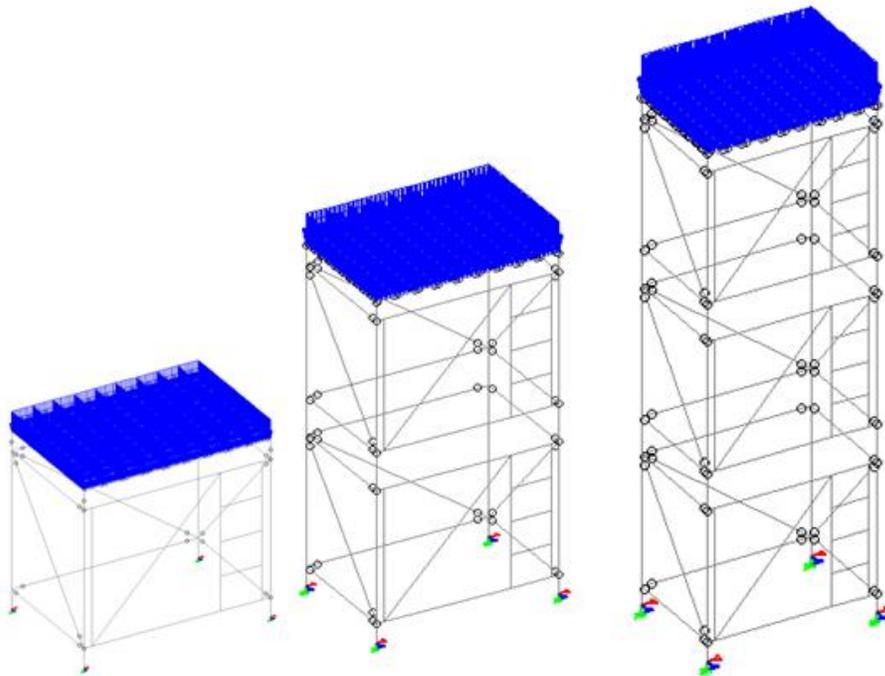


Fig.2.10 "Staad Cargas"

2. Carga distribuida=2,5KN/m.

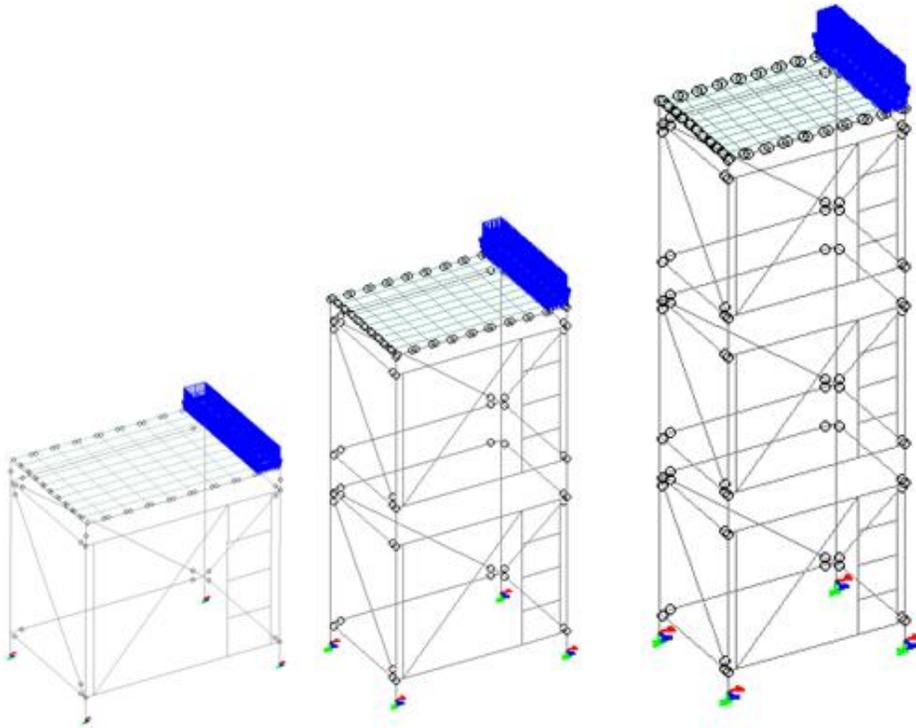


Fig. 2.11 "Cargas".

3. Carga distribuida=2,5KN/m.

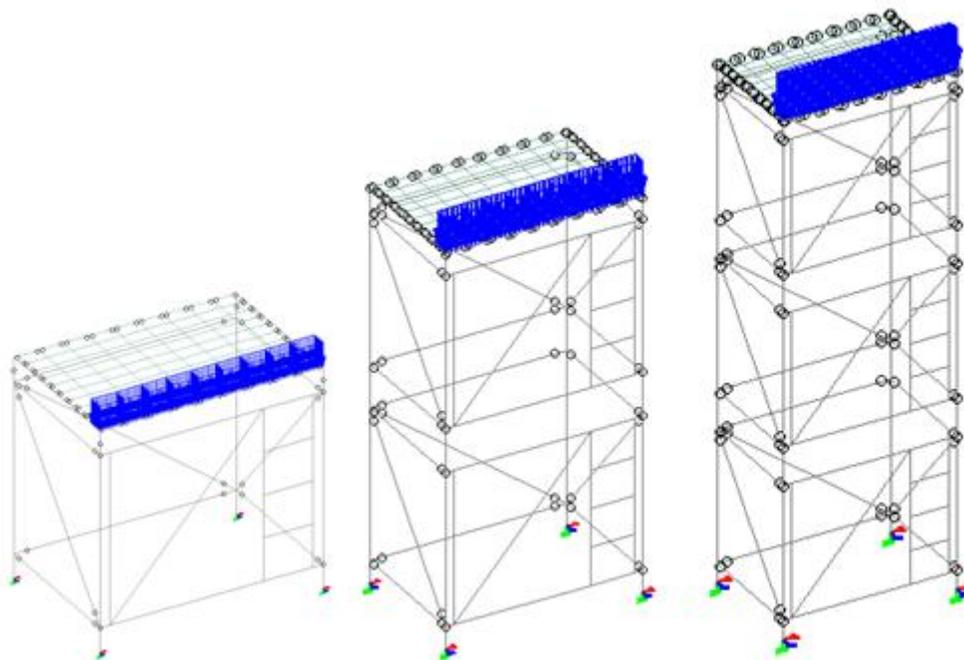


Fig.2.12 "Cargas".

En el nivel 1:

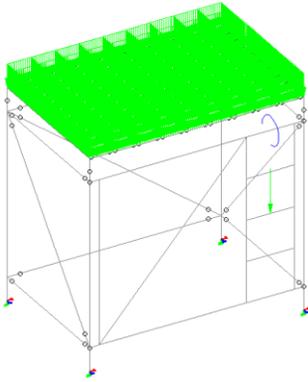


Fig.2.13 “Combinaciones”.

En el nivel 2:

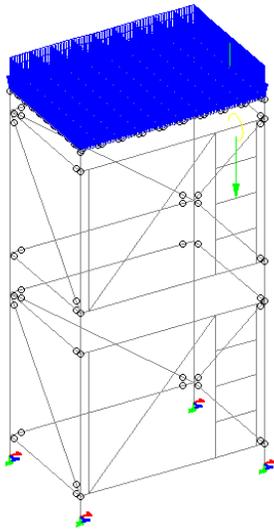


Fig.2.14 “Staad Combinaciones”.

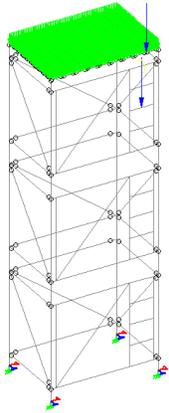
En el nivel 3:

Fig.2.15 “Combinaciones”.

2.7.2 Cargas que generan Vuelco:

Las cargas que pueden generar el vuelco en este andamio son las de los hombres bajando por la escalera más el momento producido por su peso por la excentricidad.

No se tuvo en cuenta las Cargas Horizontales como son las de (Viento Extremo o No extremo, Sismos y otras).

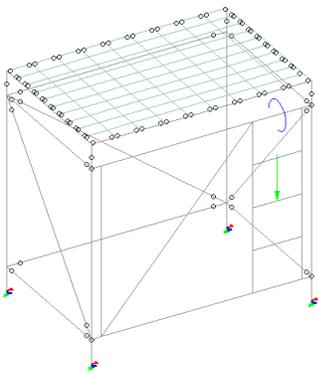
En el nivel 1:

Fig.2.16 “Cargas que provocan momentos desestabilizantes”.

En el nivel 2:

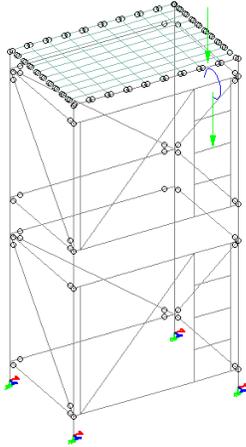


Fig.2.17 “Cargas que provocan momentos desestabilizantes”.

En el nivel 3: Dos Hombres bajando.

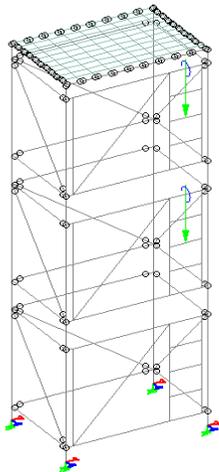


Fig.2.18 “Cargas que provocan momentos desestabilizantes”.

2.8 Conclusiones del Capítulo 2:

1. Para el análisis de los resultados es necesario hacer las combinaciones de cargas que generen más esfuerzos en todos los elementos.

Capítulo III

- **Capítulo III**: Análisis de los Resultados.

Introducción del Capítulo

El análisis de los resultados va a estar referido al capítulo anterior dónde se analizan cuales son las combinaciones más desfavorables y dentro de estas los comportamientos de sus elementos y en general de la estructura.

3.1 Esfuerzos a que va a estar sometida la estructura.

Una vez corrido la estructura de andamios sin presentar errores en el programa, los resultados a que se refieren a este epígrafe de esfuerzos Fueron:

1. La combinación mas critica que se generó fue la de la carga en toda la plataforma= $2,5\text{KN/m}^2$ mas los trabajadores en las escaleras.

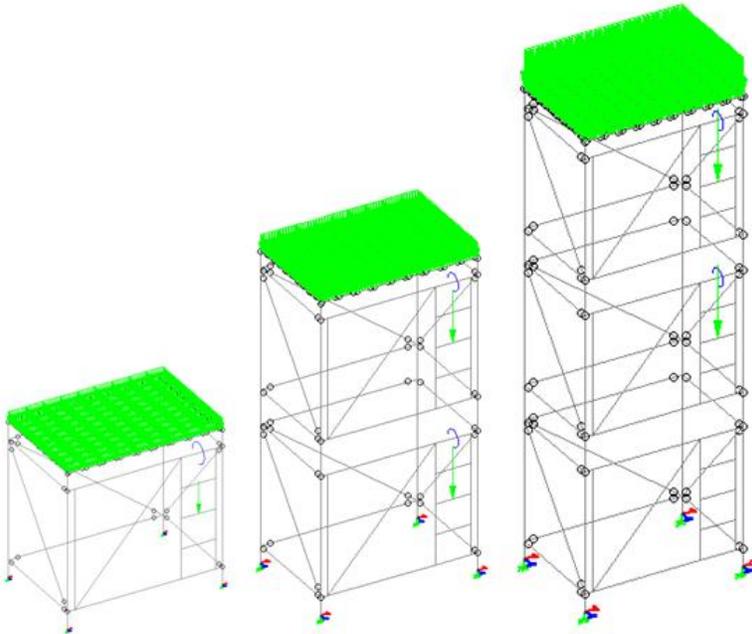


Fig.3.1 “Foto de combinaciones de cargas del Staad”.

2. Los esfuerzos mayores que se generaron Fueron en los postes pero en el programa se tuvieron que dividir tres elementos continuos es por esto que en los resultados aparecen varios elementos.

Para mostrar los resultados se tendrá en consideración los esfuerzos a tracción y a compresión del material expuestos en el capítulo anterior según Catasús al momento del corte condición más desfavorable.

3.1.1 Análisis de elementos en Compresión:

A continuación se muestra una figura en la cual aparecen los elementos sometidos a compresión del andamio

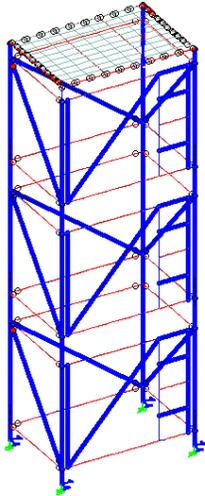


Fig.3.2 “Elementos en Compresión”.

Se realizó una tabla resumen que expone los cinco elementos más cargados a compresión del andamio en cada uno de sus tres niveles y lo que representa en porcentaje del valor total que resiste la *Bambusa Vulgaris*.

Para un nivel:

Tabla1. “Elementos más comprimidos”.

# de los elementos	Valor (KN)	Esfuerzos KN/m ²	Resistencia Máx. de la Bambusa en Mpa	% de la resist.Total
51	2,897	1025,858	28.2	3.64
48	2,398	849,15	28.2	3,01
52	1,714	606,94	28.2	2,22
54	1,663	588,88	28.2	2,15
55	1,646	582,86	28.2	1,85

Para dos niveles:

Tabla2. Elementos más comprimidos.

# de los elementos	Valor (KN)	Esfuerzos (Mpa)	Resistencia Máx. de la Bambusa en MPa	% de la resist.Total
346	4,229	1497,526	28.2	3,64
343	3,317	1174,57	28.2	3,01
356	2,883	1020,89	28.2	2,15
347	2,668	944,76	28.2	2,08
354	2,425	858,7112	28.2	2,06

Para los 3 niveles:

Tabla 3. "Elementos más comprimidos".

# de los elementos	Valor (KN)	Esfuerzos (Mpa)	Resistencia Máx. de la Bambusa en Mpa	% de la resist.Total
388	4,382	1551,70	28.2	5,31
398	4,24	1501,42	28.2	4,16
385	3,831	1356,59	28.2	3,62
397	3,199	1132,79	28.2	3,35
386	2,698	955,38	28.2	3,04

Como se observan en los resultados los elementos que están en compresión no van a exceder el 5,31% de la capacidad resistente del material por lo que se puede decir que el material va a trabajar cómodamente.

3.1.2 Elementos sometidos a tracción:

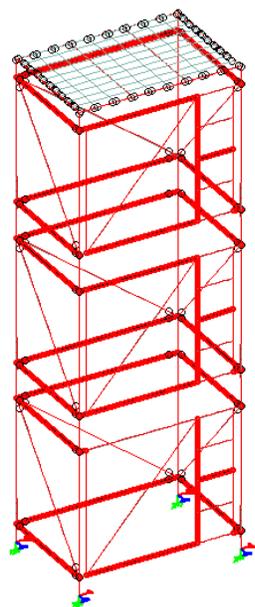


Fig.3.3 “Elementos en Traccion”.

A continuación se muestra en una tabla resumen los elementos los elementos más fraccionados del andamio.

Tabla 4. “Elementos más traccionados”.

# de los elementos	Valor (KN)	Esfuerzos (Mpa)	Resistencia Máx. de la Bambusa en Mpa	% de la resist.Total
Con 1 nivel				
32	0,483	1402,27	84	0.20
Con 2 niveles				
333	0,568	1113,31	84	0,234
Con 2 niveles				
333	0,566		84	0,234

3.2 Desplazamientos:

Como se observan en los resultados fig.3.4 los desplazamientos en los nodos superiores no llegan a 1mm.

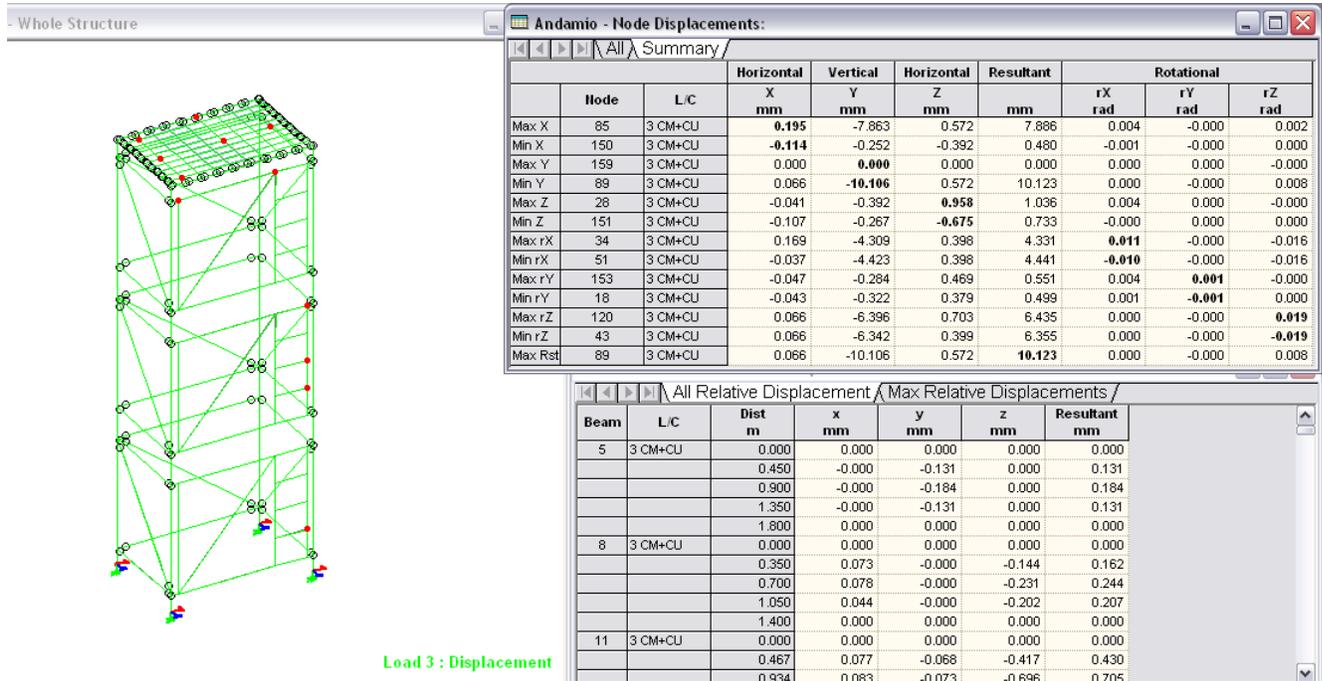


Fig.3.4 Foto Staad “Desplazamientos máximos en los nodos en mm”.

3.3 Cargas que generan el vuelco:

Una de las grandes problemáticas de este sistema de andamios modulares de bambú va a ser la estabilidad debido a su bajo peso. Esto lleva al análisis de las cargas que puedan generar la pérdida de estabilidad de la estructura así como las que ayuden (cargas estabilizantes y desestabilizantes).

3.3.1 Momentos estabilizantes: Las cargas que generan los momentos estabilizantes son las verticales o gravitatorias como el peso propio de la estructura y las de las plataformas, o sea, la carga del peso propio del sistema de andamios.

Por esto la condición más desfavorable es que la estructura se encuentre vacía.

3.3.2 Momentos desestabilizantes: Son los que se oponen a los estabilizantes, como son las cargas producidas por los hombres bajando o subiendo por las escaleras.

Se realiza un análisis detallado donde se tiene en consideración estas combinaciones para cada uno de los niveles.

Para la interpretación del resultado en el Staad se tuvo en cuenta que cuando una de las reacciones en la base como son articuladas fuera negativa se iba a generar el vuelco.

Resultados del Staad en los soportes de la base:

Nivel 1: Un hombre bajando+ Momento

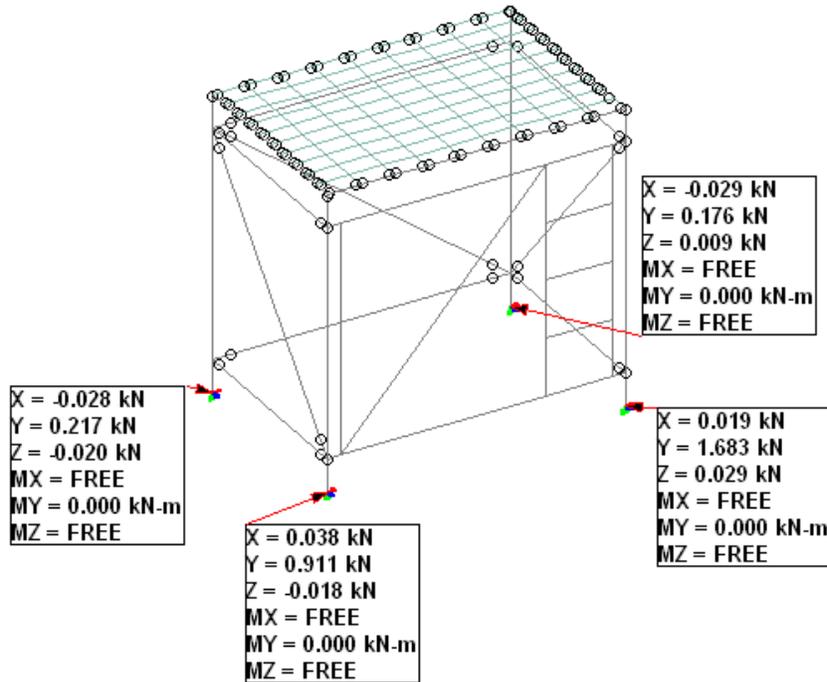


Fig.3.5 Foto Staad Reacciones

Tabla 5. Reacciones en la base

Reacciones en la base (eje Y Global)	1	2	3	4
Valor (KN)	0.217	0.176	0.911	0.683

Nivel 2:

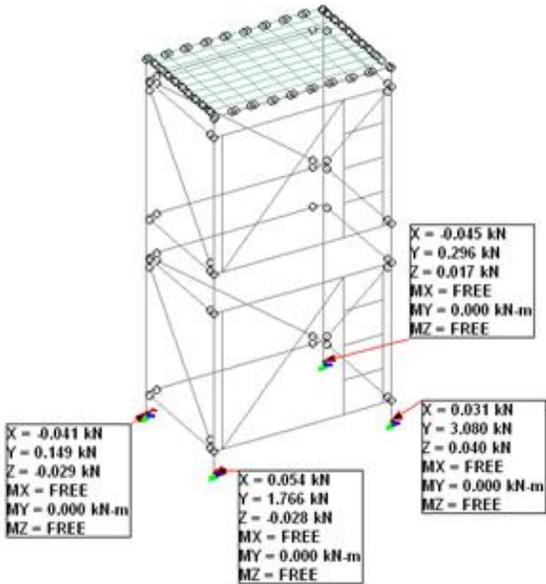


Fig.3.6 “Reacciones en la base”.

Tabla 6. Reacciones en la base

Reacciones en la base (eje Y Global)	1	2	3	4
Valor (KN)	0.149	0.296	1.766	3.080

Nivel 3:

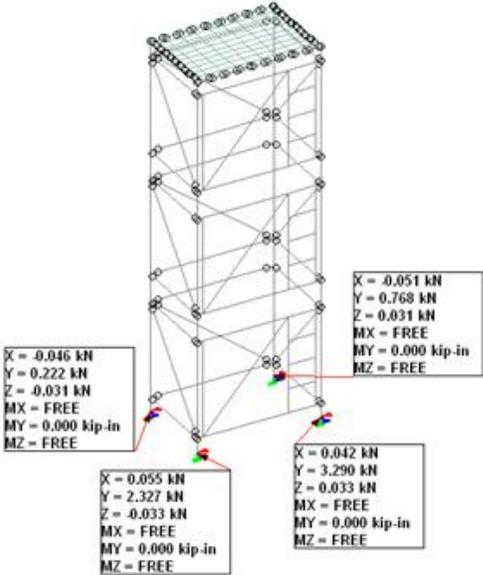


Fig.3.7 “Reacciones en la base”.

Tabla de reacciones en la base

Reacciones en la base (eje Y Global)	1	2	3	4
Valor (KN)	0.222	0.768	2.327	3.290

Como se puede apreciar en los resultados las reacciones dan positivas por lo que el peso de la estructura va a soportar sin perder la estabilidad.

La estructura va a perder la estabilidad cuando tres personas al mismo tiempo estén bajando o subiendo por las escaleras.

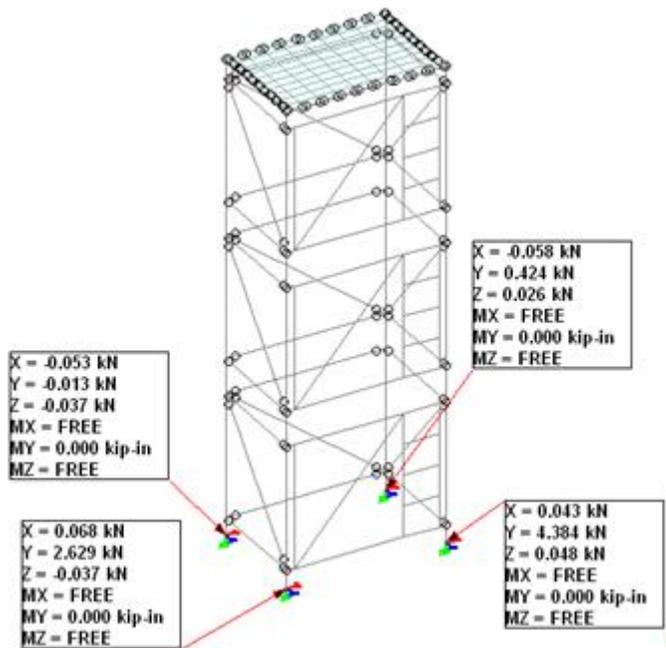


Fig.3.8 “Reacciones en la base”.

Tabla 7. Reacciones en la base

Reacciones en la base (eje Y Global)	1	2	3	4
Valor (KN)	-0.013	0.424	2.629	4.384

Conclusiones:

Una vez realizada la presente investigación se pudo arribar a las siguientes conclusiones:

- Se pudo analizar mediante el programa Staad Pro un sistema de andamios modulares de bambú previamente diseñados para emplearse en las obras constructivas en Cuba.
- El material empleado para la realización de este sistema modular de bambú fue la Bambusa Vulgaris, especie que se encuentra con gran facilidad en Cuba.
- El andamio de bambú previamente diseñado va a resistir los esfuerzos a los que está sometido, en compresión va a ser un 5 % y en tracción 0.2% de la resistencia total de la Bambusa Vulgaris, material empleado para la conformación de estos andamios.
- En cuanto a la estabilidad, el andamio va a poder soportar hasta dos personas de 100 kg de peso, subiendo o bajando por las escaleras, ya sea en su condición más crítica de tres niveles que lo conforman, sin que se genere el vuelco.
- Cuando el andamio esté colocado en sus tres niveles, no deben subirse 3 personas al mismo tiempo porque puede generar el vuelco del mismo.
- Por lo que el andamio de bambú previamente diseñado reúne las cualidades para ser implementado en los procesos constructivos en el país, por cumplir una serie de requisitos los cuales giran en torno a la resistencia y seguridad del mismo.

Recomendaciones:

A partir de los resultados obtenidos se recomienda:

- Ampliar el presente estudio teniendo en cuenta el comportamiento de las uniones metálicas a las barras de bambú, las cuales no se tuvieron en cuenta en la modelación presente.
- Se recomienda que la plataforma de trabajo del andamio de bambú lleve barandas y rodapiés, debido a su altura (5,4m), para evitar caer herramientas de trabajo.
- Para lograr una mayor estabilidad en el andamio se recomienda que la plataforma de trabajo esté cargada.
- Dar a conocer los resultados de esta investigación, así como profundizar en el tema a partir de nuevas investigaciones.

Referencias Bibliográficas:

1. Acosta, D. (2005). La revolución del bambú. Revisado el 20 de febrero del 2010. *Revista Desarrollo-Cuba* 24 (2), 11-20.
2. Bravo, Y. (2009) Bambú, cemento y concreto: una relación de calidad. Recuperado en mayo del 2010, http://www.inbar.itn/LA_Office/Guadua.htm (5)
3. Bonilla, J. 2008. Estudio del Comportamiento de Conectores Tipo Perno de Estructuras Compuestas de Hormigón y Acero Mediante la Modelación Numérica. Tesis de Doctorado, UCLV, Santa Clara, Cuba, 128 p.
4. Carmiol Umaña, V. 1998. Muebles en bambú. *Phyllostachys aurea*. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 169 p.
5. Catasús, L. 2003. Estudio de los Bambúes Arborescentes Cultivados en Cuba. La Habana, ACTAF, 56 p.
6. Catasús, L. 2007. Entrevista personal. Formulación de proyecto Internacional Bambú-Biomasa Fase II. Holguín, Cuba.
7. Diccionario de la Real Lengua Española (Larousse) (1)
8. Elices, M. (2009) Andamios - Requisitos generales de seguridad. Recuperado en febrero del 2010, de <http://www.camaraconstruccion.cl>. (2)
9. Gijón, R. (2009). Diseño de un sistema modular de encofrado, apuntalamiento y elementos auxiliares de andamios con el empleo del bambú. Tesis de Diploma. Santiago de Cuba. Cuba.
10. Gijón, R. J, Pascual. (2009) Foto: Puntales de bambú para encofrado de una vivienda en la ciudad de Santiago de Cuba. Cuba.
11. Kahler, C. 2007. El Uso del Bambú como Elemento Estructural de Viviendas. Tecnología y Construcción. Webmagazine, Año 2 Edición N° 5 Marzo 2007.
12. Kerala State Bamboo Corporation Ltd. Building a Successful Bamboo Community. www.bambooworldindia.com
13. Londoño X. 2002. Distribución, Morfología, Taxonomía, Anatomía, Silvicultura y Usos de los Bambúes del Nuevo Mundo. Maestría en Construcción - Modulo Guadua, Agosto, 2002 Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.

14. Londoño, X.; Riaño, N.M. y Camayo, G.C. 2002. Estudio Anatómico de los Diferentes Órganos de la Guadua (*Guadua Angustifolia Kunth*), con Énfasis en el Culmo. Corporación Regional Autónoma del Quindío. Sociedad Colombiana del Bambú. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Cenicafe. Chinchiná, Colombia. 38 p.
15. Lumber, C. (2007) Tecnología del proseso: El Bambú.Ltd. Recuperado en febrero del 2010, de <http://www.bamboo.com/contentroot/7395370.html> (4)
16. Medérico, 2008. Memorias del Minicongreso Bambú-Biomasa, Granma 2008. Cuba
17. Mejía, J.J. 2000. Eficiencia y Costo en la Construcción con Guadua. Memorias Seminario Guadua en la Reconstrucción, Armenia (Colombia) Feb.10-12. p. 52-53.
18. Michel J.C.; Moulinec H.; Suquet P. 2001. A Computational Scheme for Linear and non Linear Composites with Arbitrary Phase Contrast. Int. Journal for Numerical Methods in Engineering, 52: p 139-160.
19. M, Bofil. (2007) Manual de Andamios. Cámara Chilena de la Construcción, Comité de Especialidades, Gerencia de Estudios, Empresas del Rubro, Mutual de Seguridad de la CChC. Santiago – Chile. Revisado en junio del 2010. <http://www.mutual.cl> (3)
20. NCh 997.Of1999; NCh998. Of1999, NCh2501/1.Of2000 y NCh2501/2.Of2000. Artículo Manual de Andamios. Comité de Especialidades. Chile
21. Osorio, J.A.; Vélez, J.M. y Ciro, H.J. 2007. Estructura Interna de la Guadua y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
22. Osorio, J.A.; Ciro H.J.; Vélez, J.M. 2005. Influencia de Parámetros Físicos en la Resistencia de Diseño a Compresión de la Guadua *Angustifolia Kunth*. Dyna, Noviembre, Año/Vol. 72, Núm 147. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, p.1-6

23. Pantoja, N.H. y Acuña, D.F. 2005. Resistencia al Corte Paralelo a la Fibra de la Guadua Angustifolia. Proyecto de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola Unidad de Estructuras, Bogotá D.C
24. Pereira, M.A.; Salgado, M.H. 2006. Proyecto Bambú: Determinación de las Características Mecánicas de Listones Laminados del Bambú Gigante (*Dendrocalamus Giganteus*) Cultivado en la UNESP de Bauru/Sp/Brasil. Simposio Latino Americano del Bambú. Guayaquil. 2006.
25. Pereira, M.A. 2001. Bambu: Espécies, Características y Aplicaciones. Departamento de Ingeniería Mecánica.
26. Pérez D, M. 2007. Caracterización mecánica de laminados de bambú y adhesivo para aplicación estructural. Proyecto Fin de Carrera. EPSI Gijón, Universidad de Oviedo.
27. Poblete, H.; J. Campos.; R. Peñaloza.; C. Kahler.; J. Cabrera. 2003. Bambú en Chile, el Bambú en el Mundo 1. 144p
28. Poblete H. y Kahler C. 2007. Red Chilena del Bambú, Fundación Chile Av. Parque Antonio Rabat Sur 6165
29. Qisheng, Z.; Shenxue, J. 2001. Bamboo Based Panels in China. Forestry University, China: Bamboo Engineering Research Center Nanjing. p. 1-14
30. Qisheng, Z.; Shenxue, J.; Yongyu, T. 2003. Industrial Utilization on Bamboo. INBAR, Technical Report No. 26.
31. Stamm, J. (2008) La Evolución de los Métodos constructivos en Bambú. Segundo Congreso Mexicano del Bambú Puebla, México.
32. Valero, S.W.; Reyes E.; Contreras, W. 2005. Estudio de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Bambú (*Bambusa Vulgaris*), de Tres Años de Edad y Proveniente de las Plantaciones Ubicadas en la Ribera de la Margen Derecha del Río Chama, Municipio Francisco Javier Pulgar, Estado Zulia, Venezuela. p. 87 – 107. Rev. For. Lat. N° 37/2005.
33. Vélez, F.J. 1983. Madera Laminada de Pino Patula (*Pinus Patula*). Trabajo De Grado. ETSIM, Universidad Politécnica de Madrid.
34. Vivar, A.R. 2005. Determinación del Rendimiento en La Fabricación de Tableros de Bambú en la Etapa de Procesos de Corte. Trabajo de Titulación Ingeniero en

- Maderas. Valdivia 2005 Patrocinante: Aguilera, A. Informante: Poblete H. y Cuevas H.
35. Widmer Y. 1990. Los Bambúes: Biología, Cultivo, Manejo y Usos. El Chasqui. CATIE. Turrialba, CR. V7(23)p.5- 42
36. Yiyang Taohuajiang Industry Co. <http://www.chinathj.com>
37. Yongyu, T. 2000. The Current Status and Development Trend of Bamboo Processing in China. International Training Workshop on Sustainable Bamboo Management and Processing Techniques for Small-Size Bamboo Enterprises, Hangzhou, Oct, p. 51-62.
38. Yu, W.K.; Chung, K.F.; Chan, S.L. 2003. Column Buckling of Structural Bamboo, Eng. Struct. 25 (2003) 755– 768.
39. Zarate, F.; Hurtado, J.; Oñate, E. y Rodríguez, J.A. 2002. Un entorno para el análisis estocástico en mecánica computacional. Congreso de Métodos Numéricos en la Ingeniería y la Ciencia Aplicadas, CIMNE, Barcelona.
40. Zheng Wang Wenjing Guo, 2002. Laminated Panel Manufacture of Two Kinds of Bamboo for Architecture Material and Property Comparison. Research Institute of Wood Industry 100091. Beijing Chinese. 6 p.
41. Zhou, F. 2000. Selected Works Of Bamboo Research. Nanking, China: Research Editorial Committee. Nanking Forestry University, p.164.
42. Zienkiewicz, O.C. y Taylor, R.L. 2004. El Método de los Elementos Finitos, Quinta Edición, Ed. CIMNE, Barcelona, España, Vol I, II, III.
43. Zoolagud, S.S; Rangaraju, T.S. 1993. Bamboo Mat Board Manufacture. Proceedings of National Workshop on Bamboo Mat Board, Bangalore, India, 12 Febrero 1993, IPIRTI.

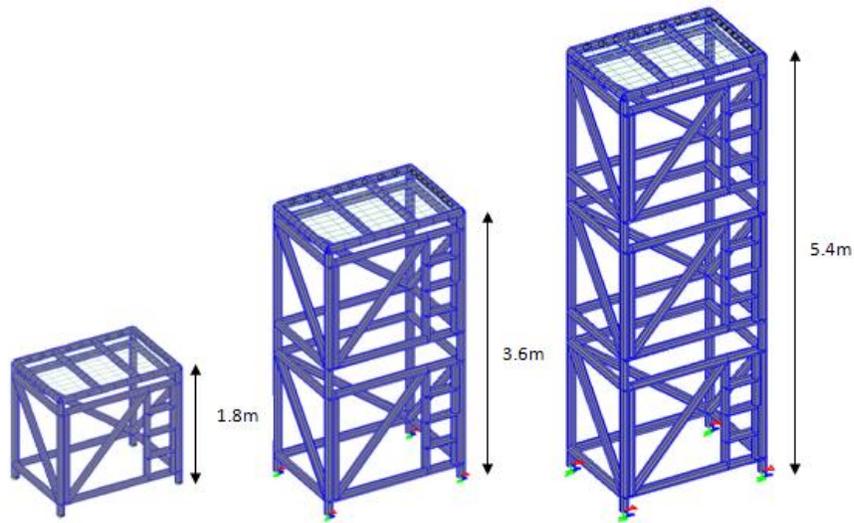
Anexos:

Anexo #1: Diferentes fotos de andamios de Bambú. (En China y otros lugares).

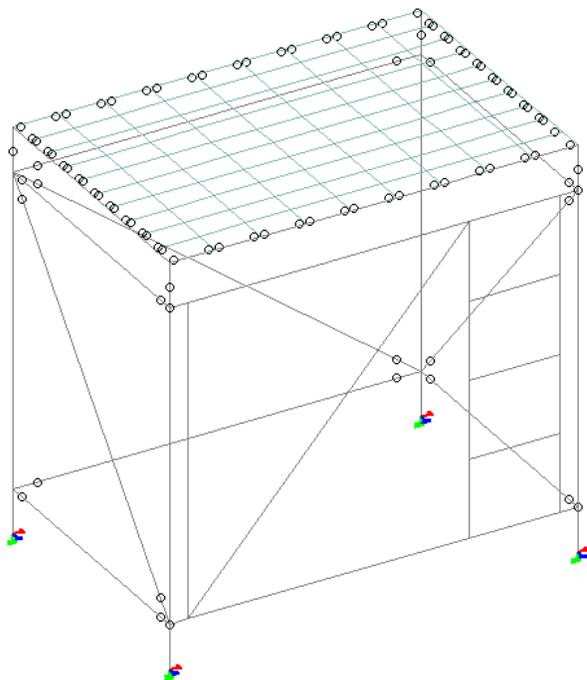




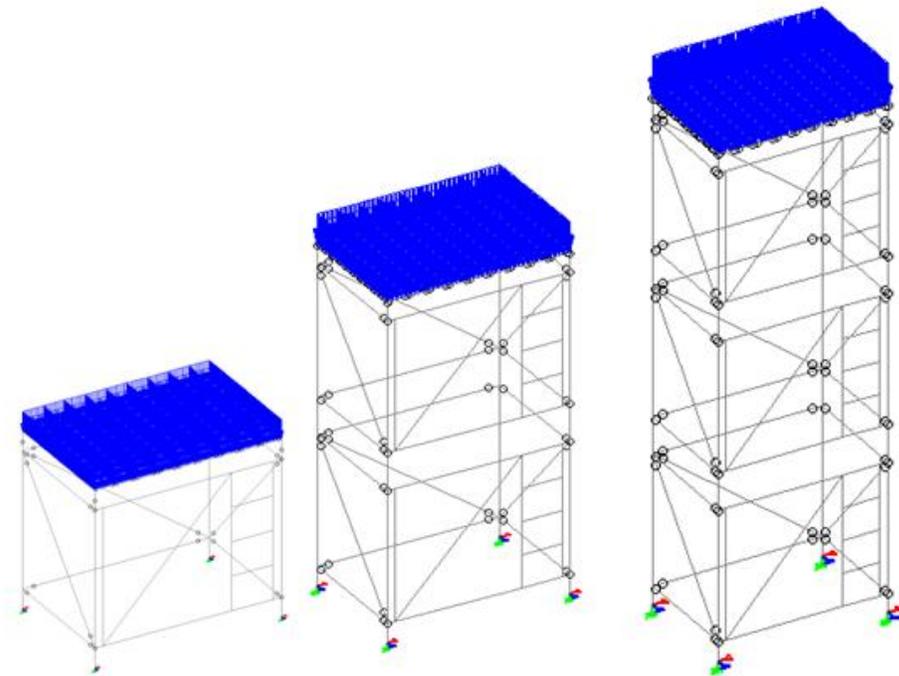
Anexo # 2: Vistas de los andamios en sus tres niveles



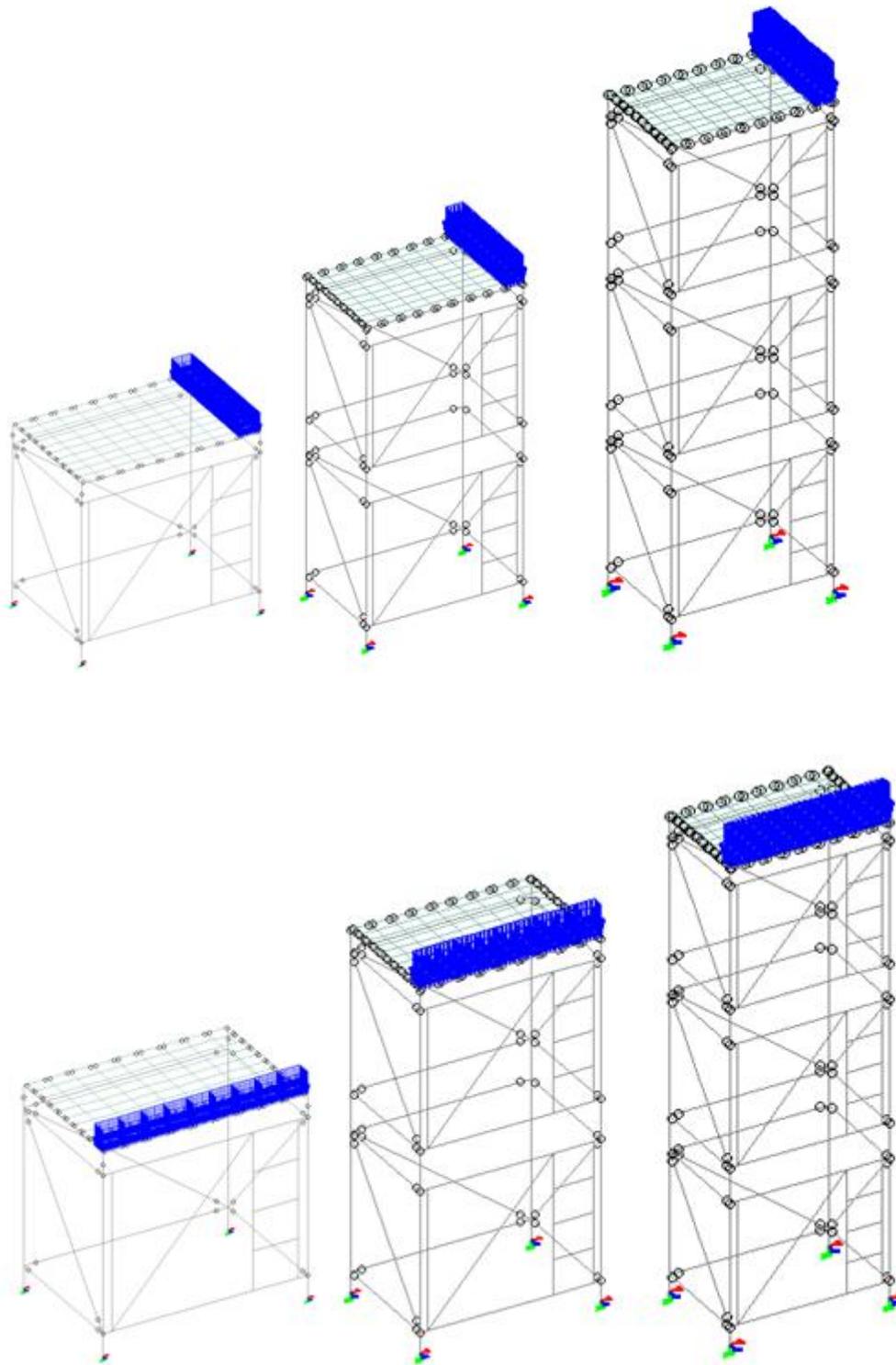
Anexo # 3: Articulaciones en toda la estructura.



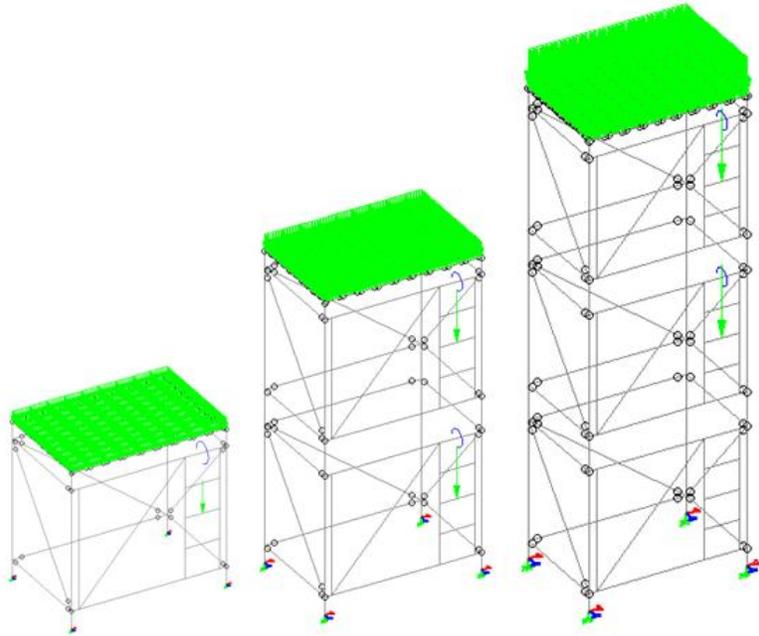
Anexo # 4: Cargas en toda la plataforma del andamio.



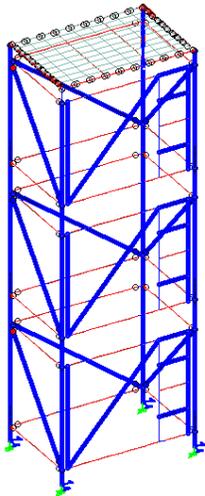
Anexo # 5: Cargas.



Anexo # 6: Foto de combinaciones de cargas del Staad.



Anexo # 7: Elementos sometidos a Compresión.



Anexo # 8: Elementos más comprimidos en los tres niveles del andamio.**Para un nivel:**

Tabla1. "Elementos más comprimidos".

# de los elementos	Valor (KN)	Esfuerzos KN/m ²	Resistencia Máx. de la Bambusa en Mpa	% de la resist.Total
51	2,897	1025,858	28.2	3.64
48	2,398	849,15	28.2	3,01
52	1,714	606,94	28.2	2,22
54	1,663	588,88	28.2	2,15
55	1,646	582,86	28.2	1,85

Para dos niveles:

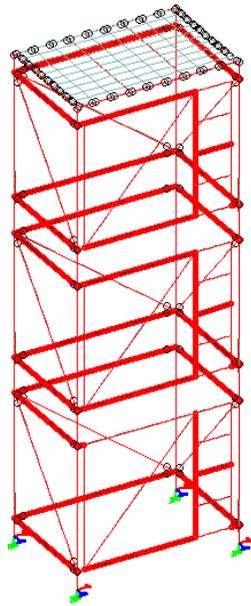
Tabla2. Elementos más comprimidos.

# de los elementos	Valor (KN)	Esfuerzos (Mpa)	Resistencia Máx. de la Bambusa en MPa	% de la resist.Total
346	4,229	1497,526	28.2	3,64
343	3,317	1174,57	28.2	3,01
356	2,883	1020,89	28.2	2,15
347	2,668	944,76	28.2	2,08
354	2,425	858,7112	28.2	2,06

Para los 3 niveles:

Tabla 3. "Elementos más comprimidos".

# de los elementos	Valor (KN)	Esfuerzos (Mpa)	Resistencia Máx. de la Bambusa en Mpa	% de la resist.Total
388	4,382	1551,70	28.2	5,31
398	4,24	1501,42	28.2	4,16
385	3,831	1356,59	28.2	3,62
397	3,199	1132,79	28.2	3,35
386	2,698	955,38	28.2	3,04

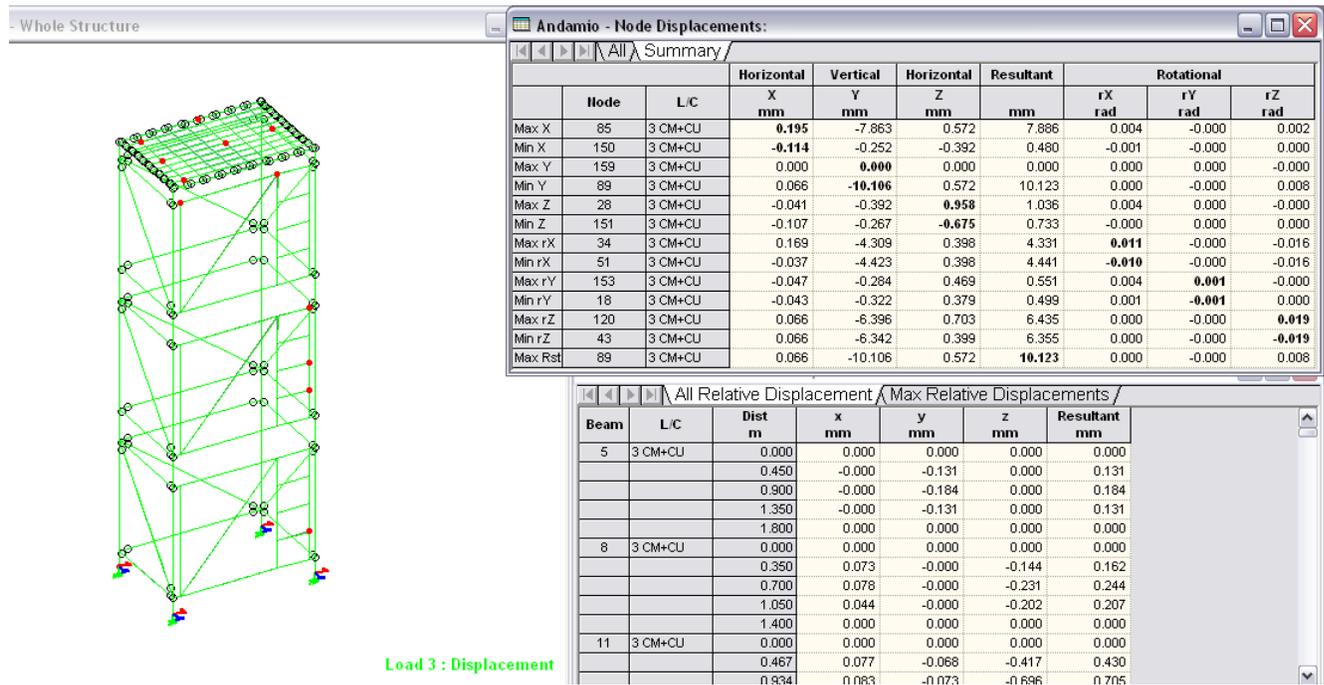
Anexo # 9: Elementos sometidos a Tracción.

Anexo # 10: Tabla de elementos más traccionados del andamio.

Tabla 4. "Elementos más traccionados".

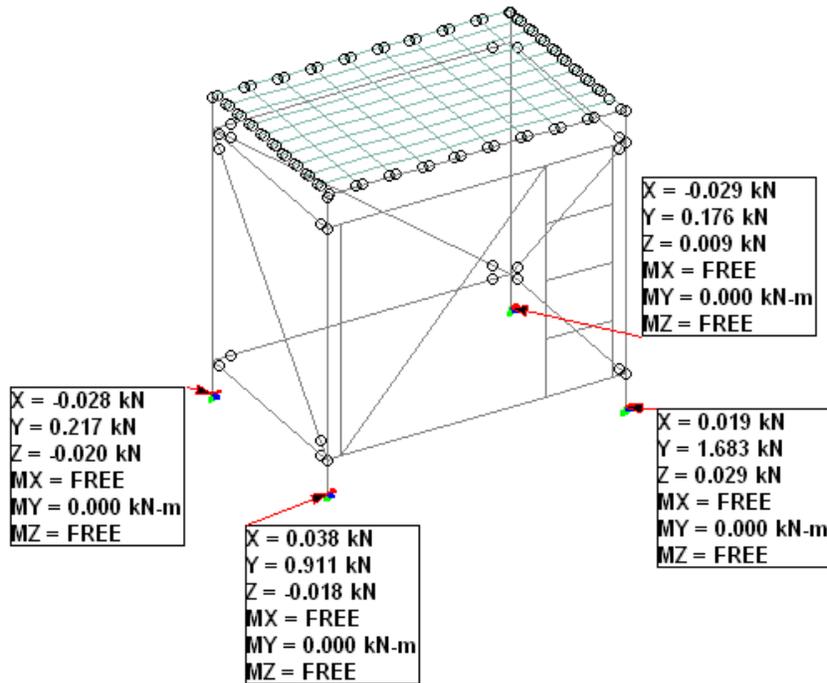
# de los elementos	Valor (KN)	Esfuerzos (Mpa)	Resistencia Máx. de la Bambusa en Mpa	% de la resist.Total
Con 1 nivel				
32	0,483	1402,27	84	0.20
Con 2 niveles				
333	0,568	1113,31	84	0,234
Con 2 niveles				
333	0,566		84	0,234

Anexo # 11: Foto de Desplazamientos Máximos.

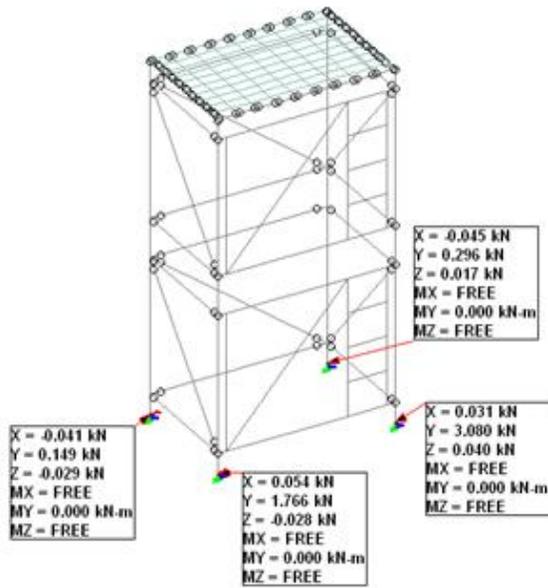


Anexo # 12: Vuelco en los tres niveles del andamio.

Nivel 1: Un hombre bajando+ Momento



Nivel 2:



Nivel 3:

