



Evaluación de la Capacidad Estructural del Módulo de Aulas Número 1 de la Universidad de Ibagué

Juan Felipe Sánchez Álvarez
Cristian Fernando Gómez Jurado

Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Ibagué - 2021

**Evaluación de la Capacidad Estructural del Módulo de Aulas Número 1 de la
Universidad de Ibagué**

**Juan Felipe Sánchez Álvarez
Cristian Fernando Gómez Jurado**

**Trabajo de grado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
Ing. Néstor Luis Guerrero Chávez**

**Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Ibagué - 2021**

“Agradezco a mi familia en especial a mi abuela (QEPD), mi padre y mi tía quienes estuvieron presentes en todo mi proceso de educación y formación tanto como profesional como persona”

Juan Felipe Sánchez Álvarez

“Agradezco a Dios por las bendiciones prestadas en esta etapa de mi vida, a mis padres por apoyarme en cada una de las decisiones para poder construir este sueño, a mi hija por impulsarme y acompañarme en este proceso”

Cristian Fernando Gómez Jurado

Agradecimientos

Al Ing. Néstor Luis Guerrero Chávez director del presente proyecto por su colaboración, guía e importante aporte en el desarrollo del mismo.

A la Universidad de Ibagué, al programa de Ingeniería Civil y a todos los docentes que nos brindaron educación de calidad y que contribuyeron a la obtención del título universitario.

A la oficina de planta física por brindarnos los permisos oportunos para la realización de los ensayos imprescindibles del proyecto.

A todos los compañeros y amigos que nos ayudaron y acompañaron de forma desinteresada en el proceso de aprendizaje.

Al personal del laboratorio de suelos quienes nos asistieron de manera atenta en todo lo requerido para los ensayos.

Resumen

Se ha identificado que, de acuerdo con la dinámica de crecimiento en el número de estudiantes de la Universidad de Ibagué, sus instalaciones están presentando falencias en cuanto a capacidad, posibilidades de uso y adaptación a nuevas tecnologías. Si se piensa en la construcción de nuevas instalaciones, se deben poner sobre la balanza dos puntos fundamentales: el costo en el que se incurriría y las posibles afectaciones al patrimonio arquitectónico y los espacios de la Universidad.

Por tal razón, en este proyecto se busca generar una propuesta para estudiar la capacidad estructural del módulo de Aulas Nro. I de la Universidad de Ibagué, de una forma que se ajuste a la realidad y nos permita obtener resultados relevantes y útiles, partiremos del trabajo realizado por Enciso R. F. P., Escobar C. F. J., y Ortiz P. J.A. (2019), quienes desarrollaron el trabajo de grado denominado “Evaluación de vulnerabilidad sismo resistente de la edificación de bloques de la Universidad de Ibagué”. Además, se tendrán en cuenta lo dispuesto en el NSR-10. Las propiedades de los materiales de los elementos constitutivos del sistema estructural se determinarán a partir de ensayos destructivos. Posteriormente, Se determinarán requerimientos de acero de refuerzo y se compararán con lo colocado de acuerdo con las cargas, tanto de uso como sísmicas previstas.

Palabras clave: capacidad, estructura, materiales, refuerzo

Abstract

It has been identified that, according to the dynamics of growth in the number of students at the University of Ibagué, its facilities are showing shortcomings in terms of capacity, possibilities of use and adaptation to new technologies. If one thinks about the construction of new facilities, two fundamental points should be put on the balance: the cost that would be incurred and the possible effects on the architectural heritage and the spaces of the University.

For this reason, this project seeks to generate a proposal to study the structural capacity of the classrooms module No. I of the University of Ibagué in a way that adjusts to reality and allows us to obtain relevant and useful results, we will start from the work carried out by (Evaluation of the Resistant Earthquake Vulnerability of the Building Blocks of the University of Ibagué, Andrés Felipe Enciso Rodríguez, Francisco Javier Escobar Cervera and Jorge Andrés Ortiz Peña). In addition, the provisions of the NSR-10 will be taken into account. The properties of the materials of the constituent elements of the structural system will be determined from destructive tests. Subsequently, reinforcing steel requirements will be determined and compared with what is placed according to the loads, both in use and anticipated seismic.

Keywords: capacity, structure, materials, reinforcement

Contenido

Introducción	3
Capítulo 1	4
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo general	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Justificación	7
Capítulo 2	8
2.1. Marco Teórico	8
2.1.1. Antecedentes	8
2.1.2. Bases teóricas	8
2.1.3. Alcance y limitaciones	15
3.1. Metodología	16
3.1.1 Ensayos no destructivos	17
3.1.2 Ensayos destructivos	21
3.1.3 Modelo matemático N°1 asistido por SAP2000	24
3.1.4 Modelo matemático N°2 Asistido por SAP2000	32
Capítulo 4	33
4.1. Análisis de Resultados	33
4.1.1. Exploración visual	33
4.1.2 Resultados de ensayos no destructivos	37
4.1.3 Resultados de ensayos destructivos	49
4.1.4 Análisis dinámico elástico espectral	51
4.1.5 Chequeo de derivas	56
4.1.6 Índice de flexibilidad de la estructura	66
4.1.7 Índice de sobreesfuerzo	66

4.1.8 Resultados obtenidos a partir del modelo matemático N°2.....	70
Capítulo 5.....	74
5.1 Conclusiones.....	74
5.2 Recomendaciones	75
Bibliografía	76
ANEXOS	79

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Evolución de la matrícula de la Universidad de Ibagué.....	5
Ilustración 2 Modulo de aulas número 1 de la Universidad de Ibagué.....	16
Ilustración 3 Columnas intervenidas.....	16
Ilustración 4 Ubicación de Refuerzo.....	17
Ilustración 5 Esclerómetro	18
Ilustración 6 Distribución para esclerometría	18
Ilustración 7 Extracción de especímenes	22
Ilustración 8. Especímenes extraídos	23
Ilustración 9 Prensa hidráulica.....	23
Ilustración 10 Modelo matemático 1	24
Ilustración 11 Modelo matemático N°2	32
Ilustración 12 Módulo de aulas 1 - parte trasera	33
Ilustración 13. Módulo de aulas 1 - parte delantera.....	34
Ilustración 14 Inspección visual del modulo.....	35
Ilustración 15 Scanner de acero de refuerzo	35
Ilustración 16 Determinación de diámetro de acero	35
Ilustración 17 Distribución de acero de refuerzo	36
Ilustración 18 Esclerometría columna 2.....	37
Ilustración 19 Esclerometría columna 3.....	40
Ilustración 20 Esclerometría columna 4.....	42
Ilustración 21 Esclerometría columna 5.....	44
Ilustración 22 esclerometría columna 6	46
Ilustración 23 Configuración en planta del modelo matemático.....	55
Ilustración 24 desplazamientos horizontales en X B29 - F29.....	56
Ilustración 26 desplazamientos horizontales en X B30 – F30	57
Ilustración 27 desplazamientos horizontales en X G30 - L30	57
Ilustración 28 desplazamientos horizontales en X2 B30- F30.....	58
Ilustración 29 desplazamientos horizontales en X2 G30- L30	58
Ilustración 30 desplazamientos horizontales en X B32 - G32	59
Ilustración 31 desplazamientos horizontales en X G32 - L32	59
Ilustración 32 desplazamientos en y B29 - B32.....	60
Ilustración 33 desplazamientos en Y C29- C32.....	60

Ilustración 38 desplazamiento en Y H29 - H32	63
Ilustración 39 desplazamiento en Y I29 - I32	63
Ilustración 42 desplazamientos en Y L29 - I32.....	65
Ilustración 43 Índice de sobreesfuerzo B29 - F29	66
Ilustración 44 Índice de sobreesfuerzo G29- L29	67
Ilustración 45 Índice de sobreesfuerzo B31	67
Ilustración 46 Índice de sobreesfuerzo L31	67
Ilustración 47 Índice de sobreesfuerzo B30 - F30	67
Ilustración 48 Índice de sobreesfuerzo G30 - L30	68
Ilustración 49 Índice de sobreesfuerzo B32 - F32	68
Ilustración 50 Índice de sobreesfuerzo G32- L32	69
Ilustración 51 Desplazamientos máximos en Y modelo matemático N°2 G29 - 632.....	70
Ilustración 52 Índice de sobreesfuerzo Modelo 2 B32 - G32	73
Ilustración 53 Índice de sobreesfuerzo Modelo G32 - L32	73

Lista de gráficos

Gráfico 1 Distribucion normal	21
Gráfico 2.Espectro de diseño	29
Gráfico 3.Distribución normal columna 2	39
Gráfico 4 Distribución normal columna 3	41
Gráfico 5 distribución normal columna 4	44
Gráfico 6 distribución normal columna 5	46
Gráfico 7 distribución normal columna 6	48
Gráfico 8. Comparación de ensayos de campo	50
Gráfico 9. Espectro de diseño	55
Gráfico 10 Desplazamientos máximos G29 – G32.....	71
Gráfico 11 Desplazamientos máximos E29 - E32	72

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Cálculo de derivas.....	30
Ecuación 2 Índice de flexibilidad.....	30
Ecuación 3 Coeficiente de disipación de energía.....	30
Ecuación 4. Combinaciones de cargas.....	32
Ecuación 5 Módulo de elasticidad de la mampostería.....	33
Ecuación 6. Cálculo de separación de estribos	37
Ecuación 7 cálculo del coeficiente de disipación de energía	53
Ecuación 8 Combinaciones de carga	53
Ecuación 9 Cálculo del índice de flexibilidad Modelo 1	66
Ecuación 10 Índice de Flexibilidad Modelo Matemático 2	71



Lista de Tablas

	Páginas
Tabla 1 Columna "CCS"	19
Tabla 2 Promedio y desviación estándar.....	19
Tabla 3 Distribución normal	20
Tabla 4 Resistencia del concreto.....	21
Tabla 5 Cargas vivas en cubiertas.....	26
Tabla 6 Coeficientes de velocidad y aceleración	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7 Nivel de amenaza sísmica.....	27
Tabla 8 Derivas máximas como porcentaje hpi	29
Tabla 9 CCS columna 2	38
Tabla 10 Promedio y desviación estándar columna 2.....	38
Tabla 11 Distribución normal columna 2	38
Tabla 12 Resistencia columna 2.....	39
Tabla 13 CCS columna 3	40
Tabla 14 promedio y desviación estándar columna 3	41
Tabla 15 Distribución normal columna 3	41
Tabla 16 Resistencia columna 3.....	42
Tabla 17 CCS columna 4	42
Tabla 18 promedio y desviación columna 4	43
Tabla 19 distribución normal columna 4	43
Tabla 20 resistencia columna 4.....	44
Tabla 21 CCS columna 5	45
Tabla 22 promedio y desviación columna 5	45
Tabla 23 distribución normal columna 5	45
Tabla 24 resistencia columna 5	46
Tabla 25 CCS columna 6	47
Tabla 26 promedio y desviación columna 6	47
Tabla 27 distribución normal columna 6	47
Tabla 28 resistencia columna 6.....	48
Tabla 29 Resultados de los ensayos destructivos.....	49
Tabla 30 ponderación resultados de ensayos destructivos.....	49
Tabla 31 avalúo de carga de la cubierta	51



Tabla 32 Avaluo de cargas mampostería de bloque de concreto sin relleno con un ancho de 150 mm	51
Tabla 33 Carga distribuida por 8 filas de ladrillos	52
Tabla 34 Carga distribuida por 7 filas de ladrillos	52
Tabla 35 Carga distribuida por 9 filas de ladrillos	52
Tabla 36 Carga distribuida por 3 filas de ladrillos	52
Tabla 37 Carga distribuida por 4 filas de ladrillos	52
Tabla 38 carga distribuida por 2 filas de ladrillos	53
Tabla 39 Tipo de perfil de suelo	54



Introducción

En el siguiente trabajo de grado se evalúa la capacidad estructural del módulo de aulas número 1, de la universidad de Ibagué; para su desarrollo se realizaron una serie de ensayos en campo (estudios patológicos) los cuales nos permitieron conocer las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en los elementos estructurales, evaluar las características del concreto utilizado en las columnas, distribución, ubicación y cuantía del acero de refuerzo, con el fin de establecer la capacidad estructural y verificar si ha sufrido daños que pudiesen alterar las condiciones de seguridad del bloque de aulas en los últimos 40 años.

Es importante resaltar que el bloque número 1 fue construido en el año 1981 y que para esta fecha no existía un reglamento de construcción con parámetros sísmicos, ya que la normativa colombiana para construcciones sismo-resistentes comenzó a regir a partir de 1984, bajo el decreto 1400 del año mencionado, donde se buscó reducir a un mínimo el riesgo a las pérdidas de vidas, y que por otro lado se aumentase la posibilidad de que ciertas edificaciones indispensables puedan seguir funcionando después de un evento sísmico.

El presente trabajo de grado se desarrolló en dos fases, la primera fase se realizó en campo, con el apoyo del laboratorio de suelos y materiales de construcción de la universidad, facilitándonos los aparatos y herramientas necesarias; la segunda fase se llevó a cabo mediante un análisis exhaustivo de los datos recolectados en campo, obteniendo como resultado un modelo matemático; estos dos últimos nos permitieron obtener la capacidad estructural del módulo de aulas número 1 y de igual manera poder sacar nuestros propios análisis, conclusiones y recomendaciones consignadas al final del presente trabajo.



Capítulo 1

1.1. Planteamiento del problema

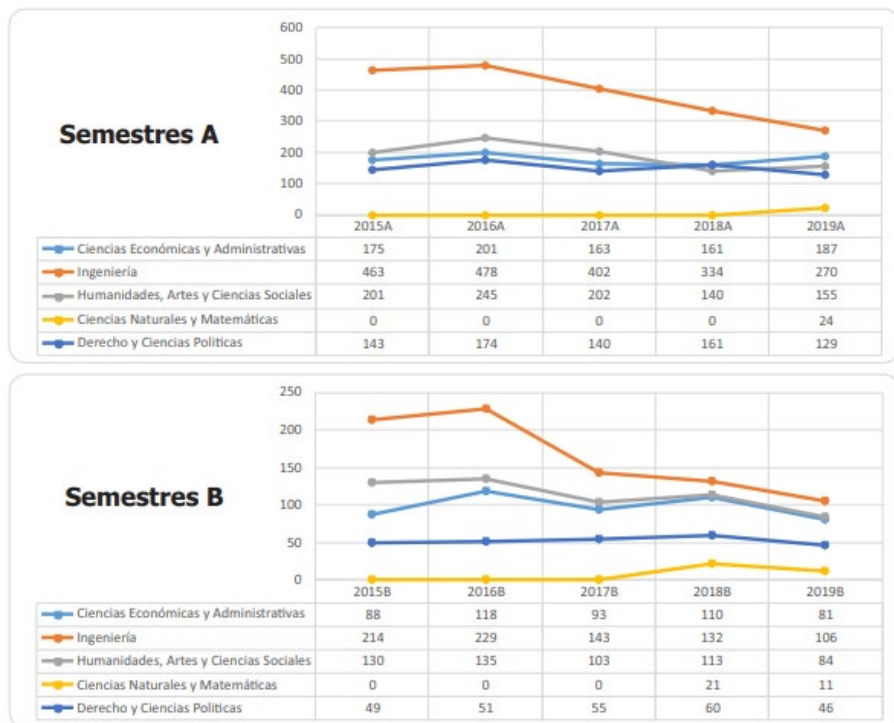
Según de la dirección de planeación de la Universidad de Ibagué, en los últimos cinco años se ha registrado una tendencia al aumento en el número de estudiantes nuevos, como se muestra en la Ilustración 1. Evolución de la matrícula de la Universidad de Ibagué (Universidad de Ibagué, 2020); en este sentido, se evidencia que las instalaciones actuales no tienen la capacidad estructural para acoger a los nuevos estudiantes. Por esta razón, se hace necesario contemplar las afectaciones estructurales del módulo de aulas nro. 1 de la universidad de Ibagué.

Teniendo en cuenta que la gran mayoría de los edificios que hoy en día tiene la universidad datan de su fundación, y, por ende, representan un valor a nivel arquitectónico e histórico para la comunidad universitaria, se propone estudiar la capacidad estructural para determinar el sobreesfuerzo al cual se está sometiendo la estructura, más concretamente del bloque de aulas número uno.

Además, con base en el tiempo de servicio y fecha de construcción del actual bloque (que datan aproximadamente entre 1981 -1989), se puede inferir que este no cumple con los parámetros estipulados en la norma sismo resistente vigente (para sistemas estructurales aporticados de un nivel), lo que a futuro podría representar riesgos tanto la estructura como para la integridad de quienes la usan.



Ilustración 1 Evolución de la matrícula de la Universidad de Ibagué



Fuente: *Dir. De planeación, Unibagué*



1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad estructural del Módulo de Aulas Nro. I de la Universidad de Ibagué.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades mecánicas del concreto y acero del sistema estructural.
- Evaluar la resistencia del sistema estructural de acuerdo con el Capítulo A.10 del NSR-10
- Evaluar la rigidez del sistema estructural de acuerdo con el Capítulo A.10 del NSR-10.



1.3. Justificación

La importancia de los estudios patológicos en los elementos estructurales, está dirigida a comprobar su seguridad respecto a la capacidad de carga y la durabilidad en el servicio, y se manifiestan de manera permanente visualizando la aparición de patologías que afectan las estructuras y por ende la integridad de los seres humanos.

Por lo anterior surge la necesidad de realizar una evaluación de la capacidad estructural al módulo de aulas número 1 de la universidad de Ibagué construido en el año 1981. “No solamente pensando en eventos naturales, sino que también pensando en la vida útil restante prevista para esta estructura”. (Chacon Lucy Mabel, 2019. p. 11).

Al terminar el presente trabajo, este material servirá como herramienta fundamental para conocer la capacidad estructural del módulo de aulas, apoyar la toma de decisiones al ejecutar un reforzamiento, ampliación o restauración, o en el peor de los casos en un evento sísmico prender las alarmas y tomar medidas en el tiempo oportuno.



Capítulo 2

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Antecedentes

Con el propósito de llevar a buen término el presente trabajo nos basamos en el siguiente caso similar, presentados a continuación.

- Estudio patológico edificio central facultad de artes de la Universidad Distrital Francisco José Caldas.

El edificio central de la Facultad de Artes ASAB de la Universidad Distrital, es una edificación que fue construida en 1923 bajo la concepción de la Arquitectura Neoclásica Francesa; debido a estas características fue declarada dentro del Patrimonio de inmuebles de conservación arquitectónica de Bogotá. En la edificación se observan diferentes daños patológicos que están deteriorando los acabados arquitectónicos y pueden afectar los elementos estructurales del edificio; por estas razones es necesario realizar la evaluación y el diagnóstico patológico de dicha facultad, para prevenir posibles daños a la estructura patrimonio de Bogotá.

Este proyecto busca desarrollar un estudio patológico detallado de la planta física de la Facultad de Artes ASAB de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, para “reconocer las diferentes patologías presentes en dicha edificación, identificar sus causas y proponer diferentes procedimientos de rehabilitación y/o reforzamiento que puedan ser ejecutados para garantizar una adecuada funcionalidad del edificio evaluado”. (PEREZ, 2013. p. 14)

2.1.2. Bases teóricas

- *Patología del concreto*

La **patología del concreto** puede definirse como el estudio sistemático de los procesos y características de los daños que puede sufrir el concreto, sus causas, consecuencias y soluciones. Las estructuras de concreto pueden sufrir defectos o daños que alteran su estructura interna y su comportamiento, Algunos pueden estar presentes desde su concepción o construcción, otras pueden haberse contraído durante alguna etapa de su vida útil, y otras pueden ser consecuencia de accidentes. (PEREZ, 2013. p. 17)



- ***Ensayo de esclerometría***

El ensayo esclerométrico o índice de rebote mediante esclerómetro es una prueba no destructiva de la resistencia del hormigón. La diseñó y desarrolló el ingeniero suizo Ernest Schmidt en los años 40. Patentado como martillo SCHMIDT, siendo su valor “R” (índice de rebote) una unidad adimensional que relaciona la dureza superficial del hormigón con su resistencia de modo experimental.

Se trata de un ensayo mecánico no destructivo que presenta las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas

- Es un ensayo no destructivo el cual permite realizar un gran número
- o de determinaciones sin alterar la resistencia, estética y funcionalidad de la estructura.
- Es un ensayo muy económico
- Puede operar en vertical y horizontal
- Permite ensayar muchos elementos en un corto espacio de tiempo con escasos medios auxiliares

Desventajas

- Se necesita una superficie perfectamente lisa para realizar el ensayo por lo que no es útil en elementos no encofrados.
 - El equipo exige una alta calibración
 - Solo afecta los primeros 2 – 3 cm del elemento
 - Existe pérdida de energía por la deformación elástica del hormigón en el interior del concreto.
- (Fernandez, 2013. p. 9)

- ***Extracción de núcleos de concreto***

La extracción y ensayo de núcleos de concreto tiene como función principal la determinación de la resistencia a compresión del concreto en un elemento de una estructura existente, En general la extracción de núcleos se lleva a cabo cuando existe una duda razonable de la resistencia debido a que se tienen bajos resultados de los ensayos durante la construcción, por



los síntomas de deterioro en la estructura o en estructuras antiguas, en donde se necesita obtener más información sobre las condiciones y resistencia del concreto. (Instituto del cemento y del concreto, 2019. p. 33)

- ***Ferroskan***

El sistema sirve para detectar de manera sonora, visualizar, determinar la profundidad y estimar el diámetro de metales ferrosos, tales como varillas de refuerzo, y no ferrosos dentro de una armadura de concreto, como losas, muros, trabes, etc., mediante campo magnético. El escáner se mueve directamente sobre la superficie del elemento de construcción. (Corporación HILTI, 2011. p. 10)

- ***Esfuerzo a la compresión del concreto***

La compresión o esfuerzo de compresión es la fuerza por unidad de área cuyo resultado es empujar, apretar o comprimir un objeto, tendiendo a acortarlo, Tal esfuerzo puede comprimir al objeto o, por el contrario, tensarlo y estirarlo, según se aplique. En el caso del esfuerzo de compresión, las fuerzas se aplican en sentido contrario para ejercer el efecto de apretar y acortar al objeto. (Góngora Beltrán, D., & Guzmán Labrador, J. A. 2019. p. 33)

- ***Rigidez***

“Rigidez es la propiedad de un cuerpo, elemento o estructura de oponerse a las deformaciones. También podría definirse como la capacidad de soportar cargas o tensiones sin deformarse o desplazarse excesivamente.” (Cabrera, s.f.)

- ***SAP2000***

Es un programa de elementos finitos, con interfaz gráfico 3D orientado a objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento de lo más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras.

Conocido por la flexibilidad en al tipo de estructuras que permite analizar, por su poder de cálculo y por la fiabilidad de los resultados, SAP2000 es la herramienta de trabajo diaria para varios ingenieros. La versatilidad en modelar estructuras, permite su utilización en el dimensionamiento de puentes, edificios, estadios, presas, estructuras industriales, estructuras



marítimas y todo tipo de infraestructura que necesite ser analizada y dimensionada. (SPAIN, 2021. p. 21).

- ***¿Por qué realizar una evaluación de capacidad estructural?***

- Actualización de nuevos reglamentos
- Cambio de uso resultante e incremento de cargas
- Diseño inadecuado
- Errores y defectos en la construcción
- Daños estructurales por eventos accidentales (fenómenos naturales)
- Corrosión en el acero de refuerzo
- Eliminación total o parcial de elementos estructurales existentes

Los reforzamientos se realizan con el fin de evitar demoliciones innecesarias en elementos estructurales, aumentar la capacidad de carga y servicio de las estructuras, cuando, evitando así demoliciones totales las cuales generan sobre costos, atrasos en los cronogramas, desperdicio de materiales, entre otros, por lo tanto, es necesario implementar ciertas técnicas de reforzamiento a las estructuras (Tuk, 2020. p. 28).

Otro aspecto que valida la implementación de las técnicas de reforzamiento es mejorar la imagen de la empresa o ingeniero al buscar soluciones y alternativas que eviten las demoliciones, para empezar a crear un cambio y minimizar la práctica de las demoliciones; por esta razón es que se proponen las técnicas de reforzamiento para los diferentes elementos estructurales.

En las construcciones es de vital importancia mantener una constante inspección, contar con un plan de control de calidad que abarque pruebas de laboratorio tanto para los materiales puestos en sitio como para el producto final, sea este en armaduras de estructuras metálicas o en concreto reforzado.



Existen dos tipos de intervención para reforzamientos estructurales:

- Preventiva: disminuir la vulnerabilidad de los elementos estructurales, actualización por nuevas cargas y reglamentos vigentes en el caso de Colombia la norma sismo resistente NSR-10.
- Correctiva: restituir condiciones originales en elementos dañados (fuego, ambientes agresivos, sismos etc.) y mejorar el comportamiento dinámico de la estructura.

Las estructuras dañadas por efectos de sismos deben ser evaluadas y reparadas de tal manera que corrijan los posibles defectos estructurales que provocaron la falla y recuperar la capacidad de resistir un nuevo evento sísmico, acorde con los objetivos del diseño sismo resistente.

Los métodos de reforzamiento pueden causar cambios en la rigidez, ductilidad y amortiguamiento de los edificios. Estas propiedades deben ser tomadas en consideración cuando se modifica la capacidad de carga de la estructura.

Los métodos de reforzamiento se dividen en 3 según sus solicitudes:

Incremento de resistencia

- Adición de muros de cortantes
- Adición de pórticos
- Adición de muros laterales a las columnas
- Adición de contravientos (armadura)
- Refuerzo de vigas

Incremento de ductilidad

- Reducción de carga muerta
- Adición de muros cortantes
- Adición de contravientos
- Refuerzo de vigas

Combinación de resistencia y ductilidad

- Reforzamiento en la cimentación
- Adición de muros laterales a las columnas
- Reducción de carga muerta



Encamisado en concreto reforzado: cuando el refuerzo de un elemento estructural se realice mediante su encamisado de concreto reforzado, habrá que preparar la superficie del elemento para garantizar una buena adherencia entre el concreto nuevo y el viejo, además de evitar que este se rompa por contracciones volumétricas durante el fraguado. Cuando el encamisado no sea completo, deberá verificarse la necesidad de colocar elementos de conexión que garanticen la transmisión de los esfuerzos de cortante entre la camisa y el elemento por reforzar.

Reforzamiento de columnas: para reparar columnas con grietas ligeras sin daño en el concreto ni en el refuerzo, son aplicables inyecciones de resinas epóxicas, en el caso de grandes grietas inyecciones de lechada con cemento epóxico.

Para la reparación de vigas dañadas vigas con grietas ligeras se aplican inyecciones epóxicas o lechadas de cemento.

- Cuando los daños son mayores se realiza operaciones de remoción o reposición.
- Primeramente, deberán apuntalar temporalmente la viga dañada.
- El proceso de reparación en vigas es similar al de columnas.
- La envoltura de concreto armado puede realizarse añadiendo concreto a uno y hasta los cuatro lados de la viga.
- En este caso la compactación del concreto nuevo es difícil sino se realiza por la cara superior de la viga.
- Una cara rugosa del concreto existente además de anclajes de estribo soldados proporcionan una buena conexión de corte y de flexión entre la viga existente y la envoltura.
- Las barras de acero longitudinales deberán ser ancladas en la región de apoyo, soldando el refuerzo a un collar de acero (perfil en ángulo) unido a la parte superior de la columna.
- La envoltura en tres lados debe ser ejecutada debajo de la cara inferior de la losa.
- El refuerzo longitudinal adicional se conecta al existente con barras de conexión soldadas en forma diagonal. Los estribos pasan a través de perforaciones en la losa y soldados.
- La envoltura de los cuatro lados aumenta de forma considerable la capacidad a flexión y corte debido al incremento de refuerzo de la dimensión de la sección.



- El refuerzo longitudinal adicional se conecta al existente con barras de conexión soldadas en forma diagonal.
- Los estribos pasan a través de perforaciones en la losa y a través de toda la viga. Además, estas perforaciones pueden usarse para colocar concreto en la parte de la envoltura debajo de la losa.
- El refuerzo negativo adicional deberá añadirse. sobre la superficie de losa en la zona de la viga y fuera de la columna existente (Danilo, 2020).

- **Momento a flexión**

En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, a flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.

El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. El esfuerzo que provoca la flexión se denomina momento flector.

- ***Flexión en vigas***

Las vigas o arcos son elementos estructurales pensados para trabajar predominantemente en flexión. Geométricamente son prismas mecánicos cuya rigidez depende, entre otras cosas, del momento de inercia de la sección transversal de las vigas (Wikipedia, 2021. p. 23).

- ***Cargas (Loads)***

Son fuerzas u otras solicitaciones que actúan sobre el sistema estructural y provienen del peso de todos los elementos permanentes en la construcción, los ocupantes y sus pertenencias, efectos ambientales, asentamientos diferenciales y restricción de cambios dimensionales. Las cargas permanentes son cargas que varían muy poco en el tiempo y cuyas variaciones son pequeñas en magnitud. Todas las otras cargas son cargas variables. (Comision Asesora Permanente Para el Regimen de Construcciones Sismo Resistentes, 2010)



2.1.3. Alcance y limitaciones

Una vez obtenidos los datos de los diferentes ensayos se establecieron las propiedades mecánicas de los materiales y se creó el modelo matemático asistido por el software SAP2000 el cual nos permitió evaluar la resistencia del sistema estructural de acuerdo con el Capítulo A.10 del NSR-10, generando serie de conclusiones y recomendaciones.

Se realiza una minuciosa inspección visual, una serie de ensayos de campo y de laboratorio, como producto final se obtiene: distribución de acero de refuerzo, dimensiones de los elementos estructurales y un modelo matemático que nos indicara los desplazamientos máximos de la estructura y los índices de sobreesfuerzo, el presente material quedara disponible en el programa de Ingeniería Civil y en la oficina de planta física de la universidad para tener en cuenta en eventuales reforzamientos o ampliaciones del módulo de aulas número 1.



Capítulo 3

3.1. Metodología

El módulo de aulas número 1, como se observa en la Ilustración 2, es una de las construcciones que más datan en la Universidad de Ibagué, puesto que hace parte de la construcción de la primera fase del bloque de aulas, que tuvo lugar desde su fundación, 27 de agosto de 1980 hasta finales de 1989.

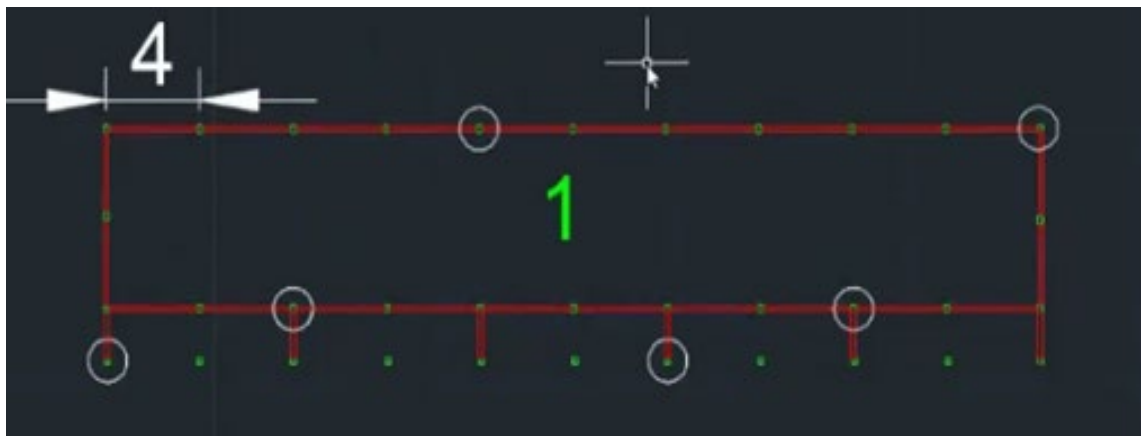
Ilustración 2 Modulo de aulas número 1 de la Universidad de Ibagué



Fuente: *El Autor*

Inicialmente para el desarrollo del trabajo de grado, contamos con el levantamiento de un plano geométrico, del módulo de aulas número 1, de la universidad de Ibagué; del plano seleccionamos el número de columnas que se iban a intervenir mediante, ensayos destructivos y no destructivos, teniendo en cuenta lo dispuesto en la NSR-10 y se referenciaron C1, C2, C3, C4, C5 Y C6 Respectivamente, según la ilustración 3.

Ilustración 3 Columnas intervenidas





Fuente: *El Autor*

3.1.1 Ensayos no destructivos

Ilustración 4 Ubicación de Refuerzo



Fuente: *El Autor*

- ***Ferroscope***

En primera instancia utilizamos el ferroscope; dispositivo de alta tecnología el cual nos permitió realizar pruebas no destructivas por medio de un campo magnético hallamos la ubicación y diámetro del acero de refuerzo transversal y longitudinal de las seis columnas intervenidas, tal como se observa en la ilustración 4. En su proceso de uso, se deslizó el aparato sobre la superficie de la columna en estudio, de forma horizontal y vertical dependiendo la ubicación del acero que queríamos hallar (barra longitudinal o estribo), también fue necesario para esclarecer la ubicación de donde se extrajeron los núcleos de concreto.

Con el fin de evitar resultados erróneos se realizó una calibración del equipo 10 minutos previos al ensayo, se visualizó una superficie limpia y sin protuberancias, revisando que estuviese con la batería suficiente para evitar contratiempos en la actividad.



- **Ensayo de Esclerómetro**

Basados en la NTC 3692 se realizó el ensayo de esclerometría, que tuvo como objetivo principal obtener la resistencia a la compresión del concreto mediante un ensayo no destructivo, consistió en la utilización de un esclerómetro; que es un martillo equipado con un embolo el cual impacta un área específica, y nos determina la dureza superficial del concreto, mediante la energía residual del impacto; previamente al realizar el ensayo ya se conocía la ubicación de las barras de refuerzo, ya que seleccionaron 10 puntos de impacto de 1 in² a una distancia mínima de 50 mm de cada refuerzo y del borde de cada columna. Ver ilustraciones 5, 6, 18, 19, 20, 21 y 22.

Ilustración 5 Esclerómetro



Fuente: *El Autor*

Ilustración 6 Distribución para esclerometría



Fuente: *El Autor*

Cálculo de la resistencia del concreto

Para calcular la resistencia del concreto, se procesaron los datos arrojados por el esclerómetro, el LRB o índice de rebote y la resistencia del concreto CCS, expresado en MPa para nuestro análisis de datos utilizamos únicamente el segundo dato.

En este ensayo se tomaron los datos a las seis columnas, se escogieron las caras que no presentaran hormigueros ni excesos de revoque o pintura, se tomaron los datos en el centro del elemento, registrando los valores de CCS (10 datos en total por cada registro, como se observa en las Tablas 1, 9, 13, 17, 21 y 25, Columna "CCS").



Tabla 1 Columna "CCS"

CCS (MPa)
39,7
39,7
42,72
45,8
47,36
48,94
50,53
50,53
53,77
55,4

Fuente: *El Autor*

Se realiza la conversión de datos de PSI a MPa, se procede a organizar los datos obtenidos de mayor a menor (Columna CCS), una vez organizados los datos se hace una distribución normal o campana de gauss, para promediar la resistencia del concreto. Para calcular la distribución normal, se deben calcular dos datos, la desviación estándar, la cual es la media o promedio. Ver Tablas 2, 10, 14, 18, 22 y 26, promedio y desviación estándar

Tabla 2 Promedio y desviación estándar

Promedio	47,445
Desviación	5,47282225

Fuente: *El Autor*



Una vez obtenidos estos valores, se calcula un valor de distribución normal para cada valor de “CCS” de esta forma se obtiene, distribución normal, como se observa en las Tablas 3, 11, 15, 19, 23 y 27.

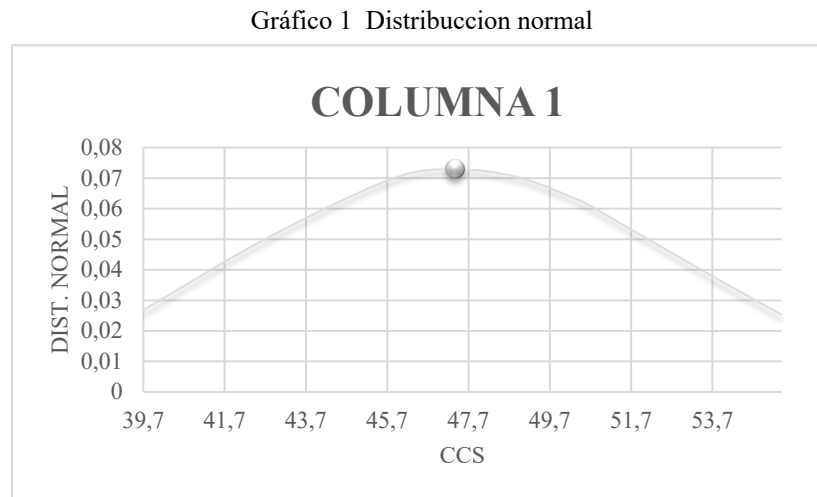
Tabla 3 Distribución normal

ESCLEROMETRIA	
C1	
CCS (MPa)	DIS. NORMAL
39,7	0,026780191
39,7	0,026780191
42,72	0,050215792
45,8	0,069675538
47,36	0,072886374
48,94	0,070225531
50,53	0,062187036
50,53	0,062187036
53,77	0,037381971
55,4	0,025346079

Fuente: *El Autor*



Después de obtener la siguiente información, se procede a realizar un gráfico con los datos anteriores, en el eje X se referencia el CCS en MPa, y en el eje Y la distribución normal, ver Gráficos 1, 3, 4, 5, 6 y 7, Distribución normal



Fuente: *El Autor*

Finalmente se realiza un promedio entre los datos del eje X, para obtener el F'C, ver Tablas 4, 12, 16, 20, 24 y 28, resistencia del concreto

Tabla 4 Resistencia del concreto

Resistencia f'c	48,15 MPa
-----------------	-----------

Fuente: *El Autor*

El anterior procedimiento se realiza para los datos arrojados en el análisis de las 6 columnas intervenidas.

3.1.2 Ensayos destructivos

- **Extracción de núcleos de concreto**

Se realizó la extracción de los núcleos de concreto, teniendo como objetivo principal la obtención de la resistencia a la compresión del concreto de las columnas del módulo de aulas número 1.



Mediante un preparamiento previo se determinó que el diámetro debió ser 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado utilizado en el concreto, y que la longitud del espécimen debió ser dos veces el tamaño de su diámetro; además se tuvieron en cuenta otros aspectos como:

- La resistencia del concreto tiende a ser mayor en la base que en la parte superior del elemento estructural.
- La resistencia tiende a ser menor si el núcleo se obtiene de forma paralela al plano horizontal (INSTITUTO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO GUATEMALA, 2019. p. 27).

Se procedió hacer la extracción de los núcleos de concreto una vez conocíamos la ubicación del acero de refuerzo, la separación de los estribos y la ubicación de las barras longitudinales con ayuda del ferroskan; demarcando el lugar donde se realizaría la perforación. Ver ilustración 7, Extracción de especímenes

Ilustración 7 Extracción de especímenes



Fuente: *El Autor*

Teniendo en cuenta lo establecido en la NTC 3658 para las condiciones de humedad presentadas en los especímenes de concreto, ya que al momento de realizar la extracción fue necesario humedecerlos, se secaron al aire libre con temperaturas entre 15°C – 30 °C durante los 7 días previos al ensayo, como se observa en la Ilustración 8.



Ilustración 8. Especímenes extraídos



Fuente: *El Autor*

Una vez secos y referenciados los especímenes de concreto, procedemos llevarlos a la prensa hidráulica, la cual sometió una carga puntual sobre el área transversal del cilindro, originando un cambio de volumen o falla, que nos permitió hallar las propiedades mecánicas del concreto el F'_c y el módulo de elasticidad E . Ver ilustración 9, Prensa hidráulica

Ilustración 9 Prensa hidráulica



Fuente: *El Autor*

Cálculo de la resistencia del concreto

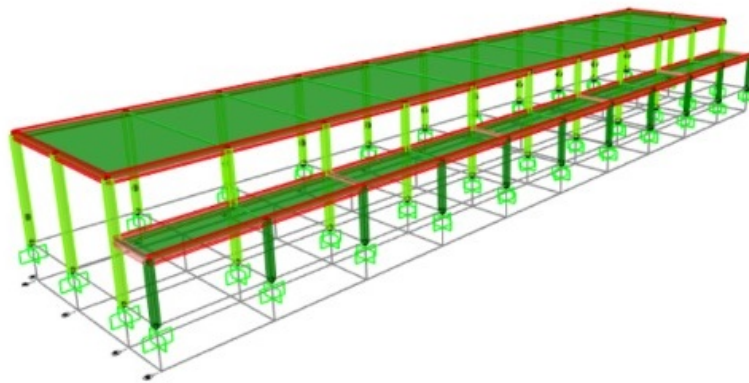
Una vez arrojada la carga puntual en (kN), se procede a evaluar su resistencia mediante una hoja de cálculo en Excel, a la cual se le suministraron los siguientes datos de entrada: diámetro, área transversal y carga puntual. Además, datos de referencia, fechas de extracción y falla de los



especímenes de concreto; Se dividió la carga puntual obtenida de la prensa hidráulica entre el área transversal del cilindro obteniendo como resultado final el f'_c (esfuerzo a la compresión del concreto) expresado en MPa.

3.1.3 Modelo matemático N°1 asistido por SAP2000

Ilustración 10 Modelo matemático 1



Fuente: *El Autor*

Apoyándonos sobre el modelo elaborado inicialmente por los estudiantes: Enciso R. F. P., Escobar C. F. J., y Ortiz P. J.A. (2019), quienes desarrollaron el trabajo de grado denominado “Evaluación de vulnerabilidad sismo resistente de la edificación de bloques de la Universidad de Ibagué” y asistido por el software SAP2000 como se observa en la Ilustración 10, del cuales correspondía los módulos de aulas del 1 al 6; se toma como referencia el 1 y se comienza a trabajar sobre este modelo matemático, con el fin de evaluar la rigidez del sistema según lo estipulado en la NSR-10, y el índice de sobreesfuerzo como el máximo cociente obtenido para cualquier elemento.

- Se suprimieron los elementos que componían el resto del sistema de aulas desde el módulo 2 hasta el 6, dejando únicamente el 1 evaluado en el presente trabajo.
- En primera instancia se verificaron las dimensiones de los elementos estructurales que componen el sistema de aulas del módulo 1, modificando el tipo de vigas, secciones transversales rectangulares y el dimensionamiento de las columnas de 0.20 x 0.20.



- Se determinó el tipo de material, para este caso concreto reforzado, se establecieron las propiedades mecánicas del concreto de las columnas, por las obtenidas en los ensayos destructivos en campo: resistencia a la compresión F'_C logrado a partir de un promedio entre los resultados de los 6 elementos intervenidos, y el módulo de elasticidad del concreto E , calculado a partir del resultado anterior.
- **Avaluó de cargas:** Basados en la NSR-10, se estimaron las diferentes solicitaciones verticales que son aplicadas a la estructura. Para esto se debe identificar los elementos no estructurales que sabemos que son cargas permanentes tales como: escaleras, muros, cubierta, entre otros. Por otro lado, los elementos estructurales también deben ser tenidos en cuenta para esto ya que elementos como vigas y columnas debido a su material aportan una gran cantidad de carga con su propio peso.

Para el Avaluó de la estructura estudiada se consideró la cubierta y cielo raso desmontable, teniendo en cuenta que esta edificación está conformada por un solo nivel además de que en ningún momento hay algún otro elemento que pueda aportar cargas como tanques, maquinas etc. La cubierta está construida con tejas corrugadas de asbesto cemento por ello el avaluó se puede estimar con lo estipulado en NSR-10 Título B Tabla B.3.4.1-4. En cuanto al cielo raso se identificó que este es un sistema compuesto por perfiles metálicos y Paneles de fibra mineral moldeados al húmedo con revestimiento mate reforzado, el avaluó de estos se determinó en base de la ficha técnica de cada uno de los elementos. (NSR10 - TITULO B, 2010. p. 11)

Adicionalmente en algunos elementos tipo viga se debe considerar la carga lineal que proporcionan los muros de mampostería de bloques de concreto sin relleno, apoyados en dichos elementos. Para esto se identificó que en toda la estructura hay 6 diferentes tipos de muro donde varía su altura, pero su ancho siempre es el mismo de 15 cm, por lo tanto, se generalizo estas 6 posibles cargas que pueden tener las vigas y se denominaron V1, V2, V3, V4, V5 y V6. Por otro lado, se tuvo en cuenta la carga por metro cuadrado que proporciona la **NSR-10 en el título B Tabla B.3.4.2-4**, una vez se identificó esta información se procedió a calcular la carga lineal de cada uno de los muros multiplicando la altura de estos por la carga que proporciona la NSR-10.



Cargas vivas: Debido a que la estructura estudiada consta de un solo nivel no es posible suministrar cargas vivas por el uso de la misma, por lo tanto, es necesario apreciar la carga viva en el nivel de la cubierta. Para esto se hizo uso de la NSR-10 ver tabla 5, en donde especifica la carga viva mínima que debe tener una cubierta según sus características en título B Tabla B.4.2.1-2 (Rodríguez Rivas, S., & Cruz Cárdenas, R. A. 2019. p. 12)

Tabla 5 Cargas vivas en cubiertas

Tipo de cubierta	Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

Fuente: NSR-10 Título B

- Se define el acero de refuerzo, ubicación de las barras, recubrimiento, cuantía de acero para cada columna y propiedades mecánicas del mismo.
- Para realizar el espectro de diseño se verificaron los coeficientes que representan la aceleración y velocidad horizontal pico efectiva, en nuestro caso de estudio para el tipo de suelo de la ciudad de Ibagué, Aa 0.20, Av 0.20, estipulados en el reglamento sismo resistente colombiano según lo indica la Tabla 6.



Tabla 6 Coeficientes de velocidad y aceleración

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Fuente: NSR-10 Título A

De los anteriores valores se deduce un nivel de amenaza sísmica intermedia según lo indicado en la Tabla 7.

Tabla 7 Nivel de amenaza sísmica

Mayor valor entre A_a y A_v	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

Fuente: NSR-10 Título A



A partir de lo anterior se definieron los coeficientes **F_a** y **F_v** según NSR-10 Título A tablas A.2.4-3 Y A.2.4-4 respectivamente. Posteriormente se especifica el coeficiente de importancia dependiendo del uso de la edificación en A.2.5, en este caso la estructura hace parte de **edificaciones de atención a comunidad (Grupo III)**.

F_a: 1.4

F_v: 2

Coefficiente de importancia (Grupo III): 1.25

Una vez definidos los anteriores valores se procede a definir los parámetros C_t y α según NSR-10, Título A tabla A.4.2-1 para el cálculo del periodo aproximado T_a

Periodo aproximado

C_t: 0,047

A: 0,9

H_t: 4

T_a: 0.164

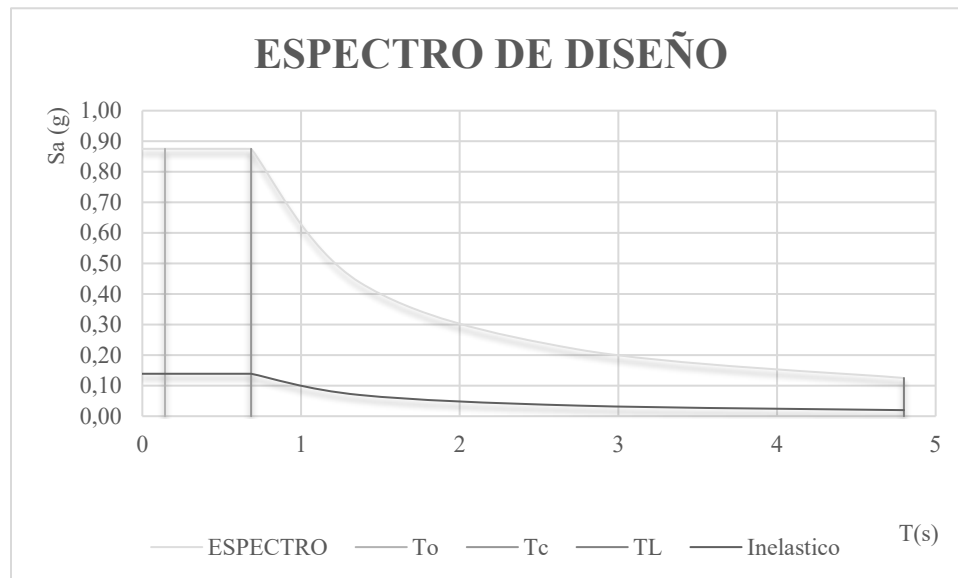
Finalmente se define la fracción de gravedad para un coeficiente de cinco por ciento del amortiguamiento crítico y después se construye la figura que refleja el espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g .

S_a: 0.88

Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado, ver Gráfico 2, espectro de diseño



Gráfico 2. Espectro de diseño



Fuente: Autor

• Derivas

Una vez realizadas las modificaciones al modelo matemático se procede a hacer el análisis de desplazamiento horizontal, que según el título A de la NSR-10 se limita a la deriva permisible que es el 1% de la altura de entrepiso de acuerdo a la Tabla 8.

Tabla 8 Derivas máximas como porcentaje h_{pi}

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% $(\Delta_{max}^i \leq 0.010 h_{pi})$
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% $(\Delta_{max}^i \leq 0.005 h_{pi})$

Fuente: NSR-10 Título A

Una vez se reproduce el modelo matemático, se obtienen los desplazamientos horizontales en el eje X, Y.

Las derivas permisibles de acuerdo con la norma NSR-10 Título. A, de acuerdo a la ecuación 1, para sistema estructural de concreto reforzado no pueden sobrepasar el 1 % de la altura máxima entre piso, Para la determinación de las derivas se utiliza la ecuación:



Ecuación 1 Cálculo de derivas

$$\Delta i = \frac{\delta i}{h_i}$$

Fuente: NSR-10 Título A

- **Índice de flexibilidad**

Una vez se adquieren las derivas se puede determinar el índice de flexibilidad de la estructura, la cual no debe ser mayor que la unidad, de no cumplirse se debe intervenir el sistema estructural existente. (NSR-10 Título A, 2010)

El índice de flexibilidad de la estructura se entiende como el cociente de la deriva máxima obtenida de la edificación entre las permitidas por el reglamento, como se muestra en la Ecuación 2.

Ecuación 2 Índice de flexibilidad

$$I.F.est = \frac{Deriva\ Maxima\ Obtenida}{Deriva\ permitida}$$

Fuente: NSR-10 Título A

- **Coefficiente de capacidad de disipación de energía**

El coeficiente de disipación de energía **R**, ver ecuación 3, se obtuvo a partir del producto entre:

Φ_p = grado de irregularidad en planta

Φ_a = grado de irregularidad en alzado

Φ_r = grado de ausencia de redundancia

Ecuación 3 Coeficiente de disipación de energía

$$R = \Phi_p \times \Phi_a \times \Phi_r \times R_o$$

Fuente: NSR-10 Título A



- **Combinaciones de cargas mayoradas usando el método de resistencia**

Las combinaciones de cargas y factores de carga deben ser usados en todos los materiales estructurales permitidos por el Reglamento de diseño del material, con la excepción de aquellos casos en que el Reglamento indique explícitamente que deba realizarse el diseño utilizando el método de los esfuerzos de trabajo.

- **Combinaciones básicas**

El diseño de las estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las siguientes combinaciones:

- **Combinaciones para el diseño de elementos estructurales**

Según la NSR-10 Título B, como se aprecia en la ecuación 4, el diseño de las estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las siguientes combinaciones:

D: Carga muerta

L: Carga viva

W: Viento

Le: Carga de empozamiento del agua

Lr: Carga viva sobre la cubierta

E: Fuerzas sísmicas reducidas de diseño ($E = F_s/R$) que se emplean para diseñar los miembros estructurales



Ecuación 4. Combinaciones de cargas

$$1.4 (D+F)$$

$$1.2 (D+F+T) + 1.6 (L+H) + 0.5 (L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$$

$$1.2 D + 1.6 (L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) + (L \text{ ó } 0.8 W)$$

$$1.2 D + 1.6 W + 1.0 L + 0.5 (L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$$

$$1.2 D + 1.0 E + 0.1 L$$

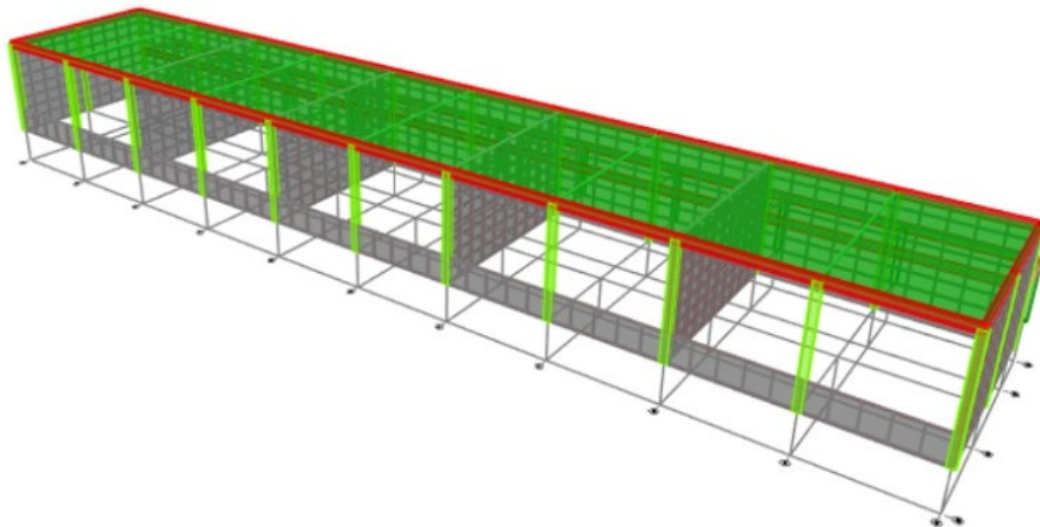
$$0.9 D + 1.6 W + H$$

$$0.9 D + 1.0 E + 1.6 H$$

Fuente: *NSR-10 Título*

3.1.4 Modelo matemático N°2 Asistido por SAP2000

Ilustración 11 Modelo matemático N°2



Fuente: *el autor*



Con el propósito de simular el comportamiento de la estructura, y reducir los desplazamientos horizontales obtenidos en el primer modelo matemático, se vio la necesidad de realizar un segundo modelo matemático asistido por el software SAP2000, agregándole una mampostería, ver ilustración 11, con las siguientes propiedades mecánicas:

Donde el módulo de elasticidad de la mampostería está dado por la ecuación 5.

Ecuación 5 Módulo de elasticidad de la mampostería

$$E_m: 900. f_m$$

Fuente: el autor

Donde f_m es la resistencia a la compresión: $30 \frac{Kg.f}{cm^2}$

Y E_m : 27MPa

Después de agregar estos cambios en nuestro modelo procedemos hacer una comparación entre el índice de sobreesfuerzo y el índice de flexibilidad del modelo planteado inicialmente con el planteado en segunda instancia.

Capítulo 4

4.1. Análisis de Resultados

4.1.1. Exploración visual

- **Identificación de uso**

Ilustración 12. Módulo de aulas 1 - parte trasera



Fuente: El Autor



El módulo de aulas número 1, como se aprecia en la ilustración 12, de la Universidad de Ibagué cuenta con 4 salones, usados principalmente por estudiantes del programa de arquitectura, tiene capacidad aproximada de 25 estudiantes por aula, estimación que se realizó a partir de la NTC 4595 que tiene como objetivo principal “establecer los requisitos del planeamiento y diseño físico de instalaciones y ambientes escolares” establece un área mínima en la zona urbana de 1.85 m²/estudiante en instituciones de educación superior que sobrepasen los 1680 estudiantes, en este espacio se realizan actividades netamente académicas o complementarias a estas.

A continuación, se realizaron los siguientes chequeos a partir de la norma técnica colombiana mencionada en el párrafo inmediatamente anterior: los corredores cumplen con los anchos mínimos establecidos de 1,80 m contruidos con materiales firmes y antideslizantes, no presentan cambios bruscos de nivel en su trazado y configuración, el acceso principal está constituido por una rampa que sobrepasa los 0.90m y no excede la pendiente máxima del 14 % con barandas de 1m de altura.

- **Sistema estructural**

De acuerdo a lo observado todas las columnas del módulo no tienen las mismas dimensiones de altura, pero su sección transversal es igual en todos sus elementos, su sistema estructural corresponde a pórticos conformados por columnas y vigas que se encargan de transferir las cargas verticales y horizontales a la cimentación, la mampostería está conformada por bloques de ladrillo de cemento tipo sogá.

Ilustración 13. Módulo de aulas 1 - parte delantera



Fuente: *El Autor*



Ilustración 14 Inspección visual del modulo



Fuente: *El Autor*

cómo se aprecia en las ilustraciones 12 y 13, la vista en planta es totalmente simétrica, de lo cual se infiere asentamientos diferenciales mínimos, teniendo en cuenta que para estructuras asimétricas es la variante que más influye.

Como se observa en las ilustraciones 15 y 16, en la parte trasera de la estructura las columnas no están amarradas con vigas aéreas a diferencia de la parte delantera del módulo.

Ilustración 15 Scanner de acero de refuerzo



Fuente: *El Autor*

Ilustración 16 Determinación de diámetro de acero



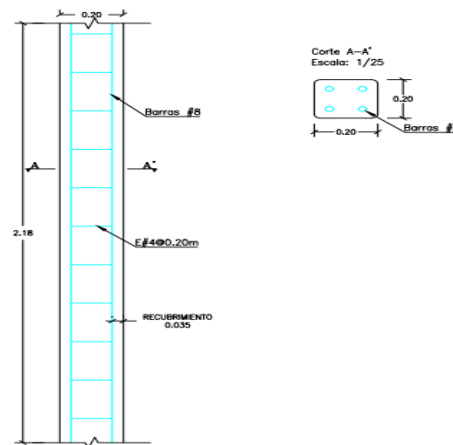
Fuente: *El Autor*



- **Distribución del acero de refuerzo**

Con ayuda del ferroskan se estableció una distribución de acero para las columnas intervenidas del módulo, para esclarecer el diámetro de las barras longitudinales y estribos, fue necesario realizar una perforación hasta encontrar el refuerzo, ya que los datos que nos arrojaba el escáner no eran confiables, ver Ilustración 17

Ilustración 17 Distribución de acero de refuerzo



Fuente: *El Autor*

- Barras longitudinales ½ Pulgadas
- Estribos 3/8 de pulgada.
- Separación 0.20 m

Por lo anterior podemos concluir que en la distribución del acero de refuerzo no cuenta con zona de confinamiento al comienzo y al final de cada elemento.

Según lo estipulado en la sección C.21.3.5.6 de la NSR-10, se debe garantizar que en ambos extremos de la columna existan estribos cerrados de confinamiento con un espaciamiento S_0 por una longitud l_0 , medida desde la cara del nudo. (NSR10 - TITULO C, 2010).

Espaciamiento mínimo de estribos en zona de confinamiento

Para realizar un chequeo se debe tener en cuenta los siguientes 4 aspectos:

- Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro.



- 16 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
- Un tercio de la menor dimensión de la sección transversal de la columna.
- 15 centímetros.

Ya que se conoce el diámetro de las barras longitudinales se puede establecer que la separación adecuada para la zona de confinamiento es:

Ecuación 6. Cálculo de separación de estribos

$$\text{Separacion} = 0,0127 * 8 = 0,1016 \text{ m.}$$

Fuente: *NSR-10 Titulo C*

Longitud de la zona de confinamiento:

Para realizar el chequeo de la longitud de la zona de confinamiento la norma establece que dicho valor no debe ser menor que el mayor entre tres condiciones:

- Una sexta parte de la luz libre de la columna.
- La mayor dimensión de la sección transversal de la columna.
- 500 mm.

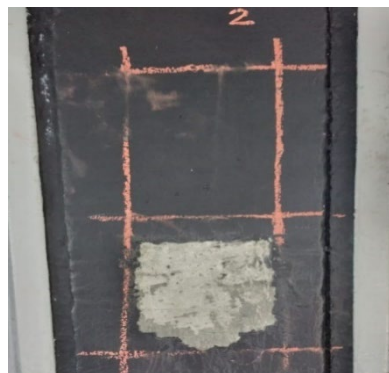
El chequeo se realizó para las seis columnas intervenidas en el módulo 1.

4.1.2 Resultados de ensayos no destructivos

Nota: Véase en el capítulo 3 Esclerometría Columna 1

- **Esclerometría Columna 2**

Ilustración 18 Esclerometría columna 2



Fuente: *El Autor*



Cálculo de la resistencia del concreto columna 2

Tabla 9. CCS columna 2

CCS (MPa)
44,26
50,53
50,53
52,14
52,14
53,77
53,77
55,4
55,4
55,4

Fuente: *El Autor*

Tabla 10 Promedio y desviación estándar columna 2

Promedio	52,334
Desviación	3,400961302

Fuente: *El Autor*

Tabla 11 Distribución normal columna 2

ESCLEROMETRIA	
C2	
CCS (MPa)	DIS. NORMAL
44,26	0,0070
50,53	0,1019
50,53	0,1019
52,14	0,1171
52,14	0,1171



53,77	0,1073
53,77	0,1073
55,4	0,0781
55,4	0,0781
55,4	0,0781

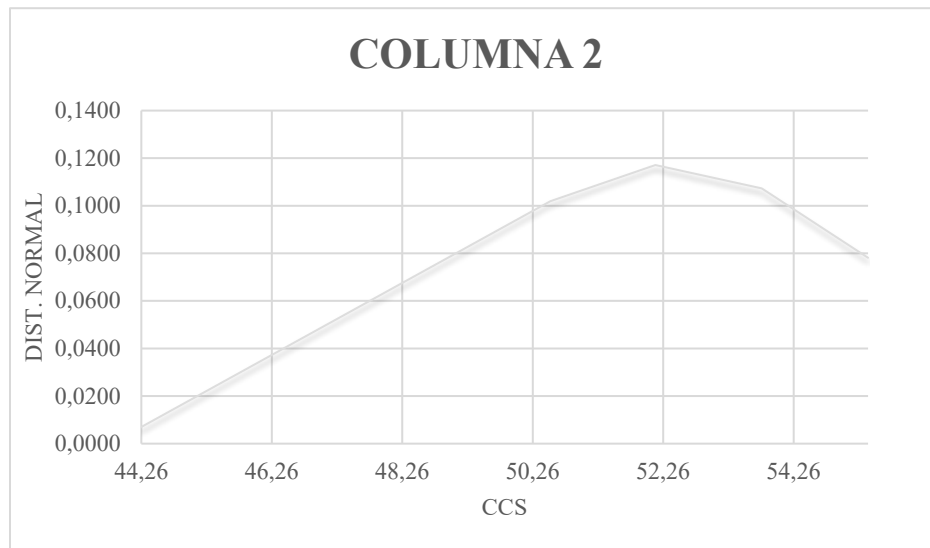
Fuente: *El Autor*

Tabla 12 Resistencia columna 2

Resistencia
f_c 52,955 MPa

Fuente: *El Autor* Fuente: *El Autor*

Gráfico 3.Distribución normal columna 2



Fuente: *El Autor*



- **Esclerometría Columna 3**

Ilustración 19 Esclerometría columna 3



Fuente: *El Autor*

Cálculo de la resistencia del concreto columna 3

Tabla 13. CCS columna 3

CCS (MPa)
25,55
28,25
31,02
31,02
32,43
32,43
32,43
33,86
33,86
36,74

Fuente: *El Autor*



Tabla 14 promedio y desviación estándar columna 3

Promedio	31,759
Desviación	3,10817006

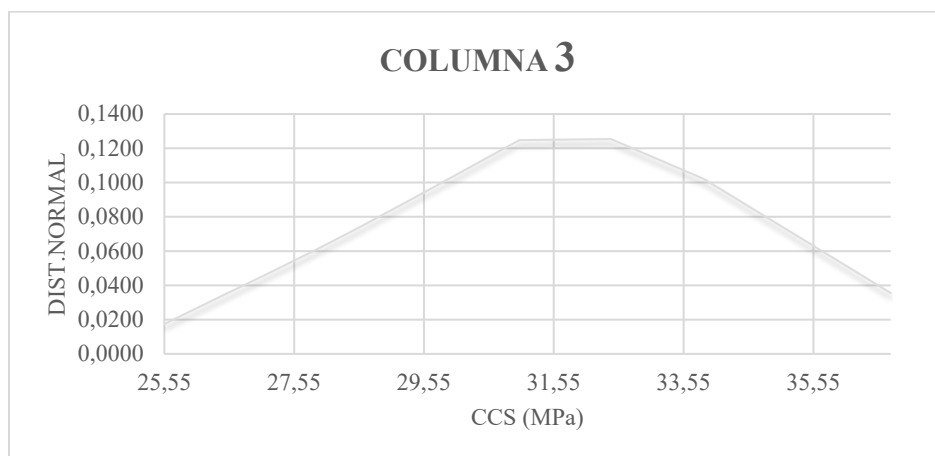
Fuente: *El Autor*

Tabla 15 Distribución normal columna 3

ESCLEROMETRIA	
C3	
CCS (MPa)	DIS. NORMAL
25,55	0,0175
28,25	0,0679
31,02	0,1248
31,02	0,1248
32,43	0,1254
32,43	0,1254
32,43	0,1254
33,86	0,1021
33,86	0,1021
36,74	0,0355

Fuente: *El Autor*

Gráfico 4 Distribución normal columna 3



Fuente: *El Autor*



Tabla 16 Resistencia columna 3

Resistencia		
$f'c$	32,43	MPa

Fuente: *El Autor*

- **Esclerometría Columna 4**

Ilustración 20 Esclerometría columna 4



Fuente: *El Autor*

Cálculo de la resistencia del concreto columna 4

Tabla 17 CCS columna 4

CCS (MPa)
39,7
44,25
44,25
45,8
45,8
45,8
47,36
48,94
48,94
57,06

Fuente: *El Autor*



Tabla 18 promedio y desviación columna 4

Promedio	46,79
desviación	4,486453685

Fuente: *El Autor*

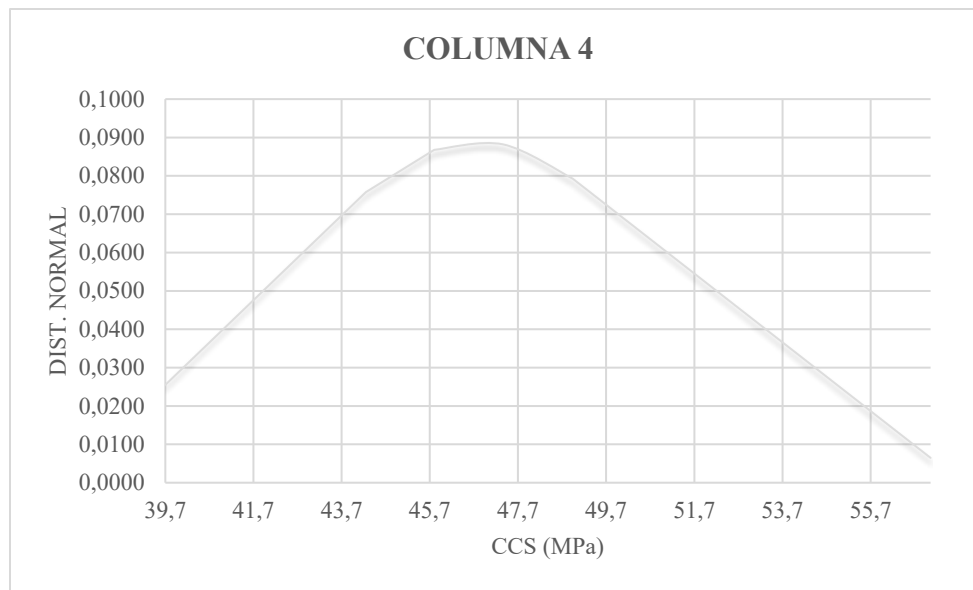
Tabla 19 distribución normal columna 4

ESCLEROMETRIA	
C4	
CCS (MPa)	DIS. NORMAL
39,7	0,0255
44,25	0,0758
44,25	0,0758
45,8	0,0868
45,8	0,0868
45,8	0,0868
47,36	0,0882
48,94	0,0793
48,94	0,0793
57,06	0,0065

Fuente: *El Autor*



Gráfico 5 distribución normal columna 4



Fuente: *El Autor*

Tabla 20 resistencia columna 4

Resistencia	
f_c	45,8 MPa

Fuente: *El Autor*

- **Esclerometría Columna 5**

Ilustración 21 Esclerometría columna 5



Fuente: *El Autor*



Cálculo de la resistencia del concreto columna 5

Tabla 21 CCS columna 5

CCS (MPa)
36,74
38,22
39,7
44,25
45,8
47,36
52,14
53,77
55,4
57,06

Fuente: *El Autor*

Tabla 22 promedio y desviación columna 5

Promedio	47,044
Desviación	7,369417586

Fuente: *El Autor*

Tabla 23 distribución normal columna 5

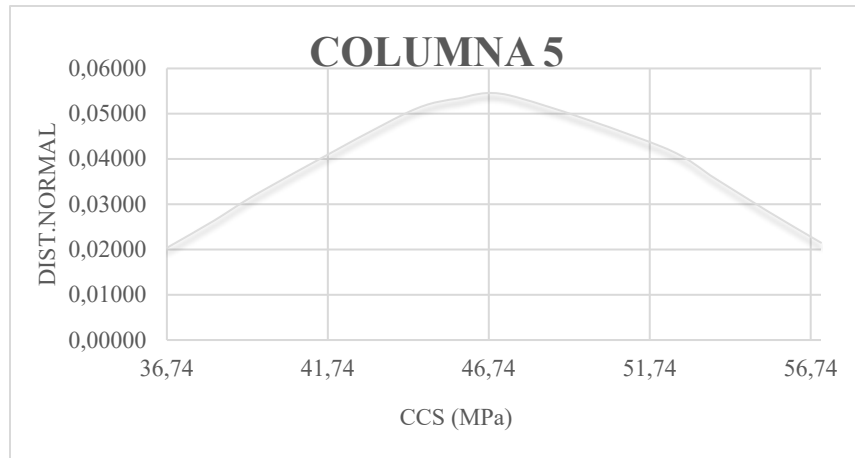
ESCLEROMETRIA	
C5	
CCS (MPa)	DIS. NORMAL
36,74	0,02037
38,22	0,02643
39,7	0,03295
44,25	0,05038
45,8	0,05337
47,36	0,05409
52,14	0,04262



53,77	0,03569
55,4	0,02846
57,06	0,02150

Fuente: *El Autor*

Gráfico 6 distribución normal columna 5



Fuente: *El Autor*

Tabla 24 resistencia columna 5

Resistencia	
f'_c	46,58 MPa

Fuente: *El Autor*

- Esclerometría Columna 6**

Ilustración 22 esclerometría columna 6



Fuente: *El Autor*



Cálculo de la resistencia del concreto columna 6

Tabla 25 CCS columna 6

CCS (MPa)
32,43
33,86
35,29
39,7
39,7
41,2
41,2
44,25
45,8
45,8

Fuente: *El Autor*

Tabla 26 promedio y desviación columna 6

Promedio	39,923
Desviación	4,77879355

Fuente: *El Autor*

Tabla 27 distribución normal columna 6

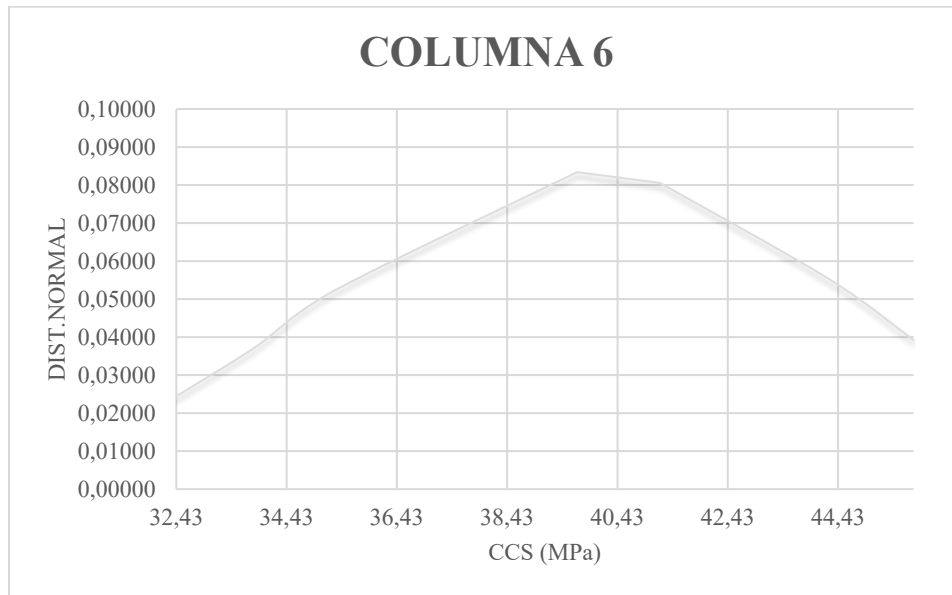
ESCLEROMETRIA	
C6	
CCS (MPa)	DIS. NORMAL
32,43	0,02442
33,86	0,03733
35,29	0,05218
39,7	0,08339
39,7	0,08339
41,2	0,08055
41,2	0,08055



44,25	0,05541
45,8	0,03919
45,8	0,03919

Fuente: *El Autor*

Gráfico 7 distribución normal columna 6



Fuente: El Autor

Tabla 28 resistencia columna 6

Resistencia	
f'_c	40,45 MPa

Fuente: *El Autor*



4.1.3 Resultados de ensayos destructivos

Las siguientes resistencias se obtuvieron dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal del área del espécimen extraído, a continuación, en la tabla 29, se muestran los resultados alcanzados para cada elemento intervenido.

Tabla 29. Resultados de los ensayos destructivos

INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO - ENSAYOS DESTRUCTIVOS					
Referencia	Edad (Días)	Carga(KN)	Diámetro (M)	Área(m ²)	Resistencia (MPa)
C1	7	37,57	0.05	0,00196	19,134
C2	7	27,56	0.05	0,00196	14,036
C3	7	31,21	0.05	0,00196	15,895
C4	7	29,53	0.05	0,00196	15,039
C5	7	30,12	0.05	0,00196	15,340
C6	7	33,05	0.05	0,00196	16,832

Fuente: *El Autor*

Se realizó una ponderación entre los resultados de los seis elementos intervenidos, se obtiene la siguiente resistencia como se ve en la tabla 30, a la compresión del concreto, definida en nuestro modelo matemático.

Tabla 30 ponderación resultados de ensayos destructivos

Resistencia f'_c	16,05 MPa
--------------------	-----------

Fuente: *El Autor*

- **Comparación entre ensayos destructivos y no destructivos**

Debido a que los resultados obtenidos presentan una gran variación entre ellos se hace necesario realizar el siguiente análisis:



Gráfico 8. Comparación de ensayos de campo



Fuente: *El Autor*

Se realizó una ponderación de los resultados obtenidos en los dos ensayos y se plasmó el gráfico 8, con el propósito de ilustrar que existe más del 60% de correlación entre los resultados de estos ensayos, debido a que el ensayo de índice de esclerometría evalúa los primeros 5 o 6 centímetros del elemento que son los impactados por el aparato; y es muy común notar este tipo de casos en edificaciones antiguas, ya que en estas ha aumentado la carbonatación del concreto, y esta formación de calcio tiene como condición aumentar la dureza superficial y con el índice esclerométrico estamos evaluando este tipo de condiciones, por lo anterior se realiza una serie de conclusiones y recomendaciones al final del presente trabajo.

Por lo anterior citamos casos de investigaciones realizadas para estimación de resistencia mediante el uso del esclerómetro, donde nos confirman el aumento de resistencia superficial con el paso del tiempo donde el concreto aumenta la resistencia debido a la carbonatación.



- **Determinación de la resistencia a la compresión del concreto mediante el método de esclerometría**

Se realizaron 370 ensayos de los cuales se demostró que la edad del concreto y el tipo de agregado afecta directamente al resultado de la dureza superficial, y en consecuencia al resultado de la resistencia del concreto aumentándole de manera significativa (Velez gallardo, 2019)

- **Evaluación de técnicas no destructivas en elementos de concreto para puentes**

La técnica del martillo de rebote permitió estimar la resistencia a la compresión de la superficie del concreto, mostrando afectaciones en su resultado por presencia de agregados gruesos sub-superficial de mayor dureza y por la subjetividad del ensayo (cruz, 2015)

4.1.4 Análisis dinámico elástico espectral

Avaluó de cargas:

Cargas muertas

Comprende el avaluó de Carga para: Cubierta, Tabla 31, Mampostería de bloque de concreto sin relleno con ancho de 150 mm, Tabla 32, 8 filas de ladrillo, Tabla 33, 7 filas de ladrillo, Tabla 34, 9 filas de ladrillo, Tabla 35, 3 filas de ladrillo Tabla 36, 4 filas de ladrillo Tabla 37, 2 filas de ladrillo, Tabla 38.

Tabla 31 avaluó de carga de la cubierta

Componente	Carga (kN/m ²)
Cubiertas corrugadas de Asbesto Cemento	0,2
Paneles de fibra mineral	0,051
Perfiles metálicos para cielo raso	0,0265
Total	0,2775000

Fuente: *El Autor*

Cargas lineales dadas por los bloques de concreto sin relleno:

Tabla 32 Avaluó de cargas mampostería de bloque de concreto sin relleno con un ancho de 150 mm

Componente	Carga (kN/m ²)
bloques de concreto sin relleno	1.45

Fuente: *El Autor*



Tabla 33 Carga distribuida por 8 filas de ladrillos

V1	
altura de ladrillo + pega(m)	0.22
#ladrillos	5
Altura del Muro(m)	1.1
Carga Lineal (kN/m)	1.595

Fuente: *El Autor*

Tabla 34 Carga distribuida por 7 filas de ladrillos

V2	
altura de ladrillo + pega(m)	0.22
#ladrillos	7
Altura del Muro(m)	1.54
Carga Lineal(kN/m)	2.233

Fuente: *El Autor*

Tabla 35 Carga distribuida por 9 filas de ladrillos

V3	
altura de ladrillo + pega(m)	0.22
#ladrillos	9
Altura del Muro(m)	1.98
Carga Lineal (kN/m)	2.871

Fuente: *El Autor*

Tabla 36 Carga distribuida por 3 filas de ladrillos

V4	
altura de ladrillo + pega(m)	0.22
#ladrillos	3
Altura del Muro(m)	0.66
Carga Lineal (kN/m)	0.957

Fuente: *El Autor*

Tabla 37 Carga distribuida por 4 filas de ladrillos

V5	
altura de ladrillo + pega(m)	0.22



#ladrillos	4
Altura del Muro(m)	0.88
Carga Lineal (kN/m)	1.276

Fuente: *El Autor*

Tabla 38 carga distribuida por 2 filas de ladrillos

V6	
altura de ladrillo + pega(m)	0.22
#ladrillos	2
Altura del Muro(m)	0.44
Carga Lineal (kN/m)	0.638

Fuente: *El Autor***Cargas vivas:**

Contemplando las características que conforman nuestra cubierta, se le suministro una carga de 0.5 kN/m² puesto que es una cubierta con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o madera con imposibilidad física de verse sometida a cargas superiores a la estipulada en la NSR-10 Título B.

- Coefficiente de capacidad de disipación de energía, Ecuación 7**

$$R_o = 2.5$$

$$\Phi_p = 1.0$$

$$\Phi_a = 1.0$$

$$\Phi_r = 0.75$$

Ecuación 7 cálculo del coeficiente de disipación de energía

$$R = 0.75 \times 1.0 \times 1.0 \times 2.5$$

$$R = 1.875$$

Fuente: *NSR-10 Título B*

- Combinaciones de carga para el diseño de elementos estructurales, ecuación 8.**

Ecuación 8 Combinaciones de carga

$$U = 1.4 \times D$$

$$U = 1.2 \times D + 1.60 \times L + 0.50 \times L_r$$



$$U = 1.2xD + 1.6X Lr + 1x L$$

$$U = 1.2xD + 1x E + 1x L$$

$$U = 0.90 + 1xE$$

Fuente: *NSR-10 Titulo B*

- **Caracterización sísmica**

Tipo de perfil del suelo

Con un promedio de 20 NSPT y en algunos de los casos presentando un S_u entre 0.5 y 1, se concluye que el tipo perfil de suelo se clasifica como Tipo D, según la tabla A.2.4-1 de la NSR-10 Titulo A, ver Tabla 39.

Tabla 39 Tipo de perfil de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{V}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3 \text{ m}$ para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5 \text{ m}$ con Índice de Plasticidad $IP > 75$) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 36 \text{ m}$)	

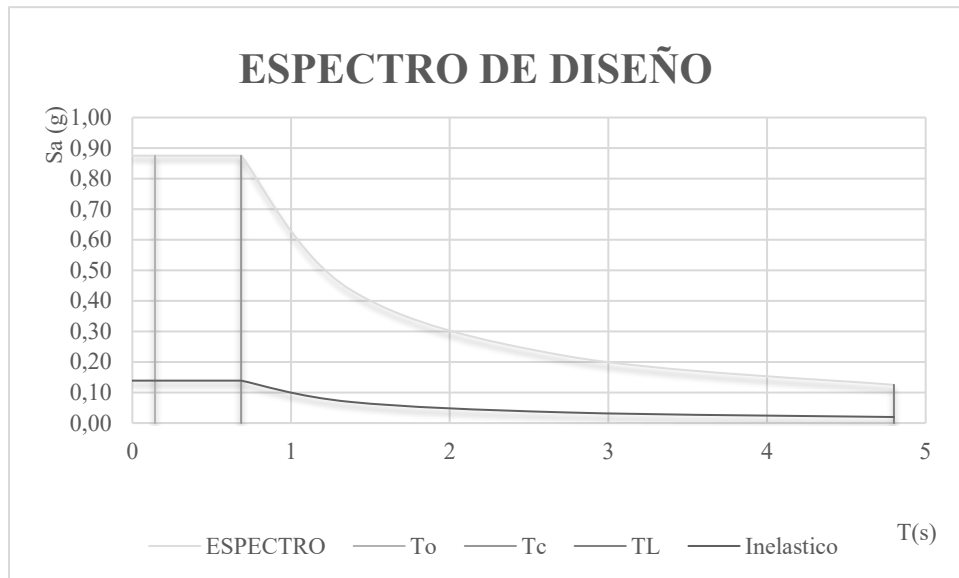
Fuente: *NSR-10 Titulo A*



- **Espectro de diseño:**

Espectro de diseño resultante de las indicaciones dadas por NSR-10 Título A en el capítulo A.2.

Gráfico 9 Espectro de diseño

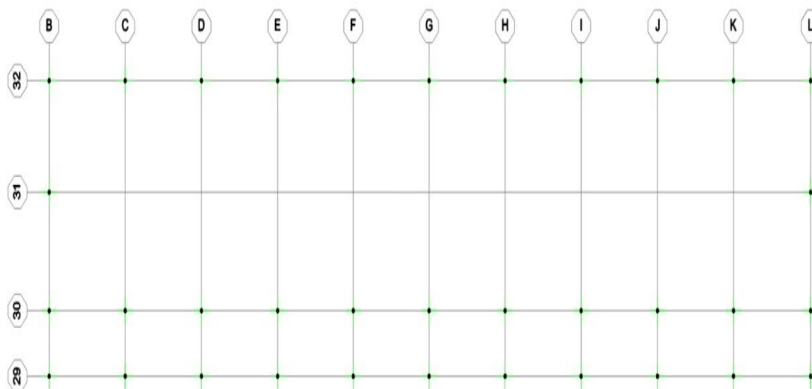


Fuente: *El Autor*

- **Configuración en planta del modelo matemático**

A lo largo del eje X se referencia con letras desde la B hasta la L, a lo largo del eje Y se referencia con los números del 29 al 32, como se observa en la ilustración 23.

Ilustración 23 Configuración en planta del modelo matemático



Fuente: *El Autor*



4.1.5 Chequeo de derivas

A través del modelo matemático se estimaron los desplazamientos horizontales en los (ejes x, y), se hace referencia al desplazamiento máximo horizontal como U1 en las siguientes Ilustraciones.

Desplazamientos en el eje X

Ilustración 244 desplazamientos horizontales en X B29 - F29

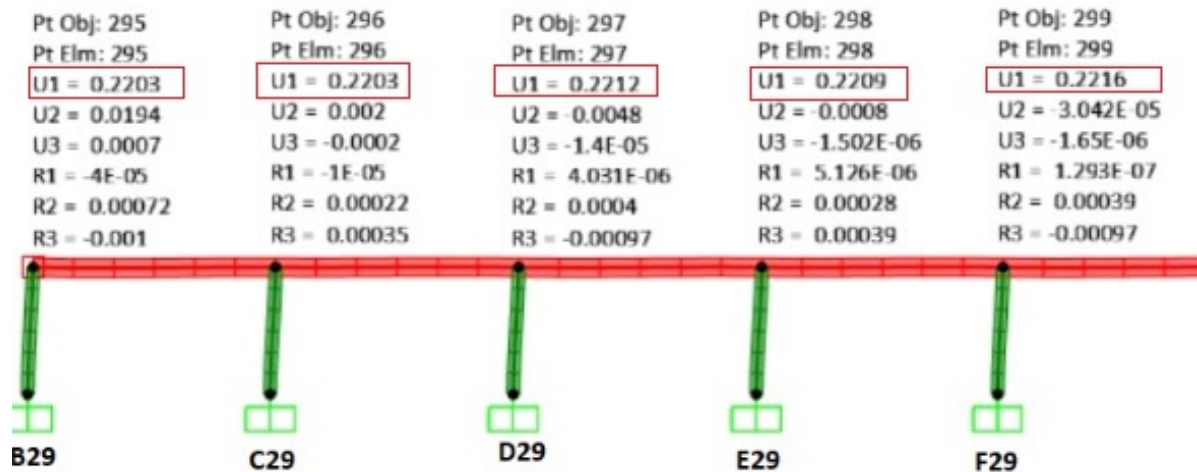


Ilustración 25 desplazamientos horizontales en X G29 – L29

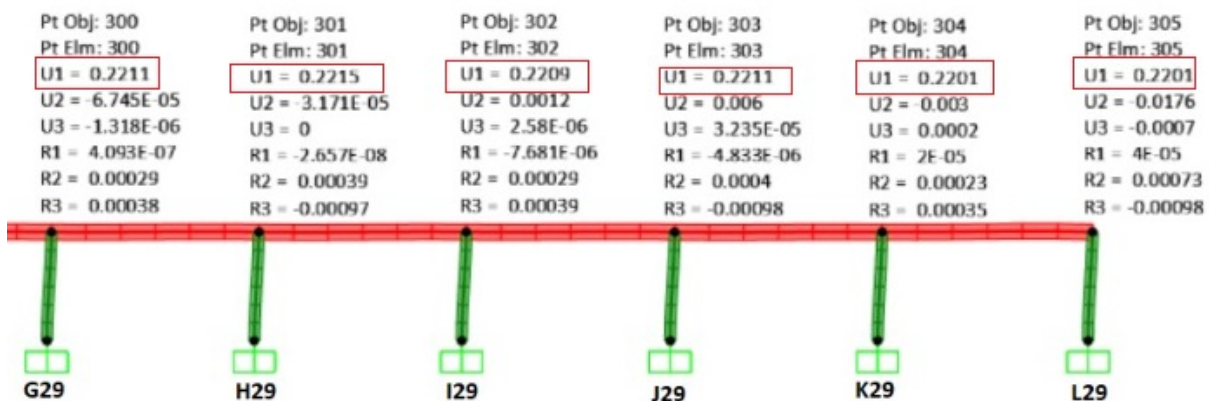




Ilustración 25 desplazamientos horizontales en X B30 – F30

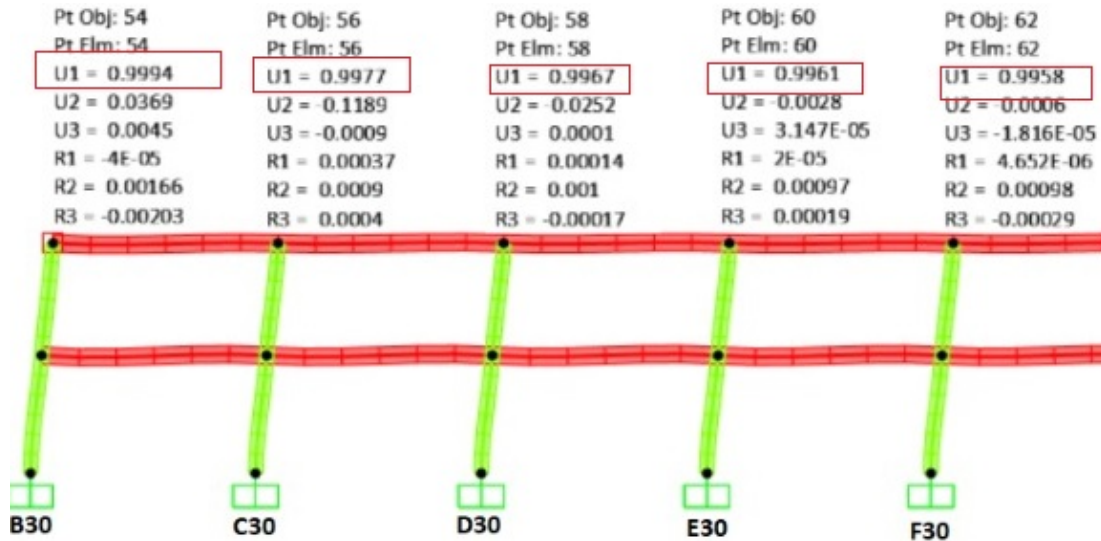


Ilustración 26 desplazamientos horizontales en X G30 - L30

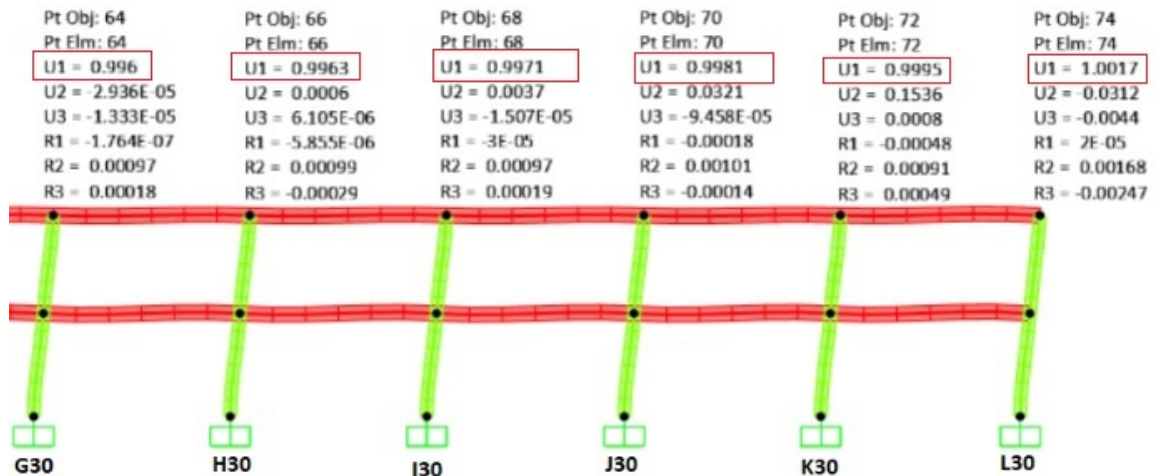




Ilustración 27 desplazamientos horizontales en X2 B30- F30

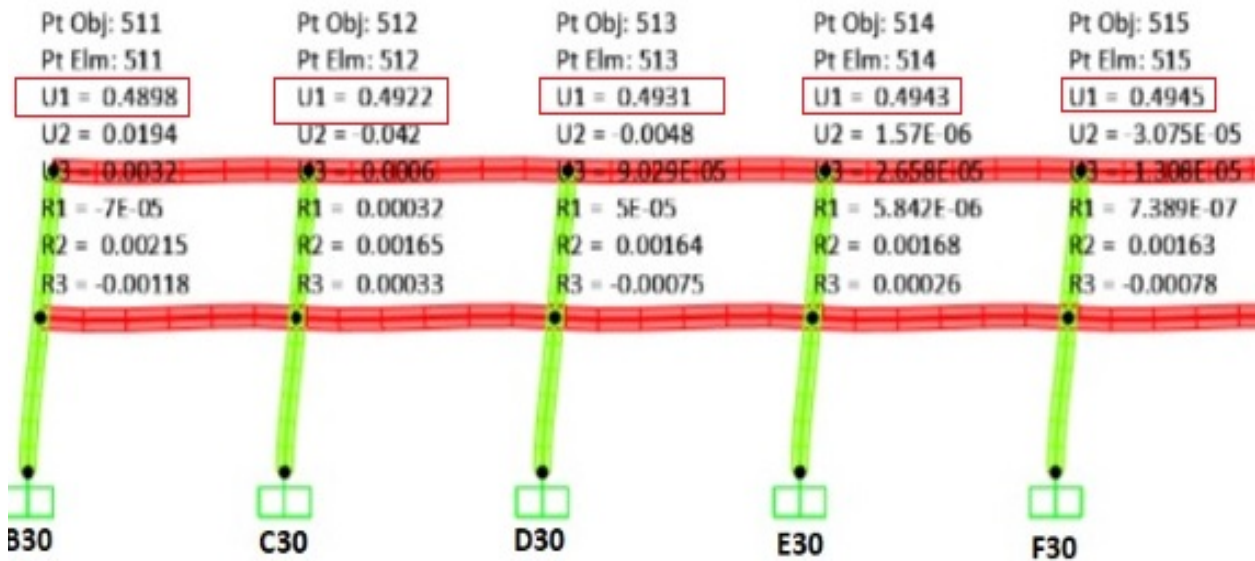


Ilustración 28 desplazamientos horizontales en X2 G30- L30

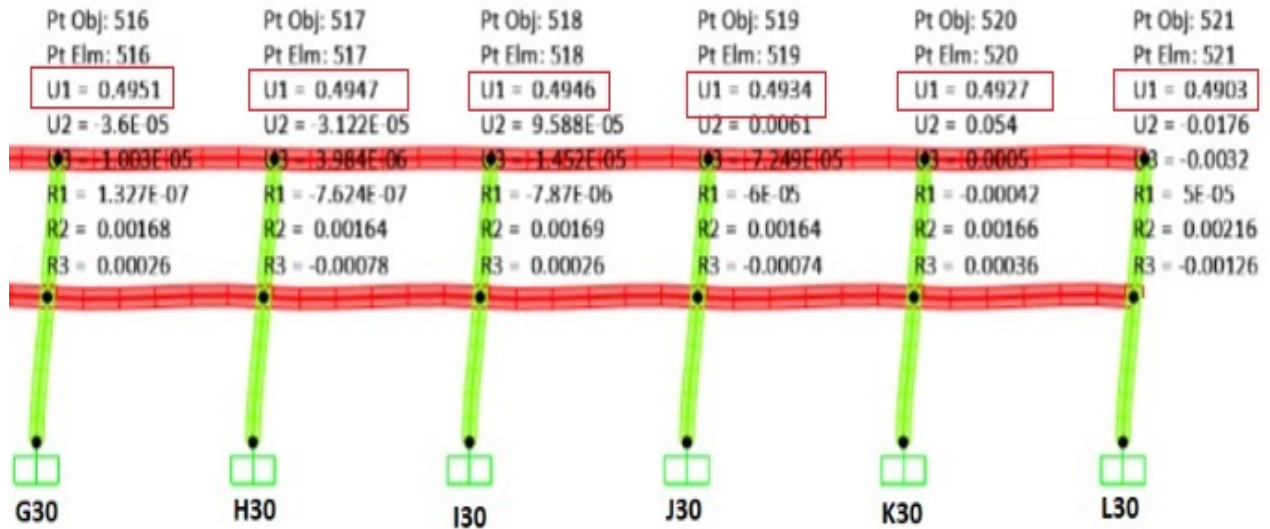




Ilustración 29 desplazamientos horizontales en X B32 - G32

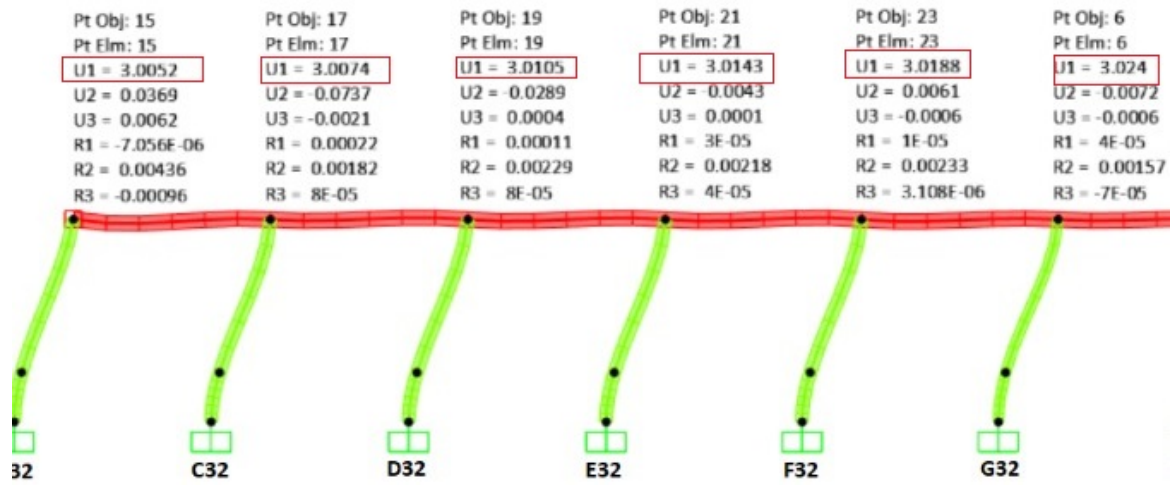
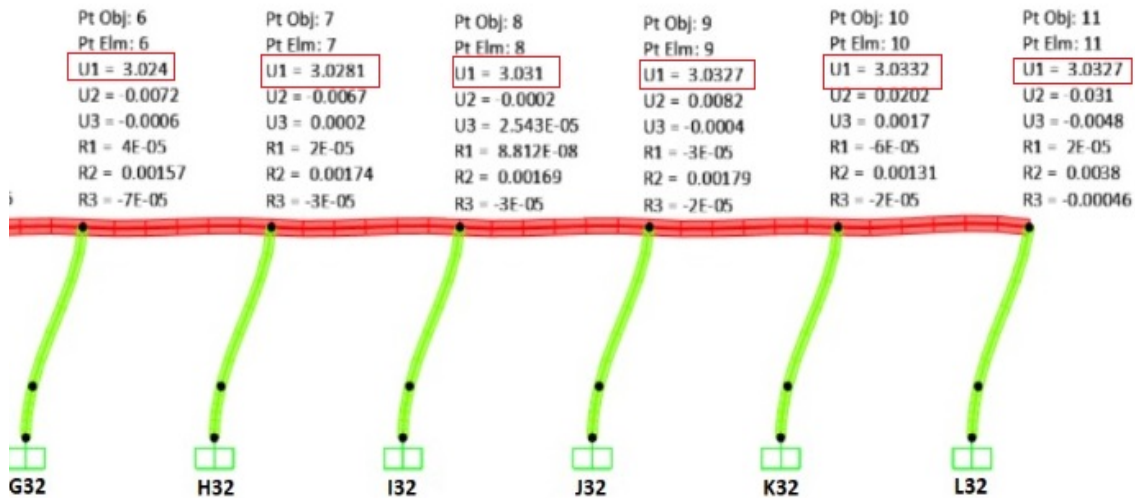


Ilustración 30 desplazamientos horizontales en X G32 - L32





- Desplazamientos en el eje Y

Ilustración 31 desplazamientos en y B29 - B32

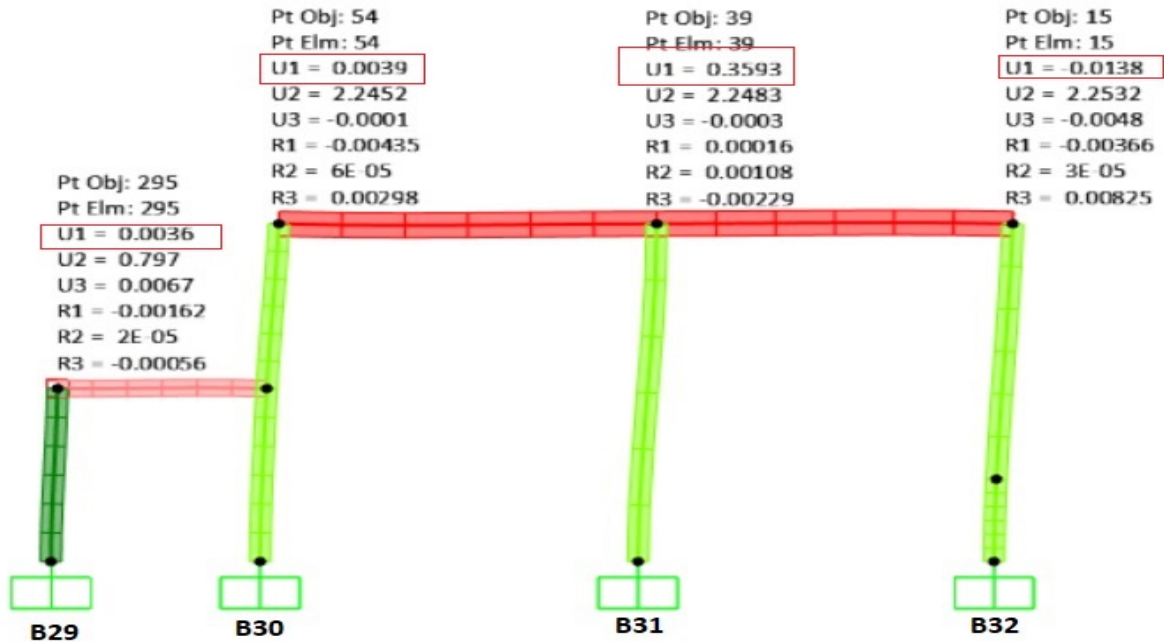


Ilustración 32 desplazamientos en Y C29- C32

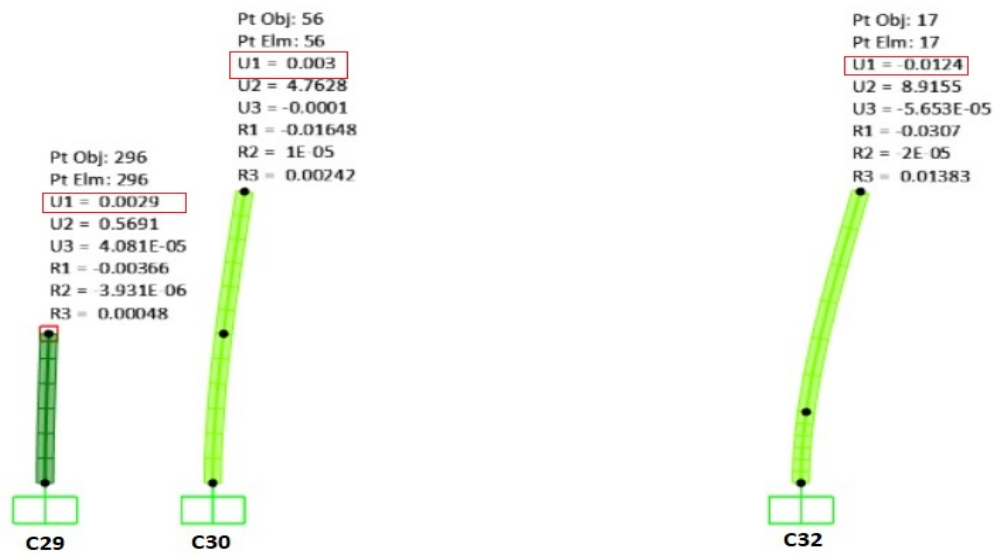




Ilustración 34 desplazamientos en Y D29 - D32

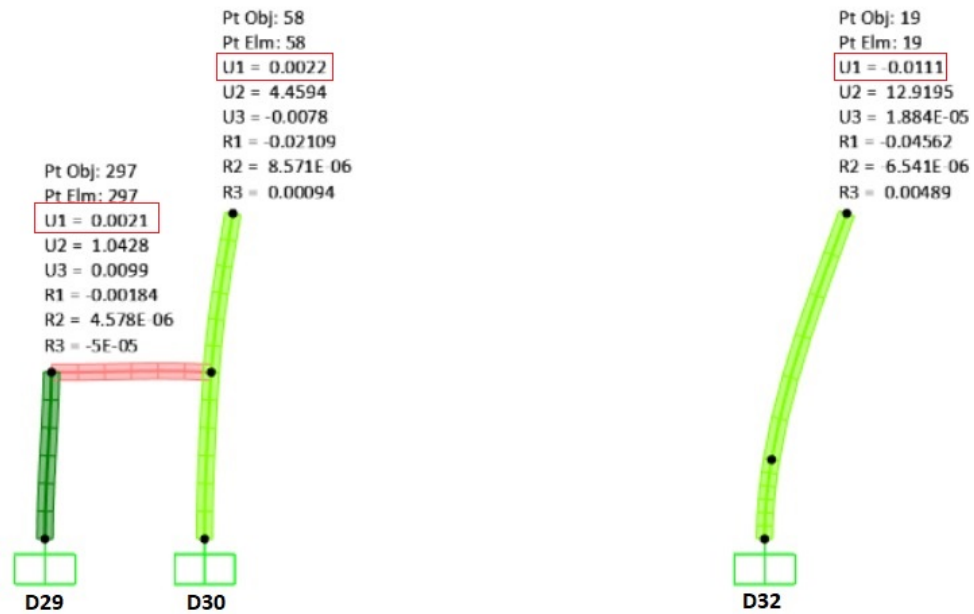


Ilustración 35 desplazamientos en Y E29- E32 – DERIVA MAXIMA

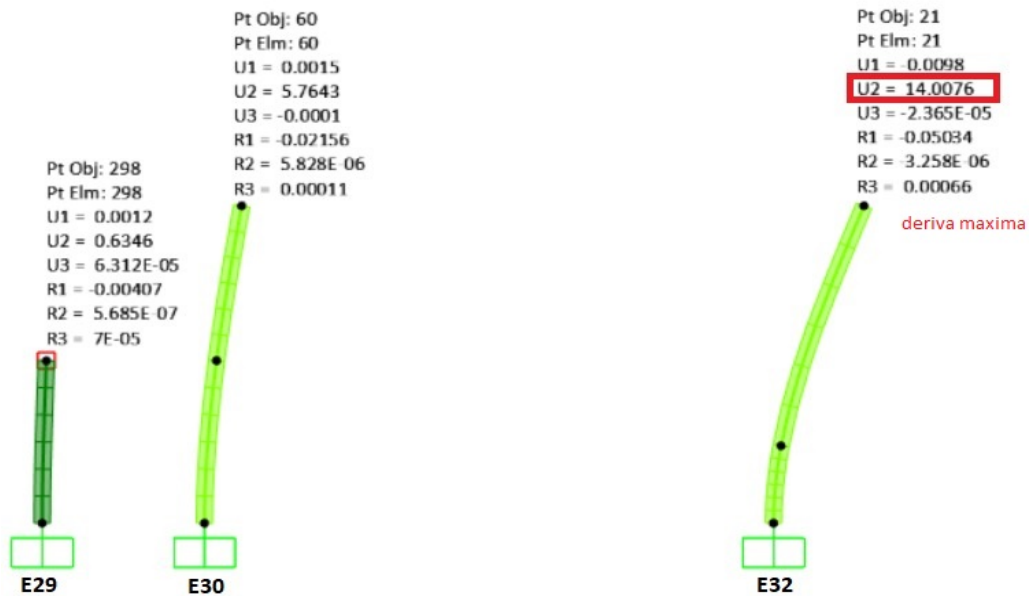




Ilustración 36 desplazamientos en Y F29 - F32

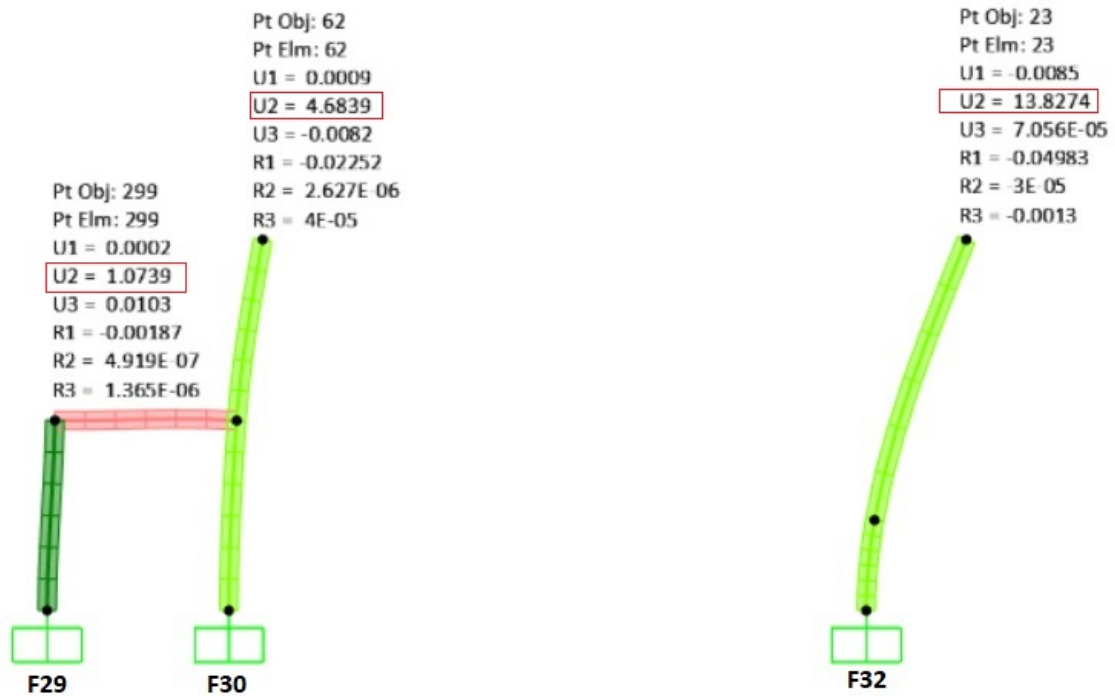


Ilustración 37 desplazamientos en Y G29 - F32

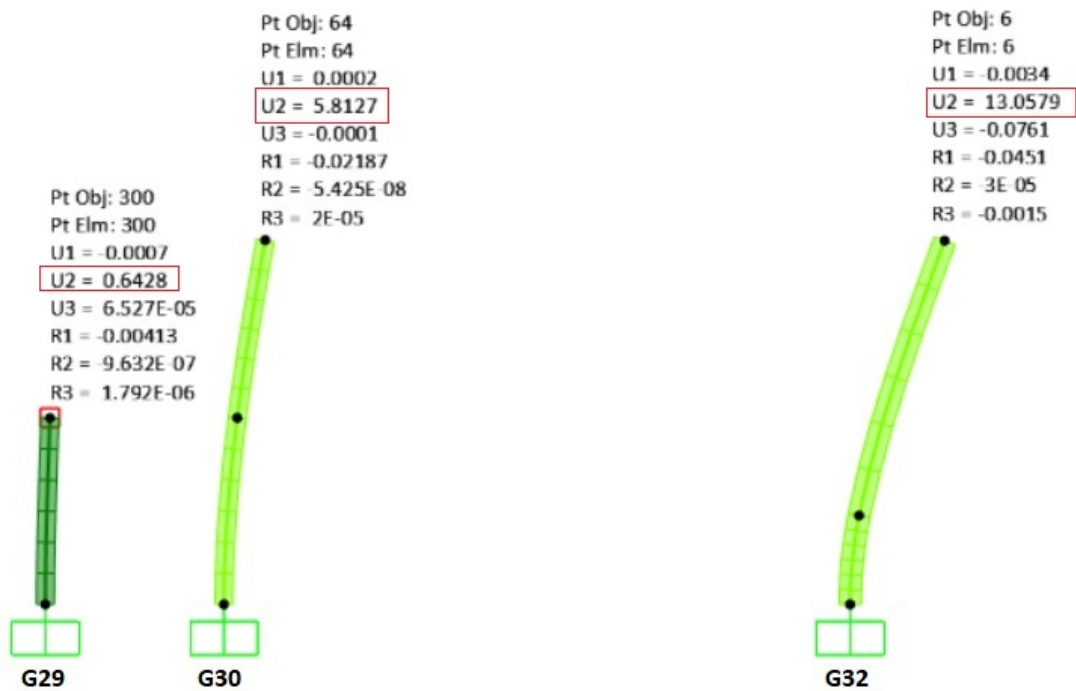




Ilustración 33 desplazamiento en Y H29 - H32

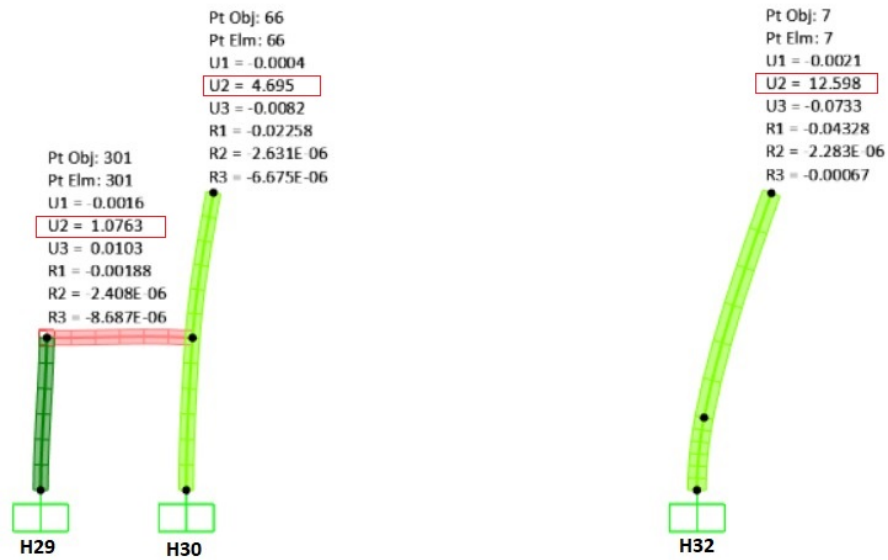


Ilustración 34 desplazamiento en Y I29 - I32

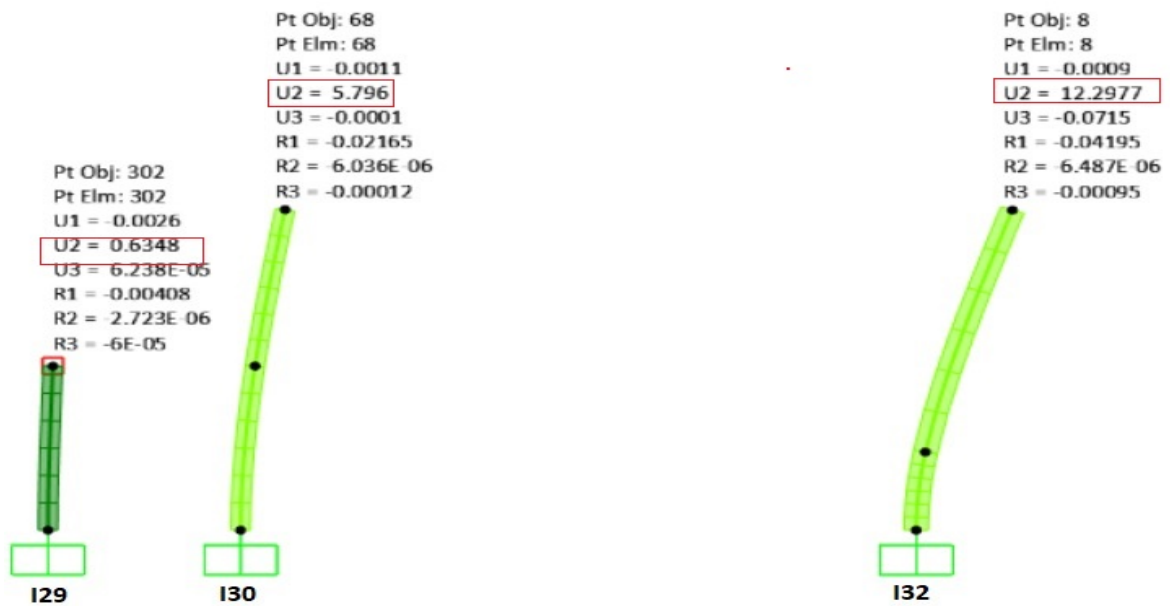




Ilustración 40 desplazamientos en Y J29 - J32

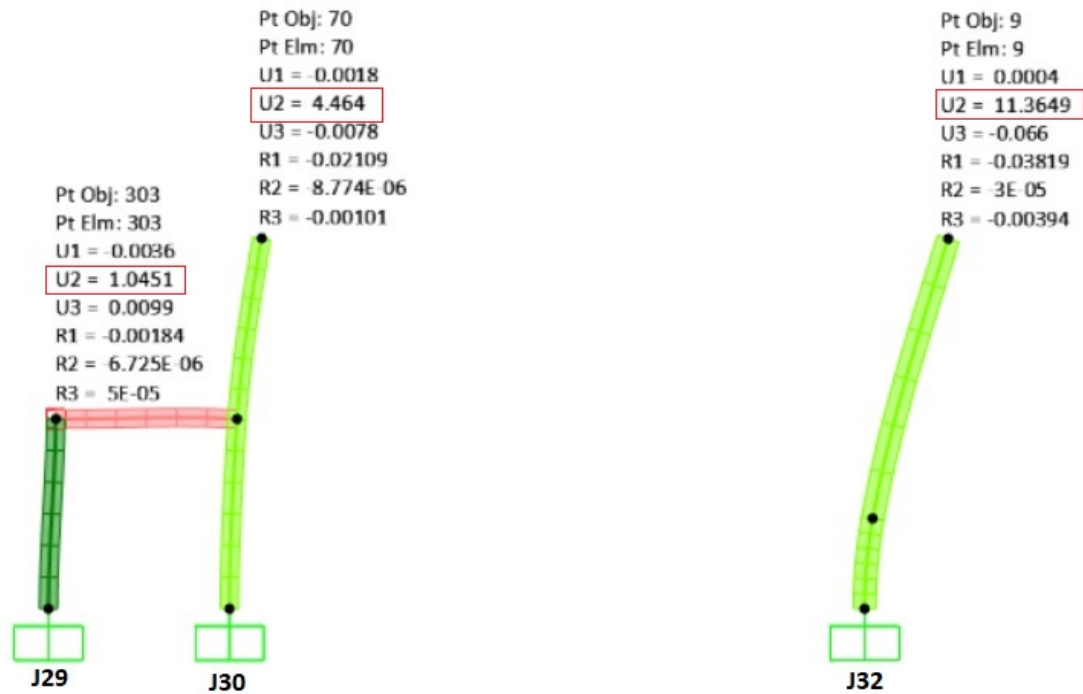


Ilustración 41 desplazamientos en Y K29 - K32

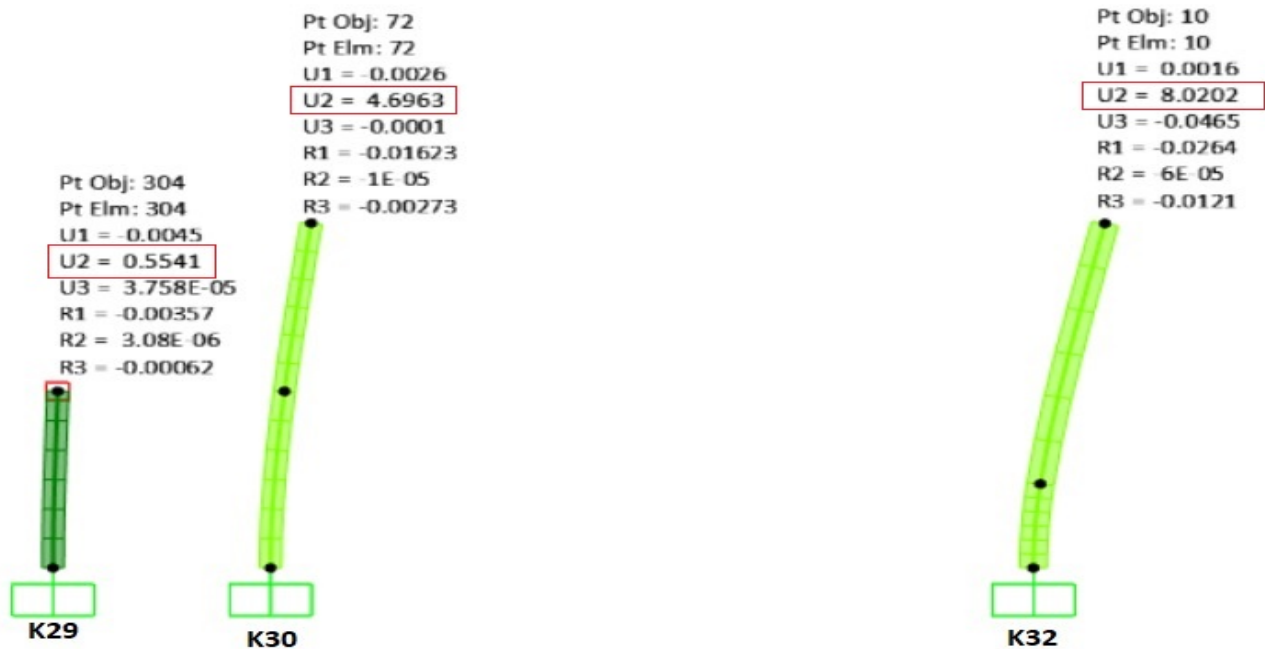
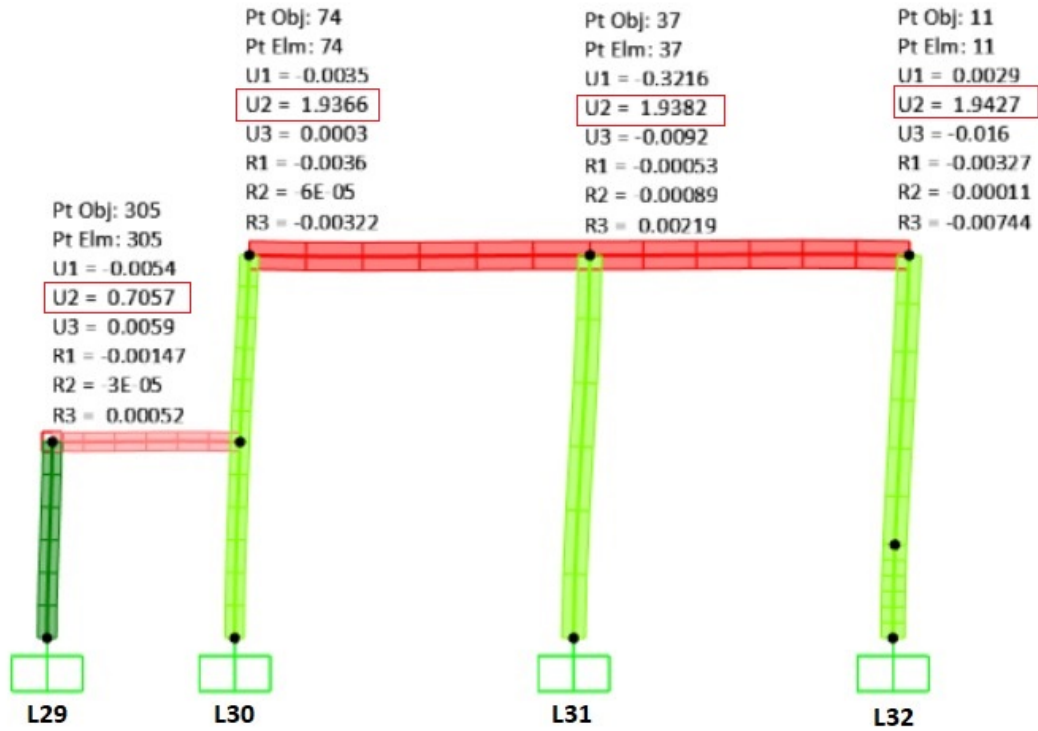




Ilustración 35 desplazamientos en Y L29 - l32





4.1.6 Índice de flexibilidad de la estructura

El índice de flexibilidad de la estructura está dado por el cociente de la deriva máxima de la estructura por la deriva máxima permitida, y representa el rango de movimiento que tiene la estructura para desplazarse sin causar daños a los elementos estructurales., ver ecuación 9.

Ecuación 9 Cálculo del índice de flexibilidad Modelo 1

$$\text{Índice de flexibilidad} = \frac{14,007}{4,10} = 3.4163$$

Altura de entrepiso: 4.10

La deriva máxima se encuentra ubicada en la columna E32 desplazándose horizontalmente en el eje Y, debido a que no existe una viga que amarre estas columnas en ese punto del módulo.

Con lo anterior buscamos definir el grado de deformación de la estructura

4.1.7 Índice de sobreesfuerzo

El índice de sobre esfuerzo se determina según la NSR-10 como el cociente entre las solicitaciones mayoradas y la resistencia efectiva del elemento, para evaluar resistencia de los elementos para soportar cargas sin colapsar.

En las ilustraciones a continuación, plasmamos el índice de sobreesfuerzo por cada pórtico.

Ilustración 36 Índice de sobreesfuerzo B29 - F29

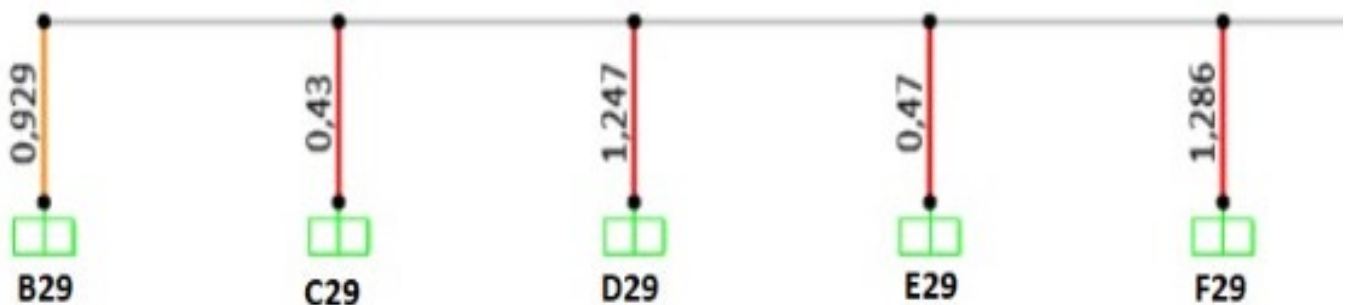




Ilustración 37 Índice de sobreesfuerzo G29- L29

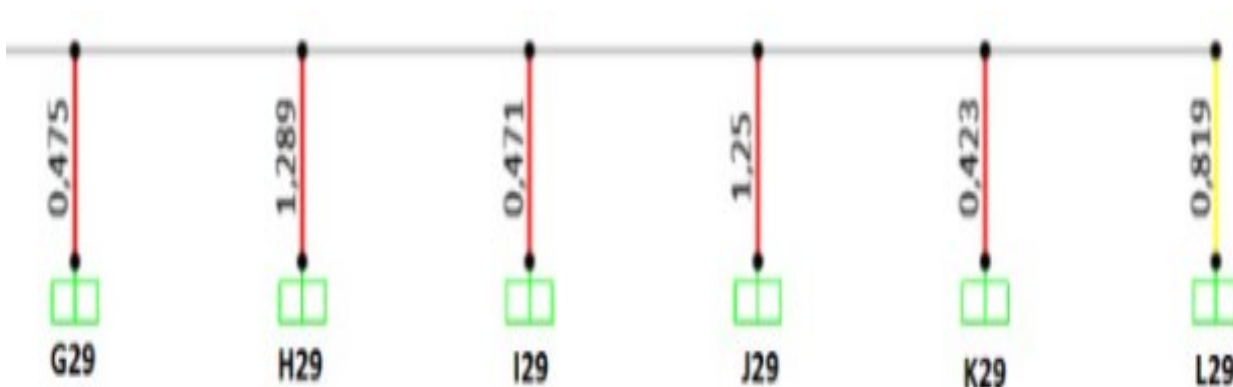


Ilustración 38
Índice de
sobreesfuerzo B31



Ilustración 39
Índice de
sobreesfuerzo L31



Ilustración 40 Índice de sobreesfuerzo B30 - F30





Ilustración 41 Índice de sobreesfuerzo G30 - L30

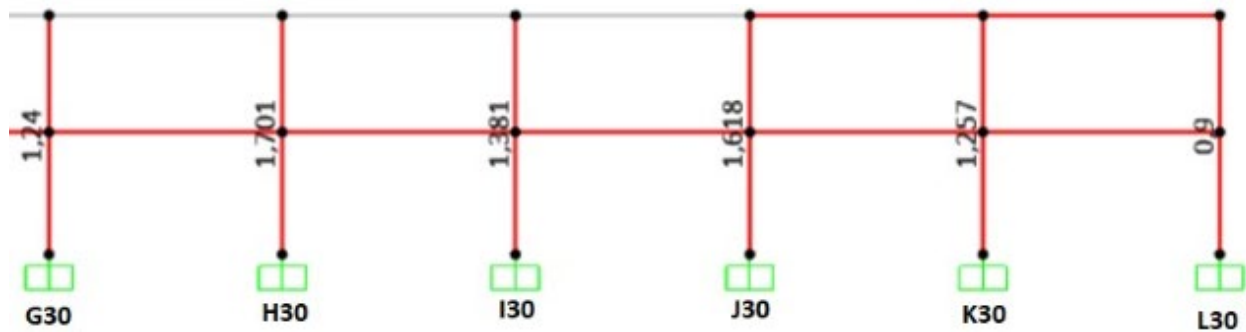


Ilustración 42 Índice de sobreesfuerzo B32 - F32





Ilustración 43 Índice de sobreesfuerzo G32- L32



Análisis Índice de sobreesfuerzo.

El índice de sobreesfuerzo busca establecer la proporción entre la demanda y la capacidad del elemento analizado, a partir de la resistencia efectiva y las solicitaciones previstas, los resultados anteriores no representan el grado de vulnerabilidad global de la estructura, estos valores determinaron el grado de capacidad de respuesta de la estructura ante las solicitaciones previstas, con base a los índices de sobreesfuerzo se determina la secuencia de falla de la estructura. (Diego fernando paez moreno, 2019)

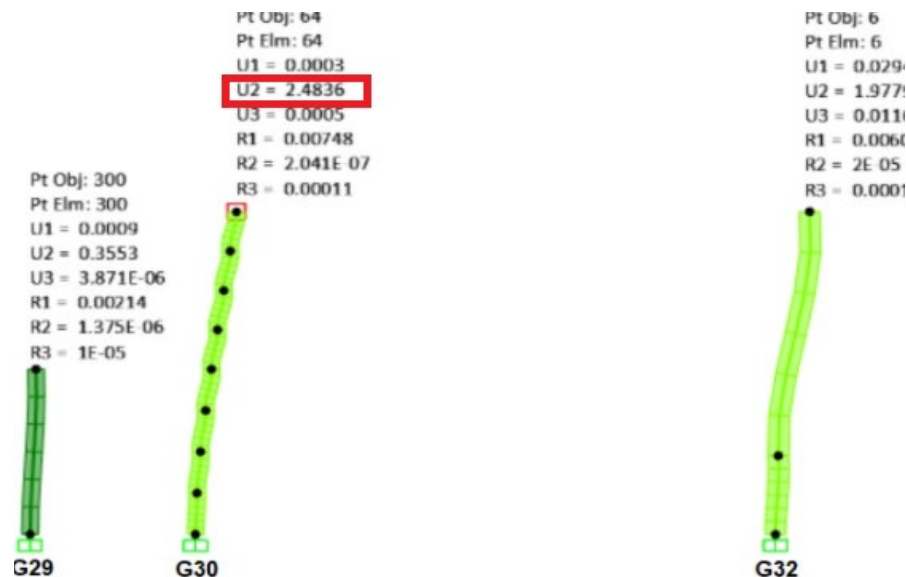
Este es un indicativo del modo prevalente de colapso de la estructura a partir de sobre-solicitación de cada uno de los elementos que componen el “Módulo de aulas número 1 de la Universidad de Ibagué” esta secuencia de falla es un recorrido por los índices de sobreesfuerzo **mayores a 0,95** encontrados en los resultados anteriores, en los pórticos desde el C32 hasta el K32 que presentan los índices de sobreesfuerzo mayores ante solicitaciones de esfuerzo por compresión y torsión.



4.1.8 Resultados obtenidos a partir del modelo matemático N°2

Teniendo en cuenta que para los siguientes resultados se utilizó la misma configuración en planta y la misma referencia para cada columna utilizada en el primero modelo.

Ilustración 44 Desplazamientos máximos en Y modelo matemático N°2 G29 - 632



Se realizó un recorrido por nuestro segundo modelo al cual se le agregaron unos elementos que simulan la mampostería, y se localizó el desplazamiento máximo ubicado en la columna referenciada como G30 (Ver ilustración 51).

Se puede evidenciar que en comparación con la deriva máxima obtenida en el primer modelo bajaron significativamente los desplazamientos máximos, Ver tabla 40.

Tabla 40 Comparación de desplazamientos máximos

Desplazamientos máximos en (cm)	
Modelo matemático 1	14,0076
Modelo matemático 2	2,4836

Fuente: El autor



A continuación, se realizó un análisis entre los dos modelos, en cada pórtico donde se presentaron los máximos desplazamientos, ver gráfico 10 y 11.

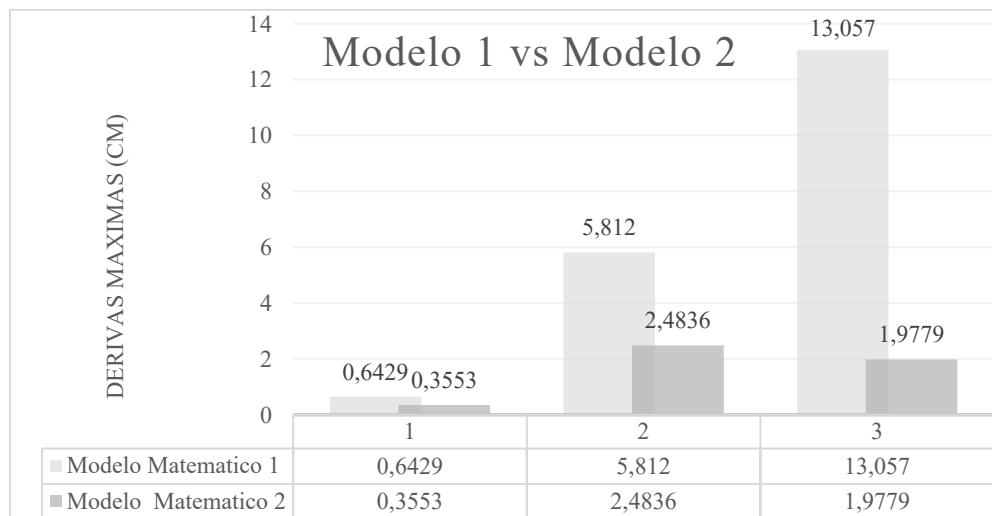
Los resultados en rojo representan los desplazamientos máximos para cada modelo como se aprecia en la tabla 41 y 42.

Tabla 41 Derivas máximas en los pórticos G29 -G32

Derivas máximas en Y G29 - G32			
Referencia de columna	1-G29	2-G30	3-G32
Modelo Matemático 1	0,6429	5,812	13,057
Modelo Matemático 2	0,3553	2,4836	1,9779

Fuente: El autor

Gráfico 10 Desplazamientos máximos G29 – G32



Fuente: El autor

Ecuación 10 Índice de Flexibilidad Modelo Matemático 2

$$\text{Índice de flexibilidad} = \frac{2,48}{4,10} = 0,6048$$

Fuente: El autor

Altura de entrepiso: 4.10

Desplazamiento máximo: 2,48

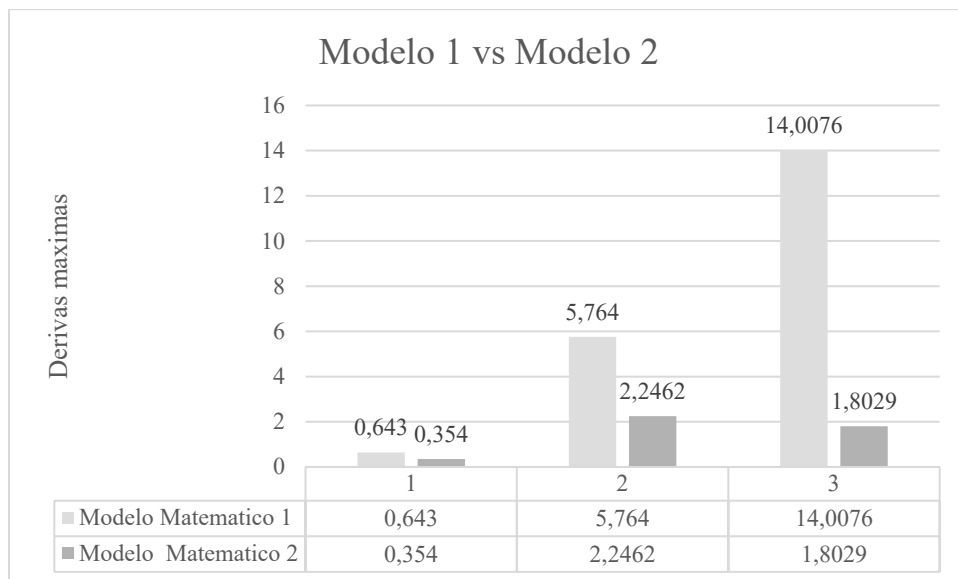


Tabla 42 Derivas máximas E29 - E32

Derivas máximas en Y E29 - E32			
Referencia de columna	1-E29	2-E30	E-32
Modelo Matemático 1	0,643	5,764	14,0076
Modelo Matemático 2	0,354	2,2462	1,8029

Fuente: El autor

Gráfico 11 Desplazamientos máximos E29 - E32

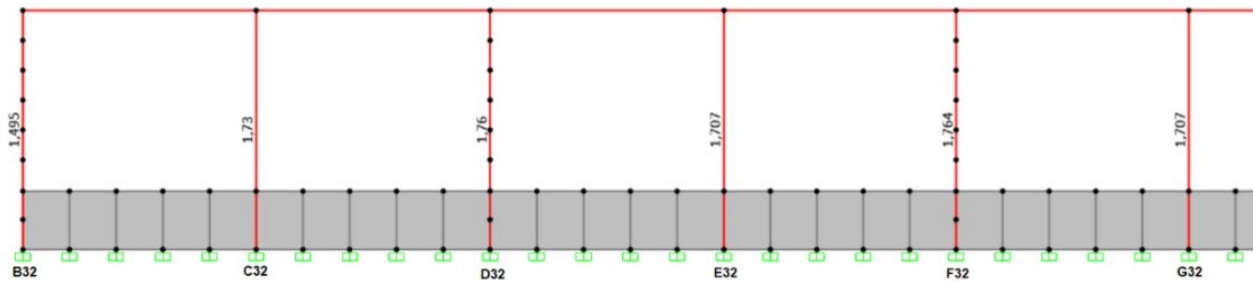


Fuente: El autor



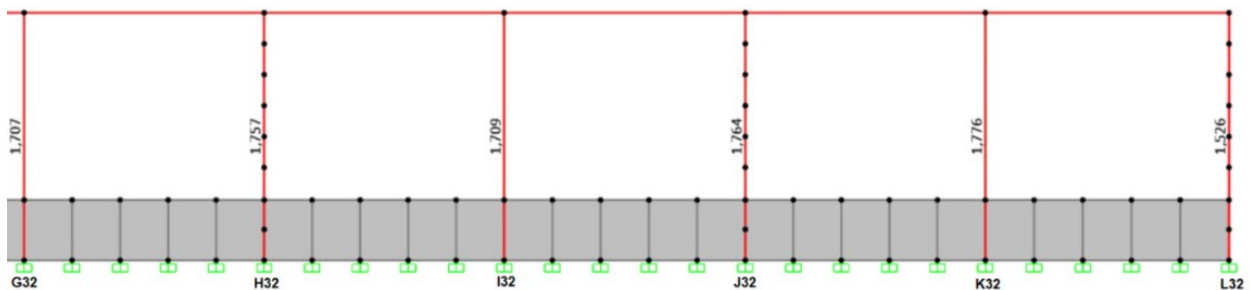
- Índice de sobrefuerzo modelo matemático N°2

Ilustración 45 Índice de sobrefuerzo Modelo 2 B32 - G32



Fuente: El autor

Ilustración 46 Índice de sobrefuerzo Modelo G32 - L32



Fuente: El autor

En las ilustraciones 52 y 53 se puede observar que los índices de sobrefuerzo bajaron de manera significativa en comparación al primer modelo matemático, pero aún se evidencia que cada elemento tipo columna está soportando entre el 30% - 70% más de su capacidad, es decir en todos los elementos su índice de sobrefuerzo sobrepasa el 0,95 estipulado por la NSR-10.



Capítulo 5

5.1 Conclusiones

- La información recolectada nos permite determinar la capacidad estructural del módulo de aulas número 1 de la universidad de Ibagué, es decir la capacidad de respuesta de la estructura ante solicitaciones estáticas o dinámicas a la cual puede verse sometida, como el comportamiento de elementos tipo columna a esfuerzo por compresión y torsión.
- Según los resultados obtenidos en los ensayos de campo donde estimamos las propiedades mecánicas de los materiales, en el índice de esclerometría, se pudo evidenciar que son procedimientos poco confiables ya que solamente se evalúa el concreto de la parte superficial del elemento, y esta correlación de más del 60% entre ensayo de núcleos extraídos y esclerometría, es más común en edificios antiguos como lo es el módulo de aulas número 1 de la universidad de Ibagué, ya que con el paso del tiempo aumenta la carbonatación del concreto y tiene como condición aumentar la dureza del concreto.
- El índice de flexibilidad aumenta en función de los desplazamientos máximos encontrados en el sistema estructural, para nuestro caso de estudio se halló en el elemento tipo columna referenciado como E32 en el modelo matemático 1, debido a que no existen vigas de amarre la cual impide este tipo de desplazamientos excesivos; al realizarse un reforzamiento estructural se recomienda la construcción de vigas en estos puntos donde las derivas no cumplen según lo indicado en la NSR-10.
- Al agregar elementos que simulan la mampostería a nuestro modelo matemático, estamos aumentando la rigidez a nuestra estructura, por lo que disminuyen notablemente los desplazamientos máximos tanto en el eje X y Y, por ende, los índices de sobreesfuerzo de cada elemento tipo columna.



5.2 Recomendaciones

Después de desarrollado el trabajo de grado denominado “Evaluación de la capacidad estructural del módulo de aulas número 1 de la universidad de Ibagué”, se realizan las siguientes recomendaciones.

- Se debe garantizar una zona de confinamiento al inicio y final de cada columna que compone el sistema, y según la norma para barras de diámetro de media pulgada se recomienda una zona de confinamiento de 0.10 m y la longitud la mayor dimensión del área transversal de la columna, con el fin de reducir los índices de sobreesfuerzos de la estructura.
- Se propone construir una viga que una los extremos superiores de las columnas, para evitar desplazamientos excesivos en el eje Y.
- Aumentar las secciones transversales de los elementos tipo columna, para que se dé cumplimiento con lo mínimo establecido en el reglamento NSR-10
- Para ensayos destructivos (Extracción de cilindros de concreto) se recomienda utilizar una broca de mayor tamaño, con el fin de evitar inconvenientes si nos encontramos con agregados de gran tamaño.
- Los índices de sobreesfuerzo mayores encuentran en las columnas H32 - I32 – J32 donde no existen vigas de amarre, es recomendable la construcción de una viga de amarre y aumentar la sección transversal de los elementos tipo columna.
- En los especímenes extraídos se observó sobre tamaño en los agregados, y se infiere que estos afectaron directamente en las resistencias, obteniendo resultados poco confiables, por lo anterior es recomendable utilizar brocas con mayor diámetro para evitar este tipo de inconvenientes al hacer un estudio patológico para conocer las propiedades mecánicas del concreto.



Bibliografía

- INSTITUTO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. (Marzo de 2019). *BOLETIN TECNICO ICCG*. GUATEMALA. Obtenido de <:///D:/DATOS%20IMPORTANTES/Downloads/Boletn%20Tecnico%20ICCG%20-%2007%20Ncleos%20perforados%20para%20la%20evaluacin%20de%20la%20resistencia%20a%20compresin%20del%20concreto%20endurecido%20.pdf>
- Alfonso, C. H. (2010). Plan Urbanistico y Arquitectonico U de I. Ibagué, Tolima, Colombia.
- APOYO MARKETING. (27 de julio de 2015). *Eadic Formacion y Consultoria*. Obtenido de SAP 2000: software aplicado al cálculo de estructuras: <https://www.eadic.com/sap-2000-software-aplicado-calculo-estructuras/>
- BDL, 2. B.-U. (s.f.). Obtenido de <https://www.bdl.cl/articulos/auscultaciones/34-ensayos-no-destructivos>
- Cabrera, I. J. (s.f.). *Cvivilgeeks.com ingenieria y construccion*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2011/09/27/resistencia-vs-rigidez/>
- Campos, I. A. (2019). Obtenido de <http://edificacionesdecalidad.com/vulnerabilidad-sismica>
- CATEC. (s.f.). *CATEC*. Obtenido de Análisis Modal: <http://www.catec.aero/es/materiales-y-procesos/l%C3%ADnea-de-investigaci%C3%B3n/an%C3%A1lisis-modal>
- CATEC. (s.f.). *CATEC*. Obtenido de <http://www.catec.aero/es/materiales-y-procesos/l%C3%ADnea-de-investigaci%C3%B3n/an%C3%A1lisis-modal>
- Comision Asesora Permanente Para el Regimen de Construcciones Sismo Resistentes. (2010). *NSR10 - TITULO B*.
- Comision Asesora Permanente Para el Regimen de Construcciones Sismo Resistentes. (2010). *NSR10 - TITULO C*.
- cortolima. (11 de 11 de 2011). *La Falla de Ibagué está relacionada directamente con el Volcán Cerro Machín, así lo confirma experto del observatorio vulcanológico*. Obtenido de <https://www.cortolima.gov.co/falla-ibagu%C3%A9-est%C3%A1-relacionada-directamente-volc%C3%A1n-cerro-mach%C3%ADn-as%C3%AD-lo-confirma-experto-observatorio>
- Cortolima. (15 de 09 de 2011). *Para Ibagué, representa mayor riesgo la falla geológica que el Machín*. Obtenido de <https://www.cortolima.gov.co/ibagu%C3%A9-representa-mayor-riesgo-falla-geol%C3%B3gica-mach%C3%ADn>
- cruz, R. (2015). *Evaluacion de tecnicas no destructivas en elementos de concreto para puentes*. Santander, Colombia .



- Danilo, Y. Q. (27 de Noviembre de 2020). Obtenido de Sitio web de la Universidad Laica Vicente Roca fuerte:
https://es2.slideshare.net/dussanyagual/reforzamientos-de-estructuras?from_action=save
- Diego fernando paez moreno, j. h. (2019). *Metodologia para el estudio de la vulnerabilidad estructural de edificaciones* . Bogota.
- Eadic Formacion y Consultoria. (27 de julio de 2015). *SAP 2000: software aplicado al cálculo de estructuras*. Obtenido de <https://www.eadic.com/sap-2000-software-aplicado-calculo-estructuras/>
- FEMA. (2015 de JANUARY). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*. Washington, D.C., EEUU: nehrp.
- Fernandez, C. S. (2013). *PATOLOGIA + REHABILITACION + CONSTRUCCION*. Obtenido de <https://www.patologiasconstruccion.net/2013/11/resistencia-del-hormigon-mediante-esclerometro-o-indice-de-rebote-1/>
- Fernandez, C. S. (s.f.). *PATOLOGIA+REHABILITACION+CONSTRUCCION*. Obtenido de <https://www.patologiasconstruccion.net/2013/11/resistencia-del-hormigon-mediante-esclerometro-o-indice-de-rebote-1/>
- Geotecnia Facil*. (s.f.). Obtenido de <http://geotecniafacil.com/peligrosidad-sismica/>
- Góngora Beltrán, D., & Guzmán Labrador, J. A. (2019). *Diseño y revisión de muros estructurales de concreto reforzado a través de una hoja electrónica* (Bachelor's thesis, Universidad de Ibagué)
- Gracia, L. E. (08 de 09 de 2014). *Universidad de los Andes*. Obtenido de Desarrollo de la normativa sismo resistente colombiana en los 30 años desde su primera expedición:
<https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/785/938>
- HILTI. (2020). Obtenido de https://www.hilti.com.mx/medias/sys_master/documents/h97/h7f/9660051783710/Documentacion-ASSET-DOC-LOC-3111058.pdf
- Ing Cabrera, J. (s.f.). *Cvivilgeeks.com ingenieria y construccion*. Obtenido de RESISTENCIA Vs. RIGIDEZ:
<https://civilgeeks.com/2011/09/27/resistencia-vs-rigidez/>
- Ing Lucy Mabel Chacon. (2019). ¿Porque es importante el estudio patologico en estructuras de hormigon armado? *CIMIENTOS - REVISTA ESPECIALIZADA EN ARQUITECTURA E INGENIERIA*.
- INSTITUTO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO GUATEMALA. (2019). *Nucleos perforados para la evaluacion de la resistencia a compresion del concreto*. Guatemala.
- Jairo A. Osorio N., N. E. (2008). *Paleosismología de la Falla de Ibagué*. Bogotá: D'vinni. Obtenido de Paleosismología de la falla de Ibagué .
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *NSR-10 Titulo A*.



- Ospina Cifuentes, D. F., & Restrepo Albarello, F. J. (2011). *Caracterización Geotécnica de los Suelos de la Universidad de Ibagué*. Ibagué.
- peña, J. A. (2019). *Evaluacion de la capacidad sismica de los bloques del 1-6 de la Universidad de Ibague*. Ibague.
- PEREZ, C. P.-S. (2013). *ESTUDIO PATOLÓGICO EDIFICIO CENTRAL FACULTAD DE ARTES ASAB DE LA. Bogota*. Obtenido de Medium.com:
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/4344/CiroAntonio2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sanjuan Fernandez, C. (s.f.). *PATOLOGIA+REHABILITACION+CONSTRUCCION*. Obtenido de Resistencia del hormigón mediante esclerómetro o índice de rebote:
<https://www.patologiasconstruccion.net/2013/11/resistencia-del-hormigon-mediante-esclerometro-o-indice-de-rebote-1/>
- SPAIN, C. (2021). Informacion general.
- Tuk, E. R. (27 de Noviembre de 2020). *Repositorio TEC*. Obtenido de Sitio web del Tecnológico de Costa Rica :
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6167/tecnicas_reforzamiento_estructuras_construidas_concreto_deficiencias%20estructurales.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Universidad de Ibagué. (27 de Noviembre de 2020). *Universidad de Ibagué*. Obtenido de Página web de la Universidad de Ibagué: https://www.unibague.edu.co/images/2020/cifras-unibague/encifras_2019.pdf
- Urrego Guzmán, D. P., & Chala Bustamante, S. C. (2013). *Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia*. Obtenido de Estudio de vulnerabilidad sísmica estructura edificio El Pinar en Bogotá:
<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/1011>
- Velez gallardo, G. a. (2019). *Determinacion de la resistencia a la compresion del concreto mediante el metodo de esclerometria*. Lima, Peru .
- wikipedia. (2021). *Flexion mecanica*.
- Wikipedia. (2021). *Momento Flector*.
- Zapata, F. (2019). *Compresión: concepto y fórmulas, cálculo, ejemplos, ejercicios*.



ANEXOS

Anexo 1. Resultados de ensayos de campo, ensayos destructivos y Esclerometría

Anexo 2. Avalúo de cargas

Anexo 3. Modelo matemático 1 asistido por SAP2000

Anexo 4. Modelo matemático 2 asistido por SAP2000