RECOMENDACIONES PARA MODELADO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA PLACAFÁCIL SANTAFÉ.

La modelación precisa de los sistemas estructurales y sus componentes es fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia de las edificaciones en la medida que estas representen de manera más acertada la realidad. En el presente documento, se abordan los aspectos más importantes a tener en cuenta en el proceso de modelación del sistema de losa de entrepiso Placafácil, utilizando las diversas herramientas que ofrecen los softwares computacionales de modelado estructural.

Este tipo de losa, caracterizado por su diseño ligero y eficiente, funciona como una losa aligerada unidireccional en concreto y perfiles metálicos y actúa como un diafragma rígido, distribuyendo las cargas a los demás elementos que componen el sistema sismorresistente y proporcionando estabilidad estructural. A lo largo del documento, se describen las características del sistema, y se presentan las recomendaciones más importantes para su correcta modelación e implementación, con el objetivo de proporcionar a los ingenieros una guía para el diseño y análisis de entrepisos Placafácil en sus proyectos.

Conceptos Generales y Comportamiento Estructural.

Placafácil Santafé, es un sistema de entrepiso conformado por perfiles de acero estructural, abierto y formado en frio, Bloquelón Santafé, que son piezas de arcilla cocida de gran formato longitudinal con perforaciones longitudinales, malla electrosoldada (o su equivalente de acero de refuerzo) y una mezcla de concreto típicamente especificado con f'c=210 kgf/cm² (pero no limitado a este valor, ya que dependiendo del tipo de solicitaciones que se tengan, la resistencia a la compresión especificada podría ser mayor en función de la resistencia requerida para la placa).

En la etapa constructiva los perfiles metálicos se apoyan sobre muros o vigas y sobre ellos el Bloquelón, conformando así una superficie para vaciar el concreto que a su vez funciona como el aligerante de esta placa. El concreto se vierte sobre el Bloquelón y el perfil con un espesor mínimo de 4 cm y cuando ha adquirido su resistencia final actúa junto al perfil metálico como una sección compuesta para resistir las cargas, mientras que el Bloquelón actúa como un aligerante. En su etapa final, la Placafácil Santafé es capaz de resistir las cargas verticales de servicio dispuestas en el Título B de la NSR-10 y actuar como un diafragma rígido que

transmite las cargas horizontales del sismo a los elementos verticales de la estructura.

El diseño estructural contempla el comportamiento del sistema tanto en la etapa constructiva como en la etapa de servicio, en el primer caso evaluando la capacidad de carga para soportar las fuerzas cuando el entrepiso no está terminado y en el segundo caso asegurando la capacidad para soportar las fuerzas de servicio durante la vida útil de la estructura. En las memorias estructurales correspondientes al **ANEXO A** del presente documento, se muestra el diseño para soporte de cargas y control de deflexiones siguiendo procedimientos basados en la mecánica de materiales en cumplimiento con los capítulos B, C y F de la NSR-10 (cargas, concreto estructural, y estructuras metálicas), control de refuerzo mínimo para retracción y temperatura del concreto y por último la acción de eventos sísmicos. Este último requerimiento se examinó por medio de probetas reales de Placafácil en laboratorio aplicando sobre ellas cargas laterales para evaluar y confirmar su comportamiento como diafragma rígido.

Dado que el sistema considera el apoyo sobre la estructura de perfiles orientados en una sola dirección, y una loseta de concreto con unas viguetas de sección compuesta, estas deberán ser las premisas para el modelo computacional

Recomendaciones para la Modelación.

En el proceso de modelación se pueden contemplar dos enfoques para el análisis de los elementos y un tercer enfoque más sofisticado y preciso que aborda los dos anteriores en una sola metodología:

- **Capacidad de la losa en el modelado estructural.**

El primer enfoque se centra en la modelación específica de la losa para evaluar su capacidad estructural intrínseca, verificando aspectos como la resistencia a cargas, deflexiones y comportamiento bajo diferentes condiciones de uso tal y como se muestra en las memorias de cálculo del **ANEXO A**; este análisis detallado permite determinar si la losa cumple con los requisitos de diseño de cara a la normativa aplicable para la loseta, el bloquelón y el perfil.

Si se desea considerar la capacidad de losa aligerada, se recomienda realizar la modelación independiente de este elemento, verificando en primer lugar la resistencia de los perfiles en su etapa de trabajo y en segundo lugar la resistencia de la sección compuesta (perfil y concreto) en su etapa de servicio. Para esta etapa, se recomienda considerar un área aferente al perfil de 89 cm, la cual coincide a la

separación en obra recomendada por Ladrillera Santafé. El trabajo de la sección del perfil se evalúa como una viga simplemente apoyada (siendo la condición más crítica de apoyo) en función del momento flector máximo que tendría que resistir este durante las cargas de construcción y servicio ($wl^2/8$). En el caso de la sección compuesta, se podrá utilizar una sección transformada, considerando las inercias y módulos de elasticidad de los materiales (concreto y acero) con el fin de obtener una sección homóloga para evaluar de la misma manera su capacidad. Como alternativa adicional, los softwares contemplan módulos especializados para diseñar la sección compuesta al detalle, tema del cual se hablará más adelante.

Las propiedades tales como geometrías, inercias, módulos de sección, esfuerzos máximos y de fluencia y módulos de elasticidad se encuentran relacionados en las memorias de cálculo de la solución. A continuación, se resumen los parámetros más importantes a tener en cuenta:

Datos del perfil metálico:

- $Peso\ perfil = 4.88\ kgf/m$
- $A_s = 608\ mm^2 -$ $Área\ de\ la\ sección.$
- $I_x = 743674\ mm^4 - Inercia\ de\ la\ sección.$
- $\bar{y} = 32.74\ mm - Distancia\ vertical\ al\ centropide\ desde\ la\ base.$
- $S_{xt} = 12965\ mm^3 - Módulo\ de\ sección.$
- $S_{sbl} = 22784\ mm^3 - Módulo\ de\ sección\ referido\ a\ la\ base.$
- $F_y = 36000\ psi = 25.3\ kg/mm^2 - Esfuerzo\ de\ fluencia\ del\ acero\ del\ perfil.$
- $E_s = 20400\ \frac{kgf}{mm^2} - Módulo\ de\ elasticidad\ del\ acero\ del\ perfil.$

Datos de la loseta aligerada:

- $Bloquelón\ Santafé = 64.1\ kgf/m^2$
- $Concreto\ loseta\ superior = 96\ kgf/m^2$ $\quad (asumiendo\ un\ espesor\ de\ "torta"\ de\ 4cm)$
- $Concreto\ que\ rellena\ perfil = 15.3\ kgf/ml\ de\ perfil = 17.4\ kgf/m^2$

Se recomienda revisar las memorias de cálculo del **ANEXO A**, para comparar y entender de mejor manera los resultados obtenidos en el modelo computacional

- **Función como <u>diafragma rígido</u> en el modelo estructural.**

El segundo enfoque, igualmente importante, implica la integración del sistema Placafácil en un modelo estructural más general, donde la losa actúa como un diafragma rígido de entrepiso. En este contexto, la losa no solo soporta cargas verticales (efectos que ya quedaron analizados en el primer enfoque), sino que

también contribuye a la distribución de cargas horizontales y a la estabilidad lateral del edificio. Este enfoque integral es esencial para comprender el comportamiento global de la estructura y garantizar que todos los elementos funcionen de manera conjunta y eficiente bajo diversas condiciones de carga y solicitaciones sísmicas.

En este punto, es importante mencionar que la mayoría de los softwares de análisis estructural permiten definir las losas como elementos de áreas utilizando tres elementos distintos: *shell, membrane* y *plate*. El elemento *"shell"* soporta esfuerzos coplanares y perpendiculares al plano, permitiendo deformación tanto dentro como fuera del plano, y se utiliza típicamente para modelar muros o losas macizas resistentes a momentos, corte y fuerza axial, requiriendo un mallado interno para distribuir las cargas correctamente. El elemento *"membrane"* soporta únicamente esfuerzos coplanares y se deforma únicamente en su plano, siendo útil para distribuir cargas a nervios, correas o vigas de manera rígida, ideal para losetas, losas aligeradas y techos livianos. Por último, el elemento *"plate"* soporta fuerzas perpendiculares al plano, permitiendo deformaciones fuera del plano, pero no dentro de él, siendo adecuado para estructuras que requieren resistencia a cargas perpendiculares.

Para este caso, modelar el elemento como un elemento tipo membrana configura la opción más recomendable en la losa ya que de esta forma se garantiza la unidireccionalidad de la placa (la dirección la definirá la orientación del perfil Placafácil) y en consecuencia la adecuada transmisión de cargas al modelo; algunos software enfocados hacia edificaciones residenciales, contemplan elementos tipo *"deck"*, en los cuales la losa maciza deberá orientarse en dirección perpendicular a los perfiles y serán estos perfiles modelados como viguetas, los que transmitirán la carga a la estructura principal

Si se desea integrar a este análisis la capacidad de la sección abordada en el primer enfoque, se podría considerar la opción del diseño completo de la sección compuesta tal y como se describe en el siguiente inciso.

- **Modelación detallada de la sección compuesta.**

Finalmente, se considera un tercer enfoque más sofisticado y detallado que incorpora el uso de módulos avanzados de los programas de análisis y diseño como lo es el *"Section Designer"* en programas como *SAP2000* o *ETABS*, el *"Section Wizard"* en STAAD Pro, el *"Section Builder"* en *Robot Structural* o su equivalente en cualquier otro software conocido. Este enfoque permite una modelación detallada y precisa de las secciones transversales de la losa al integrar las áreas e inercias tanto del concreto como del perfil metálico, considerando a la vez sus propiedades

materiales y geométricas específicas. Es importante recordar que la función del bloquelón corresponde a un aligerante de la placa, motivo por el cual no se considera dentro de los análisis aquí descritos.

Al utilizar la herramienta del *"Section Designer"* (o su equivalente), se pueden definir secciones complejas y personalizadas, asignar materiales heterogéneos y reforzar detalladamente los elementos de concreto, lo que resulta en una simulación más realista del comportamiento estructural permitiendo analizar esfuerzos transmitidos sobre la perfilería y la loseta a partir del modelo general de la estructura.

Este nivel de detalle es ideal si se desea analizar de manera detallada la distribución de esfuerzos y deformaciones, optimizar el diseño estructural y asegurar la eficiencia y seguridad de la losa aligerada integrada al tiempo con la estructura. Este enfoque avanzado no solo mejora la precisión del análisis local de las nervaduras, sino que también integra estos resultados en el modelo estructural global, proporcionando una visión completa del desempeño del sistema bajo las diversas condiciones de carga.

Conclusiones y Recomendaciones.

1. El sistema Placafácil Santafé ha sido diseñado para soportar las cargas durante la etapa constructiva, considerando la capacidad de carga de los perfiles metálicos y los bloquelones teniendo como resultado que se establezca la necesidad de apuntalamiento para luces mayores a 2.3 metros, asegurando que las deformaciones no superen los límites establecidos por la NSR-10. El diseño estructural del sistema se extiende a la etapa de servicio, considerando la colaboración entre el perfil metálico y el concreto. Se evalúa la capacidad de resistir cargas verticales y horizontales, además de haber demostrado mediante ensayos de laboratorio su eficacia como diafragma rígido ante eventos sísmicos.

2. El diseñador estructural tiene tres posibilidades principales para la modelación computacional del sistema de losa de entrepiso: modelar la losa específicamente para evaluar su capacidad estructural intrínseca, integrar la losa en un modelo estructural más general como un diafragma rígido de entrepiso, y utilizar módulos avanzados como el *"Section Designer"* para una modelación detallada de las secciones transversales de la losa.

3. Para la modelación, se recomienda primero evaluar la capacidad estructural de la losa mediante la modelación de los perfiles y la sección compuesta (perfil y concreto) o recurrir a las memorias de diseño proporcionadas por Ladrillera Santafé, verificando la resistencia en diferentes etapas. Luego, integrar la losa en

un modelo estructural general como un diafragma rígido, asegurando la correcta distribución de cargas horizontales.

4. Finalmente, se recuerda la posibilidad de recurrir a profesionales especializados del área técnica y del área de especificación de Ladrillera Santafé los cuales pueden acompañar la labor de diseño, análisis y construcción en todas las etapas del proyecto, desde la selección de materiales, asesoría en el análisis y diseño estructural hasta la implementación de técnicas constructivas adecuadas para la instalación del sistema.

Área Técnica, Gerencia de Ingeniería e I&D -BBL
Abril de 2024

ANEXO A

MEMORIAS DE CÁLCULO PARA DISEÑO DE SISTEMA PLACAFÁCIL