

## Diseño de edificación de marcos estructurales utilizando prefabricados existentes en el Centro Universitario de San Marcos

*Structural frame building design using existing prefabricated elements at the San Marcos University Center*

Ronald Mauricio Navarro de León

[mauriciodeleon112@gmail.com](mailto:mauriciodeleon112@gmail.com)

 <https://orcid.org/0009-0001-9267-7435>

Ingeniería Civil, Centro Universitario de San Marcos, USAC  
San Marcos, Guatemala

### RESUMEN

En el lugar de estudio, se realizó un diagnóstico de infraestructura con el propósito de entender las circunstancias en las que los estudiantes se encontraban para su proceso de aprendizaje. Dicho análisis mostró falta de espacios y desaprovechamiento de áreas con las que contaba el Centro Universitario de San Marcos. Con el objetivo de mejorar condiciones de infraestructura, se propuso el diseño de edificios sismo resistentes utilizando marcos estructurales garantizando servicios básicos y seguros que necesitan los estudiantes. En la elaboración del análisis y diseño de los edificios fue necesario indagar sobre la cantidad de estudiantes en el Centro Universitario y principalmente obtener la optimización por niveles y áreas destinadas a salones de clases. Se determinó cómo aprovechar y reutilizar el módulo de aulas emergentes prefabricadas con elaboración de tres edificios (Alas 1, 2 y 3) con dimensiones y seguridad acorde a lo que la universidad necesita.

**Palabras clave:** infraestructura; análisis; diseño; sismo; reutilizar.

### ABSTRACT

At the study site, an infrastructure diagnosis was carried out with the purpose of understanding the circumstances in which the students found themselves in their learning process. This analysis showed a lack of spaces and wasted use of areas that the San Marcos University Center had. With the objective of improving infrastructure conditions, the design of earthquake-resistant buildings was proposed using structural frames guaranteeing basic and safe services that students need. In preparing the analysis and design of the buildings, it was necessary to investigate the number of students in the University Center and mainly obtain optimization by levels and areas intended for classrooms. It was determined how to take advantage and reuse the prefabricated emerging classroom module with the creation of three buildings (Wings 1, 2 and 3) with dimensions and security according to what the university needs.

**Keywords:** infrastructure; analysis; design; earthquake; re-use.

El autor declara que no tiene ningún conflicto de interés. El estudio fue financiado con recursos del autor.

Recibido: febrero 8 de 2023 | Aceptado: julio 24 de 2023 | Publicado: octubre 30 de 2023

## INTRODUCCIÓN

El Centro Universitario de San Marcos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, cuenta con dos módulos para albergar alrededor de 7000 estudiantes, donde en su mayoría son espacios no aptos, ya que se excede el límite permitido por normativas de seguridad ocupacional. La falta de aulas y laboratorios es un aspecto primordial para contrarrestar y promover el crecimiento en infraestructura realizando un aprovechamiento en área ocupacional. En el módulo 1, siendo este el edificio con mayor deficiencia en infraestructura, ya que encontramos espacios restaurados y así también aulas emergentes debido a la problemática ocasionada por el terremoto del año 2012, dicho módulo no cuenta con la planificación adecuada, con medidas de seguridad y sobre todo con el dimensionamiento a futuro que necesita un edificio educativo. Por lo anterior, se plantea como objetivo de estudio diseñar edificios de dos niveles sismo-resistentes distribuidos en las alas 1, 2 y 3, utilizando la metodología de marcos estructurales para garantizar una infraestructura adecuada y segura, que permita el aprovechamiento y optimización de los espacios actualmente utilizados por el sistema de aulas de material prefabricado del Centro Universitario de San Marcos.

En los criterios técnicos para el desarrollo de espacios académicos universitarios se resalta la adecuada toma del terreno o espacio a utilizar, lineamientos generales para el uso correcto de espacios, confort para estudiantes, docentes y toda persona que use las instalaciones y sobre todo la seguridad dentro y fuera de los módulos que necesita la Universidad (Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020).

Debido al tipo de dificultad y en la búsqueda de soluciones se implementa el análisis y diseño de tres edificaciones utilizando marcos estructurales, siendo estos marcos rígidos a base de losas, vigas, columnas y zapatas formando el alma del proyecto, conociendo la distribución se adaptan criterios técnicos para su análisis referido a cargas, combinaciones y resultados detallando armado y proceso constructivo de las edificaciones.

En conjunto al análisis, las normativas nos brindan criterios en base al material de cerramiento<sup>1</sup> como estructura liviana, vidrio, block, mampostería y particiones rígidas destinadas al sistema estructural sean estos E1, E2, E3, E4, E5 y E6. El sistema E1 denominado estructura de marcos simples conformado por el soporte entre vigas y columnas estos unidos entre sí. (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2020).

En el desarrollo del diseño de dichas edificaciones se consideran los espacios que actualmente utilizan las aulas emergentes o aulas prefabricadas siendo estas las de mayor aforo estudiantil y las óptimas para su desmontaje/aprovechamiento en el proyecto que contribuye a la mejora de la infraestructura del centro respetivamente con las Alas 1, 2 y 3 para albergar alrededor de 2500 estudiantes cumpliendo con la metodología que manda la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) en conjunto al Instituto Americano del Concreto (ACI).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La implementación del estudio se basó en la búsqueda y análisis de los espacios utilizados por el sistema de aulas prefabricadas siendo esta el área utilizada para el módulo de edificios correspondientes a las Alas 1, 2 y 3. De acuerdo a la oficina de Control Académico del Centro Universitario de San Marcos, 10 carreras han hecho uso de las instalaciones con un total de 12830 estudiantes en el periodo del 2012 al 2022, siendo esta la etapa en la que el sistema prefabricado ha dado servicio a la población estudiantil. Posterior a verificar datos se realizó la proyección que tendrían las carreras del centro en un periodo de 20 años y obtener los parámetros necesarios para el diseño de las edificaciones.

El sistema de aulas prefabricadas fue diseñado con el propósito de prestar servicios de una manera emergente y útil, con materiales desmontables con el fin de remodelación o de mantenimiento, siendo detallado el proceso y el análisis de utilidad adaptado a cerramiento en los edificios a diseñar con el fin de promover el reciclaje y el aprovechamiento del sistema.

---

<sup>1</sup> Cerramiento en la construcción y en la arquitectura, se refiere a las estructuras que cierran o delimitan un espacio, como paredes exteriores o divisiones internas en un edificio.

Posterior a ello, fue realizada la búsqueda de capacidad soporte del suelo en donde se cimentará el proyecto, tomando como eje la toma de muestra de este para ser analizada en un laboratorio, junto a ello, se realizó el levantamiento topográfico para conocer las dimensiones con las que cuenta el área destinada para la elaboración del proyecto. La distribución arquitectónica en donde dio inicio el análisis de elementos estructurales como lo son: losas, vigas, columnas y zapatas con sus dimensiones y se corroboraron modelos matemáticos en base a cargas verticales y horizontales en busca de coeficiente sísmico, cortante basal y los datos que fueron requeridos para el diseño de marcos en el software ETABS y comparado con metodología Kani.

Mediante el análisis fue diseñado cada elemento estructural respectivamente a base de los datos proporcionados por ETABS para conocer la distribución de armado y especificaciones que necesita cada elemento de las edificaciones, dichos datos fueron primordiales para la elaboración de planos, detalles y sobre todo el presupuesto desglosado con el fin de conocer el costo total por edificación.

## RESULTADOS

### Contexto del área de investigación

#### Información base sobre área de aulas prefabricadas.

##### Fase 1

La “Fase 1” de aulas emergentes contempla “Ala 1” y “Ala 2” con uso de aulas y oficinas/laboratorios:

- 7 aulas de uso general.
- Laboratorio de materiales de construcción, resistencia de materiales, concreto armado de la carrera de Ingeniería Civil.
- Coordinación de Planificación
- Información estudiantil.

En dicha fase se incluyen aulas con dimensiones de 11.40 metros x 5.60 metros, Ala 2, se incluyen aulas con dimensiones de 11.20 metros x 5.60 metros y espacios para oficinas, laboratorios u otros usos.

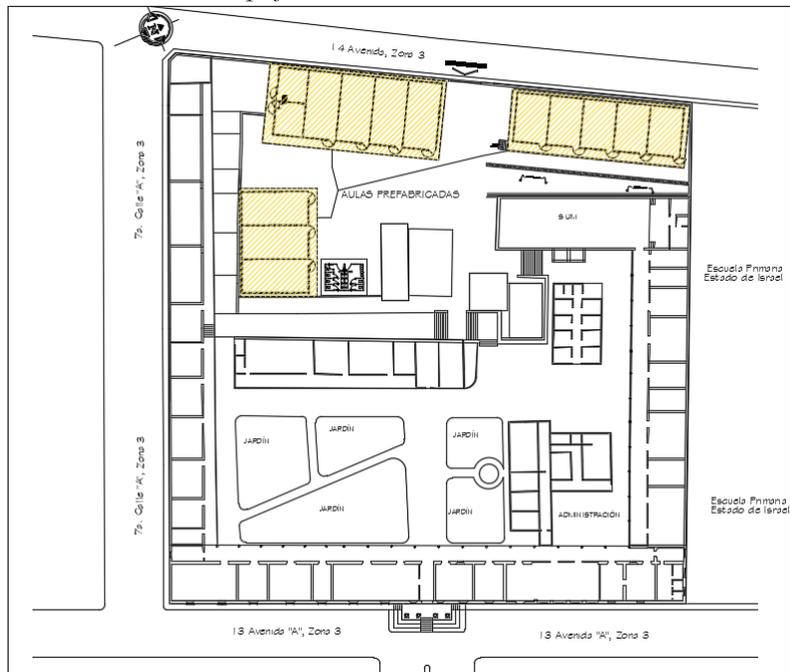
## Fase 2

La fase implementada en el periodo de 2015-2016 en donde se incluye el Ala 3, específicamente de uso general para el centro universitario con dimensiones de 8.15 metros x 5.62 metros con una capacidad de 42 alumnos por aula.

## Ubicación

### Figura 1

*Ubicación de sistema de aulas prefabricadas.*



**Fuente:** Elaboración propia, utilizando software AutoCAD.

En la figura 1 se observa la ubicación del sistema de aulas prefabricadas respecto a sus tres alas, estas referente al módulo 1 del Centro Universitario de San Marcos, dicho sistema finalizó su vida útil por lo que se plantea el aprovechamiento y optimización de los recursos. También es importante

mencionar que el Centro debió optimizar y consolidar de una mejor manera el espacio con el que se cuenta para uso de los estudiantes.

## Carreras que hacen uso de aulas prefabricadas

El Centro Universitario de San Marcos, registró 10 carreras que hacen uso del sistema de aulas prefabricadas en las que cada una de ellas contempla horarios adecuados en jornadas matutinas, vespertinas y nocturnas, dichos datos se observan en la tabla 1 a continuación:

**Tabla 1**

*Carreras que hacen uso del sistema de aulas prefabricadas.*

Carreras	Aulas prefabricadas en uso
1. Profesorado de Enseñanza Media en Pedagogía y Ciencias de la Educación PEM (01)	1
2. Técnico en Producción Agrícola (03).	2
3. Técnico en Administración de Empresas (04).	2
4. Trabajador Social (05).	2
5. Licenciatura en Pedagogía y Ciencias de la Educación (06).	2
6. Administración de Empresas (07).	1
7. Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible (08).	3
8. Licenciatura en Trabajo Social con Orientación en Proyectos de Desarrollo (11).	3
9. Ingeniería Civil (14).	6
10. Contaduría Pública y Auditoría (15).	3

(00) Numeración de carrera referencia Control Académico

**Fuente:** Elaboración propia, investigación de campo, 2022.

## Población estudiantil futura

Se verificó la proyección a 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 años para conocer el total de posibles estudiantes que puedan ingresar en cada carrera que hace uso del sistema de aulas prefabricadas, con una tasa promedio de crecimiento poblacional del 6 %.

**Tabla 2**

*Población futura por carrera.*

Carrera	1 2023	2 2024	4 2026	6 2028	8 2030	10 2032	12 2034	14 2036	16 2038	18 2040	20 2042
1. (01).	28	29	32	34	37	40	43	46	50	54	59
2. (03).	29	30	30	31	32	32	33	34	35	35	36
3. (04).	58	60	66	73	80	88	96	106	116	128	140
4. (05).	84	93	114	140	172	211	259	317	389	477	585
5. (06).	95	94	92	90	87	85	83	82	80	78	76
6. (07).	193	185	171	157	145	133	123	113	104	96	88
7. (08).	209	229	272	324	386	459	546	651	774	922	1097
8. (11).	121	119	114	110	106	102	98	95	91	88	85
9. (14).	71	76	88	101	116	134	154	177	204	235	271
10. (15).	115	133	178	239	320	430	576	773	1037	1391	1865

(00) Numeración de carrera referencia Control Académico

(Numeral sobre columnas) Cantidad de años de proyección, ejemplo: 6 = 6 años.

**Fuente:** Elaboración propia, investigación de campo, 2022.

En la tabla 3 se muestran la cantidad de estudiantes que cada Carrera espera en la proyección anteriormente mencionada. También es importante mencionar que este dato es primordial para la adecuación de ambientes en las edificaciones.

## Servicio técnico profesional

### Descripción del proyecto

El proyecto consiste en el análisis y diseño de edificios destinados a salones de clase y laboratorios para el Centro Universitario de San Marcos, dentro del cual se realiza el desmontaje del sistema de aulas prefabricadas existentes para posteriormente ser reutilizadas como material de cerramiento en las edificaciones.

Datos preliminares.

A continuación, se describen los datos preliminares del servicio técnico profesional.

## Desmontaje planta prefabricada

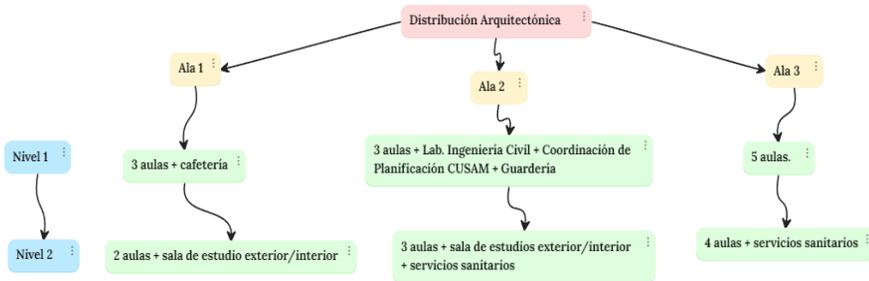
El sistema del Centro Universitario de San Marcos, cuenta con 237 metros lineales de canaletas, 14 puertas, 28 ventanas de aluminio, 450 láminas de techo, instalaciones eléctricas y 240 de costaneras tipo C 2”x 4”, 180 tubos cuadrados de 4”x4”, 215 planchas de fibrocemento y 265 tubos cuadrados de 2”x2”. El desmontaje y reutilización prevé almacenamiento y cuidado bajo techo en lugares ventilados y secos no solo en el proceso de colocación si no también en el cuidado de este, (Plycem., 2021)

## Distribución arquitectónica

Las instalaciones presentan la siguiente distribución arquitectónica, mediante el uso equitativo, uso flexible, uso simple e intuitivo, minimizando riesgos, comodidad, eficiencia y sobre todo el adecuado uso del espacio para movilidad de las personas. (Ministerio de Educación, Gobierno de la República de Guatemala., 2022)

**Figura 2**

*Distribución Arquitectónica.*



**Fuente:** Elaboración propia, utilizando Padlet.

La figura 2 presenta la distribución arquitectónica respecto a Ala 1 que contiene 3 aulas de uso general + cafetería en planta baja, en planta alta 2 aulas de uso general + sala de estudios exterior/interior. Ala 2 contiene en planta baja 3 aulas de uso general, espacios destinados a laboratorio de la Carrera de Ingeniería Civil y Coordinación de Planificación CUSAM, en planta alta contiene 3 aulas de uso general, sala de estudios exterior/interior y servicios

sanitarios. Ala 3 en planta baja contiene 5 aulas de uso general y en planta alta contiene 4 aulas de uso general y servicios sanitarios.

## Estudio de suelos

En la Ingeniería Civil el análisis de suelo nos permite conocer propiedades tanto físicas como mecánicas, de igual manera nos permite saber si el lugar en que se pretende elaborar el proyecto es apto para soportar la estructura. Con los resultados obtenidos en el análisis de suelo se determina el tipo de cimentación, geometría y profundidad que tendrá la misma.

La búsqueda y obtención de estudios realizados alrededor de la zona 1, 2 y 3 de la cabecera departamental de San Marcos manifiesta los siguientes rangos:

**Zona 1.** Rango de datos referente a zona 1 de San Marcos en donde fueron realizadas 12 muestras con profundidades entre 0.9m a 4m, (Itzep, 2013)

$$4 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} - 10 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

**Zona 2.** Rango de datos referente a zona 2 de San Marcos en donde fueron realizadas 12 muestras con profundidades entre 0.6m a 10m, (Jerónimo, 2013)

$$0.72 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} - 3.21 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

**Zona 3.** Rango de datos referente a zona 3 de San Marcos en donde fueron realizadas 12 muestras con profundidades entre 0.9m a 3.5m, (Chávez, 2015)

$$6.47 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} - 25.49 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

De igual manera el rango de resultados obtenidos de proyectos aledaños y estudio propio manifestando los siguientes datos:

$$9.18 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} - 18.36 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$2.54 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} - 5.09 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

Con los datos obtenidos mediante ensayos realizados en las distintas zonas de San Marcos, los valores de análisis sobre la resistencia del suelo o capacidad

admisible del mismo, aledaños al Centro Universitario de San Marcos, CUSAM, referentes a zona 3 y proyectos vecinos se concluye como valor a utilizar en el diseño de cimentación de las Alas 1, 2 y 3 el siguiente:

$$\text{Capacidad admisible del suelo} = 20 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

En conjunto a ello, se presentan características físicas caracterizando el tipo de suelo como Arena Limosa, mezcla de arena y limo, en donde se deberá mejorar el suelo bajo la cimentación con los parámetros siguientes:

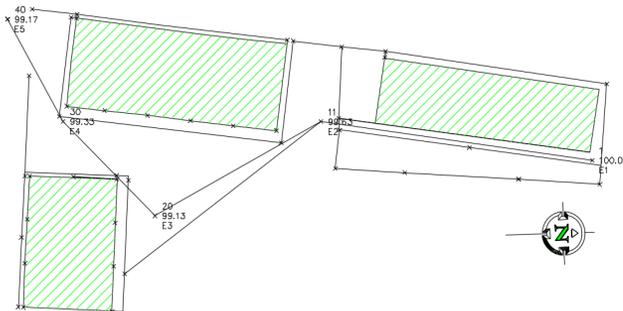
- A. Dejar un material granular tipo A-1 (Cascajo + arena) según la clasificación AASHTO + cemento proporción 85%+15%
- B. Una columna de grava a presión de un diámetro de 1.20 metros compactada a cada 10 cm/grava diámetro ½, 1, 1 ½ a 2.5 pulgadas.

### Levantamiento topográfico

Se realizó inspección y reconocimiento del área destinada al diseño y verificación de edificaciones del Centro Universitario de San Marcos. Primero se efectuó el recorrido para colocar estaciones correspondientes al polígono y así tener referencia para incorporar radiaciones<sup>2</sup> en todo el levantamiento.

**Figura 3**

*Levantamiento topográfico.*



**Fuente:** Elaboración propia, utilizando software AutoCAD.

<sup>2</sup> En topografía, radiación se refiere a una técnica utilizada para medir y marcar puntos en el terreno utilizando instrumentos de medición, como una estación total o un teodolito. La radiación implica establecer un punto conocido (punto base) y luego medir un ángulo horizontal y una distancia desde ese punto base hacia el punto que se desea marcar.

En la figura 3 se observa el polígono topográfico respecto al espacio referente a las Alas 1, 2 y 3 siendo el límite para el análisis y diseño de las edificaciones.

## **Diseño arquitectónico**

### **Requerimiento de áreas**

Para la incorporación y el requerimiento de áreas en las edificaciones se tomó en cuenta el uso que estos tendrán, ambiente, mobiliario, maquinaria y el número de estudiantes que utilizarán dichos edificios. En la actualidad, el sistema de aulas prefabricadas cuenta con las siguientes áreas: 250 m<sup>2</sup>, 370 m<sup>2</sup> y 280 m<sup>2</sup>, en donde se respetaron estimaciones de diseños de aulas emergentes y se adaptó la nueva edificación para satisfacer las necesidades del Centro Universitario.

### **Distribución de espacios**

En la distribución de espacios se tomó en cuenta que las edificaciones son netamente de uso estudiantil y administrativo, se incorporó comunicación con los edificios vinculados con el centro universitario y sobre todo la importancia que trae la incorporación de dicho diseño, así mismo, incorporación de medidas y acciones de seguridad, salidas de emergencia, cantidades máximas por salón de clase y anchos correspondientes, (Coordinación Nacional para la Reducción de Desastres., 2019).

### **Análisis estructural**

El análisis estructural de las edificaciones permitió delimitar las dimensiones apropiadas para cada elemento que forma parte de la estructura, verificar si estos se comportan de la manera esperada bajo cargas o situaciones gravitacionales, de igual manera analizar su comportamiento mediante movimientos naturales como lo son sismos o vientos.

### **Pre-dimensionamientos**

Losas, en la tabla 4 se expresan las dimensiones y datos referentes a losas del Ala 1, esto delimitando largo, ancho, dirección en la que trabaja y espesor de diseño. También es importante mencionar que la misma metodología se implementó para Ala 2 y Ala 3.

**Tabla 3**

*Predimensionamiento de losas Ala 1.*

No.	Tipo.	Dimensiones.		m.	Dirección.	Espesor calculado.	Espesor de diseño.
1	L1	5.6	3.5	0.63	2 direcciones	0.10 m	0.12 m
2	L1	5.6	3.5	0.63	2 direcciones	0.10 m	0.12 m
3	L2	3.5	2.5	0.71	2 direcciones	0.07 m	0.12 m
4	L3	5.6	5.6	1.00	2 direcciones	0.12 m	0.12 m
5	L3	5.6	5.6	1.00	2 direcciones	0.12 m	0.12 m
6	L4	5.6	2.5	0.45	1 dirección	0.09 m	0.12 m
7	L3	5.6	5.6	1.00	2 direcciones	0.12 m	0.12 m
8	L3	5.6	5.6	1.00	2 direcciones	0.12 m	0.12 m
9	L4	5.6	2.5	0.45	1 dirección	0.09 m	0.12 m
10	L3	5.6	5.6	1.00	2 direcciones	0.12 m	0.12 m
11	L3	5.6	5.6	1.00	2 direcciones	0.12 m	0.12 m
12	L4	5.6	2.5	0.45	1 dirección	0.09 m	0.12 m

**Fuente:** Elaboración propia

Vigas, pre-dimensionar el elemento en donde se especifica la altura de una viga mediante aspectos como: Extremos continuos de viga, con un extremo continuo, simplemente apoyada y de igual manera una viga en voladizo, (American Concrete Intitute, ACI., 2014)

En la tabla 5 se expresan las dimensiones y datos referentes a vigas del Ala 1, esto delimitando luz, peralte, altura y base de diseño. También es importante mencionar que la misma metodología se implementó para Ala 2 y Ala 3.

**Tabla 4**

*Predimensionamiento de vigas, N1-Ala 1.*

No.	Luz de viga.	Peralte.	Recubrimiento.	Altura h.	Base b.
V1	5.6 m	0.54 m	0.06 m	0.60 m	0.30 m
V2	3.5 m	0.44 m	0.06 m	0.50 m	0.25 m
V3	2.5 m	0.44 m	0.06 m	0.50 m	0.25 m
V4	2.0 m	0.54 m	0.06 m	0.60 m	0.30 m
V5	5.6 m	0.54 m	0.06 m	0.60 m	0.40 m
V6	5.6 m	0.54 m	0.06 m	0.60 m	0.40 m

**Fuente:** Elaboración propia.

Columnas, en la tabla 6 se expresan las dimensiones y datos referentes a columnas del Ala 1, esto delimitando altura y base de diseño. También es importante mencionar que la misma metodología se implementó para Ala 2 y Ala 3.

**Tabla 5**

*Predimensionamiento de columnas, Ala 1.*

No.	Altura h.	Base b.
C1	0.40 m	0.40 m
C2	0.40 m	0.40 m
C3	0.40 m	0.40 m
C4	0.35 m	0.35 m

**Fuente:** Elaboración propia

Zapatas, en la tabla 7 se expresan las dimensiones y datos referentes a zapatas del Ala 1, esto delimitando largo, ancho. También es importante mencionar que la misma metodología se implementó para Ala 2 y Ala 3.

**Tabla 6**

*Predimensionamiento de zapatas, Ala 1.*

No.	B	A
Z-1	2.0 m	2.0 m
Z-2	2.6 m	2.0 m
Z-3	2.5 m	2.2 m
Z-4	2.0 m	2.0 m
Z-5	1.7 m	1.7 m

**Fuente:** Elaboración propia

### Modelos matemáticos de marcos dúctiles

Cargas verticales: Expresadas como toda carga viva y muerta que afecte la estructura como, por ejemplo: Cargas muertas de losa, viga, acabados y de la misma manera cargas vivas referentes a la ocupación de la edificación, (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica., 2020)

$$Aulas = 200 \frac{kg}{m^2}$$

$$Pasillos y escaleras = 500 \frac{kg}{m^2}$$

$$Salones de lectura de bibliotecas = 200 \frac{kg}{m^2}$$

Cargas horizontales: respecto de los sucesos que afectan al país, el Centro Universitario de San Marcos, ubicado en el departamento de San Marcos cuenta con un índice de sismicidad de 4.1 referente al mapa de zonificación sísmica de

Guatemala, siendo un territorio altamente sísmico por lo que toda edificación a elaborar en dicho departamento debe y necesita las medidas que la normativa AGIES exige, (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica., 2020)

- Coeficiente sísmico,  $C_s$ .

$$C_s = 0.161$$

- Peso de la edificación,  $W_s$ , en los parámetros siguientes se contempla la sumatoria de pesos referentes a losas, vigas, columnas, elementos interiores, fachada y 25% de cargas vivas utilizadas en el análisis.

$$W_s (Ala 1) = 369138.15 \text{ kg}$$

$$W_s (Ala 2) = 525575.54 \text{ kg}$$

$$W_s (Ala 3) = 434923.24 \text{ kg}$$

- Constante Basal,  $V_b$ , parámetros encontrados verificando el producto del coeficiente sísmico y el peso sísmico.

$$V_b (Ala 1) = 59431.24 \text{ kg}$$

$$V_b (Ala 2) = 84617.66 \text{ kg}$$

$$V_b (Ala 3) = 70022.64 \text{ kg}$$

- Combinaciones de cargas, CR1, 2, 3, 4, 5. La normativa AGIES brinda parámetros para diseño en relación a combinaciones críticas las cuales se completan con el resultado del coeficiente sísmico y las distintas cargas de diseño.

**Tabla 7**

*Combinaciones de carga. (Carga de gravedad, carga de sismo).*

<b>Combinación.</b>	<b>Fórmula.</b>
CR1	1.4M
CR2	1.2M + 1.6V + 0.5(V <sub>t</sub> o Pl o Ar)
CR3	1.2M + V + 1.6(V <sub>t</sub> o Pl o Ar)
CR4-1	1.46M + V + S <sub>x</sub> + 0.30S <sub>y</sub>
CR4-2	1.46M + V + S <sub>x</sub> - 0.30S <sub>y</sub>
CR4-3	1.46M + V + S <sub>y</sub> + 0.30S <sub>x</sub>
CR4-4	1.46M + V + S <sub>y</sub> - 0.30S <sub>x</sub>
CR4-5	1.46M + V - S <sub>x</sub> + 0.30S <sub>y</sub>
CR4-6	1.46M + V - S <sub>x</sub> - 0.30S <sub>y</sub>
CR4-7	1.46M + V - S <sub>y</sub> + 0.30S <sub>x</sub>
CR4-8	1.46M + V - S <sub>y</sub> - 0.30S <sub>x</sub>
CR5-1	0.64M + S <sub>x</sub> + 0.30S <sub>y</sub>
CR5-2	0.64M + S <sub>x</sub> - 0.30S <sub>y</sub>
CR5-3	0.64M + S <sub>y</sub> + 0.30S <sub>x</sub>
CR5-4	0.64M + S <sub>y</sub> - 0.30S <sub>x</sub>
CR5-5	0.64M - S <sub>x</sub> + 0.30S <sub>y</sub>
CR5-6	0.64M - S <sub>x</sub> - 0.30S <sub>y</sub>
CR5-7	0.64M - S <sub>y</sub> + 0.30S <sub>x</sub>
CR5-8	0.64M - S <sub>y</sub> - 0.30S <sub>x</sub>

**Fuente:** Elaboración propia.

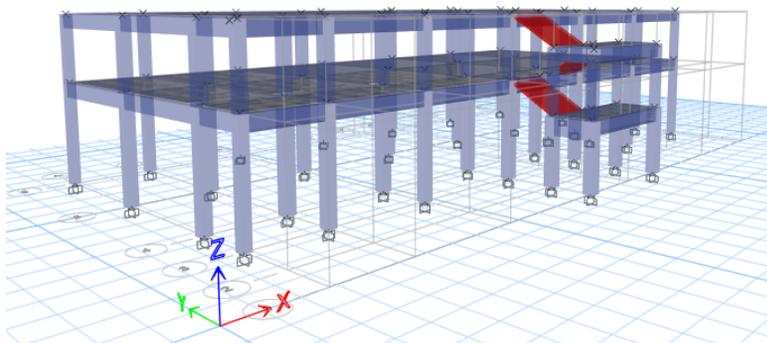
En la tabla 8 se observan las fórmulas relacionadas a combinaciones de carga con los datos extraídos del coeficiente sísmico para poder realizar el análisis estructural y diseñar cada elemento como lo especifican las normativas guatemaltecas.

### **Análisis por medio de software, ETABS**

Según criterios normados e ingenieriles en la figura 4 se conoce la edificación estructural elaborada por medio del software ETABS<sup>3</sup> referente al Ala 2 del Centro Universitario de San Marcos.

<sup>3</sup> ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems) es un software destinado al análisis y diseño estructural el cual nos permite modelar la edificación con todos los parámetros necesarios,

**Figura 4**  
*Modelo 3D ETABS, Ala 2.*



**Fuente:** Elaboración propia, utilizando software ETABS.

## Diseño estructural

### Losas

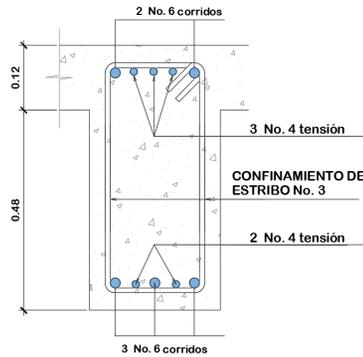
Las losas a utilizar en las edificaciones corresponden a las denominadas losas rígidas siendo estas una estructura plana y resistente diseñada para soportar cargas y distribuir el peso de manera eficiente, en las edificaciones se usará un espesor en general de  $t = 0.12 m$  y armado con  $s = 0.15 m$  para facilidad de construcción.

### Vigas

Las vigas construidas de concreto se refuerzan de acero para soportar en conjunto los esfuerzos de flexión como lo es la tensión y la compresión, de igual manera en zonas cercanas a los apoyos se producen esfuerzos cortantes los cuales son contrarrestados por el refuerzo transversal lo que cumple con parámetros mínimos y máximos que rige el código de diseño, (Nilson, 2001).

En el proyecto se utilizarán 15 tipos de viga distribuidas en las Alas 1, 2 y 3 detallando el acero de refuerzo en cama superior como cama inferior, así mismo, el refuerzo de estribos confinados como se detalla en la figura 5, siendo este el detalle estructural de la viga V-1.

**Figura 5**  
*Armado de Viga 1 a flexión.*

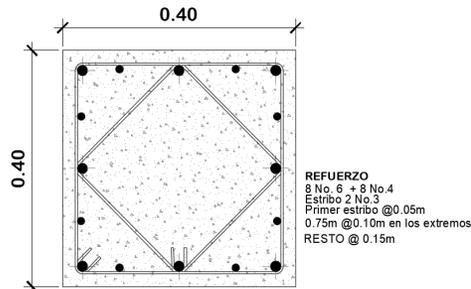


**Fuente:** Elaboración propia, utilizando software AutoCAD.

## Columnas

En el proyecto se utilizarán 7 tipos de columnas rectangulares distribuidas en las Alas 1, 2 y 3 detallando el acero de refuerzo longitudinal, así mismo, el refuerzo de estribos confinados como se detalla en la figura 6, siendo este el detalle estructural de la columna C-1.

**Figura 6**  
*Armado Columna 1.*



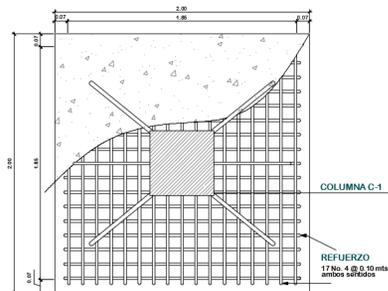
**Fuente:** Elaboración propia, utilizando software AutoCAD.

## Zapatas

La cimentación de una edificación es el elemento estructural destinado para recibir toda carga aplicada a la estructura como también el peso propio de ella y así transmitir las al suelo, (Das, 2022). En el proyecto se utilizarán 5 tipos de

zapatas concéntricas<sup>4</sup> distribuidas en las Alas 1, 2 y 3 detallando el acero de refuerzo que estas tendrán, dicho refuerzo se detalla en la figura 6, siendo este el detalle estructural de la zapata Z-1.

**Figura 7**  
*Armado zapata 1.*



**Fuente:** Elaboración propia, utilizando software AutoCAD.

## PROPUESTA

### Ala 1

En la figura 8 se representa la propuesta para de edificación correspondiente al Ala 1, detallando acabados de vigas, losas, acceso de gradas, barandas, puertas, ventanas y jardinización que esta tendrá.

**Figura 8**  
*Render, propuesta Ala 1*



**Fuente:** Elaboración propia, utilizando Lumion.

<sup>4</sup> Zapata concéntrica, tipo de cimentación utilizada para soportar cargas concentradas en el punto central del elemento.

## Ala 2.

En la figura 9 se representa la propuesta para edificación correspondiente al Ala 2, detallando acabados de vigas, losas, acceso de gradas, barandas, puertas, ventanas y jardinización que esta tendrá.

### Figura 9

*Render, propuesta Ala 2.*



**Fuente:** Elaboración propia, utilizando Lumion.

## Ala 3

En la figura 10 se representa la propuesta para de edificación correspondiente al Ala 3, detallando acabados de vigas, losas, acceso de gradas, barandas, puertas, ventanas y jardinización que esta tendrá.

### Figura 10

*Render, propuesta Ala 3.*



**Fuente:** Elaboración propia, utilizando Lumion.

## DISCUSIÓN

La Universidad de San Carlos de Guatemala por medio de los Criterios Técnicos para el Desarrollo de Espacios Académicos Universitarios nos brindan los parámetros necesarios de ambiente, iluminación y sobre todo características para la incorporación de aulas y laboratorios académicos, debido a ello, los espacios destinados a salones de clases para las edificaciones de las Alas 1, 2 y 3 contienen dimensiones de 11.4 metros por 5.60 metros cubriendo los criterios ocupacionales y la seguridad estudiantil.

En conjunto a la distribución de espacios, la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica nos brinda parámetros mínimos a seguir para el análisis y diseño mediante cargas de uso para aulas, pasillos y laboratorios que tendrán las edificaciones, dicho proyecto cuenta con dichos parámetros en la búsqueda de coeficiente sísmico, pesos sísmicos y la distribución del cortante basal distribuido no solo en los niveles de las edificaciones si no también en los distintos marcos que cada una de ellas tendrá.

Por otro lado, la proyección y el aspecto ingenieril que caracteriza a un Ingeniero Civil cumpliendo parámetros de diseño de losas, vigas, columnas y zapatas, efectuando los mínimos permitidos para secciones de concreto y acero de refuerzo como se menciona en la normativa ACI (American Concrete Institute) dando como resultado elementos correctamente diseñados, funcionales y adecuando el costo beneficio de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## CONCLUSIONES

En la actualidad el Centro Universitario promueve el uso de 12 aulas que tiene a su disposición en el sistema prefabricado, dichas aulas han finalizado su vida útil, sin embargo, implementando el proceso de desmontaje con las medidas necesarias estas pueden ser reutilizadas como proceso de cerramiento a modo mencionado en el sistema estructural E1 para marcos estructurales con particiones livianas correspondientes a las edificaciones de Ala 1, 2 y 3 adaptando un proceso de bajo costo, beneficio a la universidad, reciclaje de material y sobre todo el aprovechamiento de espacios en uso legal del Centro Universitario de San Marcos

El diseño de las edificaciones del proyecto correspondientes al Ala 1, 2 y 3 desarrolladas con análisis técnico que involucra el aprovechamiento de espacios

y ambientes óptimos, beneficiará al crecimiento en infraestructura y el incremento en seguridad estructural necesaria para la Universidad.

San Marcos como cabecera departamental se encuentra ubicado en zonas con baja capacidad admisible del suelo, esto afecta en la incorporación de edificios y al crecimiento en infraestructura y sobre todo al factor económico, las edificaciones del Ala 1, 2 y 3 se planificaron a dos plantas con poca posibilidad de incremento, debido al aumento que necesita el suelo en su capacidad portante.

## REFERENCIAS

- American Concrete Intitute, ACI. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, (ACI 318S-14)*. Obtenido de [https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci\\_318s\\_14\\_en\\_esp\\_anol.pdf](https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_esp_anol.pdf)
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2020). *Diseño Estructural de Edificaciones NSE 3, Normas de Seguridad Estructural para Guatemala*. Guatemala. Obtenido de <https://www.agies.org/>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2020). *Diseño Estructural de Edificaciones NSE 1, Normas de Seguridad Estructural para Guatemala*. Guatemala. Obtenido de <https://www.agies.org/>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2020). *Diseño Estructural de Edificaciones NSE 2, Normas de Seguridad Estructural para Guatemala*. Guatemala. Obtenido de <https://www.agies.org/>
- Chávez, O. E. (2015). *Análisis topográfico y característico de los suelos de la zona 3 de la cabecera departamental de San Marcos*. San Marcos, Guatemala.
- Coordinación Nacional para la Reducción de Desastres. (2019). *Norma de Reducción de Desastres NRD2*. Guatemala. Obtenido de [https://conred.gob.gt/normas/NRD2/Manual\\_NRD2.pdf](https://conred.gob.gt/normas/NRD2/Manual_NRD2.pdf)
- Das, B. M. (2022). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. México.
- Itzep, Y. C. (2013). *Descripción Geológica del departamento de San Marcos. Análisis topográfico y caracterización de los suelos de la zona 1 de la cabecera departamental de la meseta de San Marcos*. San Marcos, Guatemala.

- Jerónimo, M. E. (2013). *Descripción Geológica del departamento de San Marcos, Análisis topográfico y característico de los suelos de la zona 2, de la cabecera departamental de la meseta de San Marcos*. Quetzaltenango, Guatemala.
- Ministerio de Educación, Gobierno de la República de Guatemala. (2022). *Manual de criterios normativos para el Diseño Arquitectónico de Centros Educativos Oficiales*. Guatemala. Obtenido de [https://www.mineduc.gob.gt/DIPLAN/documents/manual/Manual%20de%20Criterios%20Normativos%20para%20el%20Dise%C3%B1o%20arquitectonico%20de%20centros%20educativos%20oficiales/Manual\\_de\\_Criterios\\_Normativos\\_para\\_el\\_Dise%C3%B1o\\_arquitectonico\\_de\\_centros\\_educati](https://www.mineduc.gob.gt/DIPLAN/documents/manual/Manual%20de%20Criterios%20Normativos%20para%20el%20Dise%C3%B1o%20arquitectonico%20de%20centros%20educativos%20oficiales/Manual_de_Criterios_Normativos_para_el_Dise%C3%B1o_arquitectonico_de_centros_educati)
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Colombia. Obtenido de <https://marodyc.files.wordpress.com/2014/06/disec3b1o-de-estructuras-de-concreto-nilson-arthur.pdf>
- Plycem. (2021). *Guía de instalación, Sistema de paredes internas y externas Plyrock*. Guatemala. Obtenido de <https://plycem.com/producto/plyrock/>
- Universidad de San Carlos de Guatemala. (2020). *Criterios Técnicos para el Desarrollo de Espacios Académicos Universitarios*. Guatemala. Obtenido de <https://plani.usac.edu.gt/wp-content/uploads/2022/03/CRITERIOS-TECNICOS-PARA-EL-DESARROLLO-DE-ESPACIOS-UNIVERSITARIOS.pdf>

*Cómo citar este artículo:*

Navarro de León, R.M. (2023). Diseño de edificación de marcos estructurales utilizando prefabricados existentes en el Centro Universitario de San Marcos. *Revista de Investigación Proyección Científica*, 5(1), 113-134. <https://doi.org/10.56785/ripc.v5i1.81>



Copyright © 2023 Ronald Mauricio Navarro de León. Todos los derechos son de los autores de los manuscritos. Este texto está protegido por una licencia Creative Commons 4.0. Usted es libre para compartir y adaptar el documento para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

*Resumen de licencia - Texto completo de la licencia*