INFORME FINAL DE REVISIÓN ESTRUCTURAL

PROYECTO RESIDENCIAL *CASA DE LA CULTURA-T_2*

Informe final de revisión estructural de los diseños del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA-T_2*** (Montebello-Antioquia) realizado por la empresa *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.*



Juan Carlos Botero Palacio, PhD

2025

Medellín, 20 de agosto de 2025

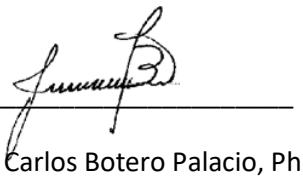
Arquitecto:
JULIO MADRID
JUAN CARLOS MARTINEZ P
CREATIVA DC
Presente

REFERENCIA: Informe final referente a la revisión de los diseños estructurales para el Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA – T_2.***

Arquitectos Julio y Juan Carlos:

Estoy enviando el informe FINAL correspondiente a la revisión de los diseños estructurales del proyecto Casa de la Cultura – T_2 por lo cual se hace una relación detallada de los ítems verificados y su cumplimiento. La revisión de los diseños estructurales del proyecto se inició en el mes de julio del año 2025, en donde se pudo verificar en forma ordenada el cumplimiento las exigencias definidas en la NSR-10.

Atentamente,



Juan Carlos Botero Palacio, PhD
Matrícula: 0520246125ANT
jcbotero127@gmail.com

INFORME FINAL DE REVISIÓN ESTRUCTURAL

PROYECTO RESIDENCIAL *CASA DE LA CULTURA – T_2*

1. OBJETIVO GENERAL

Revisar los diseños estructurales del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA – T_2*** para determinar si dichos diseños cumplen con los lineamientos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y sus decretos anexos.

2. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PROCESO DE REVISIÓN ESTRUCTURAL

Las actividades desarrolladas en el proceso de revisión estructural se basan en las especificaciones del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), reglamento vigente de la Ley 400 de 1997 y sus decretos anexos. En la siguiente tabla se relaciona el cumplimiento de las actividades realizadas en dicho proceso, para el Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA – T_2.***

CUMPLIMIENTO	ACTIVIDAD
✓	Revisión de la configuración estructural del proyecto relacionado con la definición y ubicación de elementos estructurales.
✓	Revisión de hipótesis básicas de análisis y de diseño asumidas en el proyecto.
✓	Evaluación de los procedimientos de cálculo.
✓	Revisión de modelos estructurales de análisis.
✓	Verificación de la geometría de los elementos.
✓	Revisión de las cargas verticales de la estructura.
✓	Revisión de los parámetros sísmicos de diseño de acuerdo con la zona sísmica.
✓	Verificación de la modelación de las acciones sísmicas empleadas.
✓	Verificación de la combinación de los diferentes estados y combinaciones de carga.
✓	Verificación del cumplimiento de derivas.
✓	Revisión de las condiciones de diseño de los elementos estructurales.
✓	Chequeos del despiece de elementos estructurales.
✓	Revisión del detallado de elementos y conexiones.
✓	Revisión de las recomendaciones, especificaciones y detallado en planos.
✓	Concordancia entre planos estructurales y memorias de cálculo, tanto geométrica como estructuralmente.
✓	Verificación del cumplimiento de las recomendaciones del estudio de suelos en el diseño de las cimentaciones.

Los archivos electrónicos entregados para realizar la revisión estructural son los siguientes:

ARCHIVOS	ESTUDIO
20250701_EPE-CASA DE LA CULTURA ULT.pdf	Planos arquitectónicos
20250701_Torre aptos casa de la cultura PROPUESTA FINAL.pdf	Planos arquitectónicos
20250701_678-IF-IN-01-E-CASA.pdf	Estudio de suelos
20250813_678-IF-IN-02-C_Casa de la Cultura Contencion.pdf	Estudio de suelos
20250813_678-MC-IN-01-D Casa de La Cultura T2.pdf	Memorias de cálculo
20250813_678-MC-IN-02-A_Casa de la Cultura Contencion.pdf	Memorias de cálculo
20250707_678-MO-IN-05-A-CASA-TORRE A.EDB *	Modelo ETABS
20250707_ESCALERAS-CASA DE LA CULTURA.EDB	Modelo ETABS
20250813_678-OF-IN-07-A.pdf	Respuesta observaciones
20250813_678-PL-IN-01-E (CASA CULTURA-T2).dwg	Planos estructurales
20250701_678-PL-IN-01-D (CASA CULTURA-TA URBANISMO).dwg *	Planos estructurales
20250813_678-PL-IN-02-B_Casa de la Cultura Contencion.dwg	Planos estructurales

* Torre 1 = Torre B; Torre 2 = Torre A

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA*** se construirá en la carrera 18 con la calle 17, en el municipio de Montebello en el departamento de Antioquia. El diseño arquitectónico fue liderado por la empresa de *VIVIENDA Y HABITAT*, el estudio de suelos y estructural fue realizado por la empresa *SIPI - SOLUCIONES INTEGRALES EN PROYECTOS DE INGENIERÍA S.A.S.*



Figura 1. Ubicación del Proyecto Residencial *CASA DE LA CULTURA*

FUENTE: Google Earth – Tomado el 2025-07-06

El Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA*** está ubicado en el municipio de Montebello, Antioquia, correspondiente a una zona de amenaza sísmica ALTA. Está conformado por dos edificios o torres (T_1 y T_2). En el presente informe se hará referencia a T_2. El tipo de suelo donde se ubica el proyecto es tipo D y el uso de las edificaciones está definido para vivienda, correspondiente al grupo de uso I.

La Torre 2 (T_2) del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA*** es un edificio de cinco pisos con una altura libre de entrepiso es de 2.20 m. La altura total de la estructura desde el nivel de contacto del suelo hasta el nivel máximo de la cubierta es de 12.25 m. El área en planta de cada piso es de 117.19 m^2. El sistema estructural seleccionado para resistir las demandas verticales y horizontales es de muros de carga empleando bloques de mampostería de perforación vertical (DMO). Teniendo en cuenta que la estructura está en zona de amenaza sísmica ALTA y que la altura total es menor a 30 m, la NSR-10 permite diseñar con las especificaciones de disipación modera de energía (DMO), por lo que es correcta la selección realizada por el diseñador estructural.

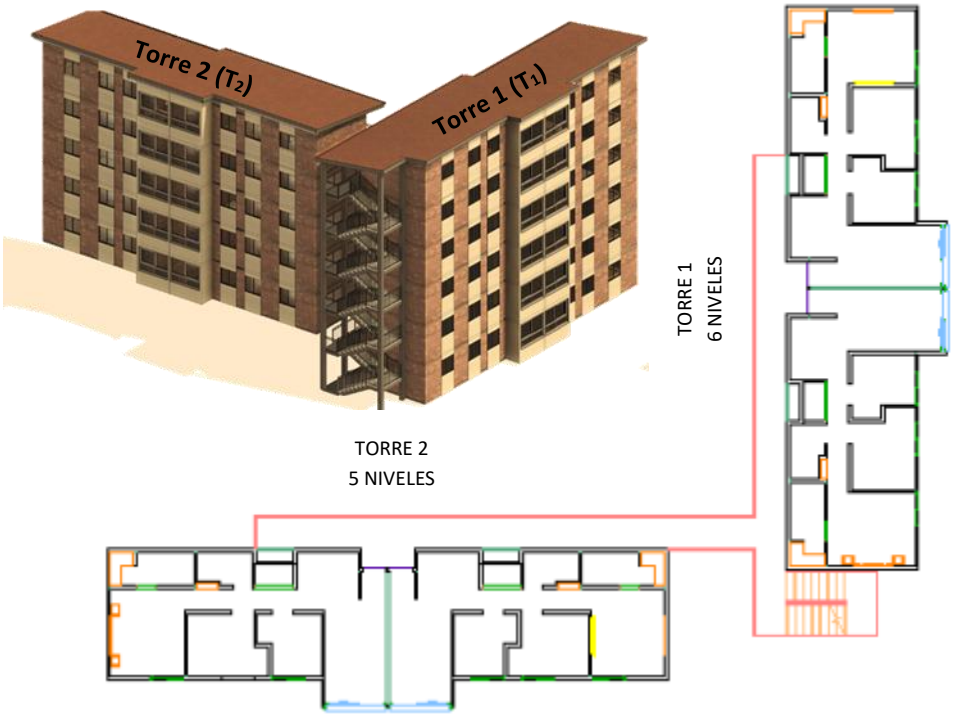


Figura 2. Disposición arquitectónica del Proyecto Residencial *CASA DE LA CULTURA*

FUENTE: Planos Arquitectónicos y memorias estructurales

La cimentación del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA T_2***, está concebida mediante el uso de una losa maciza de contrapiso de 0.12 m de espesor encargada de transmitir las cargas de servicio al suelo. Esta losa se apoya directamente en un suelo mejorado con un material grueso granular

debidamente compactado. Para ayudar a resistir las cargas de servicio y a controlar los asentamientos, se colocaron 40 micropilotes de 5” de diámetro y 5 m de longitud. Adicionalmente y con el objeto de mejorar las propiedades mecánicas de los suelos adjuntos a la estructura, se colocan 84 pilotes de madera con diámetro que puede variar entre 2” a 2.5” y una longitud mínima de 1.2 m. Cercanos a los pilotes de madera se colocan 84 columnas de cal de 1” de diámetro y una longitud mínima de un metro. Los micropilotes se conectan a la losa de contrapiso. En la zona donde se colocan los micropilotes, el espesor de la losa cambia a 0.40 m. Finalmente, se colocan vigas de amarre de 0.60 m x 0.40 m y de 0.80 m x 0.40 m, formando un sistema reticular.

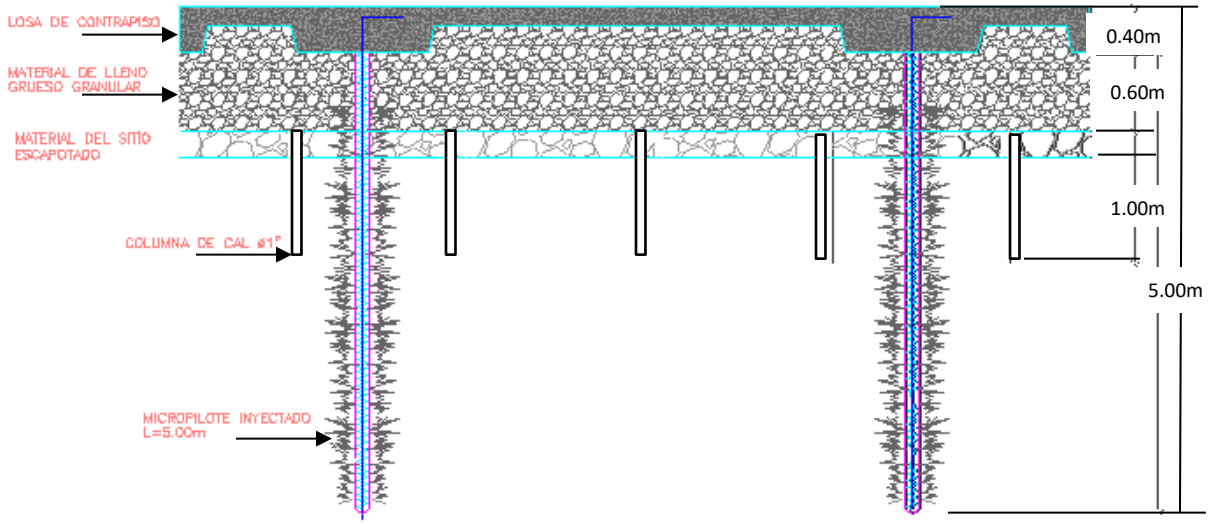


Figura 3. Detalles de la cimentación empleada

FUENTE: Memorias de cálculo (SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.)

La estructura del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA T_2***, está conformada por muros de mampostería de arcilla con perforación vertical empleando bloques de arcilla (0.12 m x 0.20 m x 0.30 m) que van desde el nivel de fundación hasta la cubierta, sin cambio de sección en altura. Los espesores de los muros son de 0.12 m. La estructura es simétrica respecto al eje transversal.

Las losas de entrepiso de concreto reforzado son macizas con espesor de 0.10 m. En algunos tramos se adiciona viguetas monolíticas de 0.12 m x 0.25 m, con el fin de controlar deflexiones en la losa. La cubierta es liviana y emplea teja UPVC.

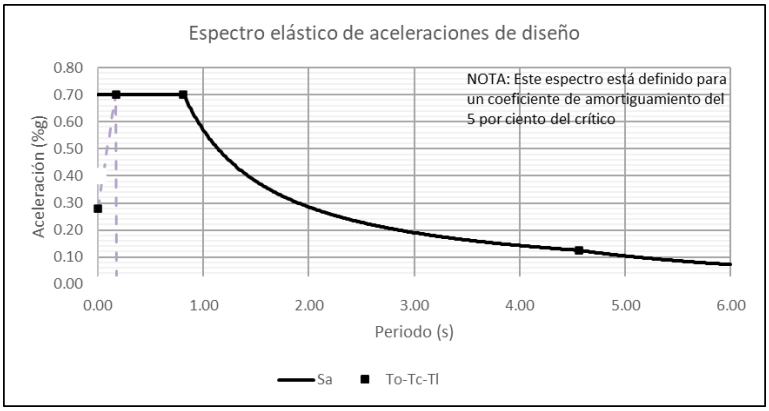
La configuración estructural y geométrica asumida por *SIPI - SOLUCIONES INTEGRALES EN PROYECTOS DE INGENIERÍA S.A.S.,* es adecuada.

4. ASPECTOS CONSIDERADOS EN LA REVISIÓN

4.1. AMENAZA SÍSMICA

Se revisaron los niveles de amenaza sísmica, los efectos locales y el uso de la estructura, que definen el espectro de diseño. Los valores empleados por SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S., son correctos y corresponden a lo permitido por la NSR-10. Se observa que se atendieron las recomendaciones dadas en el estudio de suelos.

- La estructura del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA T_2*** está ubicada en el municipio de Montebello-Antioquia en zona de amenaza sísmica ALTA.
- El estudio de suelos estableció que la estructura se ubicaría sobre un perfil de suelo tipo D.
- El grupo de uso es tipo I correspondiente a estructuras de ocupación normal (vivienda).
- Se empleó un espectro de aceleraciones asociado a una zona de amenaza sísmica ALTA, un perfil de suelo tipo D y un grupo de uso I.
- Para la definición del espectro de diseño se emplearon los siguientes valores:



Departamento	ANTIOQUIA
Municipio	MONTEBELLO
Tipo de suelo	TIPO D
Grupo de uso	GRUPO I
Zona de amenaza	ALTA
Aa	0.20
Av	0.25
Fa	1.40
Fv	1.90
I	1.00

Figura 4. Espectro de Diseño para el Proyecto Residencial *CASA DE LA CULTURA T_2*
FUENTE: Juan Carlos Botero Palacio - Revisor estructural

- El empleo de dicho espectro es el recomendado por la NSR-10 y representa adecuadamente los lineamientos establecidos para amenaza sísmica ALTA, el suelo tipo D y el grupo de uso tipo I. La definición del espectro elástico de aceleraciones de diseño se definió atendiendo adecuadamente las recomendaciones dadas en el estudio de suelos.

4.2. REQUISITOS DE DISEÑO SÍSMICO

Los requisitos generales para el diseño sísmico asumidos por SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S., son correctos y siguen los lineamientos establecidos por la NSR-10.

- La concepción de la configuración estructural es adecuada y la ubicación de los muros es equilibrada. Se identifica un eje de simetría sobre el eje transversal. La configuración estructural empleada garantiza una adecuada trasmisión de cargas verticales y horizontales, así como un buen comportamiento dinámico.
- Por condiciones de diseño, se estableció que la estructura del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA T_2*** corresponde a un sistema de muros de mampostería reforzada con bloques de perforación vertical.
- Teniendo en cuenta que el edificio se ubica en zona de amenaza sísmica ALTA y que la altura total de base a cubierta es menor a 30 m, es posible emplear los criterios de capacidad moderada de disipación de energía (DMO) en el diseño. La estructura diseñada tiene una altura desde el nivel de la losa de piso al nivel de losa de cubierta de 12.25 m. Esto es correcto y lo permite la NSR-10.
- El área en planta de los muros es de 7.35 m^2 y el área de la losa es de 117.19 m^2. Esto indica que la densidad de muros en planta es del 6.3 % aproximadamente, lo cual es un valor adecuado para este tipo de estructuras.
- Para el diseño de la estructura del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA T_2***, se emplearon los criterios definidos por la NSR-10. Se verificó la ocurrencia de las irregularidades en planta y en altura, tal como lo exige la NSR-10.
- Se evaluó la irregularidad torsional y torsional extrema, y se pudo determinar que la estructura no presenta este tipo de irregularidades en planta.
- Para la estructura del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA T_2,*** tanto en la dirección longitudinal X como en la dirección transversal Y, se determinó que no existe ningún tipo de irregularidad, por lo tanto, los valores de ϕ_p, ϕ_a y ϕ_r son iguales a 1.00.
- De esta forma la estructura se define como una "Estructura Regular" para efectos de análisis y ajuste dinámico.
- Para el diseño de la estructura del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA T_2,*** se verificaron todos los aspectos exigidos por la NSR-10 para tal fin.
- *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* estableció el coeficiente de disipación de energía básico, R_o, en ambas direcciones es igual a 2.50, según lo define la NSR-10.
- Considerando la ausencia de irregularidades definidas anteriormente, se pudo establecer que el valor del coeficiente de disipación de energía para el diseño, R, es igual a 2.50 en ambas direcciones. Estos valores son correctos, consistentes y son sugeridos por la NSR-10.
- Las características del edificio diseñado permiten realizar un análisis estático empleando el método de Fuerza Horizontal Equivalente, sin embargo, el diseñador empleó el método de Análisis Dinámico para modelar la estructura, lo cual es permitido por la NSR-10.
- Se consideraron los efectos de ortogonalidad en la acción sísmica asumiendo la ocurrencia simultanea del 100% del sismo en una dirección con el 30% en la otra dirección. Estos efectos fueron considerados en el análisis de la estructura.
- Los efectos de torsión sísmica accidental del 5 por ciento definido en la NSR-10 fueron considerados por defecto en el análisis de la estructura.

- La configuración estructural es aceptable lo que garantiza una adecuada trasmisión de cargas verticales y horizontales.

4.3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A EMPLEAR

La empresa SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S., definió claramente los materiales a emplear en el diseño del Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA T_2.*** *De igual forma establecieron las propiedades mecánicas de los materiales a emplear. Dichas propiedades son correctas y representativas de los materiales empleados en el diseño. Los materiales son sugeridos por la NSR-10 para el diseño y construcción de estructuras civiles.*

- La resistencia de diseño especificada a la compresión del concreto es igual a 21 MPa (210 kg/cm^2) para todos los elementos estructurales de concreto (Vigas, columnas, losas de entrepiso, de cubierta y de cimentación).
- El módulo elástico especificado para el concreto empleado en el diseño fue de 4700 $\sqrt{f'_c}$ (MPa), correspondiente a agregados de origen metamórfico según lo especifica la NSR-10. De esta forma, para un concreto con f'_c de 21 MPa, el valor del módulo elástico resulta ser igual a 21 538 MPa (215 380 kg/cm^2).
- La densidad del concreto reforzado se asume igual a 2400 kg/m^3.
- Las varillas de refuerzo de acero deben cumplir la norma NTC 2289 y la resistencia a la fluencia del acero debe ser igual a 420 MPa (4200 kg/cm^2).
- Las mallas de acero electrosoldado deben cumplir con la norma NTC 5806 y la resistencia a la fluencia del acero debe ser igual a 470 MPa (4700 kg/cm^2).
- El módulo de elasticidad del acero es igual a 200 000 MPa (2 000 000 kg/cm^2).
- Para los muros estructurales, las unidades de arcilla de mampostería de perforación vertical empleadas son de 0.12 m x 0.20 m x 0.30 m y el espesor del tabique es de 0.022 m.
- El peso de la mampostería estructural se asumió igual a 1800 kg/m^3.
- La resistencia a la compresión de la unidad de mampostería debe tener una resistencia f'_{cu} de 30 MPa.
- El mortero de pega empleado es tipo S con una resistencia a la compresión f'_{cp} y el mortero de relleno f'_{cr}, deben tener una resistencia mínima de 12.5 MPa.
- Con base en las resistencias anteriores, se tiene que la resistencia mínima especificada para la compresión de la mampostería inyectada con mortero de relleno, f'_m, es igual a 10.15 MPa y el módulo elástico, E_m, resulta ser igual a 7615 MPa.
- La cubierta emplea teja liviana tipo UPVC.
- Los valores obtenidos en el proceso de revisión son los mismos que empleó el diseñador estructural.
- Las dimensiones de los elementos estructurales seleccionados y las resistencias de diseño especificada a la compresión empleadas, cumplen con los requisitos exigidos para tal fin, según la NSR-10.

4.4. EVALUACIÓN DE CARGAS VERTICALES

En el proceso de revisión se evaluaron las cargas verticales en forma manual. Estas cargas fueron comparadas con las que reporta SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S. En ambos casos se obtienen cargas similares. La definición de las cargas verticales empleadas, son acordes con los lineamientos establecidos en la NSR-10. Se colocaron las cargas sectorizadas según el uso estructural.

- Se definieron adecuadamente los tipos de cargas a considerar en el modelo estructural: cargas muertas (D), cargas vivas (L) y cargas por sismo (E_x y E_y).
- Las cargas muertas consideradas en la estructura son el producto del peso propio de los muros de mampostería estructural, losa, acabados, particiones de muros no estructurales, cubierta y tanques.
- Las cargas vivas empleadas son el producto del uso de la estructura para vivienda y para cubierta.
- Para la evaluación de las cargas verticales de las escaleras, se tomó en cuenta las cargas muertas y vivas propias de estos elementos.
- Para la evaluación de los elementos de concreto se empleó un peso específico de 2.4 t/m^3.
- Se emplearon cargas acabados de 0.15 t/m^2 y se evaluaron las cargas de particiones asociada a los muros no estructurales, la cual resultó ser igual a 0.11 t/m^2. Esta carga se calculó en función de la repartición uniforme de la carga sobre la losa.
- La carga muerta total de la estructura evaluada mediante el modelo matemático fue igual a 376 t. El peso de la estructura obtenido manualmente en el proceso de revisión estructural fue igual a 397 t. Estos valores difieren en un 6 %, por lo que se consideran aceptables. Las diferencias obedecen a la forma de evaluar los espesores equivalentes.

	REVISIÓN	Modelo ETABS	% Diferencia
D-Losas	112.50		
D-Muros	156.85		
D-Cubierta	6.45	6.23	3%
D-PP	275.80	241.46	12%
D-Acabados	70.31	77.14	10%
D-Particiones	51.09	51.52	1%
D-Total	397.21	376.35	6%
L-Total	84.38	86.30	2%
S-Total	481.59	462.64	4%
U-Total	611.65	589.70	4%

Figura 5. Cargas muertas y vivas del Proyecto Residencial *CASA DE LA CULTURA T_2*

FUENTE: Juan Carlos Botero Palacio - Revisor estructural

- Teniendo en cuenta que el área aproximada es de 469 m^2, se tiene que el peso de la estructura por unidad de área es de 0.80 t/m^2, aproximadamente. Este valor es típico para este tipo de estructuras, por lo que se considera razonable y aceptable.
- Las cargas muertas consideradas se definieron según los criterios mínimos establecidos por la NSR-10, para los diferentes usos. Se verificaron las cargas unitarias definidas por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.*, las cuales cumplen con los valores mínimos exigidos por la NSR-10.
- Para la evaluación de la carga viva en las losas de entrepiso se asumió un valor de 180 kg/m^2 propio de vivienda. Para las escaleras se tomó el valor de 300 kg/m^2 y para la cubierta se asumió una carga viva de 50 kg/m^2.
- La relación entre la carga viva y la carga muerta es de 0.23, lo cual es normal.
- Las cargas vivas utilizadas están acorde a las especificaciones de la NSR-10 según el tipo de uso.
- La carga viva calculada por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* fue de 86.30 t y la obtenida manualmente fue de 84.38 t. La diferencia entre ambos valores resulta ser inferior al dos por ciento, lo cual resulta ser totalmente razonable.
- La carga total de servicio obtenida manualmente fue de 481.59 t y la reportada por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* fue de 462.64 t. La diferencia entre ambos valores es menor al cuatro por ciento. De igual forma, la carga última mayorada obtenida manualmente fue de 611.65 t y la obtenida por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* fue de 589.70 t, para una diferencia menor al cuatro por ciento.
- Con base en los anteriores valores, se puede afirmar que se definieron adecuadamente las cargas muertas, vivas, de servicio y de diseño.
- Se verificó que se establecieron las combinaciones de carga correctamente según lo establece la NSR-10.
- Las cargas sísmicas se evaluaron en función de la masa de la estructura y empleando el espectro de diseño para la zona de amenaza sísmica donde se ubica el edificio.
- Teniendo en cuenta que las cargas reportadas por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* son similares a las obtenidas manualmente, se continuó con el proceso de revisión.

4.5. FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

Los requisitos generales para el diseño sísmico fueron asumidos correctamente y siguen los lineamientos establecidos por la NSR-10. Se empleó el método de Fuerza Horizontal Equivalente solo para las verificaciones que exige la NSR-10 para el análisis dinámico.

- Se evaluaron los parámetros definidos por la FHE para verificar las exigencias necesarias en la evaluación del ajuste dinámico.

- Se evaluó el periodo aproximado T_a igual a 0.32 s, tomando la altura de la estructura igual a 12.25 m (Base a Cubierta). Se emplearon valores de C_t y α iguales a 0.049 y 0.75, respectivamente, los cuales son consistentes con sistemas que emplean muros estructurales. Estos valores son correctos y están acorde con la altura del edificio y con el tipo de estructura.
- Se calculó el valor del C_u, el cual resultó ser igual a 1.20. De esta forma el C_u T_a es igual a 0.39 s. Este valor es el empleado para verificar el ajuste dinámico.
- El valor de S_a asociado a C_u T_a fue igual a 0.70 g y el cortante basal asociado a C_u T_a es igual a 263 t.

4.6. ANÁLISIS DINÁMICO

Se realizó el análisis dinámico incluyendo el ajuste exigido por la NSR-10. Los parámetros dinámicos reportados por SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S., cumplen con los lineamientos dados por la NSR-10.

- Se revisó el modelo matemático tridimensional desarrollado por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* de tal manera que fuera representativo de las características del edificio estudiado.
- *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* estableció adecuadamente las propiedades geométricas y físicas de los elementos a emplear en el proyecto, dejándolas debidamente consignadas en las memorias de cálculo y en los planos de diseño.
- Se tomó como peso de la estructura un valor de 376 t, el cual fue definido en el inciso 4.4.
- El análisis modal de la estructura realizado por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* permitió obtener los periodos y las masas participantes en las tres direcciones ortogonales X, Y y Z. Los periodos del primer modo para las direcciones laterales X y Y, fueron iguales a 0.237 s y 0.229 s. El periodo torsional resultó ser igual a 0.135 s. Las masas participantes en X y Y son iguales a 58 % y a 61 %. Para la dirección torsional, la masa participante es igual a 63 %.
- Los resultados anteriores son consistentes con los valores esperados en el análisis dinámico, por lo cual se acepta como válido.
- Se encontró que, al considerar 23 modos en cada dirección (69 modos totales), se alcanza una masa participante acumulada mayor al 90 %, superior a lo que exige la NSR-10.
- Los valores obtenidos por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* son consistentes con los principios establecidos en la dinámica estructural.
- Los cortantes basales dinámicos en X y Y son iguales a 172 t y 178 t, respectivamente.
- Teniendo en cuenta que la estructura se considera con REGULAR, entonces el valor de $0.8V_{estático}$ es igual a 210 t. Como $0.8\ V_{estático}$ es mayor que los $V_{dinámicos}$, entonces se concluye que la estructura requiere de ajuste dinámico, por lo tanto, el F.A es igual a 1.22 y 1.18 en las direcciones X y Y, respectivamente.

- Se concluye que la revisión del ajuste del cortante dinámico según lo establece la NSR-10 resulta ser adecuado para la estructura analizada.
- Se empleó el método CQC para la combinación modal.

4.7. CUMPLIMIENTO DE DERIVAS

El análisis realizado por SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S., indica que las derivas obtenidas para el Proyecto Residencial ***CASA DE LA CULTURA T_2*** *son inferiores a las exigidas por la NSR-10, las cuales son menores al 0.005H_{piso}, para estructuras de mampostería.*

- Se calcularon los desplazamientos horizontales del centro de masa de cada piso para verificar las derivas de entrepiso, dado que la estructura es REGULAR y no presenta irregularidades tipo 1aP o 1bP. Igualmente, se verificaron las derivas en el extremo de la estructura.
- Se calcularon las derivas conforme lo establece la NSR-10.
- Se verificó que las derivas de entrepiso fueran inferiores a 0.5 por ciento de la altura de entrepiso, dado que la estructura es de mampostería.
- Las cargas sísmicas empleadas para la evaluación de derivas no incluyeron la afectación del coeficiente de disipación de energía R.
- Las derivas reportadas por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* presentan valores menores al 0.24 % en la dirección X y al 0.13 % en la dirección Y.
- Se verificó la separación límite exigida por la NSR-10 para estructuras adyacentes.

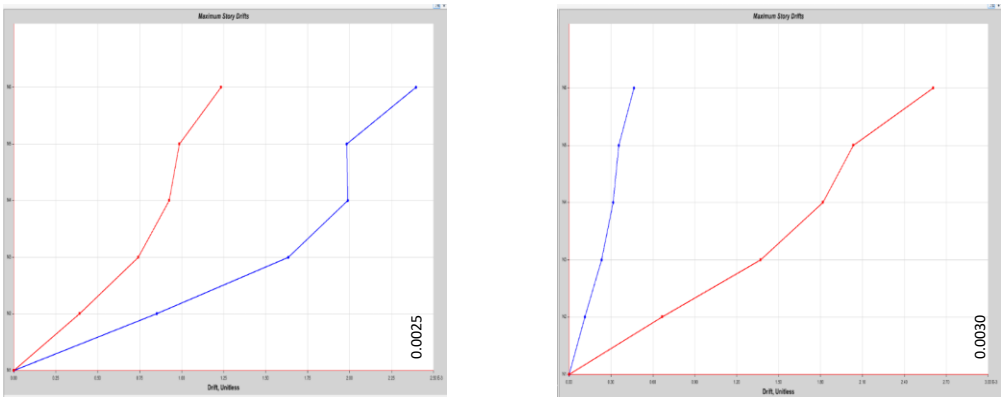


Figura 6. Derivas obtenidas para el Proyecto Residencial *CASA DE LA CULTURA T_2*

FUENTE: Memorias de cálculo (SIPI -Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.)

- Dado que las derivas son menores a 0.7% no fue necesario recurrir a la reducción alternativa de derivas en los pisos superiores que permite la NSR-10 para sistemas estructurales con muros de carga.
- La estructura es poco esbelta y no fue necesario incluir en los análisis los efectos P-Δ.

- Con base en lo anterior se puede afirmar que las derivas obtenidas son inferiores al 0.5 por ciento (0.005) de la altura de entrepiso y por lo tanto cumple con los lineamientos establecidos por la NSR-10.

4.8. MODELO ESTRUCTURAL

El modelo estructural empleado por SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S., es representativo para el análisis y diseño de la estructura. Toma en cuenta las definiciones reportadas en las memorias de cálculo.

- El modelo matemático empleado en el análisis y diseño es 3D y representa adecuadamente las características geométricas, físicas y mecánicas de la estructura. Se emplearon programas de cómputo debidamente licenciados por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.*
- Se definieron adecuadamente las dimensiones geométricas de la estructura y sus características físicas que representan las propiedades mecánicas de los materiales y los elementos. Se caracterizaron los elementos para muros y para losas de entrepiso empleando espesores macizos equivalentes.
- Se cargó correctamente el modelo matemático, tanto para cargas verticales como para efectos sísmicos.
- Se incluyeron los efectos ortogonales en la definición de las acciones sísmicas. Se aplicó la opción de 100% - 30% en cada dirección y se aplicó una combinación ABS para considerar dichos efectos.
- Se realizó un análisis dinámico de acuerdo con los lineamientos establecidos en la NSR-10. Se tomaron 69 modos en el análisis para garantizar que la masa participante alcanzara el 90 % de la masa total en las tres direcciones de análisis. Para el análisis modal se empleó una combinación modal RCSC.
- Las losas fueron incluidas en el análisis mediante elementos tipo membrana para transmitir solamente la carga vertical.
- En las combinaciones de carga empleadas en el diseño, se incluyó el factor de ajuste dinámico y el valor del R.
- Se asignaron correctamente las restricciones de los apoyos de los muros. Se limitaron los desplazamientos en las tres direcciones.
- Las escaleras fueron consideradas en el modelo independiente para el diseño.
- Los resultados obtenidos son consistentes para el tipo de estructura modelada.
- Los modelos considerados en el análisis son adecuados y representan correctamente las condiciones definidas en el proyecto mediante el estudio arquitectónico y el estudio de suelos.
- Las dimensiones empleadas en los modelos corresponden a las establecidas en el estudio arquitectónico y son las mismas que se emplearon en la elaboración de los planos estructurales.

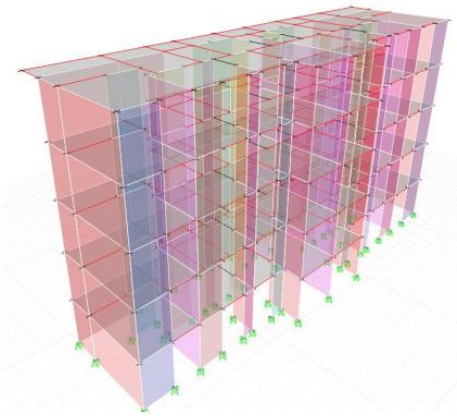


Figura 7. Modelo estructural del Proyecto Residencial *CASA DE LA CULTURA T_2*

FUENTE: Memorias de cálculo (SIPI -Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.)

4.9. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN

La cimentación está concebida mediante el empleo de una losa de contrapiso que se encargan de transmitir eficientemente los esfuerzos al suelo. Se colocaron micropilotes y pilotes de madera para controlar básicamente los asentamientos. Las dimensiones de la losa y el refuerzo colocado son adecuadas. Los micropilotes y los pilotes de madera están bien diseñados. El diseño de la cimentación está acorde con las sugerencias establecidas en el estudio de suelos.

- La capacidad admisible del suelo se estimó en 15 t/m^2 para cimentaciones superficiales. Teniendo en cuenta que la carga de servicio obtenida fue de 463 t y el área de la losa es de 117 m^2, se estima que la demanda esfuerzos es de 3.96 t/m^2, siendo este valor muy inferior a la capacidad del suelo.
- La losa maciza de concreto reforzado de cimentación es de 0.12 m de espesor es la encargada de transmitir las cargas de servicio al suelo.
- Esta losa se apoya directamente en un suelo mejorado con un material grueso granular debidamente compactado.
- Para ayudar a resistir las cargas de servicio y a controlar los asentamientos, se colocaron 40 micropilotes de 5” de diámetro y 5 m de longitud.
- Los micropilotes se conectan a la losa de contrapiso.
- Los micropilotes se anclan directamente en las vigas de cimentación que tienen espesores de 0.40 m.
- Adicionalmente y con el objeto de mejorar las propiedades mecánicas de los suelos adjuntos a la estructura, se colocan 84 pilotes de madera con diámetro que puede variar entre 2” a 2.5” y una longitud mínima de 1.2 m.
- Cercanos a los pilotes de madera se colocan 84 columnas de cal de 1” de diámetro y una longitud mínima de un metro.

- Se definen en planos las propiedades geométricas y mecánicas de los micropilotes y pilotes a emplear.
- Finalmente, se colocan vigas de amarre de 0.60 m x 0.40 m y de 0.80 m x 0.40 m, formando un sistema reticular.
- La losa de cimentación y las vigas de amarre emplean un concreto reforzado con una resistencia de compresión del concreto es de 21 MPa (210 kg/cm^2).
- Se definió claramente el refuerzo longitudinal y transversal, de la losa de contrapiso y de las vigas de amarre.
- El refuerzo de la losa y de las vigas de cimentación definido en los planos, es correcto y corresponde a las solicitaciones establecidas en el modelo estructural.

4.10. REVISIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE MAMPOSTERÍA

Se diseñaron los elementos de mampostería siguiendo los lineamientos del título D de la NSR- 10. Se emplearon muros de carga con bloques de arcilla de perforación vertical como sistema estructural, los cuales fueron diseñados con criterios DMO definidos en la NSR-10. Se definieron las propiedades de los materiales a emplear en la construcción de los muros estructurales de mampostería acorde con el nivel de demanda de energía (DMO) y se utilizó el método de estado límite de resistencia. Los diseños son adecuados.

- Se emplearon en el diseño bloques de mampostería de arcilla con perforación vertical de 0.12 m x 0.20 m x 0.30 m, con espesor de las paredes y el tabique central de 0.022 m. El bloque presenta dos huecos internos. Las dimensiones cumplen con lo exigido por la NSR-10.
- El peso de la mampostería estructural se asumió igual a 1800 kg/m^3.
- La resistencia a la compresión de la unidad de mampostería debe tener una resistencia f'_{cu} de 30 MPa.
- El mortero de pega empleado es tipo S con una resistencia a la compresión f'_{cp} y el mortero de relleno f'_{cr}, deben tener una resistencia mínima de 12.5 MPa.
- Con base en las resistencias anteriores, se tiene que la resistencia mínima especificada para la compresión de la mampostería inyectada con mortero de relleno, f'_m, es igual a 10.15 MPa y el módulo elástico, E_m, resulta ser igual a 7615 MPa.
- El mortero de relleno tiene una resistencia menor a 1.5 f'_m y mayor a 1.25 f'_m.
- Se verificó que todo el refuerzo colocado en los muros estuviera embebido en el mortero. Se emplearon varillas N3, N4 y N5, rellenas de mortero para reforzar los muros, cumpliendo lo exigido por la NSR-10.
- Para cada muro de cada piso, se verificó la condición de tener que colocar elementos de borde y se especificó la longitud de la zona de confinamiento. Se colocan elementos de borde si la demanda de esfuerzo en los extremos de los muros supera el valor de 0.3 f'_m.

- Se emplearon las combinaciones de carga propias para el diseño afectado por el coeficiente de disipación de energía, R.
- No fue necesario colocar juntas de construcción en la unión con muros ortogonales.
- Se definió adecuadamente las propiedades equivalentes para considerar los efectos de compresión, pandeo, flexión y cortante, en el diseño de los muros. Los espesores equivalentes macizos se obtuvieron en función de las celdas rellenas.
- Las cuantías de refuerzo horizontal y vertical son adecuadas.
- Los valores obtenidos en las memorias de cálculo fueron consignados en los planos.

4.11. REVISIÓN DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES DE MAMPOSTERÍA

Se diseñaron los muros de mampostería no estructural siguiendo los lineamientos de la NSR- 10. Se emplearon muros con bloques de arcilla de perforación vertical. Se definieron las propiedades de los materiales a emplear en la construcción de los muros no estructurales. Se empleó el método de los esfuerzos de trabajo. Los diseños son adecuados.

- Para los elementos no estructurales se definió el uso de bloques de arcilla de perforación vertical con una resistencia de la mampostería f'_m de 6.3 MPa.
- La resistencia a la compresión de la unidad de mampostería debe tener una resistencia f'_{cu} de 10 MPa.
- El mortero de pega empleado es tipo S con una resistencia a la compresión f'_{cp} y el mortero de relleno f'_{cr}, deben tener una resistencia mínima de 12.5 MPa.
- Con base en las resistencias anteriores, se tiene que la resistencia mínima especificada para la compresión de la mampostería inyectada con mortero de relleno, f'_m, es igual a 6.3 MPa y el módulo elástico, E_m, resulta ser igual a 5950 MPa.
- Se empleó un valor de A_p igual a 1, correspondiente a mampostería biapoyada. El grupo de uso es bajo y el R_p igual a 1.5 para anclajes no dúctiles.
- Se verificaron los niveles de esfuerzo a los que se ven sometidos los muros.
- En los planos se presentan los esquemas típicos de los muros no estructurales, indicando claramente la colocación del refuerzo requerido.
- Se diseñaron los elementos no estructurales conforme a lo establecido en la NSR-10, definiendo para cada piso los niveles de la aceleración de piso. Los valores empleados en el diseño son correctos.

4.12. REVISIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO

Se emplearon elementos de concreto reforzado en las losas de entrepiso. Se definieron las propiedades de los materiales a emplear. Los diseños son adecuados.

- Los elementos de concreto reforzado empleados en el proyecto emplean una resistencia especificada para la compresión, f'_c, de 210 kg/cm^2.

- Las losas de entrepiso definidas para el proyecto son de concreto reforzado con un espesor de 0.10 m.
- Se colocó mallas electrosoldadas tipo D-106 en la parte inferior y D-131 en la parte superior. Se colocó acero de refuerzo en determinadas zonas las cuales fueron definidas en los planos.
- Las dimensiones, la resistencia nominal de concreto y la cuantía de acero longitudinal y transversal, garantizan un adecuado comportamiento de las losas para resistir las cargas verticales; las losas se diseñaron sin hacer parte del sistema de resistencia sísmica de la estructura.
- Las losas se diseñaron para soportar únicamente las cargas verticales de la estructura. Su modelación se realizó mediante el empleo de elementos tipo "Membrana".
- El diseño de las losas es correcto.

4.13. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE NO HACEN PARTE DEL SISTEMA DE RESISTENCIA SÍSMICA

Se diseñaron adecuadamente las escaleras como elementos no estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica. Sus diseños son adecuados.

- El bloque de escaleras se ubica junto a las Torre 1 y 2. Se configuró como una estructura total independiente de ambas torres. El modelo considera adecuadamente las condiciones de apoyo, las cargas y sus dimensiones.

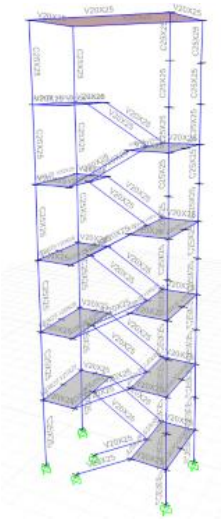


Figura 8. Modelo estructural de las escaleras

FUENTE: Memorias de cálculo (SIPI -Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.)

- El bloque de escaleras está cimentado mediante 2 zapatas rectangulares combinadas de 1.20 m x 2.95 m y 0.30 m de espesor. Las zapatas se unen entre sí, mediante vigas de amarre de 0.30 m x 0.40 m.
- Se definen 4 columnas de 0.25 m x 0.25 m, unidas por vigas de 0.20 m x 0.25 m y de 0.20 m x 0.35 m, en todos los niveles.
- La resistencia del concreto para todas las escaleras es de 21 MPa (210 kg/cm^2).
- Se empleó una carga viva de 300 kg/m^2 tal como lo define la NSR-10.
- El espesor de la losa inclinada es de 0.25 m.
- Las dimensiones de las escaleras son adecuadas y son compatibles con las dimensiones del proyecto.
- Se estableció la cantidad de refuerzo longitudinal y transversal. La cantidad de refuerzo es adecuada y cumple con las separaciones mínimas establecidas por la NSR-10.
- El modelo empleado por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S.,* para el diseño de las escaleras son adecuados y cumple los lineamientos de la NSR-10.

4.14. MUROS DE CONTENCIÓN

Se elaboró un estudio de estabilidad de taludes con el fin de evaluar la capacidad del suelo en la zona del proyecto. Adicionalmente, se diseñó el sistema de contención del talud con el fin de estabilizar y proteger el talud cercano al proyecto. En el diseño se emplearon los conceptos definidos en la mecánica de suelos para tal fin. Los diseños son adecuados y cumplen los lineamientos de la NSR-10.

- Se realizó un estudio de estabilidad del terreno con el fin de evaluar las posibles superficies de falla que puedan presentarse en el terreno.
- En el estudio de estabilidad se recomienda la construcción de pilas de contención con un diámetro mínimo de 1.20 m, separadas cada 3.10 m, con una profundidad mínima de 9.00 m. Adicionalmente, se debe proteger el talud mediante una capa de conceto lanzado de 0.075 m reforzado con una malla con varillas N3@0.15 m en ambas direcciones.
- El estudio recomienda controlar el nivel freático mediante el uso de drenajes y cunetas diseñados para recoger el agua de escorrentía.
- Se debe realizar control topográfico para advertir posibles problemas de estabilidad.
- El diseño de los muros de contención fue diseñado a lo largo de 20 m de longitud, empleando pilas de 9 m y 12 m de profundidad, distribuidas en dos líneas y unidas mediante una viga cabezal, definidas mediante un diámetro de 1.20 m y separadas cada 3.10 m.
- El sistema de contención se concibe para garantizar la estabilidad del talud adjunto a la estructura. Las pilas diseñadas atraviesan la superficie de falla, lo cual es correcto.
- El diseño del sistema de contención se realiza según los criterios definidos en el informe de estabilidad.

- El diseño estructural de las pilas es correcto. El refuerzo longitudinal y transversal es adecuado y cumple las exigencias dadas por la NSR-10.

4.15. PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE LA RESISTENCIA AL FUEGO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURAL

Se realizó una revisión al cumplimiento de los requisitos generales de protección contra incendio en las edificaciones (capitulo J1) de acuerdo con la clasificación por grupo y subgrupo de ocupación (tabla J1.1 -1) y los requisitos del capítulo J3 de resistencia contra incendio en las edificaciones en función del riesgo de pérdida de vidas humanas o amenaza de combustión y según las categorías de riesgo de las mismas (tabla J 3.3-1).
Se constató que los elementos estructurales de la edificación cumplen con los requisitos mínimos de resistencia requerida al fuego normalizado NTC 1480 (ISO 834) en horas, para el grupo de ocupación, según la tabla J.3 4-4.

4.16. REVISIÓN DE LOS PLANOS ESTRUCTURALES

Se realizó una revisión de los planos conforme lo exige el titulo A de la NSR-10 y se constata que se da cumplimiento a lo elaborado en los modelos matemáticos, adicionalmente los planos entregados a curaduría corresponden a la última versión de planos y corresponden a la revisión externa como lo exige el decreto 945 de 2017.

4.17. CONTENIDO DE LAS ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN

Dentro de los planos estructurales y memorias de cálculo se presentan las recomendaciones y especificaciones técnicas para la construcción del proyecto, las cuales deben ser seguidas por el constructor y supervisión técnica como lo exige el decreto 1203 de 2017.

4.18. CONCLUSIONES

- Por solicitud de Arquitecto Julio Madrid de la empresa Creativa DC, se realizó una revisión detallada del **Proyecto Residencial *CASA DE LA CULTURA T_2*.**
- Para la revisión estructural del **Proyecto Residencial *CASA DE LA CULTURA T_2*** se contó con la suficiente información para establecer un adecuado proceso de revisión: planos arquitectónicos, estudio de suelos, memorias de cálculo de diseño, planos estructurales y modelos matemáticos.
- Se evaluaron las cargas verticales del proyecto, en forma manual y se compararon con los resultados reportados por *SIPI - Soluciones Integrales en Proyectos de Ingeniería S.A.S*. En ambos casos se presentaron resultados similares.

- Los resultados obtenidos del análisis dinámico son adecuados para este tipo de estructura.
- Las derivas de entrepiso son menores al 0.5 % de la altura de entrepiso, exigidas por la NSR-10.
- Se revisaron los elementos estructurales que conforman el edificio, tales cimentaciones, muros de mampostería estructural y no estructural, losas, escaleras, etc. El refuerzo de dichos elementos es adecuado y cumple con los lineamientos exigidos por la NSR-10.
- Durante el proceso de revisión, se contó con una buena comunicación con el diseñador, el cual solucionó dudas y aceptó sugerencias para mejorar las condiciones del proyecto.

Atentamente,

Juan Carlos Botero Palacio, PhD
Matrícula: 0520246125ANT
jcbotero127@gmail.com



