



SISTEMA DE CÓMPUTO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS DE MAMPOSTERÍA Y CONCRETO EN PROTOTIPOS DE VIVIENDA

Octavio Hinojoza Gabriel¹, José Álvaro Pérez Gómez², Juan Manuel Martínez Herrera³ y Alex Zenil Escamilla²

RESUMEN

Se presenta el segundo módulo de un sistema de cómputo llamado GEO-SIDE, que facilita el proceso de diseño estructural muros de mampostería y concreto reforzado de edificaciones de vivienda, basado en el procedimiento de cálculo y diseño que la empresa Casas-Geo ha desarrollado a lo largo de varios años. Se describe brevemente el funcionamiento del programa indicando implícitamente como se integran, en un solo paso, las actividades repetitivas del diseño, ayudando con esto a la optimización de los armados de la estructura. Por último se mencionan las ventajas y beneficios del programa.

ABSTRACT

In present paper, the software to do the structural design of masonry walls and reinforced concrete reinforcement walls is presented, GEO-SIDE (Complementing System to Structural Design). This project was developed as a second part of a previous work by the authors. Program operation is integrated implicitly indicating how, in one step, repetitive design activities; helping to optimize this armed structure is briefly described. Finally the advantages and benefits of the program are mentioned.

INTRODUCCIÓN

Como parte de la continuidad de un trabajo previo de los autores (Hinojoza et al., 2012), se presenta este documento que describe brevemente las características generales y el funcionamiento de la segunda etapa del sistema GEO-SIDE modulo Muros.

El programa es una aplicación de escritorio, para S.O. Windows, desarrollado para el diseño estructural de muros de Mampostería y Concreto de prototipos de vivienda. El sistema realiza el cálculo de la resistencia a flexión y cortante con los métodos simplificados así como la obtención los diagramas de interacción Carga axial – Momento flexionante de la sección. Los algoritmos de diseño se realizaron acorde con los lineamientos indicados en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería y Concreto D.F. 2004

Como datos de entrada, el programa utiliza la información de geometría, materiales, cargas y resultados del análisis estructural de un modelo de vivienda, basado en el método de la columna ancha (Martínez et al., 2008), realizado en el programa comercial Staad Pro. A partir de dicho modelo, el sistema muestra en pantalla el dibujo de las plantas del modelo así como las gráficas de los elementos mecánicos actuantes y resistentes de cada muro.

¹ Desarrollo de Software México, Correo: director@dds-mexico.com.mx, octvmx@yahoo.com.mx

² CASAS GEO (Corporativo) Margaritas #433 Ex Hacienda de Guadalupe Chimalistac, D.F., C.P. 01050 México, Tel: 5480-5000 ext. 5106, 5522, y 5257; japerez@casasgeo.com, azenile@casasgeo.com

³ Estructuras, Comportamiento y Diseño. Sn. Juan de Aragón 439. DM Nacional, GAM. México, D.F., C.P. 07450, Tel: 5748-8773, estructuras6214@gmail.com

La interfaz gráfica es intuitiva y amigable, está conformada por pestañas o secciones de tal forma que al usuario se le facilita en gran medida el uso de este sistema para el diseño de muros. El proceso a seguir es iterativo, en el cuál el ingeniero propone los parámetros de cálculo así como el acero de refuerzo de cada muro y el sistema revisa de forma instantánea los elementos mecánicos resistentes de acuerdo a las propiedades de la sección y al acero de refuerzo seleccionado.

El sistema proporciona un reporte en formato PDF que incluye los datos de los diseños realizados de los muros seleccionados por el usuario, incluyendo los parámetros de diseño, gráficas de elementos mecánicos resistentes, diagramas de interacción y configuración de aceros de refuerzo, lo que facilita al ingeniero la elaboración de la memoria de cálculo.

La importancia de un sistema de diseño de vivienda, como el que se presenta en este trabajo, es la optimización de los diseños de los elementos estructurales en un menor tiempo de trabajo de tal forma que los ingenieros no inviertan demasiado tiempo en las tareas repetitivas propias de esta actividad y se enfoquen más en la optimización y desarrollo rápido del diseño estructural lo que da la posibilidad, sin duda, de reducir el costo del proyecto. Aunado a esto, el programa facilita la revisión y supervisión de proyectos, conjunta los procesos de cálculos y protege los procedimientos de diseño.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

DATOS DE ENTRADA

El programa funciona a partir de dos tipos de entrada de datos:

- 1) Por modelo de prototipo de vivienda (Staad Pro)
- 2) Por forma manual

En el caso del modelo de Staad, GEO-SIDE se vincula directamente al modelo y extrae de éste los datos necesarios (geometría, material, cargas, etc.) para visualizar en pantalla los muros, para posteriormente diseñar cada uno de estos mediante el ingreso de acero de refuerzo de forma gráfica. La descripción de este tipo de datos de entrada se encuentran descritos en Hinojoza et al., 2012.

Cabe mencionar que actualmente se está trabajando en el desarrollo de algoritmos que permitan la entrada de datos provenientes de modelos de vivienda desarrollados en otros sistemas de análisis estructural como SAP y ETABS.

Por otro lado, al introducir los datos mediante la segunda opción “forma manual” significa que el usuario proporcionará los datos correspondientes a geometría, parámetros de diseño y elementos mecánicos actuantes en un punto determinado de un muro, de tal forma que el programa calcula la resistencia para dicho punto pero no puede mostrar los resultados gráficamente.

SECCIÓN: VISUALIZACIÓN Y SELECCIÓN

Al especificar el modelo de prototipo de vivienda desarrollado en Staad Pro, GEO-SIDE hace la lectura de los datos necesarios que se encuentren en dicho modelo para dibujar las plantas en pantalla. El programa filtra automáticamente las barras que se encuentran ubicadas en planos X-Z del modelo de Staad para obtener las plantas, cualquier elemento fuera de este plano no es tomado en cuenta por el programa.

La planta (losa reticulada formada por elementos barra) se dibuja con un color gris mientras que los muros se dibujan con un color verde tomando en cuenta las dimensiones en planta de cada muro. Al lado de cada muro se muestra el ID (número de barra) que es correspondiente en el modelo de Staad (Ver figura 1).

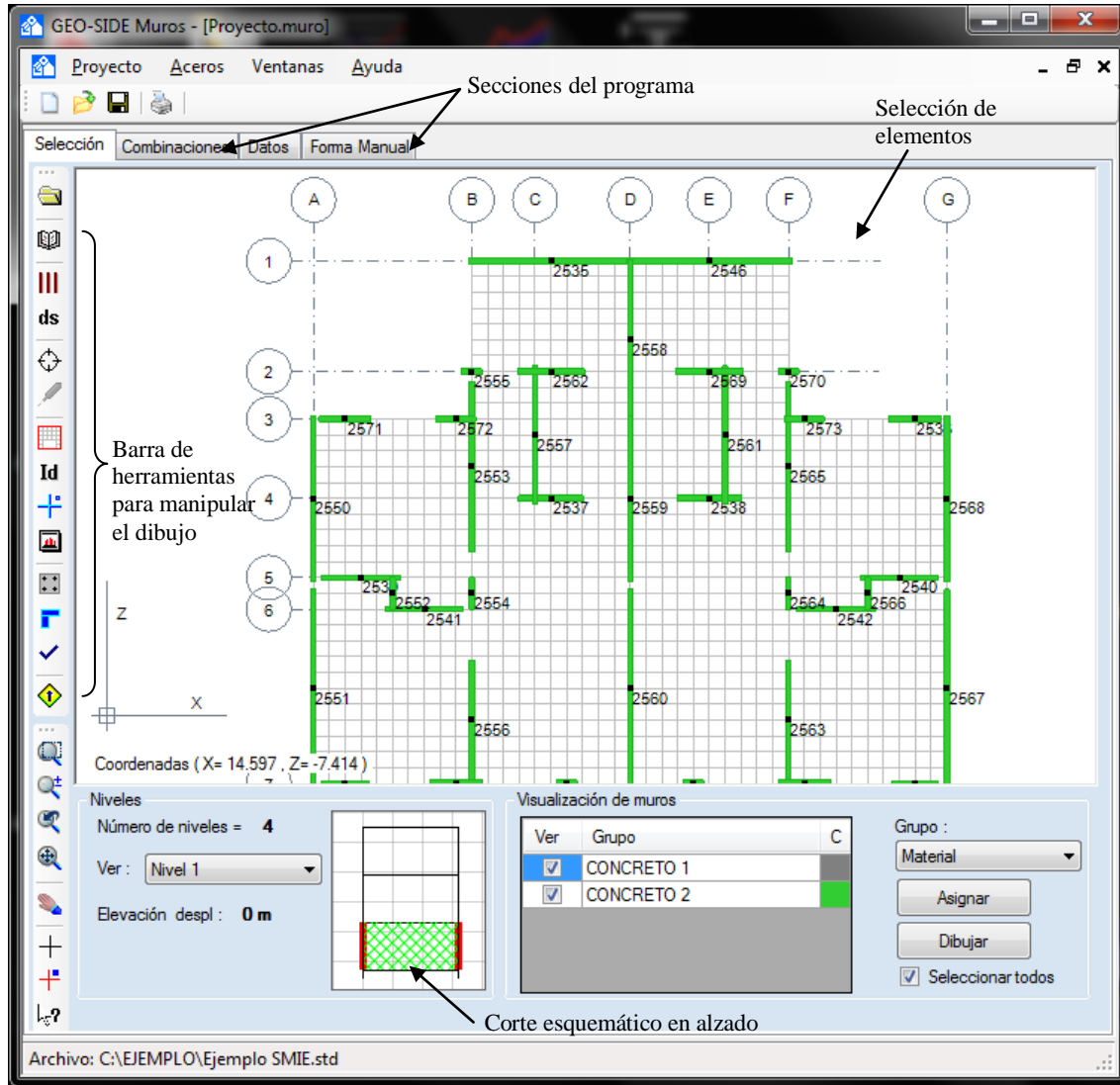


Figura 1 Visualización de las plantas en el programa

GEO-SIDE visualiza una planta a la vez; no obstante, se puede seleccionar cualquier planta del modelo que desee ver. Las plantas se dibujan tomando como punto de referencia el origen de coordenadas del modelo de *Staad*.

La finalidad de exponer las plantas del modelo en este programa, es seleccionar directamente de la pantalla los muros que se deseen para asignarles un tipo de diseño. La tabla 1 muestra las opciones de diseño de muros que el programa puede realizar.

Tabla 1 Tipos de diseño

| Método | Diseño |
|--------------------------|---|
| Optativo | Mampostería no reforzada |
| | Mampostería reforzada interiormente |
| | Mampostería confinada |
| | Concreto |
| Diagramas de interacción | Mampostería (Reforzada interiormente y confinada) Concreto |

Una vez que el usuario ha asignado un tipo de diseño a los muros seleccionados, el programa dibujará a los muros con un color diferente (según el tipo de diseño) para facilitar su vista en planta (ver figura 2).

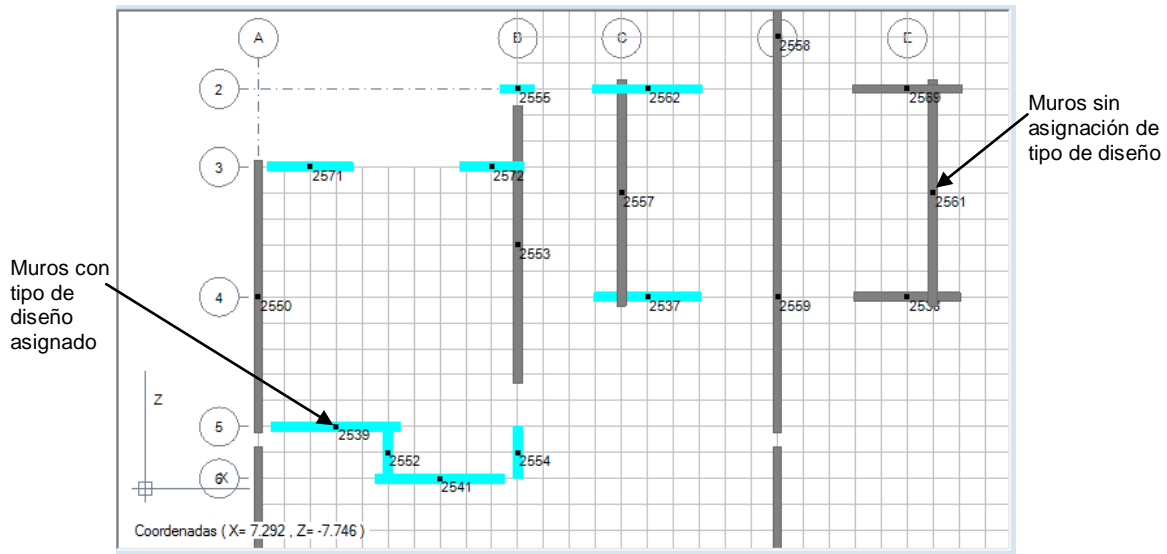


Figura 2 Vista en planta de muros con un tipo de diseño asignado

Asignación de cargas

Para poder obtener los elementos mecánicos de cada uno de los muros a diseñar es necesario indicarle al programa el estado de carga, o combinación de éstas, al que está sometido cada muro.

GEO-SIDE proporciona al usuario la posibilidad de crear una envolvente de cargas a partir de los estados de cargas que estén definidos en el modelo de Staad. Así por ejemplo, el usuario puede crear un envolvente llamada “SISMO” que contenga las 3 combinaciones de fuerzas laterales (figura 3) o cualquier otra combinación que desee realizar.

Después de asignar un estado de carga o una envolvente de cargas a cada muro, el programa obtendrá del modelo de Staad los elementos mecánicos actuantes, mediante el empleo de una serie de algoritmos que realiza en un solo paso, de manera muy rápida, el ensamble de los elementos mecánicos.

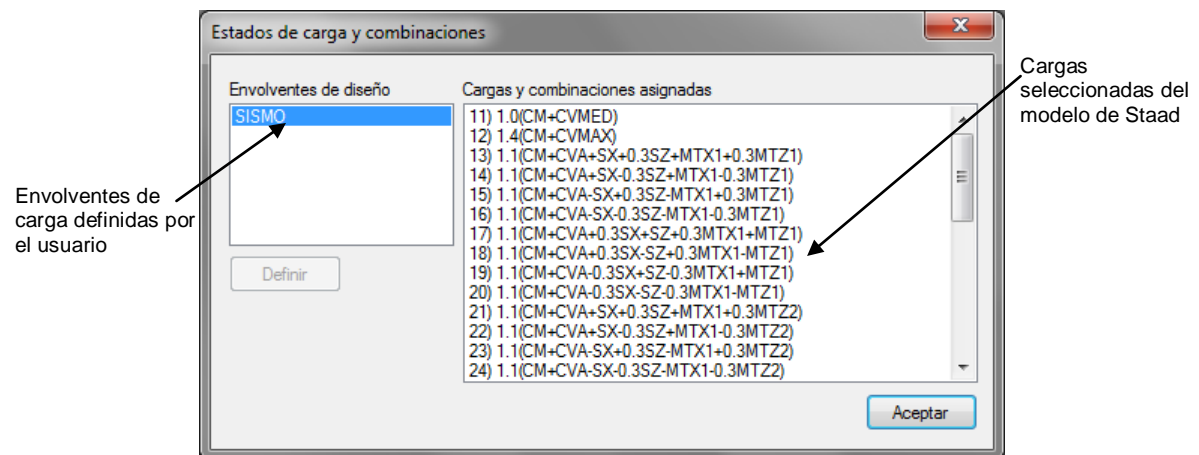


Figura 3 Definición de envolventes de carga

SECCIÓN: DISEÑO DE MUROS (MÉTODO OPTATIVO)

Una vez que se han ensamblado los elementos mecánicos de cada muro, se llega a esta parte del programa; la cual tiene como objetivo proporcionar las opciones para diseñar los elementos estructurales. GEO-SIDE permite diseñar los muros a todo lo alto del elemento o bien considerar sólo los elementos mecánicos basales.

En la figura 4 se muestra la ventana correspondiente al diseño de un muro de mampostería confinada.

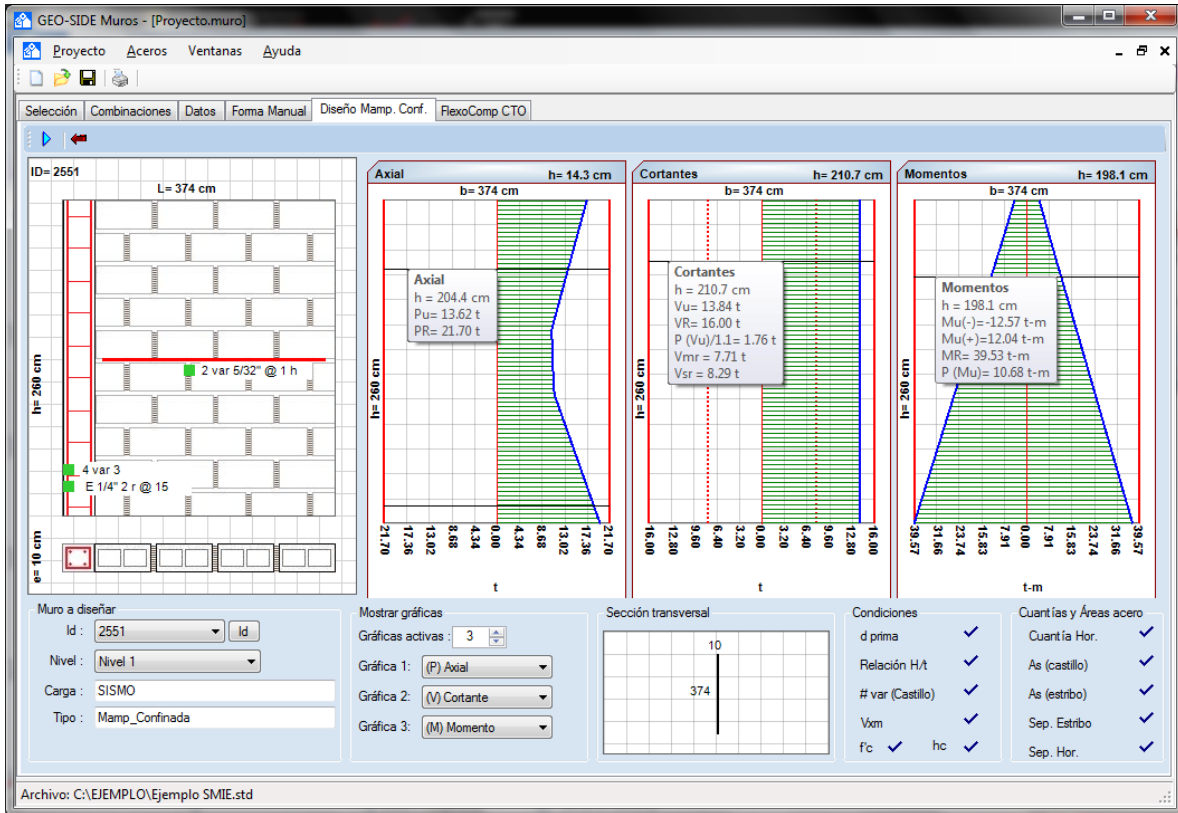


Figura 4 Ventana para el diseño de muros de mampostería confinada

Para comenzar el proceso de diseño, el ingeniero, de acuerdo a su experiencia, debe colocar los aceros de refuerzo en el muro; esto se hace de forma gráfica directamente sobre el cajón (figura 5). En este caso se deben proporcionar los aceros de refuerzo horizontal y los aceros en los castillos del muro (varillas y estribos).

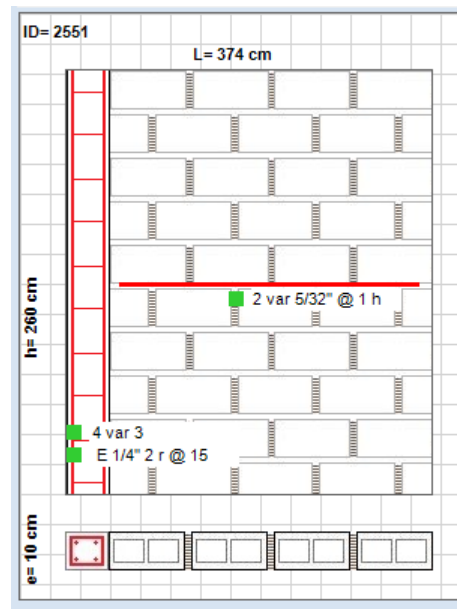


Figura 5 Dibujo esquemático del muro

Parámetros de diseño para mampostería

Una vez introducidos los aceros de refuerzo en el muro, se procede a introducir los parámetros de diseño para posteriormente calcular el muro. Los parámetros de diseño para los muros de mampostería por el método optativo se muestran en la figura 5.

| Datos mampostería | | FlexoCompresión en el plano | |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| f_{xm} = | 36 kg/cm ² | Centr. Acero = | 10 cm |
| v_{xm} = | 3 kg/cm ² | Dim. Castillo = | 20 cm |
| Hilada = | 20 cm | $f'c$ (castillo) = | 200 cm |
| FE utilizado | | Opciones | |
| Fe = | 0.228 | <input type="checkbox"/> | Utilizar piezas macizas |
| Tipo = | Cálculo 1 | <input type="checkbox"/> | Utilizar método alternativo para Pr |

Figura 5 Ventana para introducir los parámetros de diseño

Cabe mencionar que dentro de los parámetros de diseño se encuentra el valor del factor de reducción por efectos de excentricidad y esbeltez “Fe” que puede ser introducido directamente por el ingeniero siguiendo los criterios de la normatividad o bien el programa puede calcularlo de acuerdo a lo establecido en la sección 3.2.2.3 y considerando las ecuaciones 3.2 y 3.3 de las NTC-DCEC (2004).

En la figura 6 se muestran la ventana para introducir los datos referentes al factor de reducción por efectos de excentricidad y esbeltez “Fe”.

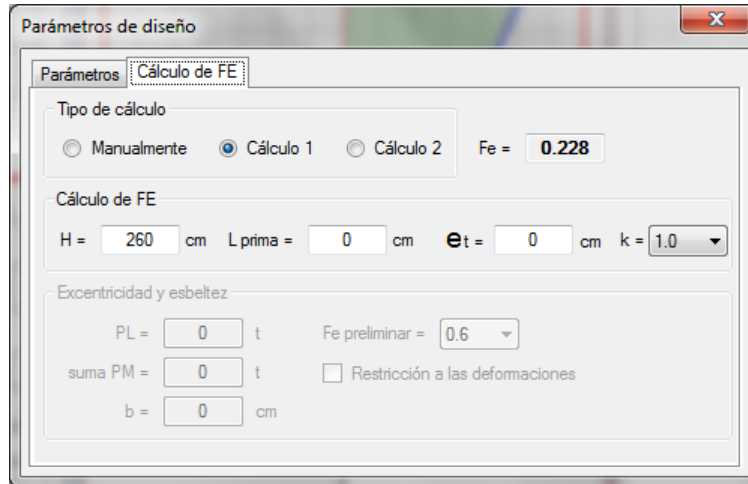


Figura 7 Ventana para introducir los parámetros de cálculo de FE

Resultados del diseño

Las gráficas (figura 6) tienen características que le facilitan al usuario la revisión del diseño del muro. En color verde se muestran los elementos mecánicos correspondientes y con líneas de color rojo, se muestra los elementos mecánicos resistentes, así como los valores en un punto determinado.

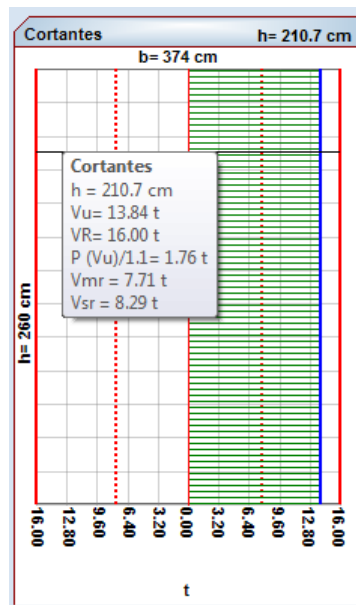


Figura 6 Gráfica de fuerza cortante en el muro

El programa proporciona las gráficas de fuerza Axial, Cortante y Momento flexionante así como las Cuantías mínimas y máximas de cada muro.

En la parte baja de la ventana (figura 4) se encuentran los datos informativos del muro, así como cada una de las revisiones que se hace para este tipo de diseño (figura 7), esto indica al usuario rápidamente si el muro en cuestión cumple con todos los requisitos para un diseño reglamentado. Para esto el programa revisa y compara los elementos mecánicos resistentes contra los actuantes en cada punto a lo largo del elemento estructural.

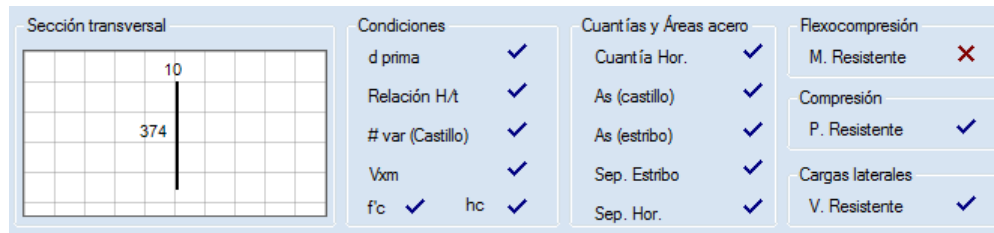


Figura 7 Revisiones para el muro de mampostería confinada

SECCIÓN: DISEÑO DE MUROS (POR DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN)

En la figura 8 se muestra la ventana correspondiente al diseño de un muro de concreto con los diagramas de interacción Carga axial – Momento flexionante de la sección.

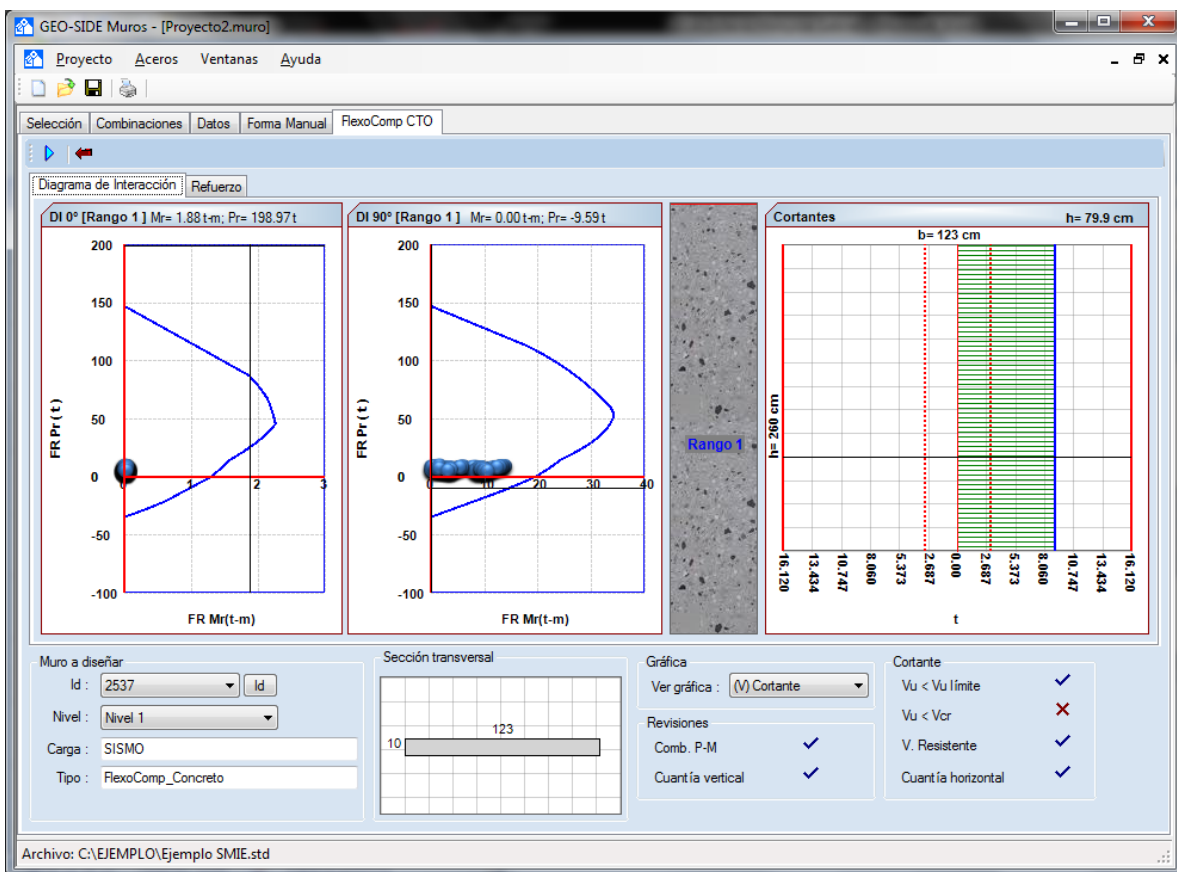


Figura 8 Ventana para el diseño de muros de concreto por diagramas de interacción

En este tipo de diseño se debe especificar la ubicación del acero de refuerzo en la planta del muro, para esto el programa proporciona la siguiente ventana (figura 9) en la cual el ingeniero coloca gráficamente los aceros verticales en los extremos del muro de forma muy sencilla. Además, especifica el acero horizontal que llevará el cuerpo del muro.

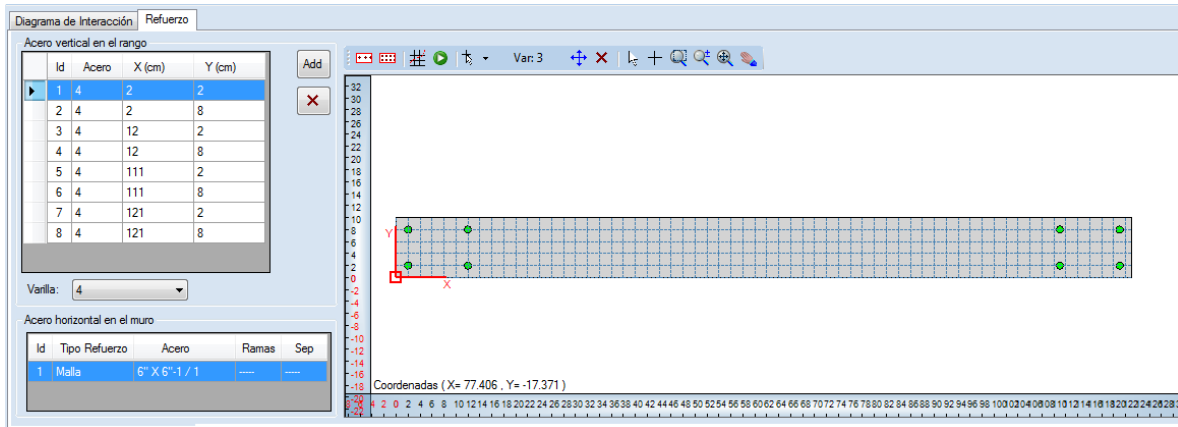


Figura 9 Ventana para la ubicación del acero en el muro

Una vez introducido el acero de refuerzo, el programa calcula la resistencia en el muro mediante los diagramas P-M. En la figura 10 se observan dos ejemplos de los diagramas de interacción que genera el sistema, en ambas imágenes se puede observar los puntos que representan a las combinaciones de P-M de cada una de los estados de carga que componen a la envolvente de diseño, en caso de que un punto P-M esté dentro del diagrama de interacción se dibujara de color azul, en caso contrario se dibujara de color rojo.

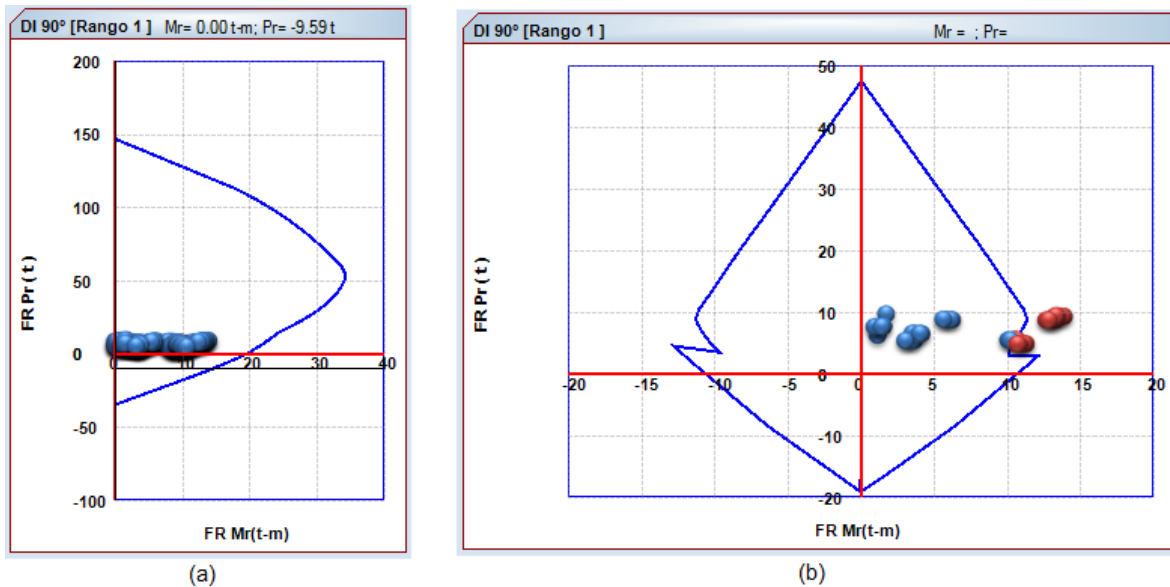


Figura 10 Diagramas de interacción P-M

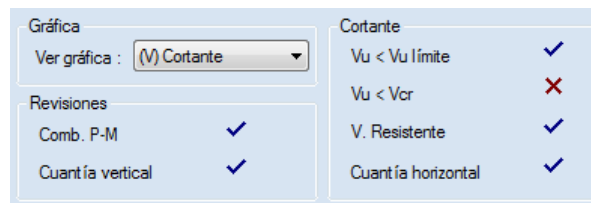


Figura 11 Revisiones para el muro de concreto por diagramas P-M

Las demás revisiones que se hacen para este tipo de muros se muestran en la figura 11.

FÍLSOFÍA DEL PROGRAMA

Es importante mencionar que el sistema no proporciona dimensiones o áreas de acero requeridas, así como tampoco parámetros de diseño mínimos. El programa sólo calcula y revisa que los elementos mecánicos actuantes estén dentro de los valores permisibles y resistentes calculados con las normas ya mencionadas.

La filosofía del programa es calcular y revisar la resistencia del elemento estructural tomando en cuenta las especificaciones de acero de refuerzo, geometría de la sección transversal y parámetros de diseño que se proporcionen. Dado esto, se considera que el proceso de diseño, en el programa, es iterativo pues el usuario debe hacer los ajustes necesarios, en los datos mencionados, hasta obtener un diseño adecuado según su criterio y las normas que se incluyen en el programa.

Además de las características del programa mostradas en los ejemplos, GEO-SIDE permite a los usuarios:

- Introducir datos manualmente, sin necesidad de un modelo de Staad
- Diseñar puntos aislados
- Seleccionar y adicionar aceros a su base de datos
- Exportar los valores de los elementos mecánicos a un editor de texto (por ejemplo: Excel, Word, bloc de notas)
- Personalizar el área gráfica
- Exporta resumen de los armados contenidos en el elemento para facilitar la tarea de cuantificación
- Copiar los diseños realizados
- Consultar la ayuda para los temas relacionados
- Imprimir una memoria de cálculo con portada, datos de proyecto, descripción detallada, logotipos, etc.

MEMORIAS DE CÁLCULO

GEO-SIDE ofrece al usuario la generación de la memoria de cálculo con un formato ya establecido y anexa la información que requiera de su proyecto, como: plantas, gráficas de elementos mecánicos de los diseños, el cajón con la configuración del acero de refuerzo y propiedades de los materiales, datos informativos del proyecto, portada, descripción detallada, resumen de impresión, fechas y logotipos.

La figura 12 muestra un ejemplo de una hoja típica de la memoria de cálculo generada por el programa. En la parte superior se imprime el encabezado, para cada hoja de la memoria, con los datos de proyectos requeridos para su identificación, así como la fecha y el logotipo de la empresa.

En la parte central de la hoja (figura 12) se encuentra la impresión de las gráficas de diseño y el cajón con los aceros de refuerzo correspondientes en el muro; también podrá notar que se encuentran los parámetros de diseño que fueron utilizados.

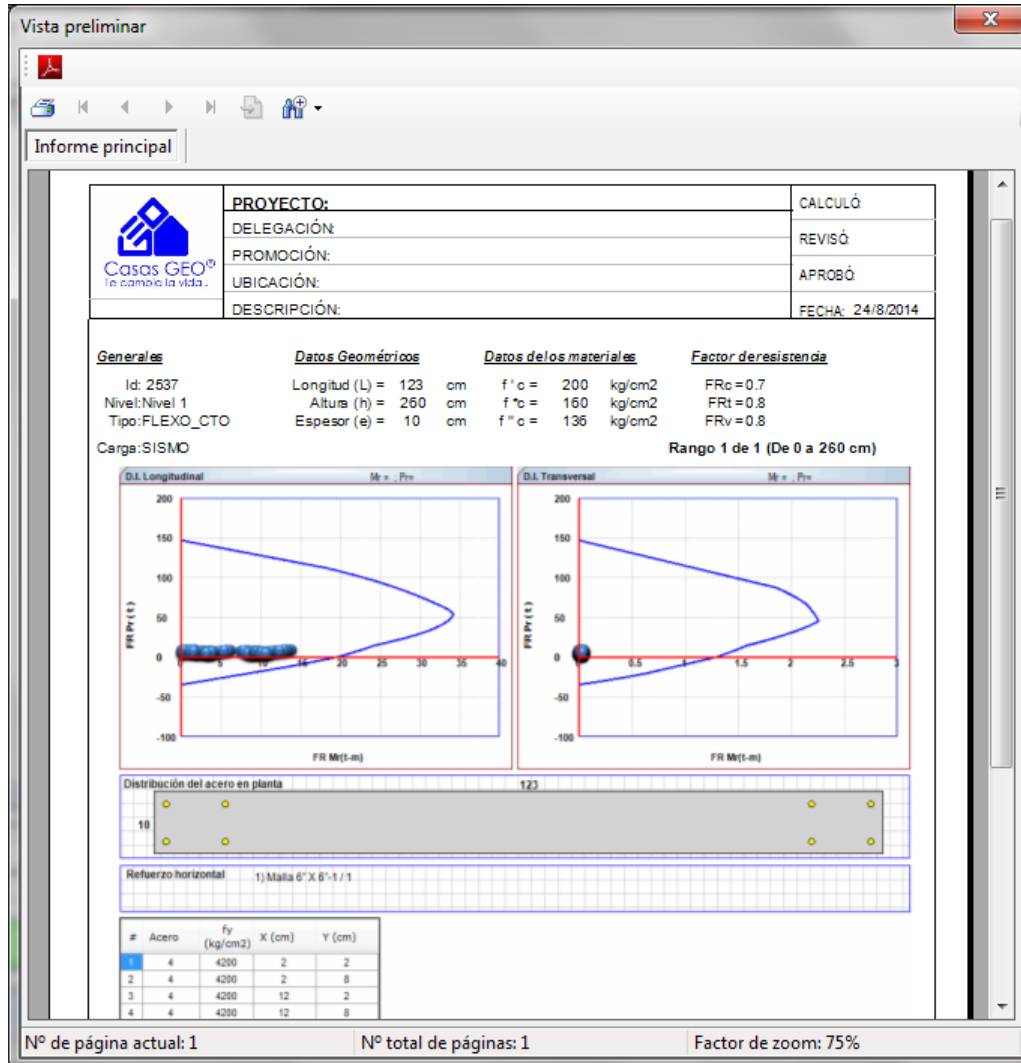


Figura 12 Ejemplo de impresión de los diseños

BENEFICIOS Y VENTAJAS

Debido a sus características de interfaz gráfica y algoritmos de cálculo GEO-SIDE módulo II es una herramienta de gran utilidad para el ingeniero estructurista al momento de realizar el diseño muros de mampostería y concreto de los prototipos de vivienda.

El programa es de uso sencillo, utiliza el ambiente gráfico que ayuda al usuario a tener una visión de conjunto del comportamiento de los elementos estructurales que pretende diseñar. Además libera al usuario de todas las actividades repetitivas y tediosas, para que centre sus esfuerzos en la elección de los armados, tantas veces como sea necesario hasta lograr la mínima cantidad requerida.

Las características del sistema permiten obtener al usuario beneficios efectivos en:

- ✓ Disminuye en un 40 % el tiempo de desarrollo de los diseños.
- ✓ Evitar los errores en el proceso de diseño.
- ✓ Reducción del tiempo dedicado a la elaboración de memorias de cálculo en un 80 %
- ✓ Reducción de los tiempos de diseño, impactando directamente en el costo hora-hombre.

Con este sistema una empresa logrará optimizar el proceso de diseño teniendo mayor control de desarrollo de sus diseños estructurales, además GEO-SIDE permite unificar, encapsular y proteger su proceso de diseño, reduciendo de entrada el error humano en las tareas del diseño.

A través de este programa, el usuario ya no interactúa con demasiados programas para realizar el diseño, ya que el programa se vincula con el modelo de Staad para obtener de éste los datos necesarios para el diseño.

El diseño es la parte donde, con los datos del análisis y la habilidad del ingeniero se generan los ahorros en tiempo, materiales y dinero. Este proceso se ha logrado automatizar, incluyendo los materiales homologados y las Normas Corporativas y Reglamentación Nacional con el fin de facilitar al ingeniero el proceso de optimización.

CONCLUSIONES

El segundo módulo del programa GEO-SIDE se ha desarrollado como una herramienta innovadora del área de diseño estructural, la cual presenta la ventaja de ahorro de tiempo (horas-hombre) de un proyecto. Este sistema es la continuación del trabajo previo de los autores (Hinojoza et al., 2012).

Actualmente se está trabajando en el desarrollo de los módulos siguientes. Se espera que para el próximo año, esté listo el modulo III que se enfocará en la creación automática del modelo a través del programa Staad. Se estima que la inclusión de los módulos faltantes logrará reducir el tiempo de diseño en aproximadamente un 70 %.

El programa no elimina el proceso de creación del modelo estructural, ni sustituye a los programas de análisis corporativos (como Staad o Anem-gc) GEO-SIDE simplifica y automatiza el proceso de diseño haciéndolo más transparente, preciso y eficiente.

Con GEO-SIDE se ha demostrado que implementar un sistema integral de diseño dentro de los procesos de una empresa es una inversión a mediano plazo que sin duda trae un beneficio positivo en tiempo y costo.

El sistema fue desarrollado por colaboradores externos, en conjunto con el personal de Ingeniería Estructural del Corporativo de Casas-Geo, quienes proporcionaron los algoritmos, las ecuaciones de diseño, la forma de la entrada y salida de resultados

REFERENCIAS

Comisión Federal de Electricidad (1993), **“Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo”**, Comisión Federal de Electricidad, Distrito Federal, México.

Hinojoza O., Pérez J.A., Martínez J.M. y Zenil A (2012), **“Sistema integral de diseño estructural para vivienda módulo I”**, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Guerrero.

Martínez J.M., Miranda G., Pérez J.A. y Pérez I.A. (2008), **“Modelo de columna ancha para el diseño estructural de viviendas de mampostería”**, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Veracruz, Veracruz.

NTC-DCEC (2004), **“Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto”**, Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, México.