

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



XII Simposio Internacional de Estructuras y Geotecnia 2019

II Coloquio de Análisis y Diseño de Obras Hidráulicas

TÍTULO: Diseño de losas planas mediante SAFE.

TITLE: Flat slab design using SAFE.

Tomás Dayron Moreno Cabrera<sup>1</sup>

Juan José Hernández Santana



1-Tomás Dayron Moreno Cabrera. Empresa Constructora de Obras para el Turismo ECOT Cayo Santa María (ECOT CSM). +52020227, Cuba, [tmorenoc@aei-ucmbybat.co.cu](mailto:tmorenoc@aei-ucmbybat.co.cu).

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**RESUMEN:**

La promoción de la utilización del programa profesional SAFE como herramienta para el diseño de losas planas, en sustitución de los métodos manuales que desempeñan esta función, es la razón que ha impulsado el presente trabajo.

Para el desarrollo del mismo, se realizó una profunda revisión del manual del programa con el objetivo de extraer la información útil y detectar las carencias que justificarían la investigación.

En una primera parte de este trabajo se realizó un estudio bibliográfico y análisis de la base teórica relacionada con el tema de las losas, donde se trataron aspectos como: las principales características de las losas, el proceso de modelación, métodos de diseños manuales y computarizados.

En la segunda fase del trabajo se desarrolla una metodología de diseño de las losas mediante el software acompañada de instrucciones para el manejo del mismo y recomendaciones prácticas.

Finalmente se aplicó la metodología de uso del programa propuesta, a dos casos de estudio particulares y se arriban a conclusiones acerca de ventajas, desventajas y semejanza de resultados entre el programa y los métodos de Diseño Directo y Pórtico Equivalente.

**SUMMARY:**

The promotion of the use of the SAFE professional program as a tool for the design of flat slabs, replacing the manual methods that perform this function, is the reason that has driven this work.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



For the development of the same, a thorough revision of the program manual was carried out in order to extract the useful information and detect the shortcomings that would justify the investigation.

In the first part of this work, a bibliographical study and analysis of the theoretical basis related to the theme of the slabs were made, where aspects such as: the main characteristics of the slabs, the modeling process, manual and computerized design methods were treated.

In the second phase of the work, a methodology for the design of the slabs is developed by means of the software accompanied by instructions for its management and practical recommendations.

Finally, the methodology of use of the proposed program was applied to two particular case studies and conclusions were reached about advantages, disadvantages and similar results between the program and the Direct Design and Equivalent Portico methods.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**INTRODUCCIÓN:**

En las construcciones de hormigón armado las losas se utilizan para proporcionar superficies planas y útiles. Una losa de hormigón armado es una amplia placa plana generalmente horizontal, cuyas superficies, superior e inferior son paralelas o casi paralelas entre sí. Puede estar apoyada en vigas de hormigón armado, en muros de mampostería o de hormigón armado, en elementos de acero estructural, en forma directa en columnas o en el terreno en forma continua. (Nilson, 2001)

Originalmente los sistemas de losas de hormigón armado consistían en una losa maciza con sus cuatro lados apoyados sobre vigas. Con este sistema, si la relación entre el lado mayor y el lado menor de un panel de losa es mayor o igual que dos, la transferencia de carga se produce fundamentalmente por flexión en la dirección menor, y el panel trabaja básicamente como una losa armada en una sola dirección. A medida que la relación de los lados de un panel de losa se aproxima a la unidad (o a medida que el panel se aproxima a la geometría cuadrada), una parte significativa de la carga es transferida por flexión en ambas direcciones ortogonales, y el panel se debe tratar como un sistema que trabaja en dos direcciones y no como una losa armada en una sola dirección. (PCA, 2002)

Con el paso del tiempo y la evolución de la tecnología, las vigas sobre las líneas que unen las columnas comenzaron a desaparecer gradualmente. El sistema de losa resultante, compuesto por losas macizas apoyadas directamente sobre columnas, se denomina placa plana. La placa plana en dos direcciones es un sistema muy eficiente y económico, y en la actualidad es el sistema más utilizado para construcciones de múltiples pisos tales como, hoteles, dormitorios, edificios de departamentos y hospitales. (PCA, 2002)

En comparación con otros sistemas de entrepiso/cubierta de hormigón, las placas planas se pueden construir en menos tiempo y con menores costos de mano de obra debido a que el sistema utiliza los encofrados y disposiciones de armadura más simples posibles. (PCA, 2002)

Las placas planas también permiten la mayor flexibilidad en la disposición de columnas, tabiques, pequeñas aberturas, etc. La principal limitación del uso de las placas planas es la fuerza cortante alrededor de las columnas. Cuando las cargas

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



son elevadas o los tramos son de gran longitud, muchas veces se incrementa la altura de las placas planas alrededor de las columnas, creando elementos conocidos como ábacos. Además, para considerar el cortante alrededor de las columnas, algunas veces los extremos superiores de las columnas se ensanchan, creando capiteles de columna. (PCA, 2002)

En Cuba la losa de hormigón armado constituye uno de los elementos constructivos más utilizados en entrepisos y cubiertas. Las formas más comunes de encontrarla son apoyadas sobre muros de mampostería, columnas o vigas de hormigón armado.

Para realizar el diseño de losas de hormigón armado se han elaborado varias metodologías entre las que se encuentran: el Método de los Coeficientes, el Método de Diseño Directo, el Método del Pórtico Equivalente, el Análisis mediante Líneas de Fluencia, el Método de las franjas.

Últimamente, y gracias a los avances en materia informática (tanto del hardware o capacidad de trabajo del ordenador, como del software o documentación de programas de cálculo), se han empezado a utilizar otros métodos que permiten aprovechar mejor las características del hormigón al poderse plantear la estructura como un sistema real bidimensional. De ahí, aparece primero la discretización de las losas como si se tratase de emparrillados y más tarde el análisis mediante elementos finitos, este último de imposible ejecución sin un soporte informático adecuado. (Maristany Carreras, 1993)

Debido a la rigurosidad matemática de los primeros métodos y buscando facilitar la aplicación práctica se hace necesario el uso del software para el diseño de losas. Como actualmente no se conoce a profundidad el manejo de estos programas y sus potencialidades, por tanto, no se explotan suficientemente. Nuestro estudio se centrará en el diseño de losas planas utilizando el SAFE.

De modo que el **OBJETIVO GENERAL** es demostrar la ventajosa utilización del Software SAFE para el diseño de losas planas.

Esta meta será alcanzada con la realización de los siguientes **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



1. Estudiar las bases teóricas y principios para el cálculo de losas planas por el Método de los Elementos Finitos.
2. Revisar los manuales que vienen incluidos en el SAFE.
3. Realizar ejemplos de diseño modelando la losa plana con las condiciones de apoyo y estado de cargas más comunes en nuestro país utilizando el SAFE y obtener el diseño estructural.
4. Analizar ventajas y desventajas del software con relación a los métodos manuales de Diseño Directo y Pórtico Equivalente.

**DESARROLLO:**

**Proceso de modelación.**

Para obtener el Modelo mecánico o Modelo analítico de la estructura real, se recomienda hacer un análisis integrado de las siguientes invariantes. (*Figuroa Castellón and Pino Rodríguez, accesado en febrero de 2014*)

- 1- Modelación de la forma o modelo geométrico.
- 2- Modelo de las acciones impuestas.
- 3- Modelo de los apoyos y enlaces.
- 4- Modelo del comportamiento de los materiales.

**Modelo de las Cargas.**

**- Cargas permanentes o muertas.**

Son aquellas que obran de forma continua sobre la estructura y cuya intensidad puede considerarse que no varía con el tiempo. Entran en esta categoría: las cargas muertas del peso propio de los elementos estructurales, las soluciones de tratamiento de pisos y techos. (*Figuroa Castellón and Pino Rodríguez, accesado en febrero de 2014*)

Para determinar el valor de la carga muerta de los distintos componentes de la construcción solo se requiere el peso volumétrico del material constitutivo y su multiplicación por las dimensiones correspondientes. Para estos cálculos se utilizará la **NC 283: 2003**, donde se determinan las densidades de los materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción. El cálculo de las magnitudes de las cargas permanentes se sustenta en el empleo de valores característicos y la justificación estadística de estos, permitiendo el trabajo con valores no reales pero que se acercan cada vez más a su acción verdadera, con un nivel aceptable de confianza.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



- **Cargas de uso, cargas temporales o cargas vivas.**

Son aquellas cargas que no siempre actúan sobre las estructuras con la misma intensidad en el tiempo, pudiendo desaparecer en determinado periodo de la construcción y utilización de la obra. Se originan directamente por el peso de los muebles, equipos, mercancías y personas; vehículos o ferrocarriles; en general, todo aquello que no ocupe una posición fija y definitiva dentro de la construcción. (*Figuroa Castellón and Pino Rodríguez, accesado en febrero de 2014*)

La característica principal de la carga de uso es que tienen un carácter muy variable en su distribución en el tiempo y el espacio, con una forma de actuar que varía desde un efecto prácticamente permanente hasta un efecto dinámico o de impacto. (*Figuroa Castellón and Pino Rodríguez, accesado en febrero de 2014*)

Sus valores se hayan caracterizados de manera bastante amplia en la **NC 284: 2003**.

- **Combinaciones de los estados de carga.**

Las combinaciones de los estados de carga resultan consecuentes con lo estipulado en la **NC 450: 2006**.

- **Modelo del material.**

El material de interés para este trabajo es el hormigón armado y varias propiedades del hormigón y el acero deben ser introducidas en los programas.

En el caso del hormigón su cualidad más distintiva, y a su vez el reflejo más directo de su calidad, es precisamente su resistencia a compresión; de hecho es el parámetro por el que se le comercializa generalmente, con la ventaja adicional de que la mayoría de las expresiones que cuantifican el resto de las propiedades mecánicas del material se expresan a partir de esta cualidad. En realidad los reglamentos actuales refieren, para el diseño estructural de los elementos, su **valor característico**, es decir, el estadígrafo que presenta un grado de confianza predefinido, o de que los valores individuales de resistencia de las probetas ensayadas estén por encima de dicho valor con una probabilidad prefijada, siendo representada generalmente como  $f_c$ . En el ACI se le denomina **resistencia especificada del hormigón**. (Hernández Santana and Hernández Caneiro, 2010)

La **densidad** depende fundamentalmente del tamaño máximo del árido que se emplee, del grado de compactación que se procure, y de si se incorpora o no aire a la mezcla durante su elaboración. En realidad las dispersiones de esta variable son

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



pequeñas y en Cuba es habitual considerar en los cálculos para estimar la carga de peso propio una densidad de  $23 \text{ kN/m}^3$  para hormigones en masa, de  $24 \text{ kN/m}^3$  para hormigones colocados in situ y de  $25 \text{ kN/m}^3$  para hormigones prefabricados, estos dos últimos valores para las cuantías de armado usualmente empleadas. (Hernández Santana and Hernández Caneiro, 2010)

El módulo de deformación a compresión conocido también como módulo de elasticidad se determina por la relación establecida por el ACI para hormigones de peso normal  $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$  (en MPA)

En el caso del hormigón se ha comprobado que para tensiones normales de utilización dentro de la etapa de servicio, el coeficiente de Poisson varía entre 0,15 y 0,20, pudiéndose adoptar en los cálculos un valor promedio  $\nu = 0,17$ , aunque cuando se trata del hormigón armado o pretensado se prefiere utilizar  $\nu = 0,20$ . (Hernández Santana and Hernández Caneiro, 2010)

Algunas investigaciones confirman que el módulo de deformación a Cortante,  $G_c$ , es del orden del 40% del correspondiente módulo de deformación longitudinal, es decir,  $G_c \approx 0,40 E_c$ . Para cálculos más refinados se puede recurrir a la siguiente expresión:  $G_c = \frac{1}{2(1+\nu)} E_c$  (Hernández Santana and Hernández Caneiro, 2010)

El hormigón se ve sometido a cambios volumétricos cuando la temperatura que lo rodea se modifica. Estos cambios volumétricos dependerán de su coeficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ ), el que a su vez depende de la composición misma del hormigón. Las investigaciones realizadas han permitido verificar que el coeficiente de dilatación térmica del hormigón se sitúa en el rango de  $(9,2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  a  $11 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})$  para temperaturas entre  $-15^\circ\text{C}$  y  $50^\circ\text{C}$ , y hasta una temperatura de  $150^\circ\text{C}$ , el valor  $\alpha = 10^{-5}/^\circ\text{C}$ , es decir,  $\alpha = 0,01 \text{ mm/m} \times ^\circ\text{C}$ , ventajosamente muy similar al coeficiente de dilatación del acero. (Hernández Santana and Hernández Caneiro, 2010)

Los aceros que se producen actualmente en Cuba para el refuerzo del hormigón están contenidos en la **NC 7: 2002 "Barras de acero para refuerzo de hormigón. Especificaciones"**.

El acero por su parte presenta una densidad de aproximadamente  $7850 \text{ kg/m}^3$ , es decir, de  $78.5 \text{ kN/m}^3$ .

Es frecuente identificar el límite elástico aparente de un acero por su grado. En Cuba se producen actualmente tres grados diferentes: G-34, G-40 y G-60. Las propiedades mecánicas de cada uno de ellos se exponen en la tabla 1.1.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Grado	Límite Elástico Aparente (fy)			Límite de rotura (fsu)		
	lb/in <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Mpa	lb/in <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
G -34	34000	2400	240	47570	3333	333
G -40	40000	3000	300	59000	4130	413
G -60	60000	4200	420	82570	5780	578

*Características Mecánicas de la barras de producción nacional.*

En cuanto al módulo de elasticidad se adopta para los tres Grados un módulo de deformación igual a  $E_s = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$

- **Modelo de la estructura.**

En este paso no se deben cometer errores por una mala concepción del modelo. Por eso los programas profesionales para el análisis y diseño de estructuras que hoy proliferan en el mundo y que son capaces de resolver prácticamente cualquier estructura por más compleja que esta sea con gran precisión, no dan una seguridad absoluta, pues los datos de entrada no son más que los del modelo analítico y muchos de ellos no son tan evidentes y dependen del criterio estructural del ingeniero.

Al estudiar la estructura real se realiza la modelación de la forma atendiendo a su geometría. Toda estructura real es un problema inicialmente tridimensional, donde las piezas tienen longitud, altura y anchura, pudiendo establecerse modelos geométricos lineales, superficiales y volumétricos en dependencia de la tipología estructural, complejidad o importancia de la estructura, herramientas de cálculo accesibles, etc. (Figueroa Castellón and Pino Rodríguez, accesado en febrero de 2014)

De modo general determinar el modelo no es más que identificar la parte de la construcción que desarrolla funciones estructurales, incidiendo directamente en la respuesta global del conjunto, llamados elementos estructurales principales, tales como: vigas, columnas, losas, muros de carga; descartando los elementos estructurales secundarios o elementos que no influyen en la respuesta de la estructura como: muros divisorios, losas de escaleras, pretil de fachada, que pueden analizarse de forma independiente; y otros decididamente no influyentes como: pisos, ventanas, barandales, aceras, etc.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



- **Métodos utilizados para el diseño de losas.**

Para el diseño de losas investigadores de distintas partes del mundo han dedicado algo de tiempo y como consecuencia han surgido distintos métodos. A continuación se muestra un pequeño acercamiento a algunos de los métodos más conocidos y usados internacionalmente.

- **Métodos manuales.**

- **Métodos propuestos por el ACI para cálculos manuales.**

Aunque se permite el diseño mediante cualquier procedimiento que satisfaga las condiciones de equilibrio y compatibilidad geométrica, el Código ACI hace referencia específica a dos métodos alternos: el semiempírico, *Método de Diseño Directo (MDD)*, y un análisis elástico aproximado, conocido como el *Método del Pórtico Equivalente (PE)*.

- **Métodos computarizados.**

Hoy en día el método de elementos finitos constituye el procedimiento habitual de cálculo en mecánica estructural y mecánica de sólidos en general. Para los que se desenvuelven en el ámbito de la Ingeniería Civil y la Ingeniería Mecánica es casi imprescindible el conocimiento de estas técnicas numéricas.

Su origen y desarrollo está ligado a las herramientas electrónicas de cálculo que son cada vez más potentes, por lo que se dice que estas técnicas son resultado de la revolución informática de finales del siglo XX. Son varios los programas de elementos finitos que se han creado, entre ellos; Abaqus, Algor, Nastran, Ansys. Para el desarrollo de este trabajo se van a utilizar el STAAD y el SAP a los cuáles se va a hacer un acercamiento más adelante.

- **Descripción General del método de los Elementos Finitos.**

El método de elementos finitos considera la estructura como el ensamble de un número finito de partículas pequeñas. El comportamiento de las partículas, y de toda la estructura, es obtenida por la formulación de un sistema algebraico de ecuaciones que puede ser solucionado por medio de un computador. Las partículas de tamaño finito, son llamadas *elementos finitos*. Los puntos donde los elementos finitos son interconectados, son conocidos como *nodos*, y el procedimiento de selección de nodos es llamado *discretización* o *modelización*. (Cubillos, accesado en febrero de 2014)

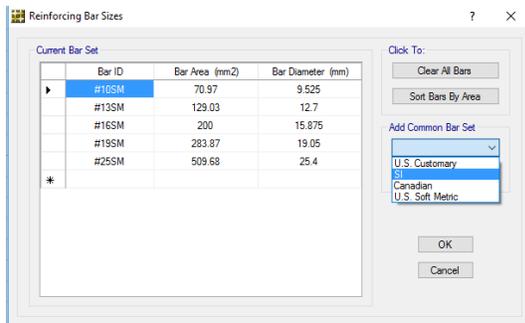
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



- **Consideraciones para la realización del modelo.**

- El sistema va a quedar modelado con una cantidad finita de elementos.
- El modelo desarrollado no es más que una idealización del sistema físico real.
- Puede que el método de elementos finitos no genere una solución exacta pero con un modelo adecuado se puede llegar a una solución precisa.
- El método de elementos finitos es uno de los más fiables cuando la formulación analítica de un problema es difícil de desarrollar.
- El tipo y la complejidad del modelo dependen del tipo de resultados requeridos.
- Se puede empezar con un modelo simple y después decidir si es necesario refinar el modelo y en que parte.

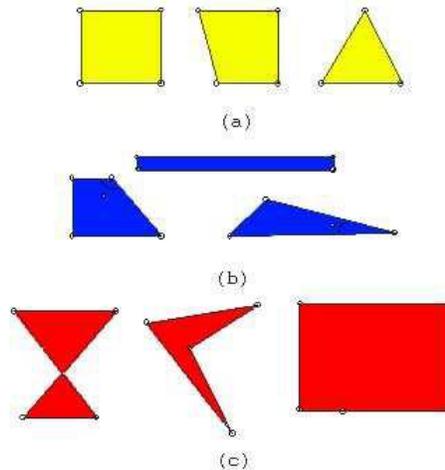


- **Recomendaciones generales.**

Se prefiere el uso de elementos cuadriláteros excepto donde sean necesarios los elementos triangulares por irregularidades geométricas. Si se quiere más precisión es necesario una malla más refinada. La proporción de las dimensiones de los elementos debe ser cercana a la unidad y los ángulos deben acercarse a los 90°. Para elementos triangulares deben evitarse los ángulos agudos menores a 30° y para elementos cuadriláteros los ángulos obtusos mayores que 120°. A continuación se muestra una clasificación de los elementos donde los elementos pobres debe evitarse y los ilegales no deben usarse.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



*Geometría de los Elementos: a) Configuraciones deseadas, b) pobres, c) ilegales*

- **SAFE. Características generales.**

El reconocimiento de las características únicas de los sistemas de losa llevó a originar el desarrollo del programa SAFE que tuvo en cuenta las necesidades específicas de losas de hormigón.

SAFE se creó con el propósito general de proporcionar a la profesión un software más eficiente y completo para el análisis y diseño de sistemas de losas, una herramienta que ofrece un ahorro significativo en el tiempo, constituir un programa de elementos finitos y obtener una mayor precisión en comparación con equivalentes métodos estructurales.

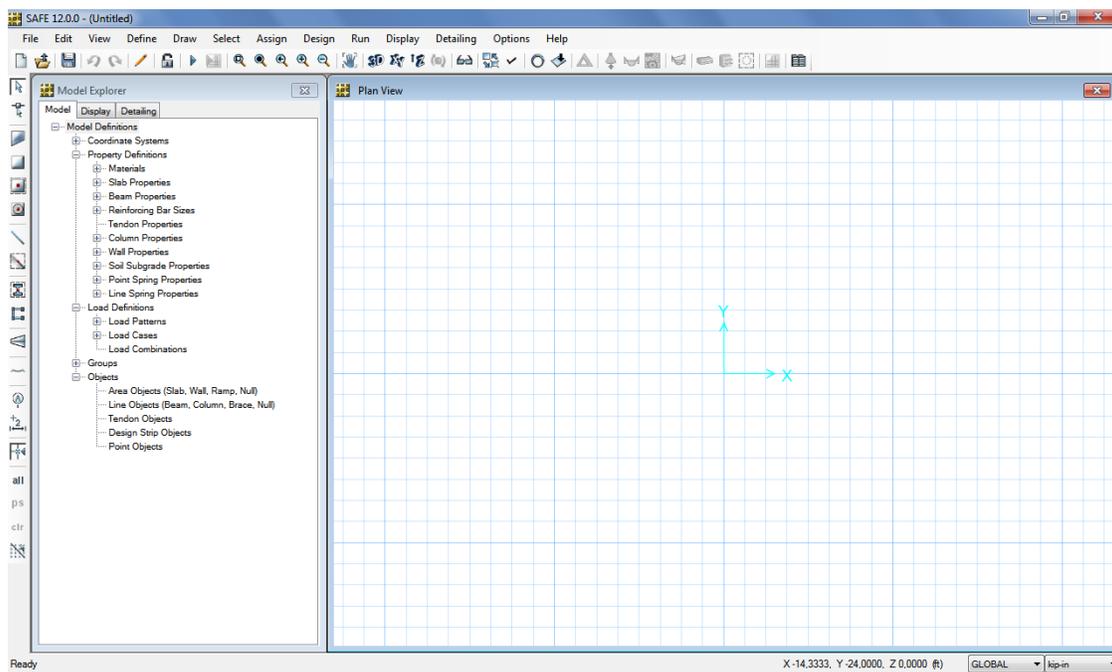
SAFE es un programa sofisticado, fácil de usar, con fines especiales de análisis, diseño y detallado desarrollado específicamente para losas de hormigón. SAFE contiene potentes herramientas de modelado basadas en objetos con una intuitiva interfaz gráfica, permitiendo el modelado rápido y eficiente de las losas ordinarias o de geometría arbitraria con aberturas, ábacos, postensado, nervaduras, con vigas, apoyadas en columnas, paredes o suelos. El diseño es perfectamente integrado con la modelización y el análisis, y proporciona la presentación de informes de la armadura necesaria calculada sobre la base de un elegido código de diseño. Dibujos detallados pueden ser producidos para losas y vigas diseñadas. SAFE puede ser utilizado como una aplicación independiente, o se puede usar en conjunción con ETABS. (Manual-SAFE, 2008b)

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"IICCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



SAFE sirve los últimos avances en técnicas numéricas, algoritmos de solución y configuraciones de objetos complejos, sofisticadas cargas de postensado, y los más recientes códigos de diseño de hormigón de todo el mundo. También presenta opciones analíticas complejas tales como el análisis de sección fisurada, y potentes herramientas de dibujo tipo CAD. (Manual-SAFE, 2008b)



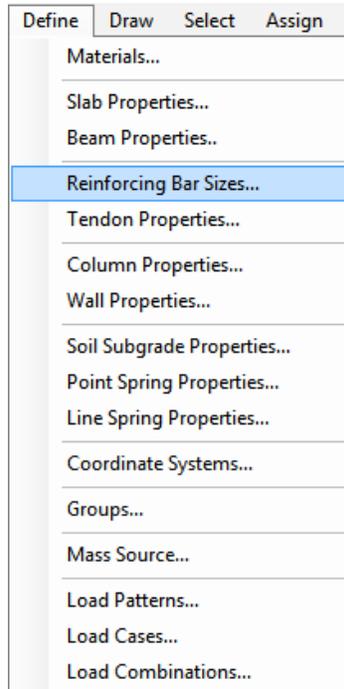
*Ambiente de trabajo de SAFE v12*

- **Definir el tamaño de las barras de refuerzo.**

Use el comando *Reinforcing Bar Sizes* del menú *Define* para sumar, eliminar o modificar un tamaño de barra de refuerzo de la lista que es usada por el programa cuando calcula y especifica el refuerzo. Este comando tiene una gran utilidad ya que permite introducir las propiedades de las barras cubanas, por tanto, el diseño se puede basar perfectamente en las especificaciones de Cuba y obtener resultados reales. En otros programas no se permiten estas modificaciones.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
 "II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
 CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Las principales características geométricas de las barras de refuerzo que corresponden a los aceros de producción nacional en la actualidad se muestran en la siguiente tabla:

Designación		Diámetro nominal		Área nominal de la sección circular (mm <sup>2</sup> )
		(mm)	(plg)	
N° 10	(3)	9,5	(3/8)	71
N° 13	(4)	12,7	(1/2)	129
N° 16	(5)	15,9	(5/8)	199
N° 19	(6)	19,1	(3/4)	284
N° 22	(7)	22,2	(7/8)	387
N° 25	(8)	25,4	(1)	510
N° 32	(10)	32,2	(1 1/4)	819
N° 36	(11)	35,8	(1 3/8)	1006

*Dimensiones de la barras lisas y corrugadas de producción nacional.*

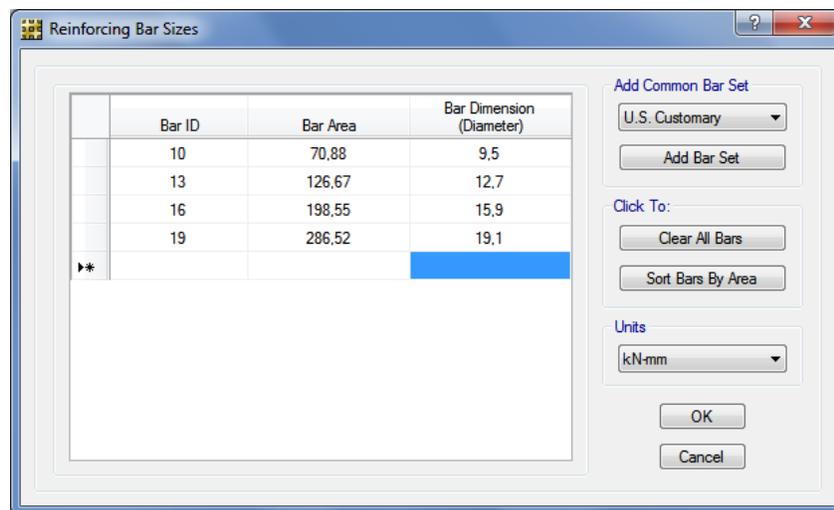
Edite cualquier valor en la lista haciendo clic en una celda y escriba el nuevo valor. Para eliminar una barra haga clic en el botón adyacente a la columna de

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



identificación de la barra para seleccionar la hilera entera, y luego presione la tecla de suprimir. Para añadir una barra, vaya a la hilera con el asterisco adyacente a la columna de identificación de la barra e introduzca los valores en las celdas. Para añadir una serie de barras a la lista, seleccione la serie de barras de la lista desplegable y haga clic en el botón *Add Bar Set*. Para eliminar todas las barras de la lista, haga clic en el botón *Clear All Bars*. Las barras pueden ser ordenadas ascendentemente por el área haciendo clic en *Sort Bars By Area*.



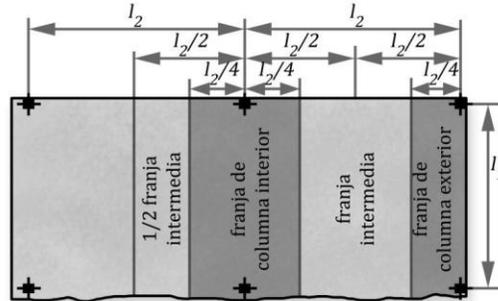
- **Dibujar Franjas de Diseño.**

Actualmente los métodos manuales propuestos por el reglamento cubano y del ACI dividen la losa en franjas de columnas y franjas centrales o intermedias. El SAFE tiene la posibilidad de realizar el diseño de losas utilizando estas franjas. Esto resulta de gran utilidad pues se acerca al enfoque de los métodos antes referidos.

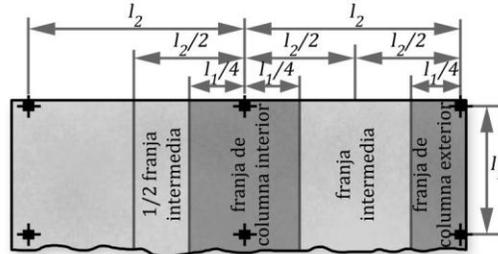
En la figura siguiente se expone como se calculan los anchos de cada franja. El ancho de la franja de columna se calcula siempre a partir de la luz corta.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



(a) Franja de columna  $l_2 \leq l_1$

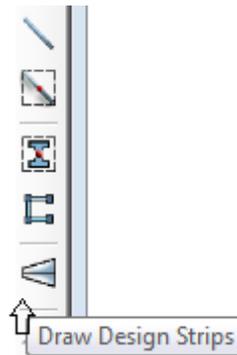
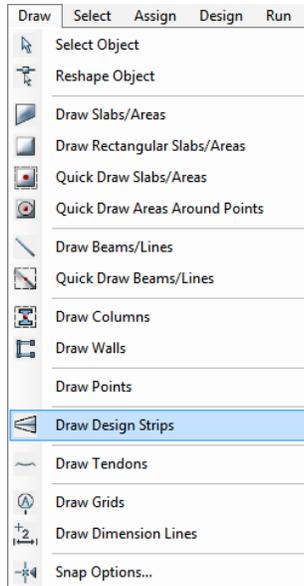


(b) Franja de columna  $l_2 > l_1$

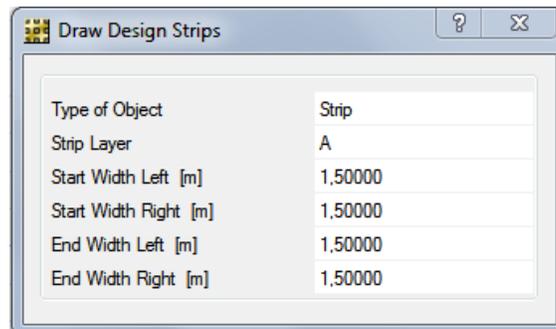
Las Franjas de Diseño definen la ubicación y la distribución del refuerzo de la losa y se definen usando polilíneas que pueden ser multilineal y no ortogonal. Estas franjas asocian anchos a cada lado de la línea poligonal dibujada, que pueden ser variables. Para dibujar franjas de diseño se utiliza el comando *Draw Design Strips* del menú *Dibujo* o el botón con el mismo nombre de la barra *Dibujo* que se encuentra a la izquierda.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



La forma flotante se debe llenar con las distancias a cada lado de la polilínea en los puntos inicial y final.



Con los parámetros establecidos, haga clic con el botón izquierdo del ratón una vez en el *Plan View* para localizar el punto de partida de la franja de diseño. Continúe haciendo clic en puntos a lo largo de la franja para definir cada segmento. Después de definido el último punto, pulse la tecla *Intro* para completar el dibujo del objeto.

- **Determinar la cantidad de elementos finitos.**

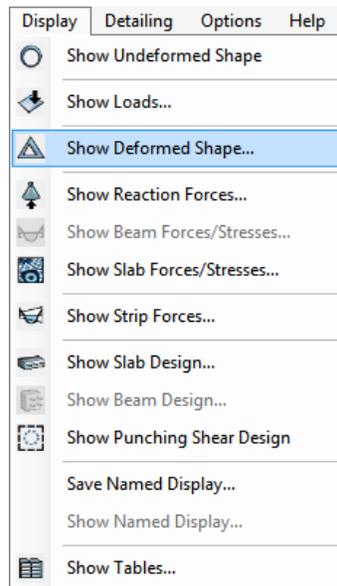
Para determinar la cantidad de elementos finitos es necesario realizar el mismo análisis de sensibilidad descrito anteriormente en los procedimientos de STAAD. De la misma forma serán graficados los resultados.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

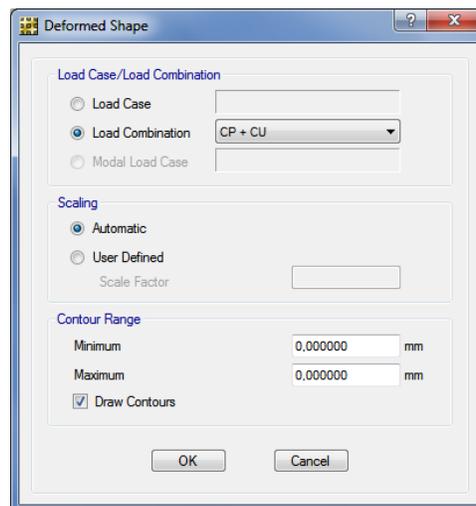
DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Para determinar el desplazamiento del nodo central, después de correr el análisis o análisis y diseño se muestra la forma deformada por defecto. Como no corresponde a la combinación de CP + CU correspondiente al estado límite de utilización, hay que generarla nuevamente, para esta combinación. Clic en el menú *Display* y seleccionar el comando *Show Deformed Shape*.



En la ventana *Deformed Shape* se selecciona la opción de combinación de carga y se elige la combinación CP + CU de la lista de combinaciones creadas.

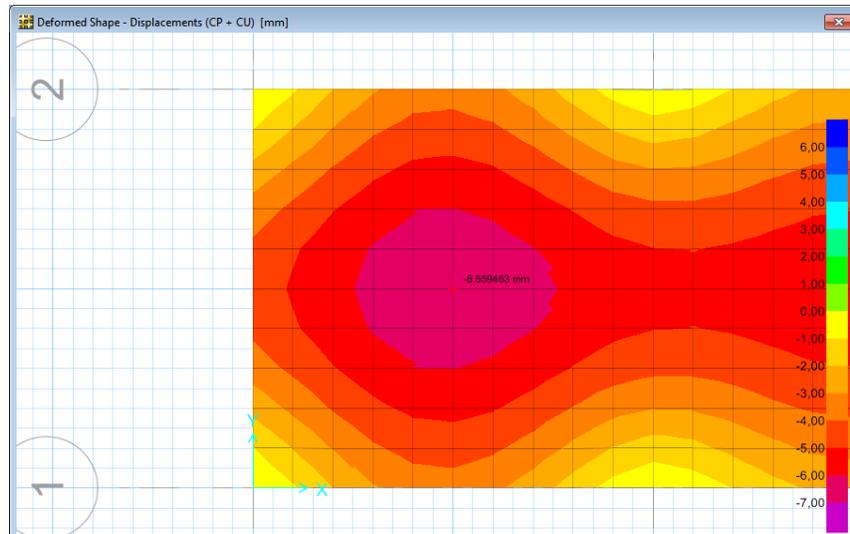


II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



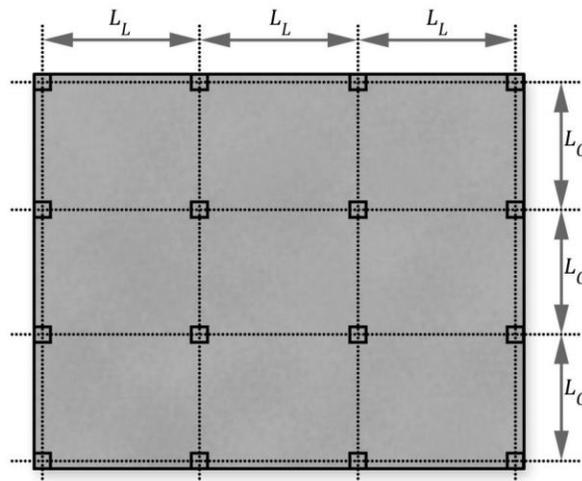
Después de dar clic en el botón *OK* surge la forma deformada. Con solo poner el cursor encima del grafico se muestra el desplazamiento en ese lugar, por lo que se debe poner el cursor encima del nodo central para que se muestre el valor de desplazamiento en ese punto.



Ejemplos de aplicación.

- **Ejercicio 1.**

Se realizará el diseño del sistema de losas apoyadas directamente sobre columnas mostrados en la figura. Se mostrarán resultados de momentos flectores y de refuerzo.



Datos:

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



- o Luz larga de 5 m .
- o Luz corta de 4 m .
- o Apoya en columnas de 30 x 30cm y no tiene vigas de borde ni interiores .
- o Altura de las columnas de 3 m .
- o Tanto la losa como las columnas están construidas con hormigón de  $f'c = 25$  MPa .
- o Se usará refuerzo G -40 por lo que  $f_y = 300$  MPa .
- o El edificio está destinado a la sala de lectura de una biblioteca, por lo que  $w_{cu} = 3$  kN/m<sup>2</sup> .
- o La solución de piso provoca una carga permanente, adicional al peso propio de la losa, de  $w_{cp} = 2$  kN/m<sup>2</sup> .
- o Se emplearán barras N<sup>o</sup> 13 con  $d_b = 12.7$  mm .
- o El edificio está situado en una zona de AGRESIVIDAD MEDIA por lo que  $r = 30$  mm .
- o El peralte de la losa según el criterio de deformación, la comprobación de resistencia a cortante y punzonamiento es  $h = 15$  cm .

Área mínima de refuerzo para G -40	
Ancho de Franja (m)	Área mínima (cm <sup>2</sup> )
1	2,15
2	4,29
3	6,44

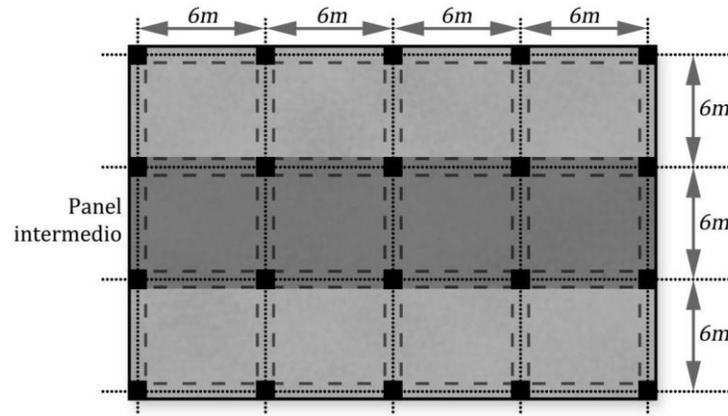
*Áreas mínimas de acero de refuerzo*

- **Ejercicio 2.**

Se realizará el diseño de las losas de los paneles de franjas interiores del entramado que se muestra en la figura. Se mostrarán resultados de momentos flectores y de refuerzo .

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
 "II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
 CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Datos:

- o Luces de 6 m .
- o Columnas de 30 x 30 cm .
- o Vigas de 30 x 50 cm .
- o Altura de las columnas de 3 m .
- o Se usará hormigón de  $f'c = 20 \text{ MPa}$  .
- o Se usará refuerzo G -40 por lo que  $f_y = 300 \text{ MPa}$  .
- o El edificio se usará como tienda de departamentos por lo que  $w_{cu} = 4 \text{ kN/m}^2$  .
- o La solución de piso puede considerarse como  $w_{cp} = 2 \text{ kN/m}^2$  .
- o Se emplearán barras N<sup>o</sup> 13 con  $d_b = 12.7 \text{ mm}$  .
- o El edificio está situado en una zona de BAJA AGRESIVIDAD por lo que  $r = 25 \text{ mm}$  .
- o Peralto de la losa calculado de  $h = 13 \text{ cm}$  .

Área mínima de refuerzo para G -40	
Ancho de Franja (m)	Área mínima ( $\text{cm}^2$ )
3	5,16

*Área mínima de acero de refuerzo*

- Solución en SAFE .

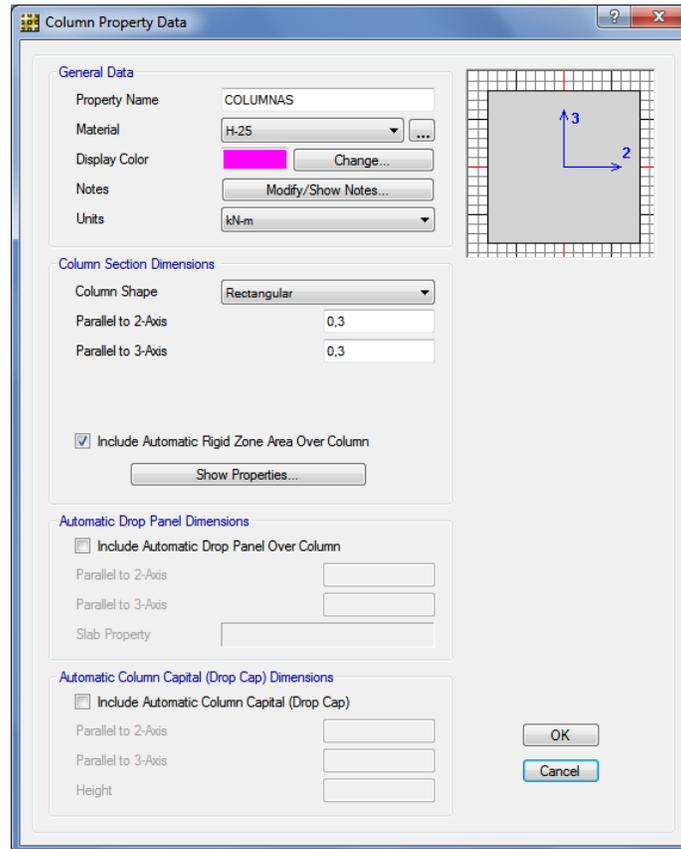
- Ejercicio 1 .

Definir propiedades de columna .

Se modificaron los datos de la propiedad de columna existente con el material H - 25, sección rectangular de 0.3 x 0.3 m y con zona rígida en el área sobre las columnas como se muestra en la ventana *Column Property Data* .

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



- **Definir combinaciones de carga.**

En cuanto a los patrones de carga y casos de carga no es necesario definirlos ya que se va a trabajar con los que el programa tiene creados por defecto *DEAD* y *LIVE*.

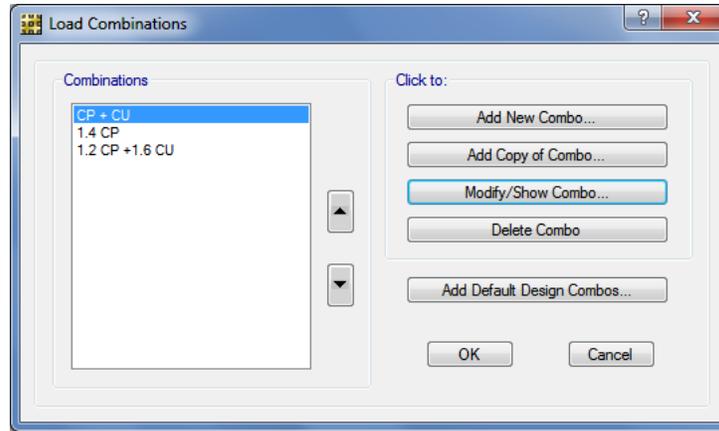
En este paso se van a definir tres combinaciones de carga de tipo *Linear Add* introduciendo los factores de escala correspondientes a cada carga.

$CP + CU$  es una combinación de servicio de larga duración que se va a utilizar para analizar los desplazamientos del nodo central en el panel de losa más deformado para la discretización.

$1.4CP$  y  $1.2CP + 1.6CU$  son combinaciones de fuerza utilizadas para el diseño.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



- **Dibujar objetos.**

Dibujar la losa.

La losa fue dibujada con el comando *Draw Rectangular Slabs/Areas* y discretizada según los resultados del análisis de sensibilidad.

Se modeló la estructura con diferentes cantidades de elementos y se midió el desplazamiento en el nodo central del panel de la losa que más se deformó. Los resultados se muestran en la tabla.

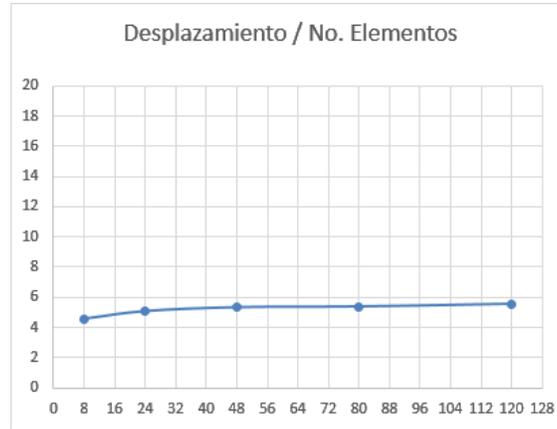
En una luz de 5 m x 4 m		
Divisiones	No. de Elementos	Desplazamiento del Nodo Central
4 x 2	8	4,57
6 x 4	24	5,08
8 x 6	48	5,34
<b>10 x 8</b>	<b>80</b>	<b>5,39</b>
12 x 10	120	5,57

Desplazamiento y cantidad de elementos en el panel crítico

Los resultados de la tabla fueron graficados y según el comportamiento de la curva se decidió que cada panel de losa entre columnas contara con 80 elementos en 10x8 divisiones, lo que se traduce a elementos cuadrados de 0.5x0.5m.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



La losa es discretizada con el comando *Divide Areas* del submenú *Edit Areas*. Con el comando *Merge Areas* de este mismo submenú se unen los elementos que coinciden sobre las columnas para que sobre ellas exista un solo elemento losa y se pueda asignar de forma correcta la opción de zona rígida. También se debe usar la opción de *Malla de Losa Automática* de tamaño máximo aproximado de 0.5m para lograr buena precisión en estas zonas.

Dibujar las franjas de diseño.

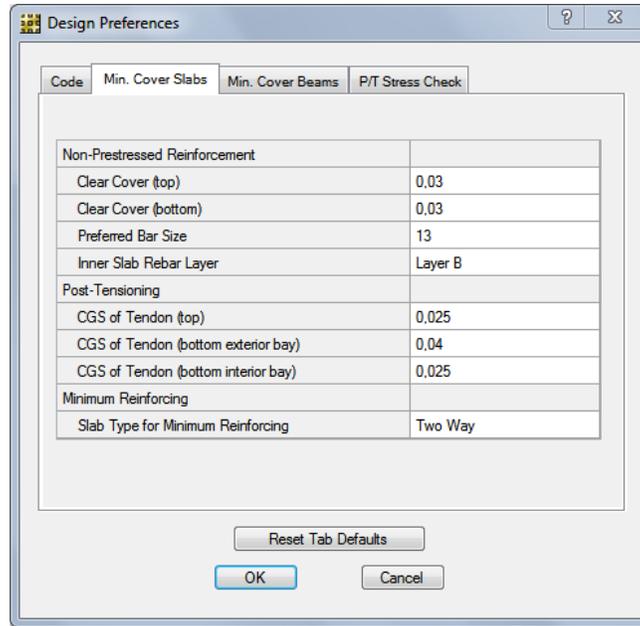
Mediante *Draw Design Strip* se dibujan las franjas de diseño correspondientes a franjas de columna y franjas intermedias. En la dirección de X las franjas serán de 2 m de ancho (uno a cada lado de la línea de franja) excepto la de columna exterior que será de 1m (a un solo lado de la línea de franja). En la dirección de Y la franja de columna será de 2 m de ancho (uno a cada lado de la línea de franja) excepto la de columna exterior que será de 1m (a un solo lado de la línea de franja) y la franja intermedia será de 3 m de ancho (1.5m a cada lado de la línea de franja). El *Layer A* será para las franjas en la dirección de X y el *Layer B* para la dirección de Y.

- **Correr el análisis y diseño.**

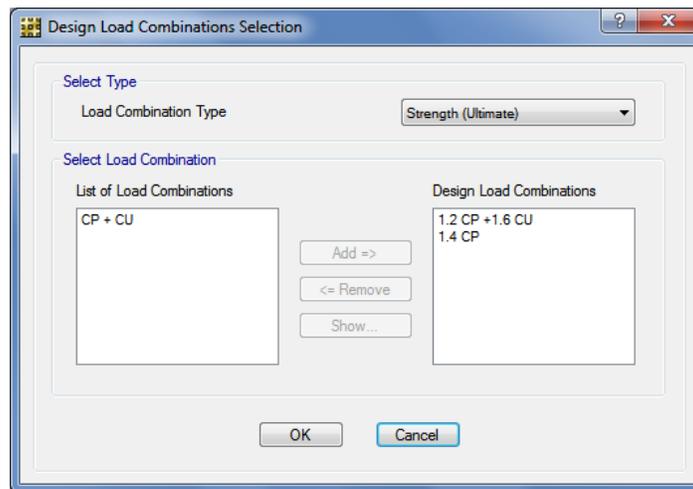
Antes de correr el programa mediante el comando *Design Preferences* hay que definir las preferencias de diseño donde debe estar seleccionado el Código de diseño ACI 318-08. Se introduce el valor de recubrimiento de 0.03m para la losa, el tamaño de barra preferido de 13, se define el refuerzo en la dirección de Y (*layer B*) como interior por ser la dirección menos crítica, y tipo de losa en dos direcciones.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"IICCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Mediante el comando *Design Combos* se seleccionan para el diseño las combinaciones de fuerza 1.2 CP + 1.6 CU y 1.4 CP.



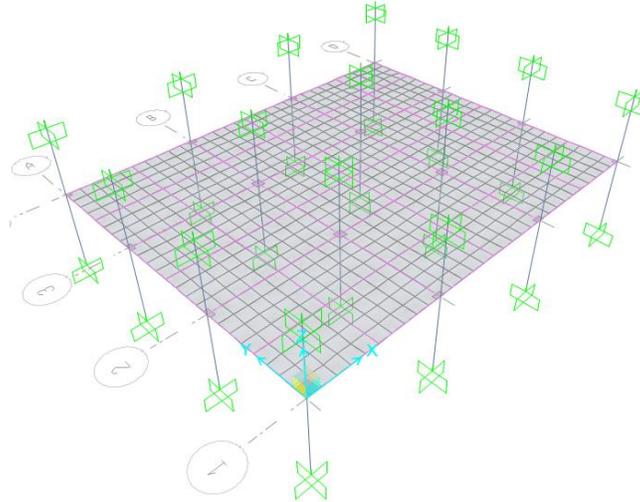
También se selecciona el material de refuerzo Ref-300 para el diseño basado en franjas y basado en elementos finitos mediante *Slab Design Overrides*.

Entonces ya está listo el modelo para correr el análisis y diseño.

El modelo quedó de la siguiente forma:

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

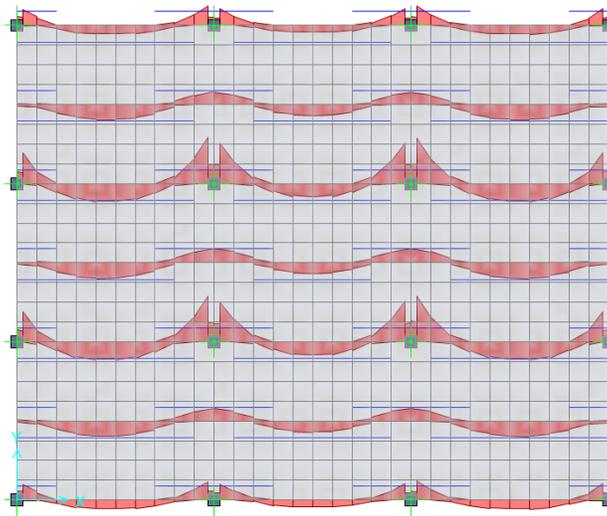
DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



- **Revisar los resultados.**

Se tratarán los resultados del diseño basado en franjas por su similitud con los métodos manuales.

Los resultados se pueden revisar de forma gráfica mediante los comandos *Show Strip Forces* y *Show Slab Design* y los valores se determinan ubicando el cursor en los puntos especificados.



La forma gráfica es muy útil para ver el comportamiento del refuerzo y los momentos pero para extraer los valores resulta más fácil y preciso la utilización de las tablas de resultados. Para mostrar las tablas de resultados se utilizó el comando *Show*

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
 "II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
 CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Tables y se seleccionó la tabla *Concrete Slab Design 01 - Flexural Data* de donde se tomaron los resultados en cada franja creada.

Strip Text	Station m	ConWidth m	FTopCombo Text	FTopMoment	FTopArea mm2	FTopAmin mm2	FBotCombo Text	FBotMoment	FBotArea mm2
MSA1	0	0,85	1.2 CP +1.6 CU	-16,0376	544,292	255	1.2 CP +1.6 CU	1,1851	38,732
MSA1	0,15	0,85	1.2 CP +1.6 CU	-28,4804	988,874	300	1.2 CP +1.6 CU	1,1707	38,259
MSA1	0,5	1	1.2 CP +1.6 CU	-15,8407	533,936	300	1.2 CP +1.6 CU	1,1361	37,11
MSA1	1	1	1.2 CP +1.6 CU	-0,3634	11,853	0	1.2 CP +1.6 CU	6,4401	212,685
MSA1	1,5	1		0	0	0	1.2 CP +1.6 CU	13,7661	461,868
MSA1	2	1		0	0	0	1.2 CP +1.6 CU	16,0971	542,887
MSA1	2,5	1		0	0	0	1.2 CP +1.6 CU	15,7138	529,506
MSA1	3	1		0	0	0	1.2 CP +1.6 CU	14,9789	503,913
MSA1	3,5	1		0	0	0	1.2 CP +1.6 CU	11,1415	371,668
MSA1	4	1	1.2 CP +1.6 CU	-5,24	172,616	300	1.2 CP +1.6 CU	3,4305	112,582
MSA1	4,5	1	1.2 CP +1.6 CU	-19,9485	678,705	300		0	0
MSA1	4,85	0,85	1.2 CP +1.6 CU	-33,4798	1177,125	300		0	0
MSA1	5	0,85	1.2 CP +1.6 CU	-15,0357	508,917	255		0	0
MSA1	5,15	0,85	1.2 CP +1.6 CU	-29,5923	1030,306	300		0	0
MSA1	5,5	1	1.2 CP +1.6 CU	-17,2554	583,476	300		0	0
MSA1	6	1	1.2 CP +1.6 CU	-5,1005	167,97	300	1.2 CP +1.6 CU	3,7225	122,241

Para dar la solución del ejercicio se confeccionaron tablas que muestran los resultados de momento y áreas de refuerzo obtenidos por el programa para cada franja de la losa.

	FRANJA COLUMNA (b = 1 m)		FRANJA INTERMEDIA (b = 2 m)	
	M (KN * m)	As (cm <sup>2</sup> )	M (KN * m)	As (cm <sup>2</sup> )
TRAMO EXTERIOR				
Negativo Exterior	29.93	10.43		
Positivo	16.27	5.49	28.61	9.61
Negativo Interior	33.48	11.77	23.78	7.94
TRAMO INTERIOR				
Positivo	12.66	4.24	20.97	6.98
Negativo	29.59	10.3	23.78	7.94

Resultados en la luz larga (dirección X) y franja exterior

	FRANJA COLUMNA (b = 2 m)		FRANJA INTERMEDIA (b = 2 m)	
	M (KN * m)	As (cm <sup>2</sup> )	M (KN * m)	As (cm <sup>2</sup> )
TRAMO EXTERIOR				

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Negativo Exterior	54.65	18.92		
Positivo	33.83	11.43	29.78	10.01
Negativo Interior	78.44	28	26.48	8.87
<b>TRAMO INTERIOR</b>				
Positivo	24.58	8.22	20.33	6.77
Negativo	70.13	24.76	26.48	8.87

*Resultados en la luz larga (dirección X) y franja interior*

	FRANJA COLUMNA (b = 1 m)		FRANJA INTERMEDIA (b = 3 m)	
	M (KN*m)	As (cm <sup>2</sup> )	M (KN*m)	As (cm <sup>2</sup> )
<b>TRAMO EXTERIOR</b>				
Negativo Exterior	21.19	8.25		
Positivo	12.37	4.69	28.76	10.82
Negativo Interior	26.24	10.38	13.23	6.44*
<b>TRAMO INTERIOR</b>				
Positivo	9.83	3.7	20.27	7.57
Negativo	24.77	9.75	13.23	6.44*

\* Área de acero mínimo

*Resultados en la luz corta (dirección Y) y franja exterior*

	FRANJA COLUMNA (b = 2 m)		FRANJA INTERMEDIA (b = 3 m)	
	M (KN*m)	As (cm <sup>2</sup> )	M (KN*m)	As (cm <sup>2</sup> )
<b>TRAMO EXTERIOR</b>				
Negativo Exterior	40.51	15.73		
Positivo	25.32	9.61	28.26	10.63
Negativo Interior	65.55	26.51	16.19	6.44*
<b>TRAMO INTERIOR</b>				
Positivo	18.34	6.89	16.92	6.44*
Negativo	61.09	24.51	16.19	6.44*

\* Área de acero mínimo

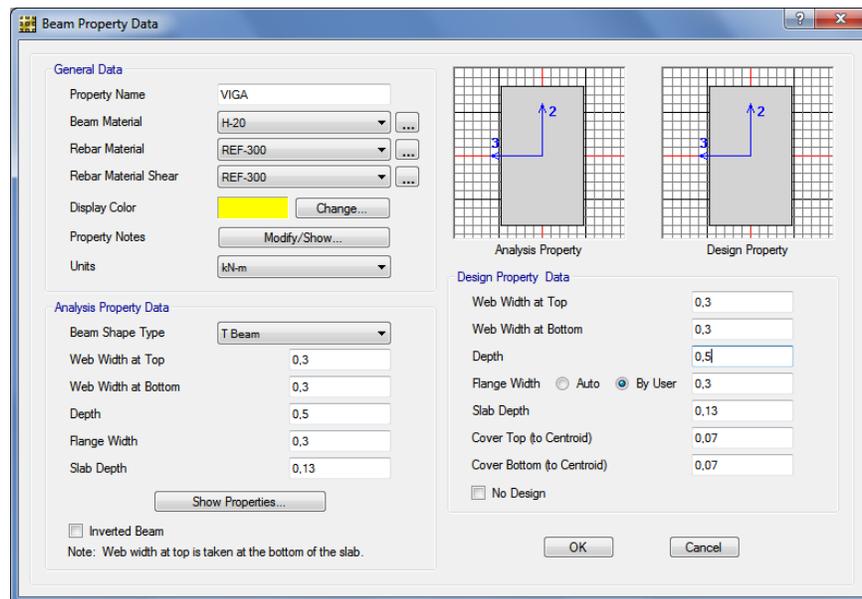
*Resultados en la luz corta (dirección Y) y franja interior*

- **Ejercicio 2.**

- **Definir propiedades.**

Definir propiedades de viga.

Se modificaron los datos de la propiedad de viga existente con los materiales H-20 y Ref-300, tipo de viga T ya que la losa se encuentra unida a la viga en su parte superior y esto funciona como viga T, sección de 0.5x0.3m, espesor de losa de 0.13m y otros datos como se muestra en la ventana *Column Property Data*.



- **Definir combinaciones de carga.**

En cuanto a los patrones de carga y casos de carga no es necesario definirlos ya que se va a trabajar con los que el programa tiene creados por defecto *DEAD* y *LIVE*.

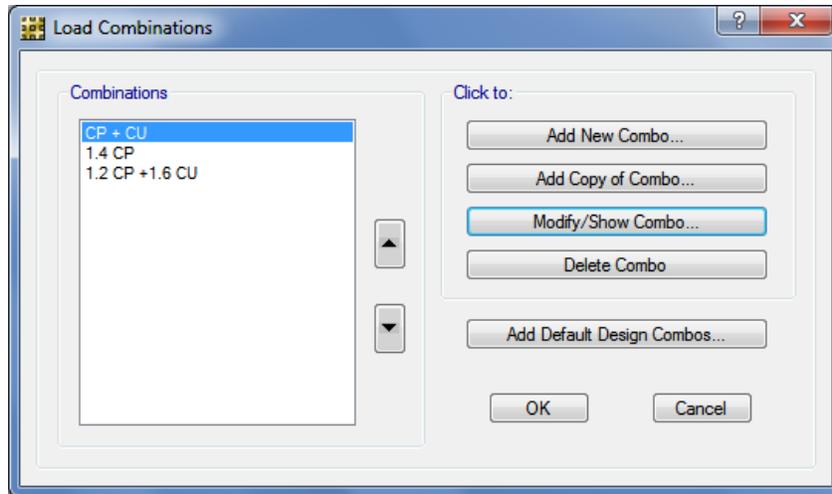
En este paso se van a definir tres combinaciones de carga de tipo *Linear Add* introduciendo los factores de escala correspondientes a cada carga.

CP + CU es una combinación de servicio de larga duración que se va a utilizar para analizar los desplazamientos del nodo central en el panel de losa más deformado para la discretización.

1.4CP y 1.2CP + 1.6CU son combinaciones de fuerza utilizadas para el diseño.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



- **Dibujar objetos.**

Dibujar la losa.

La losa fue dibujada con el comando Draw Rectangular Slabs/Areas y discretizada según los resultados del análisis de sensibilidad.

Se modeló la estructura con diferentes cantidades de elementos y se midió el desplazamiento en el nodo central del panel de la losa que más se deformó. Los resultados se muestran en la tabla.

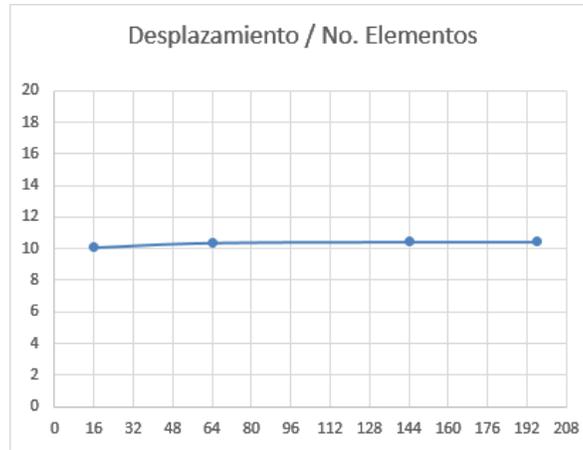
En una luz de 6 m x 6 m		
Divisiones	No. de Elementos	Desplazamiento del Nodo Central
4 x 4	16	10,1
8 x 8	64	10,39
<b><u>12 x 12</u></b>	<b><u>144</u></b>	<b><u>10,45</u></b>
14 x 14	256	10,45

Desplazamiento y cantidad de elementos en el panel crítico

Los resultados de la tabla fueron graficados y según el comportamiento de la curva se decidió que cada panel de losa entre vigas contara con 144 elementos en 12x12 divisiones, lo que se traduce a elementos cuadrados de 0.5x0.5m.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



La losa es discretizada con el comando *Divide Areas* del submenú *Edit Areas*. También se usa la opción de *Malla de Losa Automática* de tamaño máximo aproximado de 0.5m.

Dibujar las franjas de diseño.

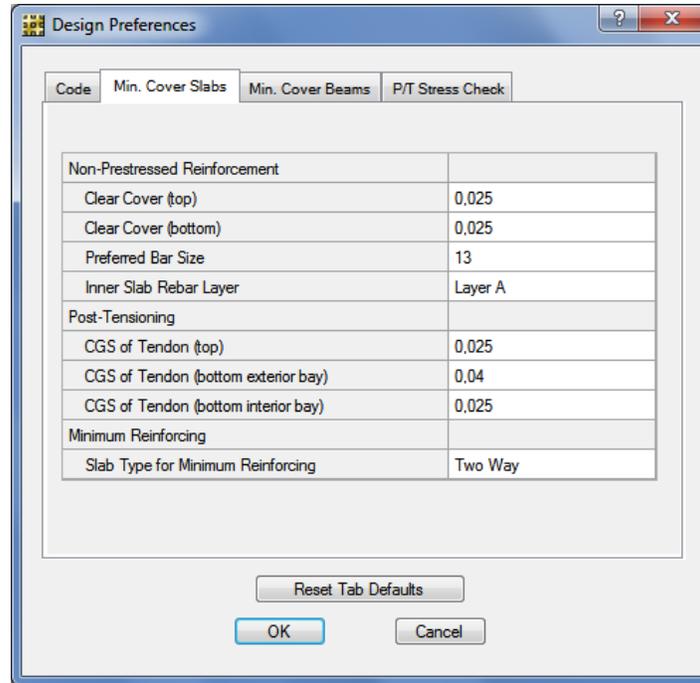
Mediante *Draw Design Strip* Se dibujan las franjas de diseño correspondientes a franjas de columna y franjas intermedias. En las dos direcciones las franjas serán de 3m de ancho (1.5m a cada lado de la línea de franja) excepto la de columna exterior que será de 1.5m (a un solo lado de la línea de franja). El *Layer A* será para las franjas en la dirección de X y el *Layer B* para la dirección de Y.

- **Correr el análisis y diseño.**

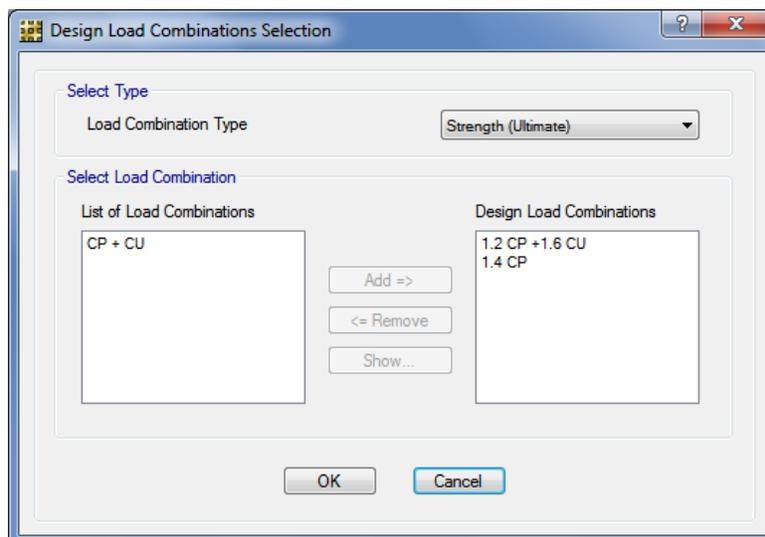
Antes de correr el programa mediante el comando *Design Preferences* hay que definir las preferencias de diseño donde debe estar seleccionado el Código de diseño ACI 318-08. Se introduce el valor de recubrimiento de 0.025m para la losa, el tamaño de barra preferido de 13, se define el refuerzo en la dirección de X (*layer A*) como interior por ser la dirección menos crítica, y tipo de losa en dos direcciones.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Mediante el comando *Design Combos* se seleccionan para el diseño las combinaciones de fuerza  $1.2 CP + 1.6 CU$  y  $1.4 CP$ .



También se selecciona el material de refuerzo Ref-300 para el diseño basado en franjas y basado en elementos finitos mediante *Slab Design Overrides*.

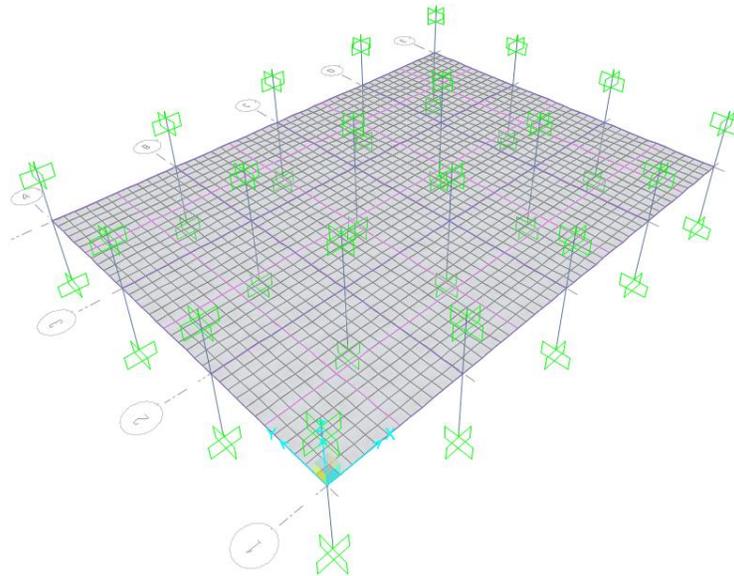
Entonces ya está listo el modelo para correr el análisis y diseño.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



El modelo quedó de la siguiente forma:



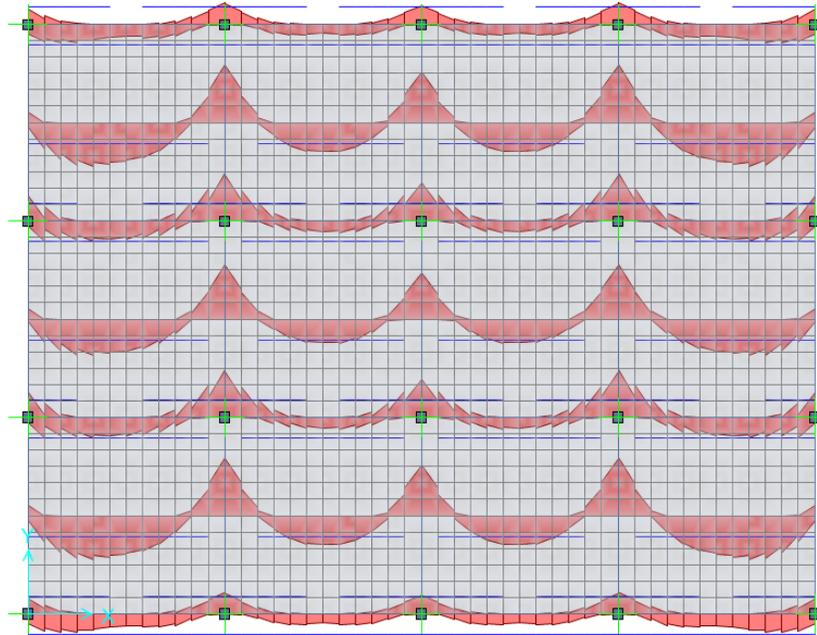
- **Revisar los resultados.**

Se tratarán los resultados del diseño basado en franjas por su similitud con varios métodos manuales.

Los resultados se pueden revisar de forma gráfica mediante los comandos *Show Strip Forces* y *Show Slab Design* y los valores se determinan ubicando el cursor en los puntos especificados.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
 "II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
 CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



La forma gráfica es muy útil para ver el comportamiento del refuerzo y los momentos pero para extraer los valores resulta más fácil y preciso la utilización de las tablas de resultados. Para mostrar las tablas de resultados se utilizó el comando *Show Tables* y se seleccionó la tabla *Concrete Slab Design 01 - Flexural Data* de donde se tomaron los resultados en cada franja creada.

Strip Text	Station m	ConcWidth m	FTopCombo Text	FTopMoment	FTopArea mm2	FTopAmin mm2	FBotCombo Text	FBotMoment	FBotArea mm2
MSA1	0	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-17,5329	799,233	390	1.2 CP + 1.6 CU	10,9637	488,791
MSA1	0,5	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-10,042	446,361	0	1.2 CP + 1.6 CU	19,6955	904,727
MSA1	1	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-4,4561	194,61	0	1.2 CP + 1.6 CU	21,0598	972,178
MSA1	1,5	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-1,3232	57,244	0	1.2 CP + 1.6 CU	20,4431	941,598
MSA1	2	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-0,3018	13,016	0	1.2 CP + 1.6 CU	18,4897	845,696
MSA1	2,5	1,5		0	0	0	1.2 CP + 1.6 CU	15,5157	702,356
MSA1	3	1,5		0	0	0	1.2 CP + 1.6 CU	13,8683	624,276
MSA1	3,5	1,5		0	0	0	1.2 CP + 1.6 CU	15,5488	703,933
MSA1	4	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-1,0544	45,576	0	1.2 CP + 1.6 CU	15,577	705,276
MSA1	4,5	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-3,5336	153,886	0	1.2 CP + 1.6 CU	13,4458	604,399
MSA1	5	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-8,8372	391,285	390	1.2 CP + 1.6 CU	7,8828	347,967
MSA1	5,5	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-16,5647	752,555	390	1.2 CP + 1.6 CU	1,4991	64,886
MSA1	6	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-24,1349	1126,92	390		0	0
MSA1	6,5	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-15,5032	701,758	390	1.2 CP + 1.6 CU	1,1989	51,848
MSA1	7	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-7,5346	332,229	390	1.2 CP + 1.6 CU	5,5913	245,048
MSA1	7,5	1,5	1.2 CP + 1.6 CU	-2,8548	124,07	0	1.2 CP + 1.6 CU	10,7845	480,52

Para dar la solución del ejercicio se confeccionaron tablas que muestran los resultados de momento y áreas de refuerzo obtenidos por el programa para cada

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



franja de la losa. Solo se representaron los resultados de los paneles de franjas interiores en las dos direcciones.

	FRANJA COLUMNA (b = 3 m)		FRANJA INTERMEDIA (b = 3 m)	
	M (KN*m)	As (cm <sup>2</sup> )	M (KN*m)	As (cm <sup>2</sup> )
<b>TRAMO EXTERIOR</b>				
Negativo Exterior	28.45	12.82	12.75	5.6
Positivo	23.54	10.52	41.23	19
Negativo Interior	53.26	25.1	60.05	28.69
<b>TRAMO INTERIOR</b>				
Positivo	13.92	6.13	27.81	12.52
Negativo	53.26	25.1	60.05	28.69

*Resultados en el tramo largo (dirección X) y franja interior*

	FRANJA COLUMNA (b = 3 m)		FRANJA INTERMEDIA (b = 3 m)	
	M (KN*m)	As (cm <sup>2</sup> )	M (KN*m)	As (cm <sup>2</sup> )
<b>TRAMO EXTERIOR</b>				
Negativo Exterior	28.82	11.19	12.8	5.54*
Positivo	23.74	9.16	42	16.59
Negativo Interior	52.71	21.12	58.73	23.73
<b>TRAMO INTERIOR</b>				
Positivo	11.99	5.54*	26.27	10.17
Negativo	52.71	21.12	58.73	23.73

\* Área de acero mínimo

*Resultados en el tramo corto (dirección Y) y franja interior*

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO:**

La economía de este trabajo se basa no solo en el ahorro de tiempo de proyecto, con el empleo del SAFE, a esto, se debe adicionar la interacción con el programa y el análisis apresurado de diversas variantes para obtener un diseño estructural de las losas planas lo más óptimo posible en comparación con los métodos manuales, analizando tipo de uniones, materiales y cargas.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**CONCLUSIONES:**

1. Los programas profesionales basados en el método de elementos finitos para el diseño de losas planas son ampliamente utilizados en el mundo, aunque en Cuba ya están en explotación todavía se carece de información para el uso adecuado en el diseño de losas.
2. La comparación entre los resultados obtenidos por SAFE y los métodos manuales del ACI, Diseño Directo y Pórtico Equivalente, confirman la validez de la utilización de dicho programa para diseñar losas.
3. Entre SAFE y los métodos manuales del ACI (MDD y PE) en general existe buena semejanza entre los resultados siendo el refuerzo superior de la franja de columna el más discordante. Se llegaron a registrar en áreas de acero diferencias numéricas de 60%, 10%, 42% y 41%, siendo todos correspondientes al refuerzo superior. Esto se traduce a diferencias, para barras N° 13, de 6 barras en 3m, 2 barras en 3m, 3 barras en 1m y 6 barras en 2m respectivamente, siendo siempre mayor en estos casos los resultados de SAFE.
4. El SAFE permite realizar el diseño de una forma más completa brindando varias formas de salida de resultados y se adapta a la cultura y reglamentación del país.
5. De las conclusiones anteriores se deriva que el SAFE es un software apropiado para el diseño de losas planas en Cuba.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**RECOMENDACIONES:**

1. Introducir la enseñanza del diseño de losas planas a través del uso de programas profesionales basados en el método de elementos finitos en la docencia de la carrera de Ingeniería Civil
  - En el pregrado como parte de las asignaturas optativas de Diseño Automatizado de Estructuras.
  - En el postgrado en asignaturas de Diseño Estructural.
  - En la Maestría de Estructuras en las asignaturas Diseño Estructural y Proyecto II.
2. Montar este proceso de enseñanza y aprendizaje en la explotación del SAFE para el diseño de losas planas, por las ventajas demostradas en el trabajo.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**BIBLIOGRAFÍA:**

1. ACI, 2008. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. ACI 318S-08. USA.
2. NC 450, 2006. Edificaciones - Factores de Carga o Ponderación Combinaciones. NC 450:2006. Ciudad de La Habana, Cuba.
3. NC XX, 1999. Construcciones de Hormigón. Requisitos Generales para el Diseño y Construcción de las Estructuras de Hormigón. NC XX: 1999. Ciudad de La Habana, Cuba.
4. BELTRÁN, F. 1999. Teoría General del Método de los Elementos Finitos. In: DEPARTAMENTO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL Y CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES - ETS INGENIEROS INDUSTRIALES MADRID (ed.).
5. CARNICERO, A. accesado en febrero de 2014. Introducción al Método de los Elementos Finitos.
6. CELIGÜETA LIZARZA, J. T. 2011. Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural. In: UNICOPIA C.B.M. LARDIZÁBAL 13 20018 SAN SEBASTIÁN - GIPUZKOA (ed.).
7. CUBILLOS, A. accesado en febrero de 2014. Introducción al Método de los Elementos Finitos. In: UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ (ed.).
8. ESTUDIOS Y SOLUCIONES INFORMÁTICAS DE INGENIERÍA, S. L. accesado en febrero de 2014. STAAD.Pro El Software nº1 en el mundo para el diseño y análisis de estructuras [Online]. Available: <http://www.esiisl.com/estruc/staadpro.htm>.
9. FIGUEROA CASTELLÓN, O. & PINO RODRÍGUEZ, M. L. accesado en febrero de 2014. Modelación Mecánica de Estructuras Isostáticas. In: UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS (ed.).

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



10. HERNÁNDEZ SANTANA, J. J. & HERNÁNDEZ CANEIRO, J. A. 2010. Hormigón Estructural. Diseño por Estados Límites (Parte I).
11. HERNÁNDEZ SANTANA, J. J. & HERNÁNDEZ CANEIRO, J. A. 2012. Hormigón Estructural. Diseño por Estados Límites (Parte II).
12. MANUAL-SAFE 2008a. Defining the Work Flow. *In*: COMPUTERS AND STRUCTURES INC (ed.) 12.0.0 ed.
13. MANUAL-SAFE 2008b. Key Features and Terminology. *In*: COMPUTERS AND STRUCTURES INC (ed.) 12.0.0 ed.
14. MANUAL-SAFE 2008c. Tutorial. *In*: COMPUTERS AND STRUCTURES INC (ed.) 12.0.0 ed.
15. MANUAL-STAAD.PRO 2006. STAAD.Pro Online Documentation.
16. MARISTANY CARRERAS, J. 1993. Cálculo en rotura de losas fungiformes. *In*: CATALUNYA, U. P. D. (ed.).
17. NILSON, A. H. 2001. Diseño de Estructuras de Concreto. *In*: MCGRAW - HILL INTERAMERICANA S.A. SANTAFÉ DE BOGOTÁ (ed.) duodécima ed.
18. PCA 2002. Sistemas de losas que trabajan en dos direcciones. *In*: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (ed.) *Notas sobre ACI 318-02 Requisitos para Hormigón Estructural con Ejemplos de Diseño.*
19. PÉREZ VARCÁRCEL, J. accesado en febrero de 2014. Introducción al Método de los Elementos Finitos. *In*: E.T.S.A LA CORUÑA (ed.).
20. RICARDO LLOPIZ, C. accesado en febrero de 2014. Diseño y Análisis de Losas de Hormigón Armado utilizando Métodos Plásticos. *In*: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO MENDOZA ARGENTINA (ed.) *Hormigón II.*
21. ROMO PROAÑO, M. accesado en febrero de 2014. Diseño de Losas de Hormigón Armado. *In*: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO ECUADOR (ed.) *Temas de Hormigón Armado.*

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCIUCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

