

Título: Modelación física de sistemas estructurales. Proyecto aulico, equilibrio y momento flector. Facultad de arquitectura universidad laica vicente rocafuerte de guayaquil

Autores: ⁽¹⁾Marcial Sebastián Calero Amores

**⁽²⁾Estudiantes de la cátedra de Estructuras I. Tercer Ciclo. Grupo 3A.
2014-2015**

Institución: Universidad Laica Vicente Roca fuerte - Universidad de Guayaquil - Ecuador

Email: mcaleroa@ulvr.com.ec

Línea temática:

Dirección del proceso enseñanza-aprendizaje y La formación profesional basada en competencias

Simposio al que tributa el trabajo:

1^{er} Congreso Internacional de CIENCIAS PEDAGÓGICAS 2015

**MODELACIÓN FISICA DE SISTEMAS ESTRUCTURALES. PROYECTO AULICO,
EQUILIBRIO Y MOMENTO FLECTOR. FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL**

Marcial Sebastián Calero Amores⁽¹⁾

⁽¹⁾Profesor-Investigador Adjunto, Facultad de Arquitectura, Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil -ULVR. Profesor Facultad de Arquitectura, Universidad de Guayaquil

⁽²⁾Estudiantes ULVR de la cátedra de Estructuras I. Tercer Ciclo. Grupo 3A - 2014-2015

RESUMEN

La LOES y el Reglamento de Régimen Académico señala que los Proyectos Formativos son parte de la programación curricular. La investigación se desarrolló con enfoque experimental, cuantitativo y analítico. Aplicando un FODA dinámico, se identificó la problemática y proyectos a implementarse. El Proyecto abordó la problemática de deficiencia en la enseñanza-aprendizaje en el área de las ciencias técnicas que imparten las Facultades de Arquitectura e Ingenierías, debido a la falta de equipos para la enseñanza experimental o práctica en asignaturas como los sistemas estructurales en edificaciones. El proyecto Áulico se desarrolló en la Facultad de Arquitectura de la ULVR en la Cátedra de Estructuras I, Grupo 3A, tuvo por objetivo diseñar, construir y operar dos modelos físicos que abordaron la temática del equilibrio y momento flector en sistemas estructurales isostáticos y articulados. Un equipo determina específicamente las fuerzas reaccionantes de una estructura solicitada a cargas, mientras que el segundo determina el momento reaccionante en una viga articulada. Sin embargo, los equipos permiten variaciones como, conociendo cargas o momento máximos resistentes determinar cargas o momentos actuantes. La investigación tiene novedad científica debido a la conceptualización para diseñar y construir los equipos, utiliza materiales y componentes de bajo costo y disponible en el mercado local, facilidad para operación y mantenimiento, tampoco requieren de alta tecnología o mano de obra especializada. Los equipos tienen un B/C mayor a 4 y precisión en medición superior al 98%

Palabras Claves Proyectos. Áulicos. Modelación. Estructuras. Reacciones. Momentos Experimento.

INTRODUCCIÓN

Las carreras de Arquitectura e Ingenierías, de acuerdo a la Legislación Ecuatoriana se enmarcan como Carreras de las Ciencias Duras, en las cuales los procesos teóricos y prácticos son fundamentales del proceso formativo-cognitivo del estudiante y profesional. Así mismo, la Ley Orgánica de Educación Superior -LOES y su Reglamento de Régimen Académico especifican el desarrollo obligatorio de Proyectos de Investigación Formativos o Proyectos Áulicos en el proceso formativo del estudiante. Los proyectos Áulicos representan acometer una problemática académica-comunidad y desarrollar e implementar procesos de planificación, organización y acuerdos entre los diferentes actores del Aula, generando un proyecto integrador en diferentes niveles que solucione dicha problemática.

El proceso formativo del estudiante a titularse en Arquitectura o Ingenierías, contemplan en su plan curricular asignaturas teórico-práctica; es decir, asignaturas que en el proceso de aprendizaje demandan de un desarrollo tanto teórico como práctico o experimental. Por tanto, el estudio de estas carreras, implica disponer y manejar equipos e instrumentos para el proceso experiencial.

Disponer de laboratorio con equipos especializados para los procesos de aprendizaje experiencial, implican onerosas inversiones que no están disponibles en las Universidades y fundamentalmente susceptible a daños y limitada vida útil, debido al mantenimiento y tecnología que es propia del fabricante de los equipos generalmente domiciliados en países como Estado Unidos, España, Alemania u otros.

Actualmente, la Facultad de Arquitectura de la ULVR así como, la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil no tienen Laboratorios y equipamiento para el estudio del comportamiento de materiales y sistemas estructurales en edificaciones; contexto académico que determina el impacto y beneficio de la investigación desarrollada.

El marco académico-tecnológico-contextual expuesto, determina una problemática relacionada con la enseñanza-aprendizaje en las Unidades Académicas de Arquitectura e Ingenierías, generado por falta de equipos especializados para la práctica, experimentación e investigación.

La falta de laboratorios y disponibilidad de equipos para el proceso formativo práctico-investigativo, se debe a factores relacionados con: recursos económicos, especialistas para desarrollar tecnologías idóneas, estudios de materiales y componentes electrónicos para elaboración de estos equipos y, fundamentalmente plantear investigaciones formativas y profesionales direccionadas a equipar laboratorios fundamentados en una realidad local.

La investigación tuvo por objetivo diseñar, construir y puesta en marcha de dos (2) modelos físicos denominados respectivamente: 1) Modelación física en sistemas estructurales, Equilibrio y 2) Modelación física en sistemas estructurales, Momento Flector.

El objetivo específico fue estimar de forma experimental parámetros de diseño en vigas y losas relacionados con reacciones por fuerzas y momento flector, solicitados por cargas vivas y muertas.

El ámbito en el cual se desarrolló la investigación fue la Facultad de Arquitectura de la ULVR, Cátedra de Estructuras I, Tercer Ciclo Paralelo A. Período lectivo 2014-2015.

Los dos modelos construidos, se caracterizan por materiales, instrumentos y componentes disponibles en el mercado local y bajo costo, que no requiere de mano de obra especializada.

El proyecto áulico, implicó actividades relacionados con organización, discusión de problemáticas de ámbito comunitario interno y externo a la Universidad y llegar a acuerdos para seleccionar, diseñar y construir el proyecto; por tanto, la investigación aportó en el componente social al resolver la problemática cognitiva de los estudiantes por la falta de equipos; así mismo, estos equipos aportarán a resolver la problemática para los estudiantes que tomarán la asignatura en los próximos períodos académicos.

En el orden económico, la inversión realizada por la construcción es relativamente baja en comparación con los costos ofertados por empresas dedicadas a este tipo de negocios. Actualmente, la adquisición de un equipo para análisis de momentos es de \$3000, mientras que la inversión realizada por la investigación por el equipo fue de \$800. Adicionalmente, los equipos construidos tienen valor agregado, relacionado con costos por mantenimiento, reposición y vida útil.

En el ámbito científico y tecnológico la investigación aportó a resolver la problemática académica al construir y operar dos equipos que permiten visualizar los fenómenos de práctica común de Arquitectos e Ingenieros y generar escenarios favorables para investigaciones, innovación y desarrollo del conocimiento.

En general el proyecto aporta al desarrollo socioproductivo de la Comunidad y Universidad.

Además, la deficiencia del proceso de enseñanza-aprendizaje debido a la falta de equipamiento es reconocida por los Centros de Estudios; sin embargo, una revisión bibliográfica determina que la implementación de equipos especializados a nivel Superior y relacionados con las ciencias técnicas ha sido poco analizada para Arquitectura e Ingenierías.

En este contexto, la investigación soluciona la problemática descrita y representa un aporte propio, creativo y de novedad científica. Así mismo, los dos equipos operan en escenarios modelados de contexto real y representan bajas inversiones.

DESARROLLO

Métodos y Materiales

Fundamentado en el método científico la investigación se enmarca en el método experimental con enfoque analítico y cuantitativo, además, en base al enfoque metodológico y las tareas para alcanzar los objetivos de la investigación, esta, se realizó a través de cuatro etapas que son: 1) Identificación y selección del proyecto. 2) Diseño. 3) Construcción y 4) Operación del proyecto.

La identificación y planteamiento de la problemática para seleccionar el proyecto constituyó en la primera etapa, una de las actividades más importantes del proceso investigativo, para lo cual se realizaron reuniones entre los actores del aula, análisis del Syllabus de la asignatura, contexto de aplicación e impacto de la asignatura en el ámbito profesional, disponibilidad de equipos y laboratorios técnicos, entrevistas, revisión retrospectiva de equipos construidos por los estudiantes de la Cátedra, limitantes didácticas en la relación enseñanza-aprendizaje y aptitud para costear una investigación.

Aplicando un FODA dinámico en el aula, se determinaron parámetros para seleccionar el proyecto. La toma de decisión fue parte de la participación, entorno comunitario y acuerdo que definió el Proyecto Áulico.

El análisis inicial, determinó que la problemática a analizarse sería la deficiencia del proceso de enseñanza-aprendizaje, debido a la falta de equipos para consolidar el proceso cognitivo teórico para lo cual es necesario un proceso de experimentación o práctica en equipos de laboratorio. En este contexto, se seleccionó la realización de una investigación que diseñara, construyera y operara dos modelos físicos para visualizar y analizar los fenómenos en sistemas estructurales relacionados con el equilibrio de estructuras rígida e isostáticas y estudio de momentos flectores.

La segunda etapa de la investigación consistió en el diseño de los equipos identificados en la primera etapa. Para caracterizar la topología y aspectos técnicos de los equipos se realizó diferentes modelaciones matemática de los fenómenos que se fundamentó en las ecuaciones de equilibrio que debe tener el sistema estructural que forma parte de cualquier tipo de edificaciones. En este marco, la estructura conceptualizada consiste en una viga articulada, que puede ser sometida a solicitaciones de diferentes fuerzas o momentos y cuyas reacciones son medidas y presentadas cuantitativamente por el equipo construido.

Los equipos determinan reacciones tipo fuerza y momento flector en sistemas estructurales isostáticos; por tanto, los modelos a satisfacerse son:

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0 \quad (1) \quad y \quad \sum_{i=1}^n M_i = 0 \quad (2); \text{ donde:}$$

F_i , son todas las fuerzas actuantes y reaccionantes del sistema y

M_i , son los momentos actuantes y reaccionantes del sistema

Los parámetros estructurales que relacionó la investigación en concordancia con las ecuaciones (1) y (2) deben entenderse que pueden modificarse a partir de condiciones máximas resistentes o actuantes del caso analizado.

El anexo 1 describe detalladamente casos de sistemas estructurales con los modelos matemáticos generales obtenidos y solucionados teóricamente, que se relacionaron con los valores determinados por los equipos construidos y comparar los valores medidos con los teóricos y evaluar la precisión correspondiente. La segunda parte del diseño fue conceptualizar los equipos, manejándose la creatividad y novedad para visualizar y

medir los fenómenos incluyendo que los componentes y materiales de los modelos tengan disponibilidad local y costo bajo.

El equipo “Modelación Física de Sistemas Estructurales, Equilibrio” se conceptualizo modelando una viga simplemente apoyada en dos partes. El equipo construido está compuesto por materiales y componentes que son:

- Bastidor rectangular de aluminio de 1 metro x 1.5 metro con anclaje respectivo y fijadores de la viga,
- Viga de sección rectangular de aluminio de 80 centímetro x 2 centímetros,
- Medidores digitales de fuerza, que son dinamómetros electrónicos, medición hasta 20 kilogramo y sensibilidad al décima del gramo,
- Porta pesas de lámina de acero alivianado de peso estimado a 5 gramos,
- Pesas de acero de diferentes valores que simulan las cargas externas,
- Luminarias tipo Led para fácil operabilidad y lecturas en el equipo y,
- Escala de 80 centímetros graduada de acero alivianado para medir distancias con sensibilidad al milímetro.

El esquema del equipo se presenta en la figura 1. El costo fue de \$1000,00 en el cual se incluye un valor de \$900 por material y componentes anexos y de \$100 por mano de obras de estudiantes. El cronograma fue de 6 meses que contempla las etapas de identificación del proyecto, diseño, construcción y operación del equipo. El cuadro No.1 describe el presupuesto y el No.1.1 el cronograma de la investigación realizada.

El segundo equipo denominado “Modelación Física de Sistemas Estructurales, Momento Flector” se conceptualizo modelando una viga doblemente articulada en su parte central. El equipo está elaborado con materiales y componentes anexos que son:

- Bastidor con forma de “T” invertida de aluminio de 1,80 metro x 1.2 metro con anclaje respectivo y pivote de la viga tipo balancín,
- Viga de sección rectangular de aluminio de 100 centímetro x 2 centímetros,
- Sujetadores rectangulares hueco de bronce para fijación y lectura de la escala,
- Niveles de precisión para visualizar el equilibrio de la viga
- Porta pesas de lámina de acero alivianado de peso estimado en 5 gramos,
- Pesas de acero de diferentes valores
- Pernos, tornillos, tensores para fijar los componentes y,

- Escala de 100 centímetros graduada de acero con sensibilidad al milímetro.

El equipo de forma esquemática se presenta en la figura 2. El costo y el cronograma para la ejecución del proyecto respectivamente se describen en el cuadro No. 2 y No. 1.1 El costo fue de \$900,00, que incluye \$800 por material y componentes anexos y \$100 por mano de obras de los estudiantes. El cronograma fue de 6 meses que cubrió las cuatro etapas del proyecto.

La tercera etapa de la investigación fue la construcción de los dos equipos. En base a los diseños, se procedió a la gestión financiera y organización para la construcción de los equipos. Los grupos de estudiantes fueron 10 por cada equipo y requirió del servicio de talleres de mecánica industrial y de aluminio-vidrio. Los dos equipos construidos se evidencian en la figura 3.

La cuarta etapa consistió en operar los equipos y compararlos con los resultados de los casos teóricos esperados. El anexo 1, señala los casos analizados y las fotos de la figura 3 evidencian los resultados esperados.

RESULTADOS

En base a la problemática y objetivos, los productos fueron diseño y construcción de dos equipos relacionados con equilibrio y momento flector en sistemas estructurales. Los equipos se construyeron con componentes y materiales de bajo costo, disponibles en el mercado local y el proceso de construcción no requiere de alta tecnología o mano de obra especializada.

El equipo: Modelación Física de Sistemas Estructurales, Equilibrio tuvo un costo neto de \$900 (materiales, talleres, componentes anexos) y 100\$ por mano de obra de los estudiantes. Actualmente un equipo para funciones semejantes en el mercado tiene un costo alrededor de los \$5000,00. Así mismo, beneficios agregados son: mantenimiento, reposición y operabilidad, ampliación de la vida útil a períodos superiores a los 10 años; el equipo puede ser modificado y adaptado para investigación y sistemas complejos como los hiperestáticos.

El equipo presenta otros impactos: Beneficio/costo $B/C= 5$; facilitación en la comprensión del fenómeno; formación integral holística del estudiante incluso en lo tecnológico-científico al analizar y aplicar investigaciones complementarias.

El equipo fue ensayado para diferentes condiciones de carga y posición de los apoyos como se presenta en el anexo 1. Los parámetros medidos como reacciones o momento tuvieron un error que no supero el 2%.

El equipo: Modelación Física de Sistemas Estructurales, Momento Flector tuvo un costo neto de \$800 (materiales, talleres, componentes anexos) y \$100 por mano de obra de los estudiantes. Actualmente un equipo para funciones semejantes en el mercado tiene un costo alrededor de los \$4000,00. Los beneficios agregados y potenciales usos adicionales son semejantes a las del equipo que trata del equilibrio. El equipo construido presenta un $B/C=4$ y beneficios adicionales que se han mencionado para el equipo anteriormente descrito. El modelo fue ensayado para diferentes casos como se presenta en el anexo 1. Las cargas y distancias generadores de momentos reaccionantes tuvieron un error que no supero el 1.5%

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La investigación desarrolló dos equipos para el nivel educativo Superior e impacta positivamente en el proceso de enseñanza aprendizaje de los sistemas estructurales analizados en las Carreras de Arquitectura e Ingenierías. Los equipos representan una novedad científica-tecnológica por la concepción propia y creativa para estudiar los fenómenos, utilizando partes y componentes de bajo costo y disponibles en el mercado local. La precisión comprobada del equipo es superior al 98%.

En el mercado externo, equipos que realizan funciones semejantes pero, sin capacidad de alternativas, limitada vida útil y con tecnología cerrada, tienen costo mayor al 400%.

En el aspecto económico, el impacto está dado por el bajo costo de los equipos, posibilitando inversiones de las Universidades en equipamiento. En el orden social, fortaleció el proceso cognitivo y facilita este proceso para estudiantes de los próximos ciclos académicos. Ambientalmente, no tiene impacto negativo por utilizar componentes no contaminantes y fácilmente degradables. En el orden científico-tecnológico, permite

a los participantes aprendizajes holísticos y desarrollo de tecnologías que contribuyeron a su formación no solo académica sino, de uso y aplicación en la comunidad.

Entre las principales conclusiones deben señalarse:

- Equipos contruidos con tecnología y materiales disponibles en el mercado local
- No requiere de alta tecnología ni de mano de obra especializada
- Baja inversión
- Precisión del equipo superior al 98%
- Fácil de operar, mantener y reponer componentes.

RECONOCIMIENTOS

La Cátedra y Estudiantes del tercer ciclo, paralelo A de Estructuras I parte, del período 2014-2015 de la ULVR, agradece a su Facultad de Arquitectura por las facilidades para la investigación, que constituyó un aporte en la excelencia académica, innovación, emprendimiento y de imagen para el servicio que brinda la Universidad a la Comunidad.

Bibliografía Principal

Russell C. Hibbeler (2011). Mecánica de Materiales. PEARSON. Octava edición

Marcos Chipana (2014). Mecánica Vectorial para Ingenieros Estática, Solucionario. Editorial Grupo Universitario. Décima edición

R. C. Hibbeler (2008). Análisis Estructural. PEARSON. Cuarta Edición

Hurtado David (2011). Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática, Solucionario. Grupo Universitario. Octava edición

ANEXO 1

Estudios de Casos – Modelación Teórica
Sistemas Estructurales-Equilibrio

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0 \quad \text{y} \quad \sum_{i=1}^n M_i = 0$$

$$R_A = P_1 \left(1 - \frac{a}{L}\right) + P_2 \left(\frac{b}{L}\right)$$

$$R_B = P_1 + P_2 - R_A$$

Estudios de Casos – Modelación Teórica
Sistemas Estructurales-Equilibrio

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0 \quad \text{y} \quad \sum_{i=1}^n M_i = 0$$

$$R_A = F_1 + \frac{F_1(a) + F_2(c)}{(b+c)}$$

$$R_B = F_1 + F_2 - R_A$$

Estudios de Casos – Modelación Teórica
Sistemas Estructurales-Momento Flector

$$M_{F_1} = F_1(L_1) =$$

$$M_{R_1} = R_1(L_2)$$

$$R_1 = F_1 \left(\frac{L_1}{L_2}\right); L_2 = L_1 \left(\frac{F_1}{R_1}\right)$$

Estudios de Casos – Aplicaciones

Sistemas Estructurales-Equilibrio

I. Estimación Teórica

$$P_1 = 2 \text{ Kg}; P_2 = 2 \text{ Kg};$$

$$a = 22 \text{ cm.}; b = 22 \text{ cm.}; L = 50 \text{ cm}$$

$$R_A = P_1 \left(1 - \frac{a}{L}\right) + P_2 \left(\frac{b}{L}\right)$$

$$R_B = P_1 + P_2 - R_A$$

$$R_A = 2 \left(1 - \frac{22}{50}\right) + 2 \left(\frac{22}{50}\right);$$

$$R_A = 2 \text{ Kg.}; R_B = 2 \text{ Kg.}$$

II. Estimación con el MODELO

$$C_A = C_B = 2 \text{ Kg}$$

$$\% \text{Error} = 0\%$$

Estudios de Casos – Aplicaciones

Sistemas Estructurales-Momento Flector

II. Estimación Teórica

$$F_1 = 0,5 \text{ Kg}; L_1 = 49,5 \text{ cm}$$

$$R_1 = F_1 \left(\frac{L_2}{L_1}\right) \quad L_2 = L_1 \left(\frac{F_2}{R_1}\right)$$

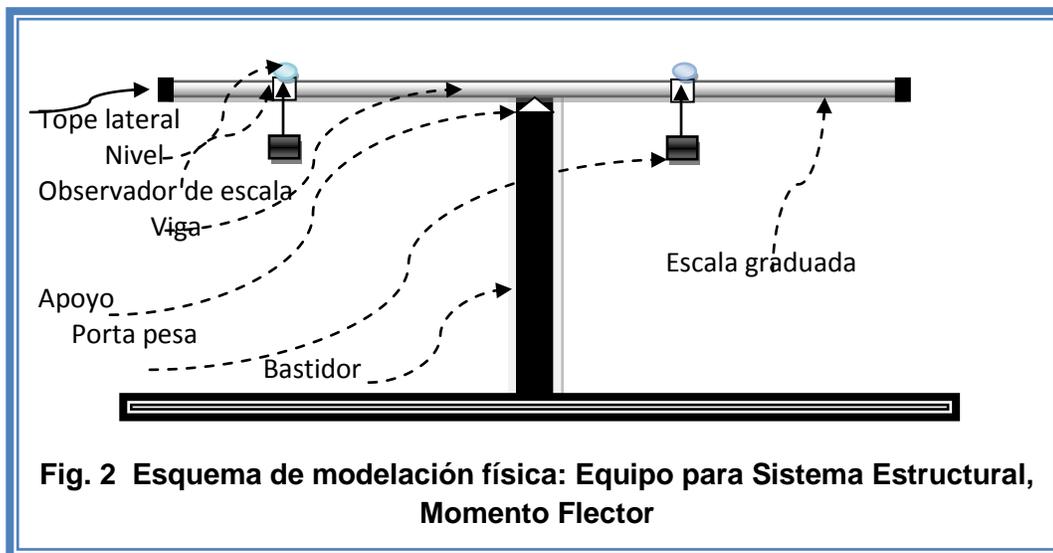
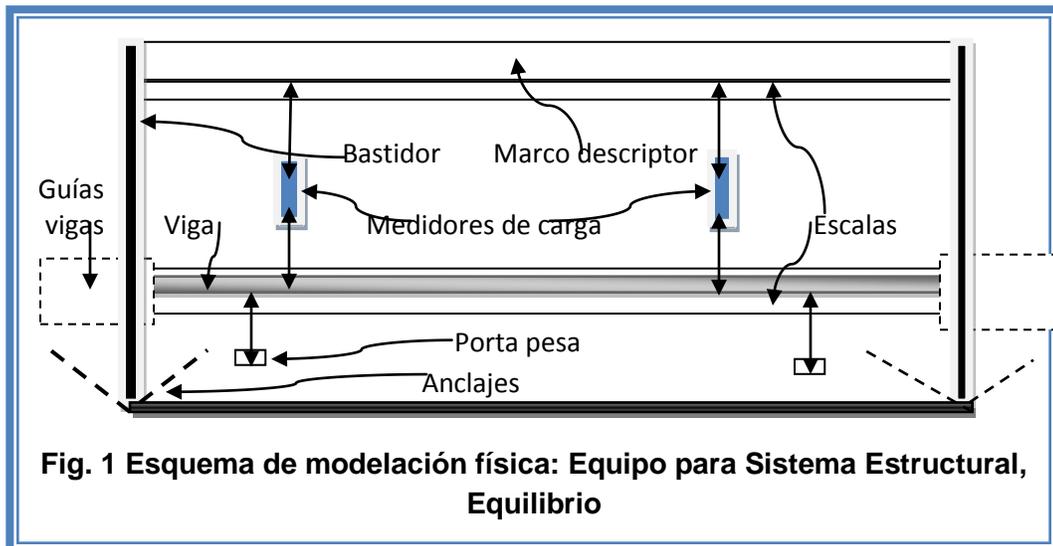
$$R_1 = 0,5 \left(\frac{49,5}{27,3}\right); R_1 = 0,91 \text{ Kg}$$

$$L_2 = 49,5 \left(\frac{0,5}{0,91}\right); L_2 = 27,2 \text{ cm}$$

III. Estimación con el MODELO

$$R_1 = 0,90 \text{ Kg}; L_2 = 27,3 \text{ cm}$$

$$\% \text{Error} = 0,7\%$$



Cuadro No. 1 SISTEMA ESTRUCTURAL: EQUILIBRIO - COSTO ESTIMADO -				
Código	Rubro	Costo rubro (\$USA)	Costo acumulado (\$USA)	Fuente de financiamiento
01	Bastidor	150	150	Estudiantes-Instructor
02	Medidor de carga	150	300	
03	Viga + Taller industrial	180	480	
04	Pesas, escala y anexos	420	900	
05	Mano de obra y dirección	100	1000	
TOTAL			1000	

Cuadro No. 1.1 SISTEMA ESTRUCTURAL: EQUILIBRIO Y MOMENTO - CRONOGRAMA -						
RUBRO	TIEMPO (mes)					
	Junio/2014	Julio/2014	Agosto/2014	Septiembre/2014	Octubre/2014	Noviembre/2014
Ident. Proy.						
Diseño						
Construcción						
Operación						

Cuadro No. 2 SISTEMA ESTRUCTURAL: MOMENTO FLECTOR - COSTO ESTIMADO				
Código	Rubro	Costo rubro (\$USA)	Costo acumulado (\$USA)	Fuente de financiamiento
01	Bastidor	150	150	Estudiantes-Instructor
02	Viga + Taller industrial	230	380	
03	Pesas, niveles, escala y anexos	420	800	
04	Mano de obra y dirección	100	900	
TOTAL			900	

Figura 3





Construcción y operación del Sistema Estructural: MOMENTO FLECTOR



Componentes principales del Sistema Estructural: MOMENTO FLECTOR



Estudio de casos. Sistema Estructural: MOMENTO