

*Universidad de Matanzas*  
*Sede “Camilo Cienfuegos”*  
*Facultad de Ciencias Técnicas*



**MODELACIÓN DE LAS TENSIONES EN LAS ZONAS  
CERCANAS A LOS GANCHOS DE IZAJE EN LAS LOSAS  
DEL SISTEMA GP-IV**

**Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil**

**Autora: Wilma Sánchez Pérez**

**Tutor: Ing. Alejandro Hernández Hernández**

*Matanzas, 2018*

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declaro que soy la única autora de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

## **AGRADECIMIENTOS:**

Gracias a mi familia y amigos por haberme apoyado para lograr llegar donde estoy.

## RESUMEN

El sistema prefabricado es una de las mejores soluciones a los problemas de viviendas en Cuba hoy día; para esto es necesario combinar una serie de factores logrando así un balance entre calidad y cantidad, lo que en realidad no sucede, ya que en la mayoría de las producciones ocurren errores como es el caso de investigación, en el cual se modela y analiza el comportamiento de una losa GP IVa la hora de su izaje con mayor énfasis en las zonas cercanas al gancho de izaje ya que es en esta área donde surgen fisuras, pérdida de secciones y en algunos casos desprendimiento del gancho desaprovechando la losa y generando pérdidas a la economía. Después de consultar diversas bibliografías y con la realización del modelo y las pruebas de cargas en el *software* Sap 2000 se muestran resultados con los que se puede concluir que: con las dosificaciones de los materiales para conformar el hormigón y el tipo de acero que propone el proyecto, tan solo aplicándole el diez por ciento de la carga que debe ejercer la grúa a la hora del izaje a losa ya sufre fracturas en las zonas mas cercanas a los ganchos y generando también toda una serie de problemas anteriormente expuestos.

**Palabras claves:** Prefabricado; Modelación; Losa GP IV; Izaje; Gancho de izaje.

## **ABSTRACT**

The prefabricated system is one of the best solutions to house construction problems in Cuba nowadays; for this it is necessary to combine a series of factors thus achieving a balance between quality and quantity, which in reality does not happen, since in most productions errors occur such as the case of research, in which the element is modeled and analyzed the behavior of a GP IV slab at the time of its lifting with greater emphasis in the areas close to the lifting hook since it is in this area where cracks arise, loss of sections and in some cases detachment of the hook, wasting the slab and generating losses to the economy. After consulting various bibliographies and carrying out the model and load tests in the Sap 2000 software, results are shown with which it can be concluded that: with the dosages of the materials to form the concrete and the type of steel proposed by the project, only applying ten percent of the load that must be exercised by the crane at the time of lifting to the slab already suffers fractures in the areas closest to the hooks and also generating a whole series of previously exposed problems.

**Keywords:** Prefabricated; Modeling; Slab GP IV; Izaje; Lifting hook.

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	1
Capítulo 1: "Marco teórico Referencial de la investigación" .....	9
1.1 Prefabricación .....	9
1.1.1 Generalidades.....	9
1.1.2 Ventajas y Desventajas de la prefabricación: .....	9
1.2. Sistema GP-IV .....	11
1.3. Izaje de elementos prefabricados. ....	13
1.3.1. Clasificación de los dispositivos de izaje.....	14
1.3.2. Características de diferentes dispositivos de izaje: .....	14
1.3.4Ganchos.....	18
1.4. Patologías constructivas en las losas, conceptos y generalidades.....	21
1.4.1 Causas desencadenantes de patologías en las losas. ....	21
1.4.2 Desconchado, concepto y generalidades.....	23
1.5. Modelación estructural.....	24
1.5.1 Generalidades.....	24
1.5.2. Aspectos necesarios para la modelación:.....	26
1.5.3. Clasificación de elementos a modelar: .....	26
1.5.4. Etapas de un proyecto de modelación computacional: .....	27
1.5.5 Tipos de modelación .....	29
1.5.6 Ventajas y desventajas de la modelación computacional: .....	29
1.6 Método de elementos finitos .....	30
1.6.1 Generalidades.....	30
1.6.2 Etapas para solucionar problemas mediante MEF .....	31
1.6.3 Importancia del MEF .....	32
1.6.4 Tipos de Elemento Finito. EF tipo Shell.....	32
1.7. <i>Software</i> de cálculo de estructuras .....	33
1.7.1 Generalidades.....	33
1.7.2 SAP. Herramienta principal a utilizar para los cálculos del elemento.....	34
1.8 Conclusiones Parciales: .....	34
Capítulo 2: "Modelación de las tensiones cercanas a los ganchos de izaje de las losas GP IV" .....	35
2.1 Geometría.....	35
2.2 Condiciones de apoyo .....	37
2.3 Materiales.....	37
2.4 Cargas .....	41
2.4.1 Presiones en el despegue.....	43
2.5 Mallado .....	46
2.5.1 Tipos de elementos .....	46
2.5.2 Densidad del mallado.....	46
2.6 Calibración del modelo .....	50
Conclusiones parciales.....	54
Capítulo 3: Análisis de los resultados de las tensiones obtenidas mediante la modelación. ....	55

3. Pruebas de cargas al hormigón en determinados puntos: .....	55
Conclusiones Parciales.....	65
Conclusiones .....	66
Recomendaciones .....	67
Bibliografía .....	68

## INTRODUCCIÓN

A medida que se desarrolla la sociedad surgen nuevas problemáticas las cuales se deben solucionar en el menor tiempo posible, para esto es necesario implementar nuevas técnicas o renovar las ya existentes adaptándolas al nivel de desarrollo actual. La modelación estructural es una de ellas, esta se basa en la traducción de un problema físico a una forma matemática, con el objetivo de dar una idea inmediata sobre cómo se definen las variables, los objetivos y las limitaciones en diferentes situaciones, mostrando la conducta real de la estructura a ser construida.

Por ello este proceso conlleva a la toma de decisiones respecto a los siguientes aspectos: La geometría de la estructura, las propiedades de los materiales que la constituyen, la magnitud y ubicación de cargas permanentes y variables, los tipos de elementos que la pueden representar con mayor fidelidad, las conexiones internas entre estos elementos, los apoyos externos y la interacción de la estructura con el medio circundante.

Con el paso de los años y el surgimiento de la era digital esta no quedaría fuera ya que desde los años 40 se vienen implementando técnicas de modelación digital en varias ramas de la ciencia, pero adquieren auge a partir de los años 80. Ellas han sido empleadas de forma más intensa en unos campos que en otros, cuestión perfectamente lógica, ya que la modelación digital frecuentemente es el único método de investigación y análisis disponible para fenómenos y procesos que no pueden ser reproducidos o experimentados en la realidad, o que su costo y peligrosidad hacen la experimentación real impracticable, conjuntamente con la connotación de obtener alguna solución aproximada. En las ramas o campos donde, a principios de los años 90, se había alcanzado un desarrollo notable, se impuso la necesidad de desarrollar una teoría general de ella. En efecto, hasta ese momento la modelación computacional se había empleado de forma bastante improvisada e independiente, sin una base metodológica y científica general suficientemente estructurada. Esto trajo como consecuencia un efecto dañino, costoso y limitante de la efectividad de estas técnicas: la casi total ausencia de la interoperabilidad y la reusabilidad de las Modelaciones y Simulaciones Computacionales existentes. La creación y desarrollo de estas como rama científica desde esos años contribuyó, no

solamente a solucionar el efecto antes mencionado, sino a aumentar la rigurosidad, correspondencia con los objetivos deseados, credibilidad y efectividad de la modelación digital en general. Hoy en día este proceso sin duda alguna es muy beneficioso y va a redundar con mayor eficiencia y precisión en el diseño, siempre y cuando se empleen con cordura y con conocimientos adecuados del programa.

Buena parte del tiempo de un proyectista en una oficina de diseño estructural se dedica a la realización de cálculos rutinarios y a la preparación de detalles más o menos estandarizados. Al recurrir a procedimientos automatizados de cálculo se libera al proyectista de estas tareas y se le permite enfocar su atención a problemas fundamentales de la concepción de la estructura y de la solución de sus aspectos básicos, así como la revisión de los resultados.

Por otra parte, la prefabricación de elementos componentes y de estructuras se concibió en muchos lugares del mundo para dar respuesta no solamente rápida sino también masiva, a la necesidad constructiva existente en esos años bajo el concepto no de utilización de tecnología apropiada sino de utilización apropiada de la tecnología. Principalmente en el este europeo y extrapolado desde los años 60 hacia países ubicados en otras latitudes como lo fue por ejemplo el caso de Cuba, con este sistema se logra una gran agilización de la construcción y plazos muy breves. En esos años la industrialización se implantaba frente al proyectista como un instrumento económico de construcción, y el sistema constructivo como incompatible con la arquitectura. El hecho de tratar de modificar la manera de ejecutar los procesos, se asimilaba según los técnicos responsables de la época, como anular su competitividad. Más allá de éstos y otros inconvenientes, arquitectos e ingenieros actuaron dominando las técnicas de los sistemas y los mismos mejoraron notoriamente.

La prefabricación basada en sistemas cerrados de viviendas intento evolucionar, buscando una producción con mayor variedad y flexibilidad. Este hecho dio lugar más tarde a los sistemas de prefabricación abierta. La evolución que ha sufrido esta técnica a lo largo de todo un siglo, hace posible que, en la actualidad, se encuentran una extensa gama de posibilidades en las formas y tamaños de los elementos que se quieran construir,

que de acuerdo a su finalidad pueden ser de hormigón armado o simple. Es importante destacar el aporte que ha significado el fabricar este tipo de elementos, ya que ha permitido incorporar y desarrollar las técnicas de hormigón pretensado y postensado. A pesar de la incorporación de estas nuevas tecnologías a la esfera de la construcción a nivel mundial, en Cuba la producción de viviendas con componentes prefabricados no tuvo el impacto masivo como en Europa. No existía infraestructura para la producción de grandes paneles, aunque existieron pequeñas fábricas para producir componentes de pequeño formato (solución de paredes Novoa) y se produjo elementos prefabricados para proyectos específicos. En la década de los años 60 se plantea la necesidad de dar respuesta al déficit habitacional existente en Cuba, dando prioridad a la eliminación del uso de la madera necesario para las construcciones tradicionales y reducir la mano de obra especializada. En esta primera etapa se caracterizó por la producción de componentes prefabricados de pequeño formato. Aunque estas soluciones contribuyeron al desarrollo de viviendas con otra óptica (poco consumo de madera, ahorro de recursos en general) trajo aparejado grandes surtidos de componentes prefabricados y baja productividad por este fraccionamiento. El comienzo de la década de los años 70 se caracteriza por la búsqueda de soluciones constructivas al problema de la vivienda ya que se realiza:

- La consolidación de la base técnico material.
- Desarrollo de la mecanización, la industrialización de la construcción y la prefabricación.
- La definición de las tipologías de los bloques y las unidades habitacionales.
- La experimentación de nuevos sistemas constructivos que permitan la prefabricación abierta.
- La integración entre sistemas de alta tecnología y sistemas artesanales.
- La presencia de la participación popular en la solución al tema de la vivienda.
- El impulso a la autoconstrucción en las nuevas comunidades rurales.

- El cuestionamiento a las soluciones urbanísticas de bloques aisladas y el estudio de conjuntos integrados al tejido urbano.

En la provincia de Matanzas las unidades o industrias que producen elementos prefabricados son de las entidades decisivas de la construcción, pues las principales obras que se ejecutan hoy dependen de sus producciones. Los intensos años de período especial que afectaron casi todas las ramas de la economía nacional, han dejado su huella en el deterioro de la tecnología y la ausencia de un mantenimiento tecnológico oportuno y eficiente en las mismas.

Planteando así la **Situación Problemática** existente en el caso de estudio de los ganchos de izaje de las losas prefabricadas GP-IV, donde las tensiones que se crean a la hora de efectuarse el izaje superan las soportadas por la losa, fisurándose las áreas cercanas a los ganchos, perdiendo secciones y en el peor de los casos el desprendimiento total del mismo del elemento, tronchando este su funcionalidad por completo.

Por tanto, se evidencia como **problema científico**: la necesidad de modelar y analizar minuciosamente las tensiones creadas en las losas prefabricadas GP IV a la hora de su izaje.

Estableciendo ante la situación existente la **hipótesis** que mediante el análisis y modelación de los elementos en cuestión; con la ayuda de un *software* de cálculo se podría realizar el análisis de las tensiones en las zonas cercanas a los elementos de izaje, logrando así una mejor comprensión del fenómeno que produce daños en los elementos; para posteriormente poder eliminar o reducir gradualmente los daños de los elementos; para esto se debe definir como **objetivo general**: Analizar mediante la modelación de la losa GP-IV el comportamiento de las tensiones en las zonas cercanas a los ganchos de izaje del elemento. Para alcanzar la realización del mismo se trazan **objetivos específicos**:

- Analizar el estado del arte referente a: modelación estructural, elementos prefabricados, tensiones en elementos planos, método de elementos finitos y *software* de cálculo.

- Realizar la modelación de una losa prefabricada GP IV en el *software* de cálculo SAP2000.
- Analizar los resultados obtenidos de la modelación estructural (comportamiento de las tensiones en las zonas cercanas a los ganchos de izaje).

**Variable dependiente:**

- Tensiones en las zonas cercanas a los ganchos de izaje de una losa prefabricada GP IV

**Variable independiente:**

- Características del hormigón y el acero
- Tipología de la estructura
- Cargas aplicadas
- Características de los ganchos

**Pertinencia:** El tema resulta de gran interés para muchas entidades ya que es de gran importancia para la construcción en Cuba colaborando con el aumento de la realización de estas losas prefabricadas que tan importante son en la misma ya que ofrecen una solución al tema de la vivienda en nuestro país, siendo este un método constructivo fácil y económico.

**Las tareas principales de la investigación** están estrechamente relacionadas con los objetivos específicos ya que estos trazan el camino, las cuales son:

- El análisis del estado del arte referido a la modelación estructural tensiones en elementos planos método de elementos finitos y *software* de cálculo.
- La realización la modelación de una losa prefabricada GP IV en el *software* de cálculo SAP.

- El análisis de las tensiones en las zonas cercanas a los ganchos de izaje en las losas del sistema GP IV.

### **Métodos Científicos:**

Analítico-sintético. Establece la relación recíproca entre el análisis y la síntesis. Analizar significa desmembrar en sus partes constituyentes a un objeto o fenómeno de la realidad objetiva para su mejor comprensión, mientras que la síntesis se refiere a la integración nuevamente de sus partes, en un proceso inverso. Todo lo referido ocurre a nivel de pensamiento, posibilitando una interpretación más acabada de tales objetos y fenómenos en todas sus partes e integración.

Inductivo-deductivo. Mediante la inducción se lleva a cabo un proceso donde el pensamiento va de las partes que constituyen un objeto o fenómeno hasta el todo, mientras que la deducción es el camino contrario. Es así como inducción quiere decir ir de las partes al todo y deducción significa ir del todo a las partes. A nivel del pensamiento este método posibilita una mejor comprensión e interpretación del objeto de investigación con el cual se trabaja.

Histórico-lógico. Se refiere a la historicidad y a la lógica implícita en la investigación, sobre todo a la que se corresponde con el problema científico objeto de estudio. Este método posibilita emprender un trabajo basado en la sistematicidad que favorece el ordenamiento y la comprensión del texto científico y la propia lógica del fundamento en el cual este se sustenta.

Hipotético-deductivo. Hipótesis y deducciones constituyen una unión inseparable que acompaña a toda investigación. La hipótesis es la respuesta anticipada del problema científico que se aborda en la investigación, la cual se logra a través de deducciones. Este método, aunque no se excluye de ningún tipo de investigación científica, por lo general se declara únicamente cuando se emplea una hipótesis como parte del diseño teórico del trabajo científico que se realiza.

Modelación. Se refiere a la utilización de un modelo que imita a la realidad a una escala por lo general reducida (modelo icónico), o que entra en analogía con esa realidad

(modelo analógico), existiendo además los llamados modelos teóricos. En la actualidad es posible emplear modelos analógicos a partir de las posibilidades que ofrecen las computadoras y modelos teóricos a partir de comprobaciones matemáticas. Con tales modelos se trabaja y se experimenta, por lo que los mismos sustituyen la labor directa del investigador sobre la realidad que es objeto de investigación. Muchos especialistas consideran que también son modelos aquellas proyecciones que anteceden un resultado, sirviendo de punto de partida para su elaboración definitiva.

Enfoque sistémico. Se refiere a la concepción sistémica que se adopta en la investigación al considerar a los objetos y fenómenos de la realidad objetiva como un todo, integrado por partes constituyentes que se encuentran interrelacionadas estructural y funcionalmente. Ello supone que un cambio en una de las partes del todo, repercute en sus otras partes y en el propio sistema como un todo. Para algunos autores este método debe llamarse sistémico estructural.

**El Trabajo de Diploma se estructura de la siguiente forma:**

- Resumen / Abstract.
- Índice.
- Introducción:

En la cual se traza una situación problemática y se define el problema científico, objetivo general, objetivos específicos, la hipótesis y los métodos a seguir para la realización de la investigación.

- Capítulo 1: "Marco teórico Referencial de la investigación".

Se realiza un análisis del estado del arte principalmente de los relacionados con la modelación de estructuras y los elementos prefabricados de la construcción.

- Capítulo 2: "Modelación de las tensiones cercanas a los ganchos de izaje de las losas GP IV.

Mediante la utilización de un *software* de cálculo se modela el comportamiento de la losa a la hora de realizar su izaje y se realiza el refinamiento o calibración del modelo empleado.

- Capítulo 3: Análisis de los datos obtenidos mediante la investigación.

Se analizan y dan a conocer los resultados obtenidos con la investigación (tensiones en las zonas cercanas a los ganchos de izaje).

- Conclusiones.

Partiendo de los objetivos trazados para la investigación, y la situación Problemática; aplicando los métodos de la investigación se muestran los resultados obtenidos arribando a las conclusiones que respondan a dichos objetivos.

- Recomendaciones.

Se sugiere tanto a la Universidad de Matanzas como a las otras empresas interesadas que continúen con esta investigación ya que esto conlleva a un mejor desarrollo de las construcciones en nuestro país y un ahorro gradual tanto en tiempo como en valores económicos.

- Bibliografía.
- Anexos.

## **CAPÍTULO 1: "MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN".**

Se realiza un análisis de las ventajas y desventajas de las técnicas de prefabricación, en especial del sistema constructivo GP-IV, se aborda el tema de los elementos de izaje y sobre todo de la modelación estructural, los avances que ha permitido y aspectos a tener en cuenta en el proceso de elaboración de modelos estructurales.

### **1.1 Prefabricación**

#### **1.1.1 Generalidades**

Producción en un lugar de la obra o fuera de ella de los elementos componentes de una estructura, que después serán transportados, izados y colocados en su lugar definitivo de manera que conformen una estructura completa de la edificación proyectada.

Atendiendo a sus características se puede encontrar de dos formas prefabricación abierta y prefabricación cerrada, ejemplo de esta última se encuentran los sistemas utilizados en nuestro país los cuales son Girón y GP-IV, siendo este último el que se analiza en el presente estudio.

#### **1.1.2 Ventajas y Desventajas de la prefabricación:**

##### Ventajas:

El uso repetido de moldes; un molde adecuadamente diseñado y construido puede ser utilizado varias veces para la producción de elementos y pudiera ser incluso, preparado, para servir al mismo tiempo para la producción de elementos de diferentes dimensiones, se puede lograr un aumento de la producción y calidad de los elementos ya que se ha demostrado que con la técnica de prefabricación la productividad del trabajo aumenta de 8 a 10 veces, y con ellos la producción, en comparación con otros métodos tradicionales.(Maspons, 1987)

Propicia el ensayo de elementos ya producidos permitiendo la rectificación de cualquier falla que se detecte, con lo cual se asegura la calidad de los elementos producidos y con

esto, de la obra en su conjunto y posibilita el uso de estructuras desmontables. (Maspons, 1987)

Esta técnica hace posible concebir y diseñar estructuras con características de provisionalidad a través de una adecuada concepción, diseño y ejecución de las juntas y uniones entre elementos, que propicie el anterior desmontaje de toda la estructura sin daños para esta, una vez que hubiere cumplido su función en el sitio en que haya sido establecida y disminuye considerablemente la retracción.(Maspons, 1987)

En una construcción tradicional insitu, la edificación resultante ve limitada su longitud debido a las retracciones a que se ve sometida producto de la temperatura, de aquí que haya que producir cortes o juntas de expansión en la misma. En el caso de la técnica de prefabricación, al construir la edificación, a través de los elementos componentes, se producen inevitablemente las juntas, las que contribuyen muy favorablemente a la toma de las retracciones de la edificación producto de la temperatura, posibilitando lograr edificaciones de mayor longitud.(Maspons, 1987)

#### Desventajas:

El difícil logro del monolitismo completo de la estructura. En la construcción prefabricada las juntas constituyen sus puntos más vulnerables y complejos de solucionar satisfactoriamente, sobre todo cuando se pretende lograr juntas rígidas, las que además no siempre resultan económicamente viables. Las juntas del tipo articuladas son las más comúnmente utilizadas tanto por la relativa sencillez de ejecución como por resultar más económicas que las rígidas. Precisamente las características de las juntas articuladas en cuanto a los grados de libertad que estructuralmente restringe, es lo que impide el monolitismo de toda la estructura. La solución de las juntas no siempre es fácil, siendo esta la solución entre elementos esbeltos (columnas, vigas, etc.) por las características geométricas y las funciones que desempeñan en la estructura, son más sencillas de solucionar que el caso de las juntas entre paneles se necesita de un análisis estructural preciso y laborioso.(Maspons, 1987)

A diferencia de las estructuras monolíticas de hormigón armado, el cálculo estructural de los elementos prefabricados debe considerar determinados efectos dinámicos que intervienen cuando el elemento es manipulado durante su extracción del molde, transportación y montaje. La falta de consideración de estos efectos o el diseño y/o producción del elemento, que no los tome en cuenta, les ocasionará lesiones que pudieran conducir a tener que desecharlos, con la consiguiente afectación económica.(Maspons, 1987)

## **1.2. Sistema GP-IV**

Dentro de los sistemas totalmente prefabricados uno de los más difundidos es el Sistema de Grandes Paneles, dentro de los que se encuentra el Sistema Gran Panel IV, siendo el primero desarrollado en el país con tecnología íntegramente nacional. Su vigencia data de la mitad de la década de 1960, y la primera planta de prefabricado que hizo estos elementos fue puesta en explotación en la región de Levisa, Holguín en 1964. A partir de ese momento se continuó con la instalación de plantas productoras de GP-IV a todo lo largo del país excepto en Ciudad de La Habana, hasta llegar alrededor del año 1986 a un total de 28. La capacidad de producción del conjunto de plantas era de algo más de 13 000 viviendas anuales.(Maspons, 1987)

Este método constructivo surgió como sistema cerrado para ser utilizado fundamentalmente en la construcción de edificios de vivienda de cinco plantas a base de hormigón armado, con dos y tres cajas de escaleras, armado con muros portantes en dos direcciones (sistemas cruzados). En sus inicios se concibió para cuatro plantas y en 1983 se revisaron las juntas entre elementos lo que permitió agregar una más. Su uso ha sido masivo en todo el país aun en zonas sísmicas con excepción de la provincia de Santiago de Cuba (porque no se había registrado para este grado de sismicidad).

El sistema no admite el uso de planta baja libre, ni se adapta a relieves irregulares del suelo, por lo que son necesarias para su construcción superficies con poca pendiente u horizontales. En correspondencia con la topografía del terreno la cimentación puede ser con apoyos aislados y viga de cimentación o cimentación corrida con zapata insitu, o prefabricada corrida o aislada con zapata. Debido a que es un sistema cerrado, con él se

logra poca expresión plástica, poca riqueza volumétrica y no se alcanzan soluciones funcionales variadas, lo cual unido a un uso masivo, deriva en un ambiente urbano monótono. Los proyectos arquitectónicos conforman edificios, tipo pantalla, con balcones y patios de servicios salientes en la fachada principal y posterior, respectivamente.

El sistema puede tener en cada caja de escalera dos apartamentos por nivel, siendo la composición familiar fija, de cuatro a seis personas. Cada apartamento consta de dos a tres habitaciones, una sala comedora, baño, patio de servicio y balcón, también es característico el empleo de cabinas sanitarias.

Los edificios poseen en la cubierta dos pequeños muros situados en las fachadas laterales que impiden que la lluvia corra sobre las mismas, y el desagüe es libre a través de aleros en las fachadas delantera y trasera lo que afecta los balcones de la última planta y salpica las paredes de la planta baja.

Este sistema consta de muros transversales y la longitud de los edificios son de 34.30 m y 51.40 m para dos y tres cajas de escaleras, su ancho básico es de 7,30 m y el ancho total incluyendo los salientes es de 9,10 m.(Maspons, 1987)

El espesor de los paneles de carga y de cierres exteriores es de 10 cm, y el de los tabiques no estructurales que cierran las zonas de servicio de 7 cm. Las losas de entrepiso y cubierta son planas y macizas, están apoyadas en todos sus bordes, o sea, trabajan en dos direcciones, y poseen un espesor de 9 cm. La rigidización del edificio ante las acciones horizontales la proporcionan los paneles dispuestos longitudinal y transversal.(Maspons, 1987)

Las uniones entre paneles y losas no son estructurales ya que las losas se consideran simplemente apoyadas en todo su perímetro sobre una capa de mortero de arena y cemento sobre los paneles para asentar y cerrar la holgura entre el panel y la losa. Las juntas entre sus elementos son soldadas y rígidas, y posteriormente son cubiertas con hormigón y mortero. Los elementos prefabricados del sistema son producidos horizontalmente de forma acumulativa.

Para la mayoría de las plantas y tipos de producción, los procesos que han de organizarse en un flujo son:(Maspons, 1987)

- Preparación de los moldes, que incluye la inspección, limpieza y aplicación del producto separador o desmoldante.
- Concepción y colocación de las armaduras, e instalaciones que sean necesarias.
- Elaboración del hormigón y su transporte al lugar de vertido (los moldes).

Esta cadena de procesos o actividades no se halla realmente estructurada en una secuencia, o flujo de producción lineal, algunos de estos procesos se ejecutan independientemente de los otros, ya que de no ser así ocurriría una paralización en la producción.

Sin embargo, a pesar de que esta tecnología jugó un papel importante en el desarrollo del país adolecen de deficiencias tales como:

- Bajo nivel de mecanización y falta de automatización.
- Alto índice de consumo de acero.
- El moldeo acumulable no permite tolerancias aceptables y terminación integral a los elementos.
- Uso de gran cantidad de soldadura para las uniones durante el montaje.

### **1.3. Izaje de elementos prefabricados.**

Con el desarrollo de la industria de la construcción la prefabricación ha sido caracterizada como la construcción de elementos prefabricados y seriados más complejos que los simples y básicos utilizados tradicionalmente y que se distinguen en su uso por el empleo de acciones de montaje, las técnicas, materiales y procedimientos de construcción con estos elementos, crean problemas específicos en la construcción, entre los que merecen citarse el izaje porque para las partes de gran tamaño y peso debe elegirse con esmero

cuidado el modo de izaje apropiado y utilizando los medios auxiliares adecuados dentro de los más usados en los izajes para el montaje de elementos prefabricados, se encuentran: los ganchos de izaje, pasadores, estribos especiales y cadenas y cables.

### 1.3.1. Clasificación de los dispositivos de izaje

Existe un gran número de accesorios utilizados en las operaciones de izaje, dentro de lo que podemos citar:

- Eslingas
- Ganchos
- Gazas de Izaje
- Pases y pasadores
- Dispositivos roscados

### 1.3.2. Características de diferentes dispositivos de izaje:

#### Eslingas

Están constituidas por cabos (textil), cables o cadenas con elementos de terminación según su uso, por un cuerpo longitudinal provisto en sus extremos por ojales, protegidos con guardacabos con el objeto de evitar deterioro.(Melo, 2009)

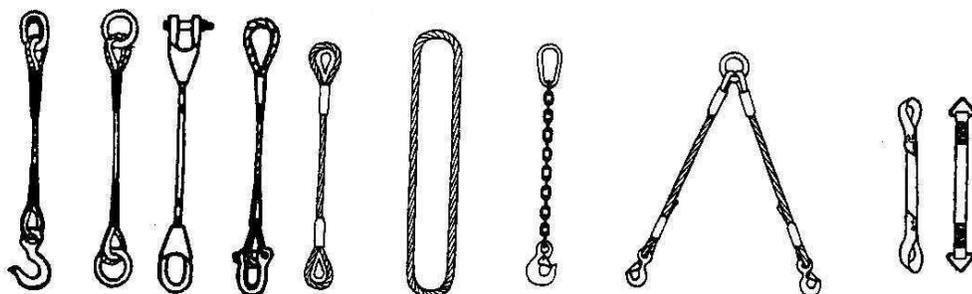


Figura 1.1. Eslingas para el izaje.(Seguridad en accesorios de elementos de izaje)

## Elección de una eslinga

La elección de una eslinga se debe realizar según los siguientes conceptos:

- 1- Peso de la carga a elevar
- 2- Carga de trabajo de la eslinga

Existen muchas formas de clasificar las eslingas para facilitar o condicionar su uso una de ellas es por el material de construcción:

- 1- De cabo o cuerda (por lo general son sintéticas como ser fibra de nylon, poliéster, etc.)
- 2- De cable metálico (por lo general de acero)
- 3- De cadena

La conformación de eslingas de cadena es muy diversa en ella hay eslingas con gancho y anillo, grifa y anillo, y por último además del ejemplo de una grifa, una eslinga doble con anillo.(Melo, 2009)

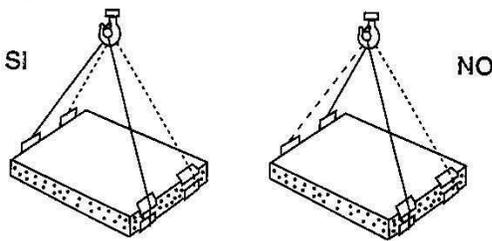
## Uso de las eslingas

Para la utilización de eslingas se deben tener en cuenta numerosas consideraciones de tipo preventivo, tales como la existencia de soldaduras, nudos y los medios de unión. Ellos afectan a la capacidad de carga de las eslingas de la siguiente forma:

- 1- Los nudos reducen la capacidad de una eslinga entre el 30 y 50%.
- 2- Las soldaduras de los anillos terminales u ojales, pese a ser hechas con todas las reglas del buen arte y respetando las normas disminuyen la capacidad de carga en el orden de un 15 a un 20%
- 3- Los elementos de sujeción de los cables como los de unión por más que se encuentren correctamente colocados y en el número establecido por las normas reducen un 20 % la capacidad de la eslinga.

Muy importante:

- Las soldaduras o áreas unidas, nunca se colocarán sobre el gancho del equipo de izaje
- Las soldaduras o áreas de unión tampoco se colocarán sobre aristas
- Las uniones siempre deben quedar en zonas libres trabajando a la tracción
- Los cables, o cadenas, etc. que forman las ramas de una eslinga no deben cruzarse (retorcerse).
- Las ramas de dos eslingas diferentes no deben cruzarse sobre el gancho de izaje.
- el ángulo de dos ramas no debería pasar los  $90^\circ$ , de ocurrir esto se recomienda usar eslingas más largas o vigas (pórticos).(Melo, 2009)



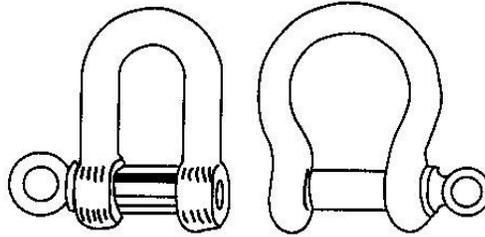
*Figura 1.2 Ejemplo del correcto izado de la losa.(Seguridad en accesorios de elementos de izaje).*

### **1.3.3. Elementos de unión**

Los ganchos, anillos y argollas son elementos de unión que permiten operar entre la carga y los equipos de izaje.

#### Argollas o cáncamos

Se construyen en acero forjado y constan de dos partes el cuerpo o estribo y el eje ajustable o tornillo.



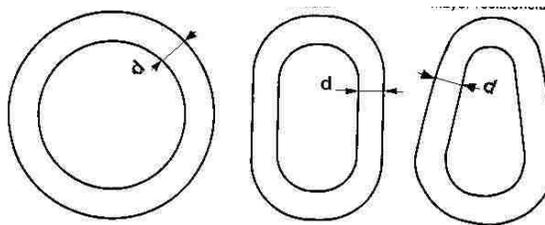
*Figura 1.3. Cáncamos para el izaje. (Seguridad en accesorios de elementos de izaje)*

Las argollas o cáncamos tienen que tener indicada por el fabricante la carga máxima admitida por ellos, como por razones "secretos de fabricación" no se puede saber las características de la composición del acero con que fueron hechas ni del estado cristalográfico por el tratamiento térmico, estos elementos requieren del siguiente cuidado:(Melo, 2009)

- No debe ser sometido al calor.
- No debe cambiarse nunca su eje (tornillo)
- No debe ser modificado
- No puede ser soldado

### Anillos

Los anillos pueden tener distintas formas que pueden ir de la circular a la recta, pasando por todas las intermedias.



*Figura 1.4 Anillos para el izaje. (Seguridad en accesorios de elementos de izaje).*

Al igual que los cáncamos la capacidad de carga varía en función del diámetro de su sección recta, de su forma geométrica y del acero con que se fabricó.

Cualquier deformación disminuye su capacidad de carga por lo tanto al primer cambio de su forma geométrica deben ser sustituidos.(Melo, 2009)

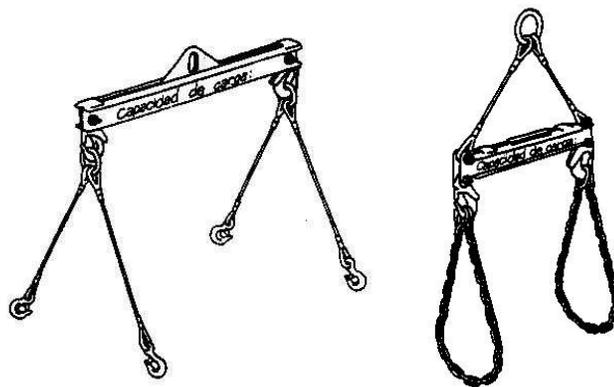
### Pórticos

Para mover cargas largas o que obliguen a desarrollar ángulos mayores a 90° a las eslingas se sugiere el uso de pórticos.

Los denominados semi-pórticos son utilizados para elevar cargas que puedan flexionar como caños, barras, alfarjías, etc. por lo que requieren dos o más puntos de apoyo.

Pórtico

Semi-pórtico

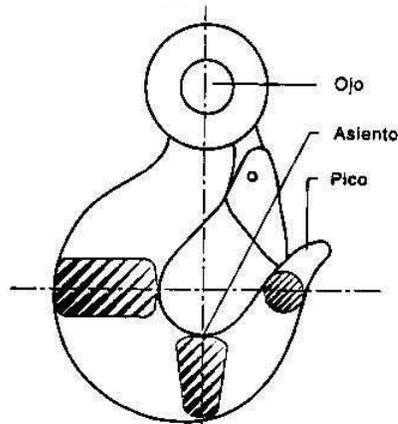


*Figura 1.5 Pórticos para el izaje.(Seguridad en accesorios de elementos de izaje).*

### **1.3.4 Ganchos**

Su diseño este hecho de tal manera que la forma de ellos permita un rápido y seguro enganche de las cargas, pero están expuestos a un desenganche accidental por tal motivo a los mismos se les incorpora un seguro, para prevenirlo.

En la siguiente figura se representa un gancho tipo, cabe destacar que existe muchos diseños de los mismos, siendo el representado la forma más común. Por lo general la forma de la sección del gancho es trapezoidal o rectangular, salvo en la zona del pico, donde casi siempre es redonda. (Melo, 2009)



*Figura 1.5 Gancho para el izaje. (Seguridad en accesorios de elementos de izaje).*

Los ganchos trabajan a la flexión, en forma inversa que los anillos y cáncamos, motivo por el cual se establecieron normas muy estrictas para su construcción.

Los ganchos constructivamente tienen los mismos problemas que los demás accesorios de izaje y responde a los mismos problemas que los cáncamos:

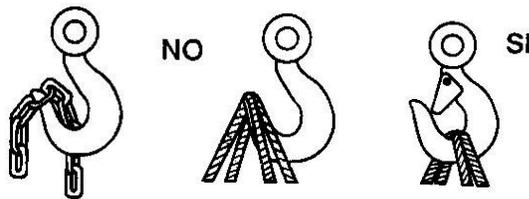
- No debe ser sometido al calor.
- No debe cambiarse nunca su eje (tornillo)
- No debe ser modificado
- No puede ser soldado

Las deformaciones, rajaduras u otros daños son más riesgosos en un gancho que en cualquier componente, razón por la cual estos deben ser inspeccionados periódicamente y ante la primera duda o señal deben ser dados de baja y destruidos. (Melo, 2009)

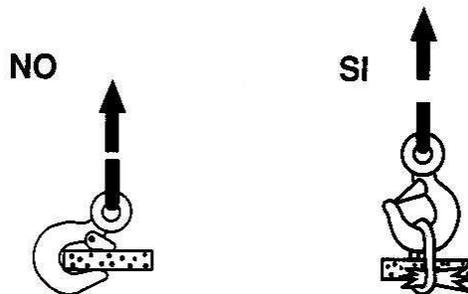
### 1.3.4.1 Uso de los ganchos

Durante el desarrollo de operaciones con carga debe controlarse:

- Los esfuerzos deben ser soportados en el asiento de los ganchos nunca en el pico.
- Antes de iniciar la tarea, se debe comprobar el correcto funcionamiento del seguro.
- Durante la operación se debe asegurar que la carga no tienda a deformar la abertura del gancho.
- Asegurarse el correcto balanceo de la carga, un incorrecto posicionamiento del gancho crea cargas adicionales para las cuales por diseñado no está en condiciones de soportar(Melo, 2009).



*Figura 1.6 Ejemplo de colocación de las eslingas en el gancho para el correcto izaje de la losa.(Seguridad en accesorios de elementos de izaje) .*



*Figura 1.7 Ejemplo del correcto izaje de un elemento.(Seguridad en accesorios de elementos de izaje).*

#### **1.4. Patologías constructivas en las losas, conceptos y generalidades.**

Se puede definir la Patología Constructiva como la ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en el edificio (o en algunas de sus unidades) después de su ejecución.(Muñíz, 2013)

Para atacar un problema constructivo, es necesario diagnosticarlo, es decir, conocer su proceso, su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado actual. Este conjunto de aspectos del problema, que pueden agruparse de un modo secuencial, es lo que se llama proceso patológico en cuestión.

Se denomina lesión a cada una de las manifestaciones observables de un problema constructivo. Será, pues, el síntoma o efecto final del proceso patológico en cuestión. En general se distinguen dos grandes grupos de lesiones:

Lesión primaria: Es el primer síntoma que aparece en el proceso patológico y que puede ser origen de otras (grietas, fisuras, humedades, etc.).

Lesión secundaria: Normalmente consecuencia de la lesión primaria y segundo efecto del proceso, pero lesión en sí misma.

Se puede definir la causa como el agente, activo o pasivo, que actúa como el origen del proceso patológico y que desemboca en una o varias lesiones. En ocasiones, varias causas pueden actuar conjuntamente para producir una misma lesión.

Estos conceptos están estrechamente vinculados, por tanto, un proceso patológico no queda resuelto y anulado hasta que no se ha interrumpido su origen (la causa), y de esta manera resolver el síntoma (la lesión). Una correcta actuación de reparación evita que la lesión aparezca de nuevo.

##### **1.4.1 Causas desencadenantes de patologías en las losas.**

Por tratarse de elementos prefabricados los defectos se originan por:

- Errores de la producción.

- Almacenamiento y transporte inadecuados.
- Errores en el montaje.

#### Errores en la producción:

- Los errores en la producción pueden tener diferentes incidencias, las que pueden ir desde afectaciones de orden estético en la obra terminada hasta poner en peligro la estabilidad de los elementos montados y con ello la de toda la estructura.
- Falta de rigor técnico evidenciado en: detalles deficientes, con falta de información, no referencia a normas y regulaciones existentes, empleo de simbologías no acordes con las normas de dibujo, etc.
- Se utilizan denominaciones de materiales inadecuadamente.
- Los instrumentos de medición empleados y la forma de realizar las mediciones en ocasiones no son los correctos.
- Los moldes no pueden ser renovados cada cierto tiempo lo que trae consigo desperfectos en los elementos.
- Disgregación que se produce durante la construcción.
- Retracción durante el endurecimiento.
- Mala concepción de los detalles constructivos.
- Reacción química de los agregados.
- No se prevén las instalaciones que posteriormente se situarán sobre la cubierta.
- Desacuerdo entre el proyecto y la construcción.
- Proyectos incorrectos o deficientes por los datos o antecedentes o por la interpretación de los mismos, por los cálculos o por equivocaciones en los planos.

- Errores en la forma de moldeo o posición de la pieza durante el hormigonado.

#### Almacenamiento y transportación:

El almacenaje es un punto de sumo interés debido a que en ocasiones los materiales que se almacenan sufren contaminaciones, lo que repercute en la producción de los elementos, así como la transportación de materiales sin el debido cuidado.

- Alteraciones atmosféricas.
- Las sustancias químicas agresivas.
- La corrosión de las barras de acero.
- Los esfuerzos excesivos ocurridos durante la transportación.
- Materiales inapropiados o defectuosos originalmente, o que se han alterado después de recibidos, durante el almacenaje o la manipulación.

#### Errores en el montaje:

Errores en el montaje pueden traer consigo pérdidas irreparables, ya sea de elementos, lo que repercute en la economía, como la de personal debido a accidentes, lo cual marca gran importancia en el montaje de elementos.

- Los equipos de izaje y transporte que se utilizan no son idóneos para algunos elementos.
- No se cuenta con todos los equipos auxiliares de izaje que correspondan a los diferentes diseños.

#### **1.4.2 Desconchado, concepto y generalidades.**

El desconchado es la parte del paramento que ha perdido su enfoscado, guarnecido o capa protectora. La creación de dicha lesión se anuncia, generalmente, por la aparición de un cuarteado. Su origen se produce por la deformación plástica del hormigón debida al

fenómeno de la fluencia, que depende, entre otras cosas, de la magnitud de la carga y del tiempo de vida de actuación de una acción permanente, lo que unido a errores durante la construcción del elemento, ocasiona fisuras en el recubrimiento, que facilitan y permiten la acción del intemperismo, de la salinidad y demás agentes agresivos, que en definitiva, producen la oxidación y corrosión del acero, con su consecuente aumento de volúmen, pérdida de área del acero de refuerzo y posteriormente desconchados en toda la capa superficial del elemento.(Muñíz, 2013)

La aparición de desconchados la determinan los factores que se señalan a continuación:

- Proyecto.
- Calidad de los materiales.
- Proceso de producción y transporte.
- Existencia de sustancias químicas agresivas.
- La erosión.
- Humedades.

## **1.5. Modelación estructural**

### **1.5.1 Generalidades**

La modelación es el proceso mediante el cual se genera una idealización matemática que pretende representar la conducta real de la estructura a ser construida.

En la actualidad el ingeniero estructural tiene la posibilidad de emplear y recurrir a varios programas de modelación y análisis de estructuras, cada uno de los cuales se define a partir de una hipótesis o teoría. La práctica del diseño estructural tiende en forma hacia una creciente automatización, impulsada aceleradamente por la popularización del empleo de las computadoras.

Su empleo para el análisis estructural se ha extendido a tal grado, que se ha llegado a la etapa de dimensionamiento y con ello se llega con algunos programas más sofisticados, a la elaboración de planos estructurales y sus especificaciones.

Este proceso sin duda alguna es muy beneficioso y va a redundar con mayor eficiencia y precisión en el diseño, siempre y cuando se empleen con cordura y con conocimientos adecuados del programa.

Buena parte del tiempo de un proyectista en una oficina de diseño estructural se dedica a la realización de cálculos rutinarios y a la preparación de detalles más o menos estandarizados. Al recurrir a procedimientos automatizados de cálculo se libera al proyectista de estas tareas y se le permite enfocar su atención a problemas fundamentales de la concepción de la estructura y de la solución de sus aspectos básicos, así como la revisión de resultados.

Al iniciar los análisis estructurales que pueden ser eficaces pero que deberían poner en evidencia las interacciones entre los distintos sistemas que componen la estructura. La dificultad más grande que se encuentra es modelar la estructura, ya que es aquí donde se trata de definir las dimensiones de los componentes estructurales con una precisión adecuada para garantizar la compatibilidad final de la solución estructural.

La solución elegida debe ser viable desde el punto de vista funcional, que garantice el equilibrio, las dimensiones de los componentes estructurales deben ser aceptables para los espacios funcionales de la construcción al igual que para su economía.

Se supone que cuando se realicen el análisis y la verificación detallados de la estructura las dimensiones de los componentes serán confirmadas con variaciones poco significativas

Para comprender en si lo que significa la modelación se debe primeramente partir de dos **conceptos fundamentales** los cuales son:

**Modelación:** Es aquello que sirve para representar o describir otra cosa, es decir crear prototipos (primer diseño). El modelo puede tener una forma semejante o ser totalmente distinto de un objeto real.

**Modelo:** Un modelo se puede definir como una representación simplificada de un sistema real, un proceso o una teoría, con el que se pretende aumentar su comprensión hacer predicciones y posiblemente ayudar a controlar el sistema

También están estrechamente relacionados otros conceptos como son:

**Icónico:** Versión a escala del objeto real y con sus propiedades relevantes más o menos representadas.

**Analógico:** Modelo con apariencia física distinta al original, pero con comportamiento representativo.

**Analítico:** Relaciones matemáticas o lógicas que representen leyes físicas que se cree gobiernan el comportamiento de la situación bajo investigación.

### **1.5.2. Aspectos necesarios para la modelación:**

Por ello este proceso conlleva a la toma de decisiones respecto a los siguientes aspectos: La geometría de la estructura, las propiedades de los materiales que la constituyen, la magnitud y ubicación de cargas permanentes y variables, los tipos de elementos que la pueden representar con mayor fidelidad (1, 2 ó 3 dimensiones), las conexiones internas entre estos elementos, los apoyos externos y la interacción de la estructura con el medio circundante (suelos, líquidos u otros materiales).

### **1.5.3. Clasificación de elementos a modelar:**

Para el análisis, los elementos estructurales se clasifican en unidimensionales, cuando una de sus dimensiones es mucho mayor que las restantes, bidimensionales, cuando una de sus dimensiones es pequeña comparada con las otras dos, y tridimensionales cuando ninguna de sus dimensiones resulta ser mayor que las otras. El proyectista debe elegir, en cada caso, el tipo de elemento más adecuado para que el modelo estructural reproduzca

adecuadamente el comportamiento buscado de dicho elemento. Para conseguir el mejor diseño estructural, se tiene que calcular las fuerzas actuantes, momentos de flexión y torsión que actúan sobre la estructura, por tanto, para realizar el análisis estructural, se idealiza tanto la geometría de la estructura, como las acciones y las condiciones de apoyo mediante un modelo matemático adecuado que debe, reflejar aproximadamente las condiciones de rigidez de las secciones transversales de los elementos, de sus uniones y de sus apoyos en el terreno.

#### **1.5.4. Etapas de un proyecto de modelación computacional:**

Para llevar a cabo un experimento de modelación computacional de cualquier estructura se requiere realizar las siguientes etapas:

- **Formulación del problema:** En este paso debe quedar perfectamente establecido el objeto de la investigación. Definir detalladamente los siguientes factores:
  - los resultados que se esperan del proyecto
  - el plan de experimentación
  - el tiempo disponible
  - las variables de interés
  - el tipo de problemas a estudiar
  - el tratamiento estadístico de los resultados
- Se debe establecer si el proyecto a modelar será de comprobación o un trabajo de optimización estructural.
- **Definición del sistema:** El sistema a modelar debe estar perfectamente definido.
- **Formulación del modelo:** Comienza con el desarrollo de un modelo simple que captura los aspectos relevantes del sistema real, los que dependen de la

formulación del problema para el mismo sistema. Este modelo simple se irá enriqueciendo como resultado de varias iteraciones.

- **Colección de datos:** La naturaleza y cantidad de datos necesarios están determinadas por la formulación del problema y del modelo. Los datos pueden ser provistos por registros históricos, experimentos de laboratorios o mediciones realizadas en el sistema real. Los mismos deberán ser procesados adecuadamente para darles el formato exigido por el modelo.
- **Implementación del modelo en la computadora:** El modelo es implementado utilizando algún lenguaje de computación. Existen lenguajes específicos de modelación que facilitan esta tarea; también, existen programas que ya cuentan con modelos implementados para casos especiales.
- **Verificación:** En esta etapa se comprueba que no se hayan cometido errores durante la implementación del modelo. Para ello, se utilizan las herramientas provistas por el entorno de programación.
- **Validación:** En esta etapa se comprueba la exactitud del modelo desarrollado. Esto se lleva a cabo comparando las predicciones del modelo con: mediciones realizadas en el sistema real, datos históricos o datos de sistemas similares. Como resultado de esta etapa puede surgir la necesidad de modificar el modelo o recolectar datos adicionales.
- **Experimentación:** En esta etapa se realizan las pruebas de acuerdo al diseño previo. Los resultados obtenidos son debidamente recolectados y procesados.
- **Interpretación:** Se analiza la sensibilidad del modelo con respecto a los parámetros que tienen asociados la mayor incertidumbre. Si es necesario, se deberán recolectar datos adicionales para refinar la estimación de los parámetros críticos.
- **Documentación:** Incluye la elaboración de la documentación técnica y manuales de uso. La documentación técnica debe contar con una descripción detallada del

modelo y de los datos; también, se debe incluir la evolución histórica de las distintas etapas del desarrollo del proyecto. Esta documentación será de utilidad para un posterior perfeccionamiento.

### **1.5.5 Tipos de modelación**

Como ya se planteó anteriormente, se experimenta con un modelo para obtener ciertos resultados. Un modelo es también un sistema, y de acuerdo al tipo de variables de salida del modelo se obtiene el modo a experimentar el proyecto:

- **Análisis:** Es el modo más empleado, en él las variables de salida del modelo representan a las variables de salida del sistema real. Este modo se utiliza para estimar la respuesta del sistema real ante entradas especificadas. Debido a que imita un sistema que realmente funciona, el modelo es matemáticamente más estable y se asegura la existencia de una solución.
- **Diseño:** En este modo las salidas del modelo representan a los parámetros del sistema real. Se utiliza en la etapa de diseño de un equipo donde el problema es determinar los parámetros para los cuales el sistema producirá las salidas deseadas para las entradas especificadas.
- **Control:** Las variables de salida del modelo representan a las variables de entrada del sistema real. Este modo sirve para determinar los valores que deberán adoptar las entradas del sistema para producir los resultados deseados. Se utiliza cuando se desea determinar las condiciones de operación de un sistema.

### **1.5.6 Ventajas y desventajas de la modelación computacional:**

Ventajas:No existe una formulación matemática analíticamente resoluble. Muchos sistemas reales no pueden ser modelados matemáticamente con las herramientas actualmente disponibles. Existe una formulación matemática, pero es difícil obtener una solución analítica

No existe el sistema real. Es problema del ingeniero que tiene que diseñar un sistema nuevo. El diseño del sistema mejorará notablemente si se cuenta con un modelo adecuado para realizar experimentos.

Los experimentos son imposibles debido a impedimentos económicos, de seguridad, de calidad o éticos. En este caso el sistema real está disponible para realizar experimentos, pero la dificultad de los mismos hace que se descarte esta opción.

#### Desventajas:

El desarrollo de un modelo puede ser costoso, laborioso y lento.

Existe la posibilidad de cometer errores. No se debe olvidar que la experimentación se lleva a cabo con un modelo y no con el sistema real; entonces, si el modelo está mal o se cometen errores en su manejo, los resultados también serán incorrectos.

## **1.6 Método de elementos finitos**

### **1.6.1 Generalidades**

Para la modelación de las estructuras se emplean métodos de análisis y diseño de las mismas los cuales nos permiten llegar a resultados aproximados de los elementos que la conforman. Uno de los métodos más empleados hoy en día es **el método del elemento finito** (MEF en español o FEM en inglés) este es un método numérico para la resolución de ecuaciones diferenciales, utilizado en diversos problemas de ingeniería y física. Se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema en una serie de subdominios no intersectantes entre sí denominados elementos finitos. El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también llamada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados nodos. Dos nodos son adyacentes sí pertenecen al mismo elemento finito, además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se conoce como malla. Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a

partir del dominio con programas generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales (o linealizadas), la matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos. Típicamente, el método del elemento finito se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas, las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica del medio continuo. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones).

### **1.6.2 Etapas para solucionar problemas mediante MEF**

Las siguientes etapas comprenden los pasos básicos para formular problemas mediante el método del elemento finito.

#### Fase de preproceso

- Crear y discretizar la solución dominio en elementos finitos, esto es, subdividir el problema en nodos y elementos.
- Asumir una función forma a representar el comportamiento físico de un elemento, que es, una función continua aproximada que se asume para la solución del elemento.
- Desarrollar las ecuaciones para el elemento

- Armar los elementos a representar en el problema completo, construir la matriz global de rigidez.
- Aplicar condiciones de frontera, condiciones iniciales y cargas.

#### Fase de solución

- Resolver un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales o no lineales simultáneas para obtener resultados globales; tal como valores de desplazamientos y temperaturas en diferentes nodos.

#### Fase de postproceso

- Con base en los resultados globales obtenidos, se puede volver en el proceso de solución para conocer los valores de desplazamiento o temperatura locales en diversos nodos.

### **1.6.3 Importancia del MEF**

El método de los elementos finitos (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles, físicos, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales. Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo. El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo, no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo.

### **1.6.4 Tipos de Elemento Finito. EF tipo Shell**

Los programas comerciales de elementos finitos poseen una gran cantidad de elementos en sus librerías. Sin embargo, la mayoría de las estructuras y aplicaciones mecánicas pueden ser solucionadas con los elementos básicos. Los elementos más utilizados son los

denominados: truss, beam, plane stress, plane strain, axisymmetric, membrane, plate, shell, solid ó brick, tetrahedral, hexahedral, boundary, y gap.

Dependiendo de la dimensión, los elementos básicos se pueden dividir en tres categorías:

elemento de línea, área y volumen. Truss, beam y los elementos de restricción, son de línea. Plane stress, plain strain, axisymmetric, membrane, plate y shell son elementos de área. Solid ó brick, tetrahedral y hexahedral son elementos de volumen.

Los criterios para la selección del elemento apropiado para cada aplicación son:

Antes de seleccionar el tipo de elemento para el modelo de una estructura, se debe primero dibujar un bosquejo del sistema físico indicando su geometría, condiciones de frontera, cargas y discontinuidades geométricas o de material. El bosquejo debe además incluir un sistema de coordenadas globales y las dimensiones de la estructura.

Después, se debe examinar si el modelo puede ser reducido, o simplificado. Esfuerzo plano, deformación plana y modelos axisimétricos, permiten la reducción de problemas tridimensionales a bidimensionales. Además, la presencia de planos de simetría permite modelar sólo una parte de la estructura.

## **1.7. Software de cálculo de estructuras**

### **1.7.1 Generalidades**

Es evidente que la informática es una herramienta de uso común en el cálculo de estructuras. Existe *software* para realizar todo tipo de diseño a una estructura cualquiera. Mediante estas aplicaciones se puede diseñar y dibujar una estructura, situar y caracterizar los apoyos, dibujar las cargas, etc. y tras los cálculos analizar los esfuerzos axiales, esfuerzos cortantes y momentos flectores producidos. Una vez dibujada es muy práctico poder hacer cambios en las cargas y en los tipos y situación de los apoyos para ver el nuevo comportamiento.

### **1.7.2 SAP. Herramienta principal a utilizar para los cálculos del elemento**

El programa SAP 2000 es uno del *software* líder en la ingeniería estructural: se pueden analizar cualquier tipo de estructuras con este programa e incluso diseñar elemento por elemento de manera precisa con los reglamentos más conocidos (ACI en EEUU, RCDF en México, EUROCODIGO en Europa, etc.).

Se trata de un excelente programa de cálculo estructural en tres dimensiones mediante elementos finitos. Es el descendiente directo de la familia SAP90, muy conocida hace algunos años. En este caso, el programa está totalmente renovado. Tal vez lo más visible sea su nueva interfaz, totalmente integrada en Windows y realmente sencilla de usar.

Mediante SAP2000 es posible modelar complejas geometrías, definir diversos estados de carga, generar pesos propios automáticamente, asignar secciones, materiales, así como realizar cálculos estructurales de hormigón y acero basados, entre otras normativas, en los euro códigos vigentes.

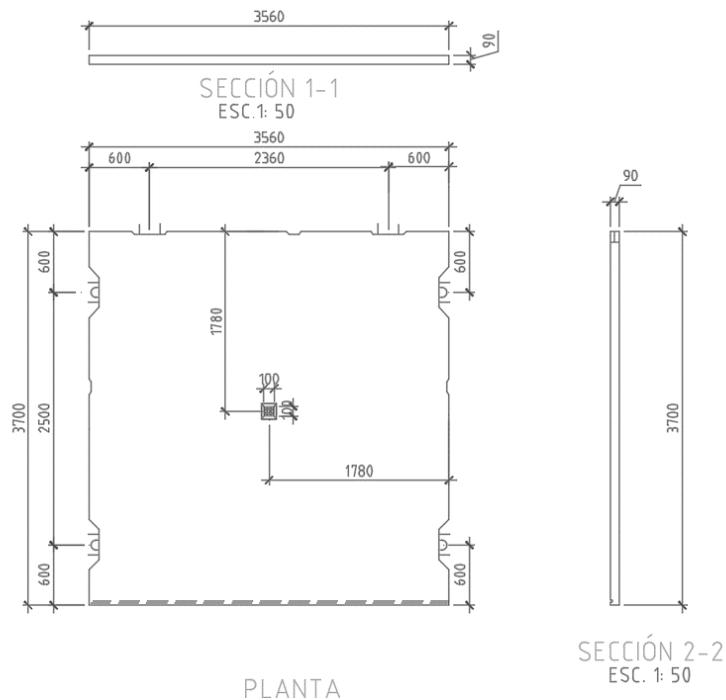
### **1.8 Conclusiones Parciales:**

La prefabricación ha alcanzado auge en el mundo y en Cuba se han introducido desde hace ya unos años sistemas constructivos prefabricados, entre ellos el GP-IV, sobre todo enfocado a la construcción de viviendas. En el izaje de los elementos producidos se usan diferentes elementos, introduciéndose en los elementos estructurales tensiones en el momento del despegue. Por otra parte la modelación estructural, con el desarrollo de las computadoras ha facilitado el trabajo del proyectista, permitiendo además concentrarse en el estudio de fenómenos de elevada complejidad.

## CAPÍTULO 2: "MODELACIÓN DE LAS TENSIONES CERCANAS A LOS GANCHOS DE IZAJE DE LAS LOSAS GP IV

### 2.1 Geometría

El elemento a analizar es una losa prefabricada de cubierta del tipo L6-1, con 3.56 m de ancho, 3.70 m de largo y 0.9 m de espesor, con un área total de 13.17 m<sup>2</sup> y un peso total de 2.96 t.



*Figura 2.1. Plano en planta de losa GP-IV(Plano EMPAI)*

Por otra parte está la malla de refuerzo la cual está compuesta por dos partes: la malla de refuerzo negativo y la malla de refuerzo positivo en las cuales todas las barras de acero no presentan la misma calidad, ya que las barras de la malla serán G-34 mientras que la calidad del gancho y conectores es G-40, el grosor varía en dependencia de la función, para las mayas se utiliza  $\varnothing 6$  mientras que para los conectores, los ganchos y la barra de

refuerzo del mismo se utiliza  $\varnothing 16$  y se encuentran ubicado a 0.6 m del borde y espaciados a diferentes distancias las cuales se muestran en el siguiente cuadro resumen

Tabla 2.1 Cuadro de acero de refuerzo(Plano EMPAI).

Malla de acero positivo	
Cantidad de barras	@
2	200
8	220
40	110
1	240
1	270
Malla de acero negativo	
Cantidad de barras	@
80	100

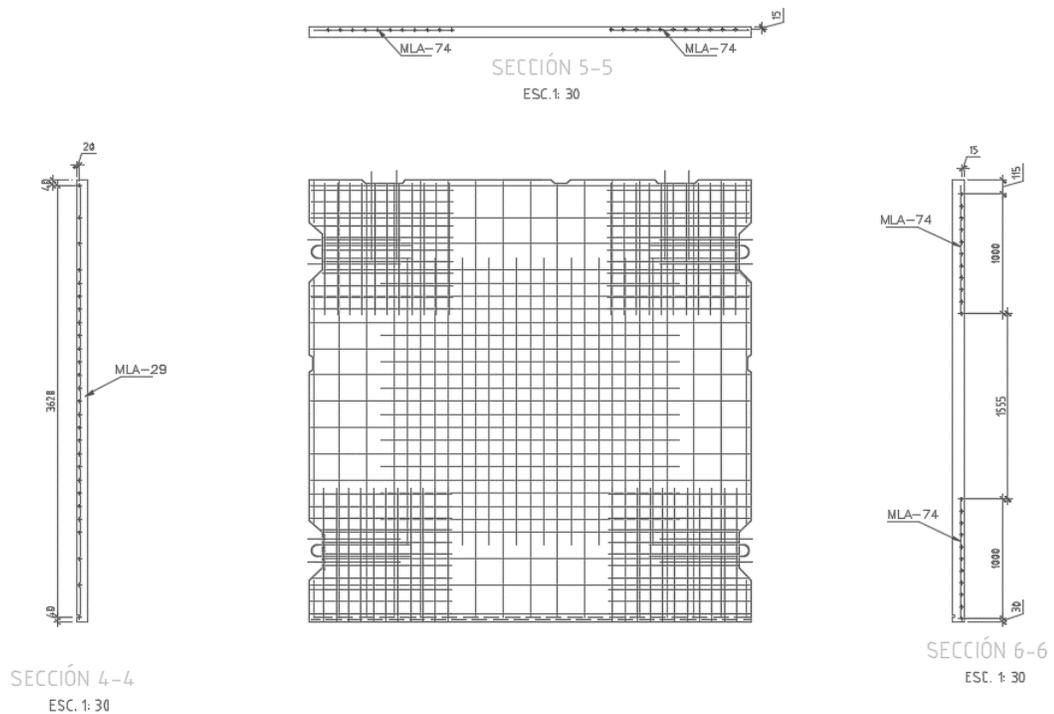


Figura 2.2. Plano en planta del acero de refuerzo de la losa GP-IV. (Plano EMPAI)

## 2.2 Condiciones de apoyo

La losa se considera apoyada en sus cuatro bordes durante su vida útil y apoyada totalmente al molde en el momento previo al izado.

## 2.3 Materiales

Los materiales que componen la losa son el hormigón y el acero de los cuales se muestran sus características a continuación.

La consistencia del hormigón será plástica con un asentamiento entre 50 y 90 mm en el cono de **Abram**, Utilizándose un hormigón con un asentamiento de 8 cm en el Cono de **Abram**.



*Figura 2.3. Experimento del cono de Abram.*

La resistencia del hormigón a los

- 28 días es de un 100% con 25MPa,
- 7 días es de 75% con 16MPa,
- 3 días que es cuando se efectúa el despegue del elemento del molde es de 55% con 13.75 MPa

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Hormigón

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 23.5631

Mass per Unit Volume: 2.4028

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 21525562

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 8968984

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength,  $f_c$ : 20684.274

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Figura 2.4. Resistencia del Hormigón (SAP2000).

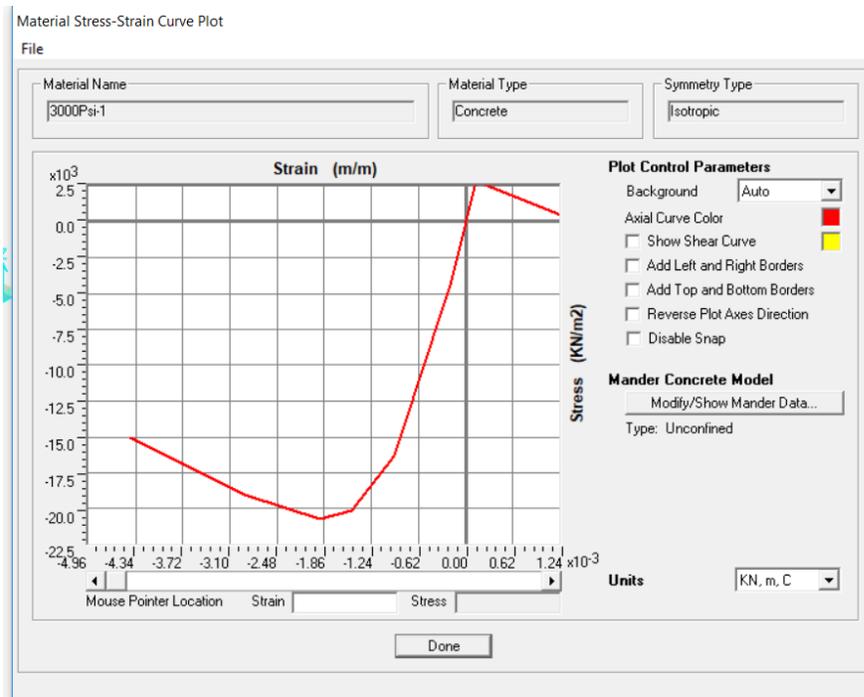


Figura 2.5. Curva de comportamiento tenso-deformacional del Hormigón (SAP2000).

- El cemento a utilizar será P-35
- El tamaño máximo del árido grueso será de 19.1 mm. Los cuales provienen de las canteras Libertad y Antonio Maceo.
- La relación agua – cemento será de 0.55, con un contenido mínimo de cemento de 275 kg /m<sup>3</sup>.
- El volumen de hormigón a utilizar será de 1.18 m<sup>3</sup>.
- La resistencia característica del acero será de 280.0 MPa

The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The dialog is titled 'Material Property Data' and contains several input fields and sections for defining material properties. The 'Material Name' is set to 'A36', 'Material Type' is 'Steel', and 'Symmetry Type' is 'Isotropic'. The 'Modulus of Elasticity' (E) is 1.99E+08. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' as 76.3729 and 'Mass per Unit Volume' as 7.849. The 'Units' dropdown is set to 'KN, m, C'. The 'Poisson's Ratio' (U) is 0.3. The 'Coeff of Thermal Expansion' (A) is 1.170E-05. The 'Shear Modulus' (G) is 76903069. The 'Other Properties for Steel Materials' section includes: Minimum Yield Stress, Fy (248211.28), Minimum Tensile Stress, Fu (399896), Effective Yield Stress, Fye (372316.9), and Effective Tensile Stress, Fue (439885.6). At the bottom, there are buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', 'Time Dependent Properties...', and 'Thermal Properties...'. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the very bottom.

Figura 2.6. Resistencia del Acero (SAP2000).

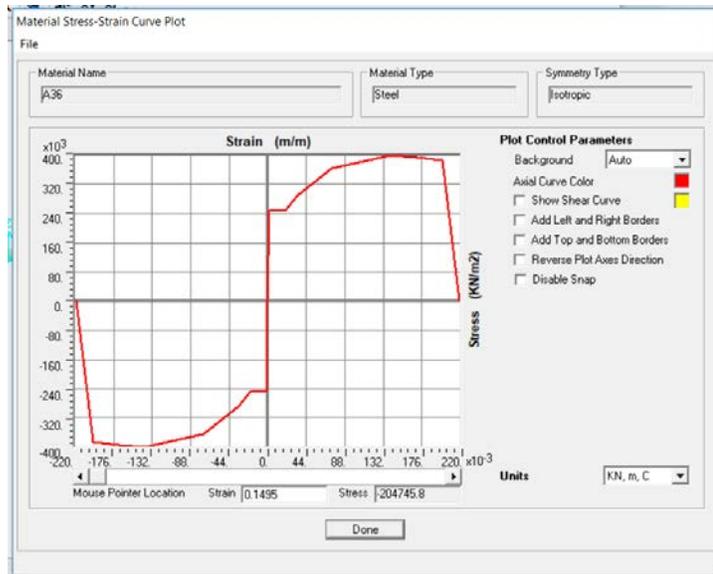


Figura 2.7. Curva de comportamiento tenso-deformacional del acero (SAP2000)

El peso total del acero es de 84.89 kg, el acero utilizado será G-34 para las barras de refuerzo y G-40 para los ganchos y conectores.

Tabla 2.2 Cuantía de acero de refuerzo. (Fuente: Plano losa GP-IV: L-6)

Elemento	marca	calidad	$\phi$	tipo	Long (mm)	cant(u)	Long total(mm)	peso(kg)	cant elm(u)	peso total(kg)
MLA-29	1	G-34	6	BR	3540	13	46020	10.22	1	49.58
	2	G-34	6	BR	3340	4	13360	2.97		
	3	G-34	6	BR	3660	10	36600	8.13		
	4	G-34	6	BR	3640	5	18200	4.04		
	5	G-34	6	BR	2400	20	48000	10.66		
	6	G-34	6	BR	2050	2	4100	0.91		
	7	G-34	6	BR	350	4	1400	0.31		
	8	G-40	16	1	1660	4	6640	10.31		
	9	G-40	16	BR	330	4	1320	2.05		
ML-74	10	G-34	6	BR	1140	7	7980	1.77	4	21.53
	11	G-34	6	BR	1100	11	12100	2.69		
	12	G-34	6	BR	1040	4	4160	0.92		
Conectores	13	G-40	16	BR	740	12	8880	13.78	1	13.78

Los moldes y las guarderas para el hormigonado son metálicos a los cuales se le aplica un desmoldante tipo: Fibra 100.



*Figura 2.8. Moldes y guarderas de las losas GP-IV (Confeccionada por la autora).*

## **2.4 Cargas**

Las cargas actuantes en la gaza de izaje son:

$$Q = Q_{pp} + Q_{adherencia} \quad (2.1)$$

La carga por peso propio de la mismalas cuales se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{pp} = (V * \gamma_{higón}) + Tol.prod + Hum \quad (2.2)$$

V - volumen de hormigón, en m<sup>3</sup>

$\gamma_{\text{hógn}}$  -densidad del hormigón (se toma de la NC 283.2003), en  $\text{kN/m}^3$

*Tol. prod* - Tolerancia de producción.

*Hum* - Humedad.

Los factores de incremento de peso del elemento se determinan de acuerdo a las especificaciones siguientes [Maspons 1987, 258]:

Tolerancia de producción:

Durante el proceso de producción las piezas tendrán dimensiones superiores o inferiores a los nominales, dependiendo del control de la calidad. Para la selección de la grúa se considera por exceso.

- 2 % ningún rigor control de calidad.
- 1,5% cierto rigor en control de calidad.
- 1,0% buen rigor en control de calidad.
- 0,5% excelente rigor en control de calidad.

Humedad:

El agua incrementa el peso de los elementos y puede estar presente de las siguientes maneras:

Por agua de lluvia, que se absorbe por el hormigón:

Lluvia en las 24h previas al montaje:

- 2 - 3% elementos esbeltos (Columnas y vigas).
- 4 - 6% elementos paneles (losa y paneles).

Elementos izados dentro 24h posteriores a su hormigonado, independientemente del tipo de elementos:

- 6 – 10% si no se utilizó acelerador de fraguado.

- 2 – 4% se utiliza acelerador de fraguado.

**Solución:**

$$Q_{pp} = (V * \gamma_{h\acute{o}n}) + Tol.prod + Hum$$

$$Q_{pp} = (3.7m * 3.56m * 25KN/m^3) + 0.015 + 0.02$$

$$Q_{pp} = 329.34KN/m^2$$

**2.4.1 Presiones en el despegue**

Las losas se despegan del molde por dos de sus ganchos mientras que a la hora de montar en obra se iza por los cuatro ganchos.

La presión que se genera entre la losa se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_{adherencia} = A_{sup} * C_{adherencia} \quad (2.2)$$

$A_{sup}$  - área de la superficie de la losa que se encuentra en contacto con el molde, en m<sup>2</sup>.

$C_{adherencia}$  - coeficiente de adherencia entre el molde y la superficie de la losa (en el caso de componentes prefabricados que presenten para el despegue, un área grande de contacto con el molde, o de forma compleja se considerará una carga adicional mínima de 100 kg/m<sup>2</sup>.)

**Solución:**

$$Q_{adherencia} = A_{sup} * C_{adherencia}$$

$$Q_{adherencia} = 3.7m * 3.56m * 1KN/m^2$$

$$Q_{adherencia} = 13.172KN/m^2$$

$$Q = Q_{pp} + Q_{adherencia}$$

$$Q = 329.34KN/m^2 + 13.172KN/m^2$$

$$Q = 171.256KN/m^2$$

$$Q = 2255.78KN$$

$$Q_{pphgn} = \gamma_{hgn} * esp_{losa}$$

$$Q_{pphgn} = 25KN/m^3 * 0.9m$$

$$Q_{pphgn} = 22.5KN/m^2$$

El valor mínimo del diámetro de la barra está dado por:

$$d_{min} = \sqrt[2]{\frac{A}{\pi}}$$

La longitud para la cual una barra recta se considera totalmente anclada se determina mediante la siguiente expresión:

$$L_d = \frac{A_a * R_a^*}{p * \tau_{dl}^*}$$

Donde:

$L_d$  - es la longitud de anclaje, en cm.

$A$  - es el área de la barra, en cm<sup>2</sup>.

$R_a^*$  - es la resistencia de cálculo para el acero en tracción, en MPa.

$\tau$  - es la tensión de adherencia, en MPa.

$d$  - es el diámetro de la barra, en cm.

$P$  - es el perímetro de la barra en cm.

Sustituyendo el área y el perímetro en función del diámetro se obtiene la expresión:

$$L_d = \frac{d * R_a^*}{4 * \tau_{dl}^*}$$

La resistencia de cálculo del acero en tracción está determinada por la siguiente expresión (para aceros ordinarios):

$$R_a^* = \frac{R_{ak}}{\gamma_a}$$

Donde  $\gamma_a$  toma los siguientes valores:

- $\gamma_a = 1,2$  para aceros con resistencia característica;
- $\gamma_a = 1,15$  para aceros con resistencia mínima garantizada.

La tensión de adherencia ( $\gamma_a$ ) en MPa para barras corrugadas se determinará según:

$$R_b'^* = \frac{R_{bk}'}{\gamma_b}$$

Donde  $\gamma_b$  toma los valores de la siguiente tabla

*Tabla 2.3 Valores de  $\gamma_b$  para distintos tipos de hormigones. (Fuente: NC 207.2003)*

Tipo de hormigón	Condiciones de ejecución de obras	$\gamma_b$
A	Muy buenas	1,5
B	Buenas	1,6
.C	No buenas	1,7

El anclaje debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Se admiten solamente en barras corrugadas los anclajes rectos.

La abertura máxima entre las barras ancladas de una misma gaza debe ser mayor que el diámetro de la barra aumentado cinco veces:

$$D \geq 5d$$

La longitud de la sección de acero expuesta de la gaza de izaje, que sirve para el enganche de los equipos auxiliares de izaje debe ser superior o igual a 8 cm:

$$h \geq 8\text{cm}$$

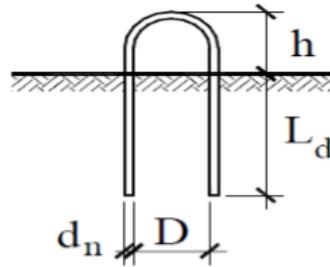


Figura 2.9: Identificación de las especificaciones para los anclajes rectos. (Fuente: NC 439.2006).

## 2.5 Mallado

### 2.5.1 Tipos de elementos

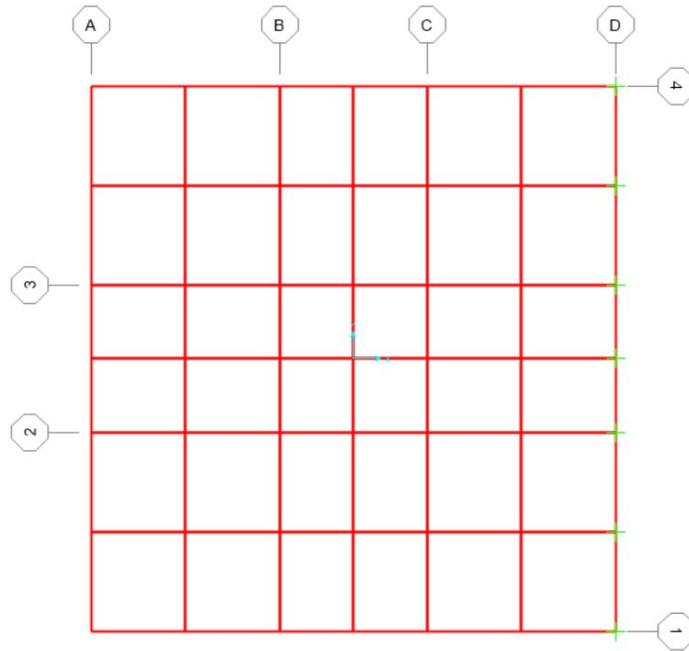
Objetos de área: Son usados para modelar muros, pisos y otros miembros delgados de muros, mientras que para los sólidos en dos dimensiones se emplean otros como: *plane stress*, *plane strain*, and *axisymmetric solids*.

Elementos finitos usados para modelar la losa: Tipo *Shell*, con cuatro nodos.

### 2.5.2 Densidad del mallado

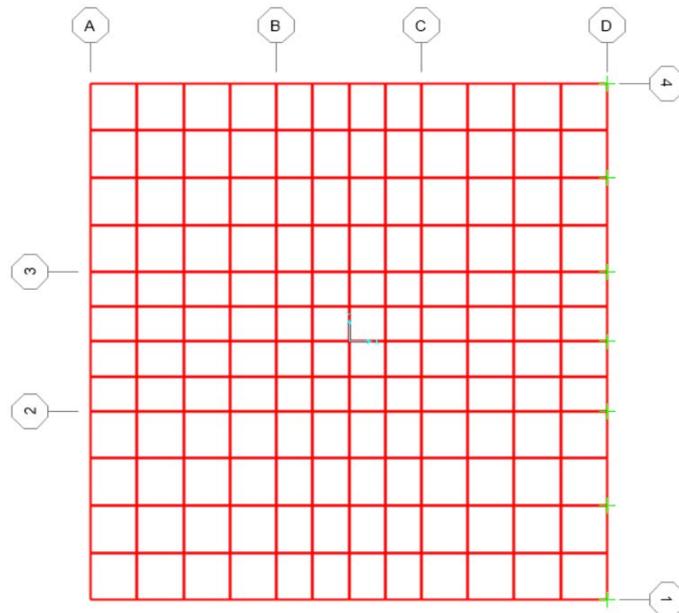
Se realiza un mallado progresivo  $2^n$ , dando como resultado los siguientes modelos:

Modelo 1, Cantidad de elementos =12



*Figura 2.10: Malla #1. (SAP 2000).*

Modelo 2, Cantidad de elementos=144



*Figura 2.11: Malla #2 (SAP 2000).*

Modelo 3, Cantidad de elementos =576

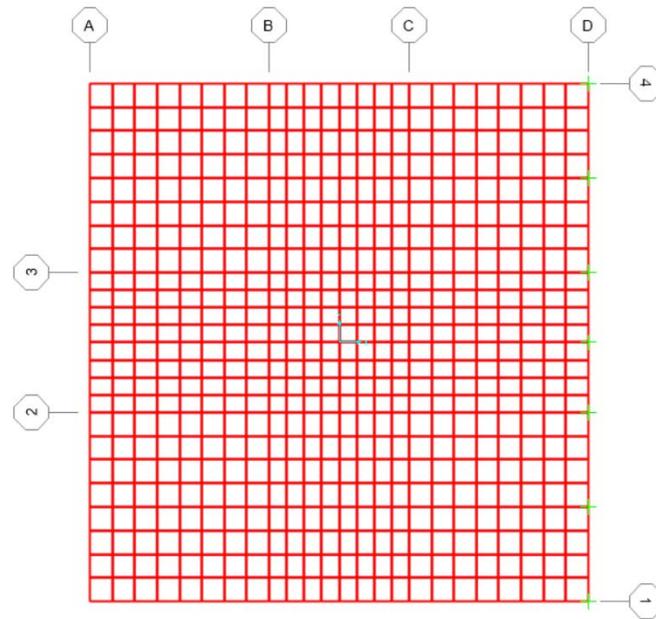


Figura 2.12: Malla #3.(SAP 2000).

Modelo 4, Cantidad de elementos =2304

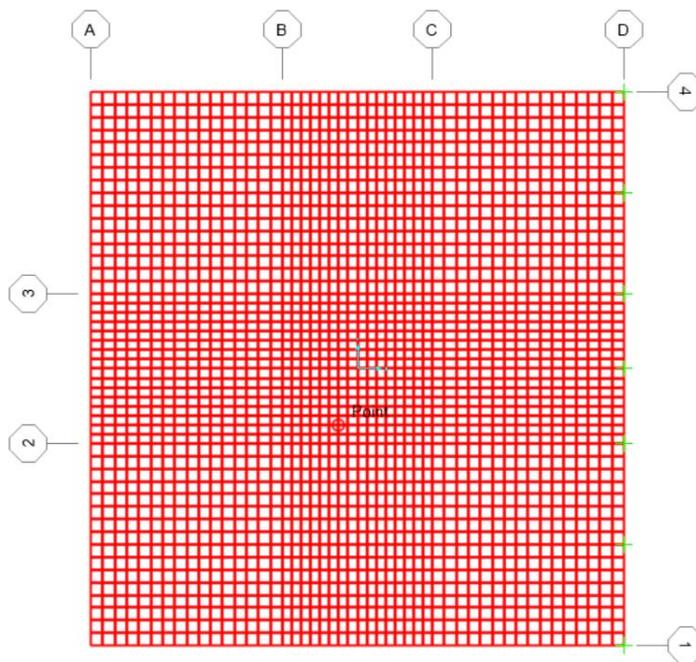
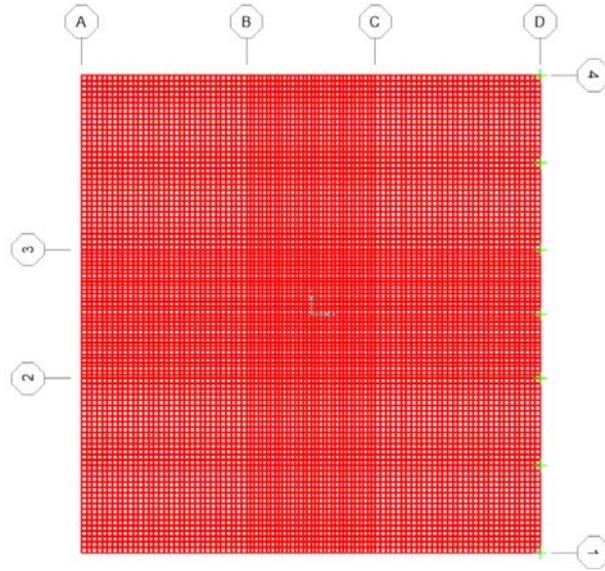


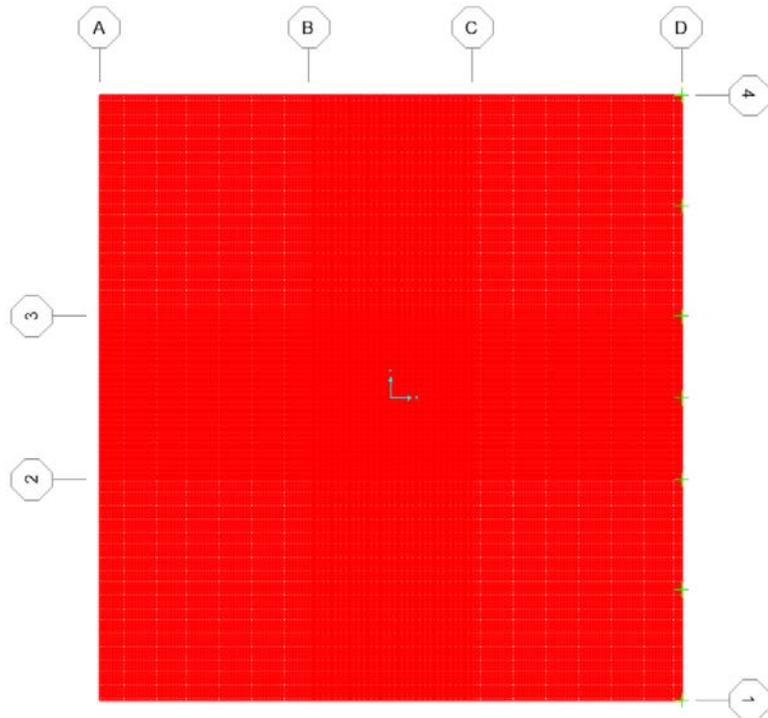
Figura 2.13: Malla #4.(SAP 2000).

Modelo 5, Cantidad de elementos =9216



*Figura 2.14: Malla #5.(SAP 2000).*

Modelo 6, Cantidad de elementos =36864

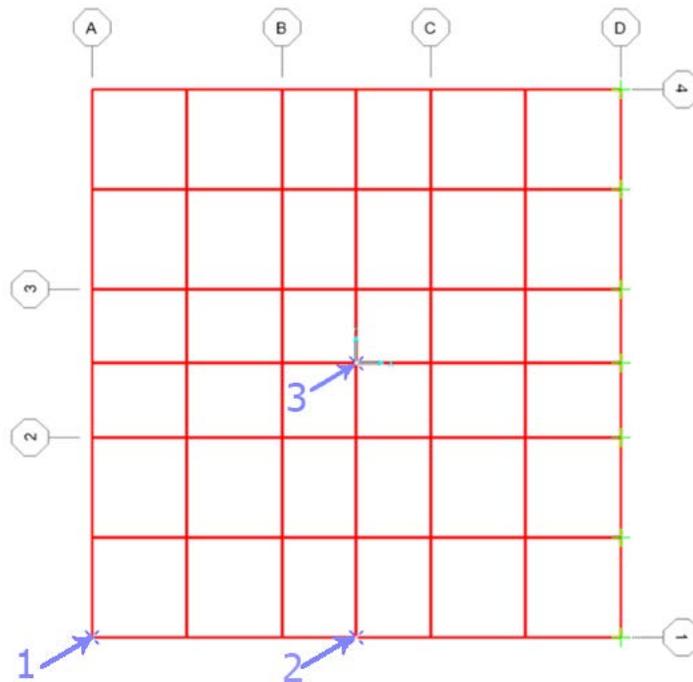


*Figura 2.15: Malla #6.(SAP 2000).*

## 2.6 Calibración del modelo

Para una mejor comprensión del comportamiento de la losa se describen las tensiones y deformaciones que actúan en la misma en los puntos siguientes:

- Esquina de la losa (Punto 1)
- Borde central de la losa (Punto 2)
- Centro de la losa (Punto 3)



*Figura 2.16: Puntos de la losa a los que fueron realizadas las pruebas.(SAP 2000).*

Tabla 2.4 Resultado de las tensiones y deformaciones en los puntos comprobados.

Cant de elementos	Tensiones			Deformaciones		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3
36	54272.26	565055.47	463758.87	1.878E+13	9.39E+12	9.39E+12
144	18270.31	498321.05	523324.06	1.788E+12	8.939E+11	8.939E+11
576	4951.8	670438.89	620810.48	1.285E+11	6.425E+10	6.425E+10
2304	3681.722	1053227.41	770160.82	-8.705E+10	-4.352E+10	-4.352E+10
9216	963.1	1124760.41	767285.5	-740643596	-370321799	-370321799
36864	496.36	1125634.03	746485.31	-43275326	-21637664.2	-21637664.1

En el siguiente gráfico correspondiente a la esquina de la losa se puede observar que a partir del modelo número tres comienzan a disminuir las tensiones.



Figura 2.17: Tensiones en el punto 1(Elaborada por la autora).

En el gráfico a continuación se observa como después del modelo numero dos las tensiones empiezan a aumentar en el borde central



Figura 2.18: Tensiones en el punto 2.(Elaborada por la autora).

En el gráfico siguiente se observa para el punto número tres, ubicado en el centro de la losa las tensiones empiezan aumentando y a partir del modelo número cuatro empiezan a disminuir, pero en baja medida.



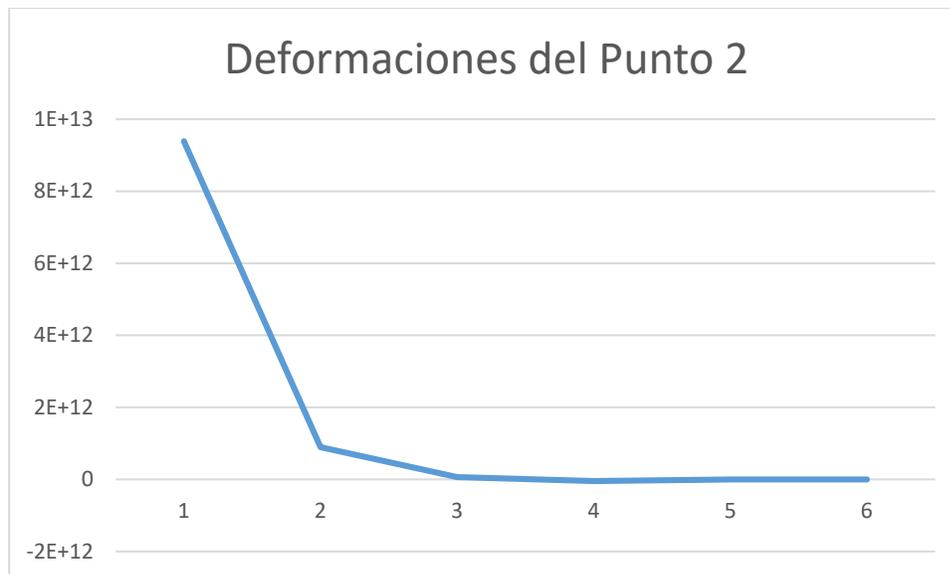
Figura 2.19: Tensiones en el punto 3.(Elaborada por la autora).

Mientras que en las deformaciones se observa para el primer punto que estas descienden hasta llegar al modelo número cuatro ya que estas se comportan de manera lineal



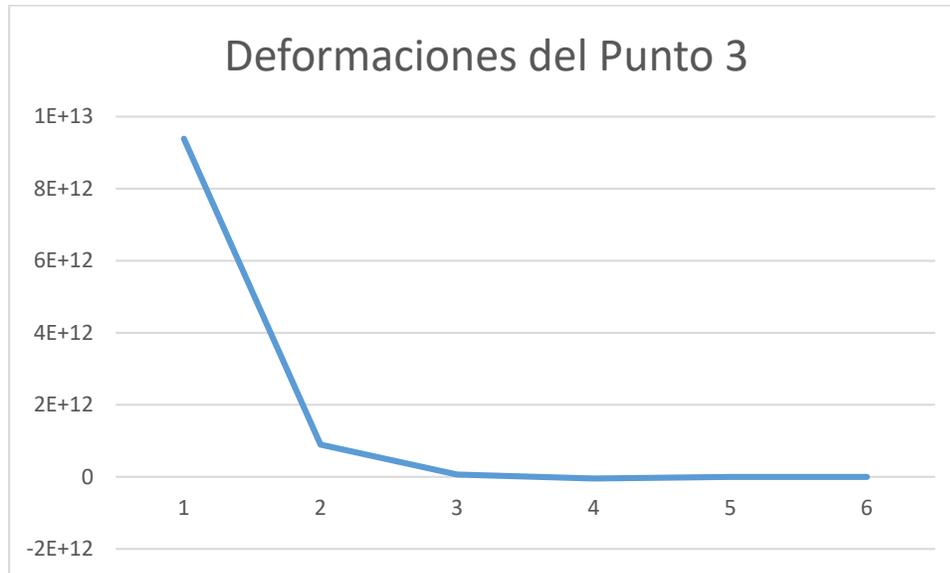
*Figura 2.20: Deformaciones en el punto 1.(Elaborada por la autora).*

Para el punto número dos ubicado en el borde central de la losa se puede observar que las deformaciones comienzan en descenso y no es hasta el modelo número tres que estas se comportan de forma estable.



*Figura 2.21: Deformaciones en el punto 2.(Elaborada por la autora).*

En el gráfico perteneciente al punto número tres se puede deducir que al igual que para los otros dos puntos las deformaciones comienzan en descenso y no es hasta el modelo número tres que se comportan de forma lineal



*Figura 2.22: Deformaciones en el punto 3.(Elaborada por la autora).*

### **Conclusiones parciales**

En el modelo del elemento (losa) se usaron los modelos de acero y hormigón(elaborados en SAP2000) en ambos casos con comportamiento lineal elástico, el tipo de elemento finito usado es *Shell*, se incluyen las cargas de peso propio de la losa, la presión de adherencia entre la losa y el molde y la carga del gancho y el elemento se considera inicialmente apoyado en toda el área de la cara inferior.

Se realiza la calibración del modelo realizando un mallado progresivo hasta lograr estabilizar tanto las tensiones como las deformaciones.

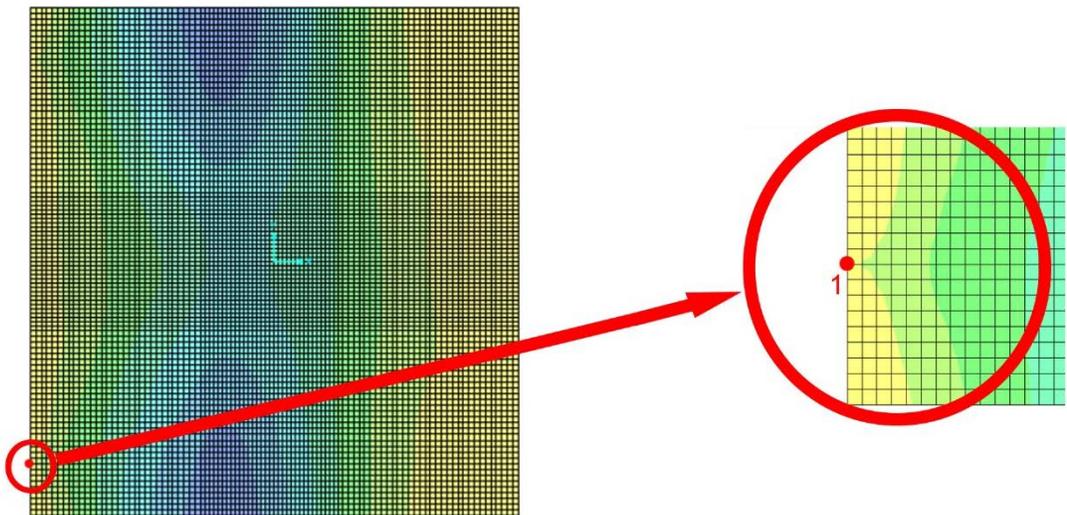
### CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS TENSIONES OBTENIDAS MEDIANTE LA MODELACIÓN.

Se realiza un análisis de las tensiones que se generan en las zonas cercanas a los ganchos de izaje, utilizándose modelos con pasos de carga (se incrementaron progresivamente los valores de las cargas en el gancho).

#### 3. Pruebas de cargas al hormigón en determinados puntos:

Después de varias pruebas realizadas a la losa GP-IV, se obtienen los siguientes resultados de tensión en el gancho de izaje para diferentes valores de la carga aplicada al mismo.

Punto 1=Gancho de Izaje de la losa.



*Figura 3.1: Punto de Referencia del Gancho de izaje. (SAP2000)*

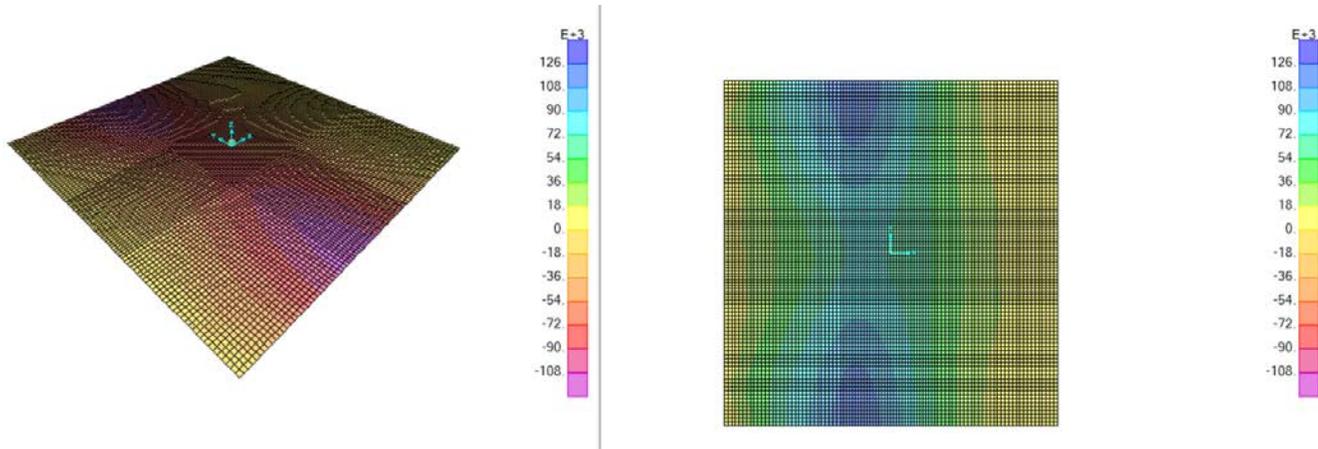


Figura 3.2: Prueba #1 de tensión al gancho. (Carga aplicada en el gancho de izaje  
 $P_{total}/10=225.578 \text{ kN}$ ).(SAP 2000)

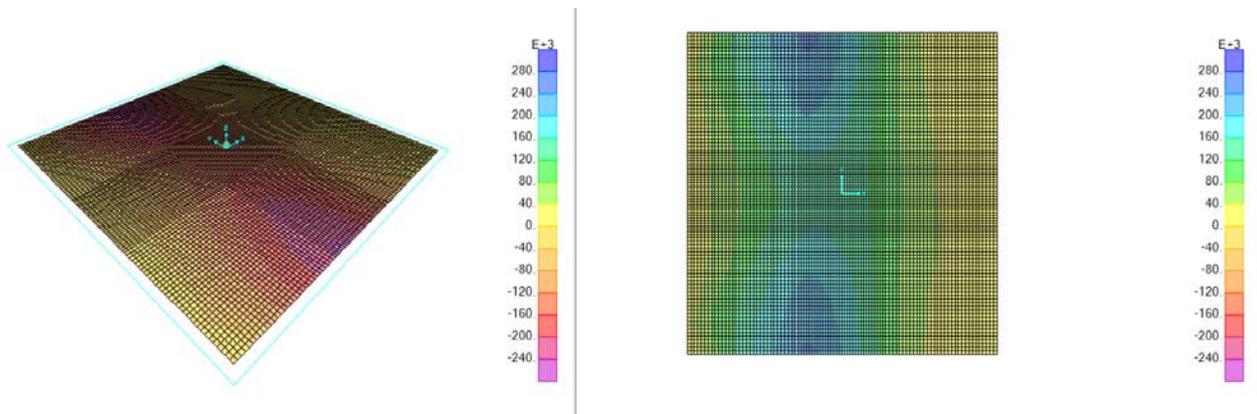


Figura 3.3: Prueba #2 de tensión al gancho. (Carga aplicada en el gancho de izaje  
 $2P_{total}/10=451.156 \text{ kN}$ ).(SAP 2000)

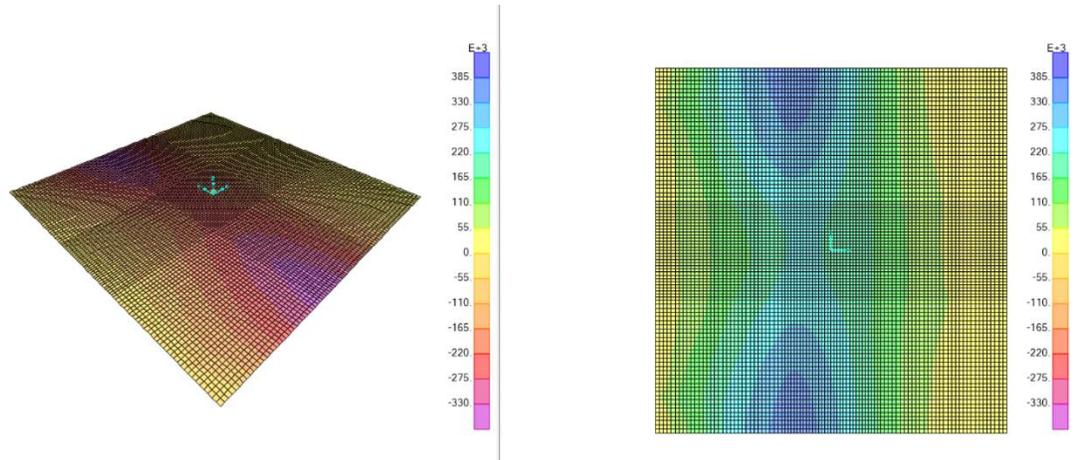


Figura 3.4: Prueba #3 de tensión al gancho. (Carga aplicada en el gancho de izaje  $3P_{total}/10=676.734$  kN).(SAP 2000)

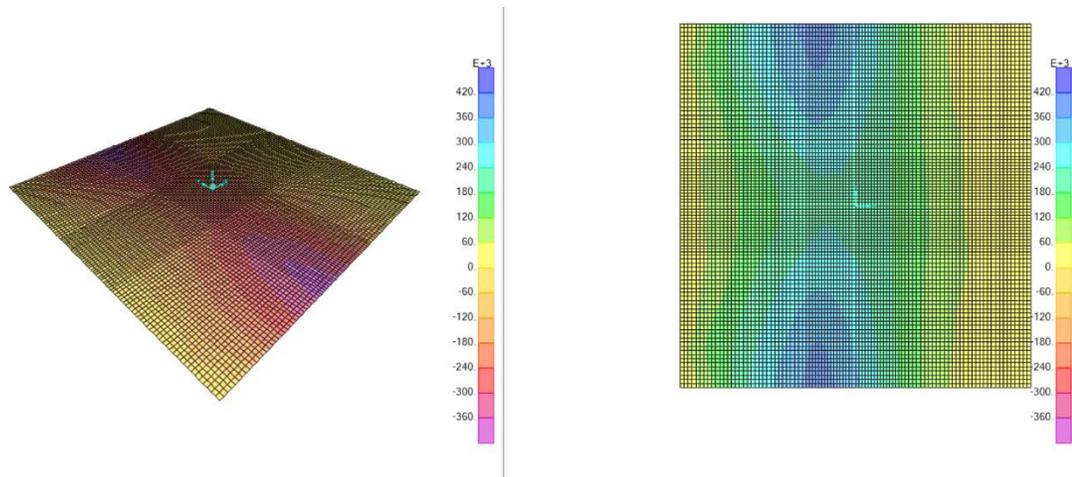
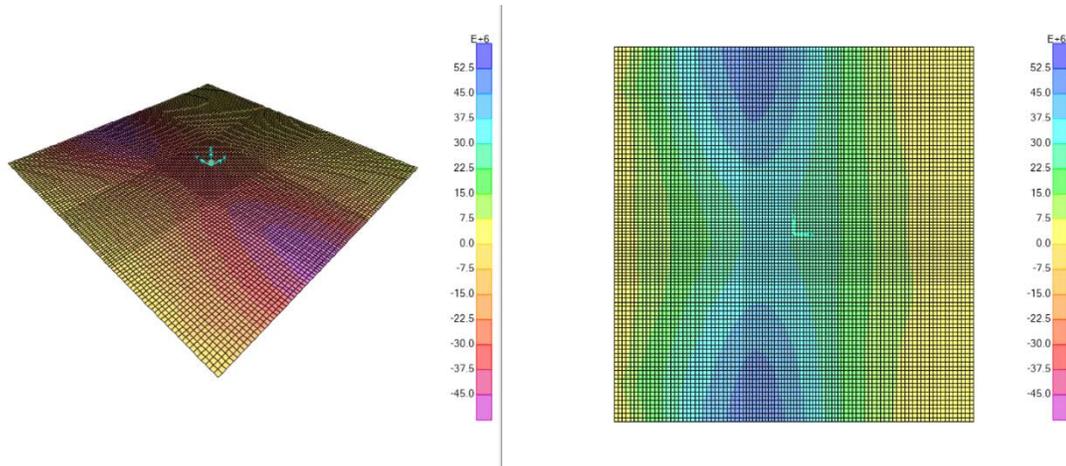
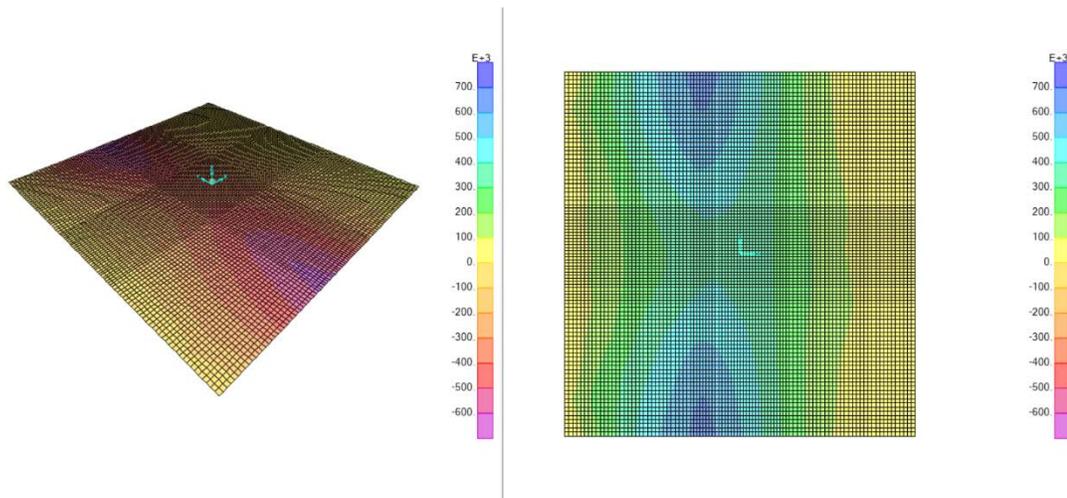


Figura 3.5: Prueba #4 de tensión al gancho. (Carga aplicada en el gancho de izaje  $4P_{total}/10=702.312$  kN).(SAP 2000)



*Figura 3.6: Prueba #5 de tensión al gancho. (Carga aplicada en el gancho de izaje  $5P_{total}/10=927.89$  kN).(SAP 2000)*



*Figura 3.7: Prueba #6 de tensión al gancho. (Carga aplicada en el gancho de izaje  $6P_{total}/10=1153.47$  kN).(SAP 2000)*

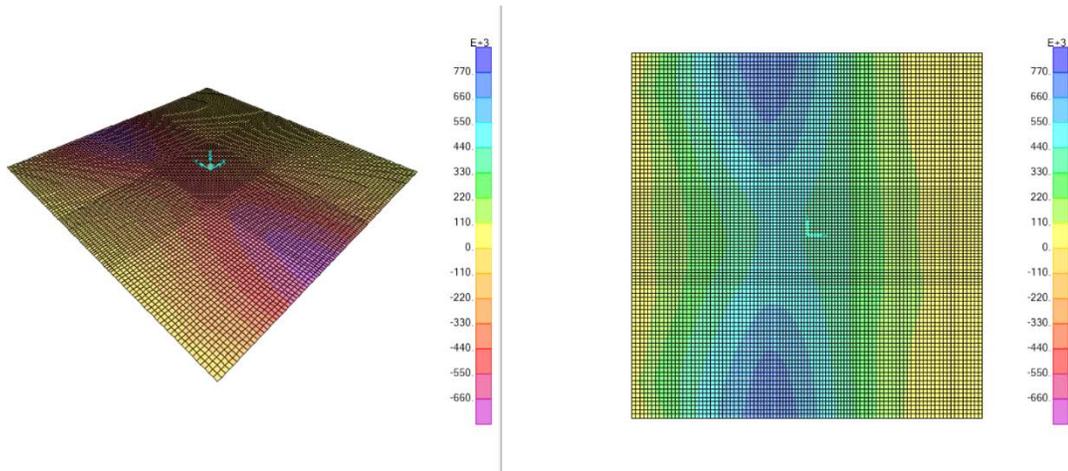


Figura 3.8: Prueba #7 de tensión al gancho. (Carga aplicada en el gancho de izaje  $7P_{total}/10=1379.046$  kN).(SAP 2000)

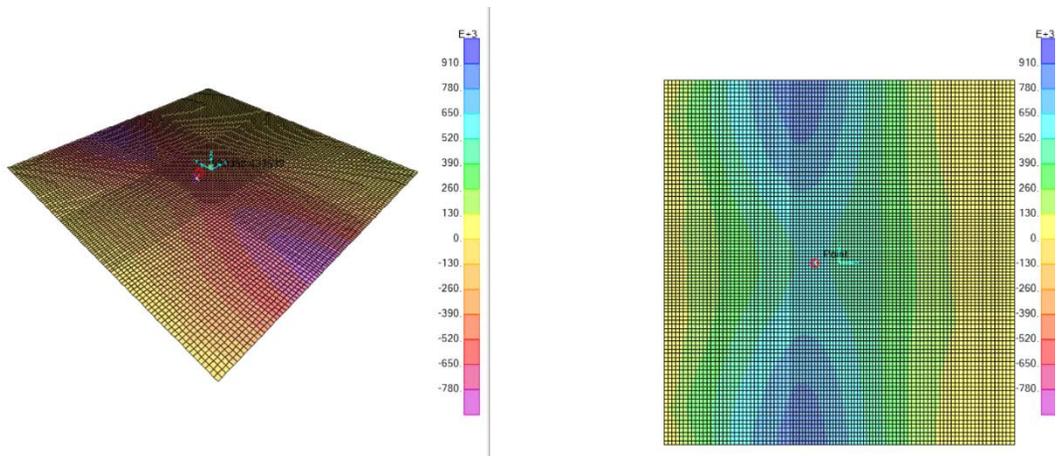


Figura 3.9: Prueba #8 de tensión al gancho. (Carga aplicada en el gancho de izaje  $8P_{total}/10=1604.624$  kN).(SAP 2000)

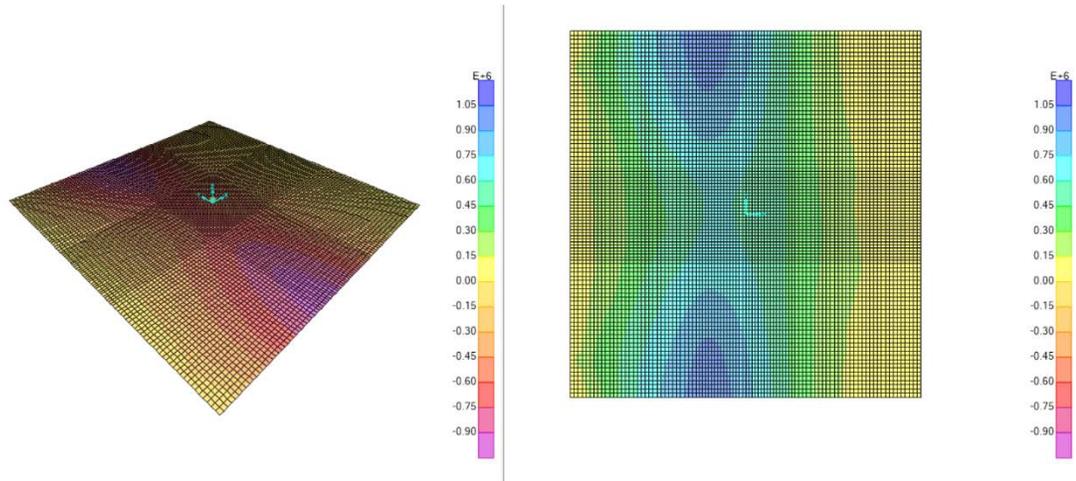


Figura 3.10: Prueba #9 de tensión al gancho. (Carga aplicada en el gancho de izaje  $P_{total}/90=1830.202$  kN).(SAP 2000)

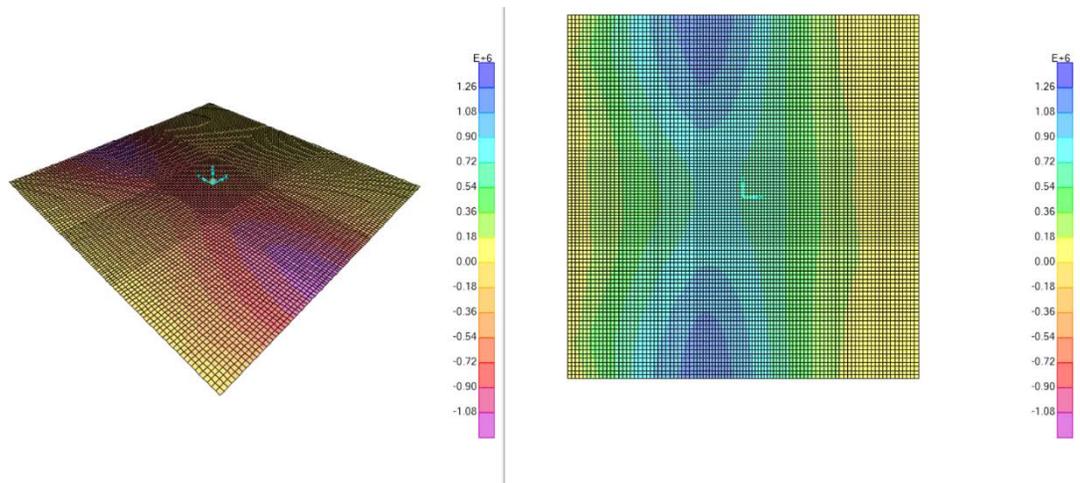


Figura 3.11: Prueba #10 de tensión al gancho. (Carga aplicada en el gancho de izaje  $P_{total}=2055.78$  kN).(SAP 2000)

A continuación, se exponen los resultados de los ensayos realizados en la zona cercana al gancho de izaje de la losa GP-IV, ubicando puntos en seis nodos del modelo #5 y practicándole las pruebas de carga necesarias para obtener la tensión en estos puntos.

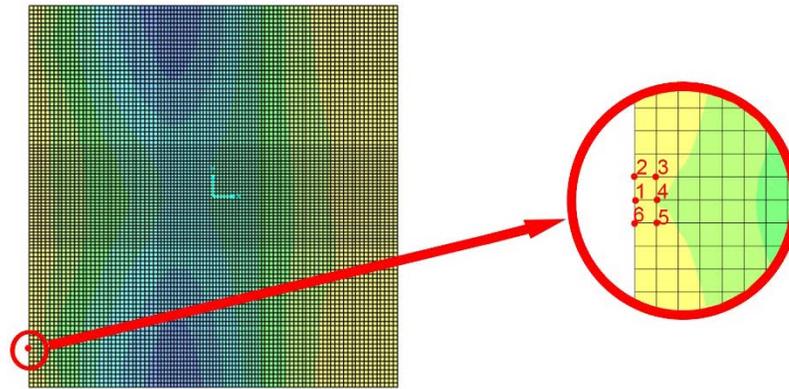


Figura 3.11: Prueba #10 de tensión al gancho. (SAP 2000)

Los resultados de las pruebas realizadas se exponen a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 2.5 Resultado de las tensiones en los puntos cercanos al gancho de izaje. (Elaborada por la autora)

Carga/Punto	1	2	3	4	5	6
P/10	2923.45	635.06	9140.51	20488.75	9341.5	1073.44
2P/10	5253.94	1270.13	18016.98	40977.51	18683	1802.78
3P/10	7458.61	3036.78	27794.86	61019.02	27254.7	1464.13
4P/10	7640.41	2094.38	28676.01	63157.94	28934.37	1600.7
5P/10	9165.46	3217.78	37745.19	83338.21	38943.94	4257.42
6P/10	10378.99	4717.95	47554.09	103742.12	44672.62	4304.21
7P/10	15590.33	6300.65	56010.78	123923.59	55135.36	4131.94
8P/10	17428.7	5678.9	64286.36	145075.05	65598.36	8904.92
9P/10	18664.89	8665.72	70217.27	164909.99	75254.59	9365.72
P	25531.5	9329.28	90917.01	200915.4	92349.91	12940.88

Punto #1:



Figura 3.12: Prueba de tensiones cercanas al gancho de izaje.(Elaborada por la autora)

Punto #2:



Figura 3.13: Prueba de tensiones cercanas al gancho de izaje.(Elaborada por la autora)

Punto #3:



Figura 3.14: Prueba de tensiones cercanas al gancho de izaje.(Elaborada por la autora)

Punto #4:



Figura 3.15: Prueba de tensiones cercanas al gancho de izaje.(Elaborada por la autora)

Punto #5:



Figura 3.16: Prueba de tensiones cercanas al gancho de izaje.(Elaborada por la autora)

Punto #6:



Figura 3.17: Prueba de tensiones cercanas al gancho de izaje.(Elaborada por la autora)

## **Conclusiones Parciales**

Al analizar los resultados obtenidos del *software* SAP 2000 con respecto a las tensiones que surgen en la losa al aplicarle la carga en el gancho (incluso solo el 10% de la carga máxima) se puede llegar a la conclusión que a partir de este momento comienzan a aparecer fisuras en el elemento. Una vez aplicada toda la carga las fisuras llegan incluso hasta una distancia de 30 cm del punto de aplicación de la carga.

## CONCLUSIONES

1. A nivel mundial el uso de la modelación estructural se ha extendido en el estudio del comportamiento de elementos estructurales, entre ellos elementos prefabricados, en Cuba se han usado elementos prefabricados, entre ellos el sistema GP-IV, en especial en la construcción de viviendas.
2. La modelación estructural resulta una herramienta en ocasiones imprescindibles en el estudio del comportamiento de las tensiones en elementos estructurales, todo modelo elaborado en cualquier *software* debe ser calibrado, refinando el mallado del elemento hasta obtener estabilidad en los parámetros medidos (tensiones y deformaciones).
3. Las tensiones que se generan en las zonas cercanas a los ganchos se incrementan según aumenta la carga aplicada en el gancho por la grúa, siendo más elevada en el punto de aplicación de la carga y luego disminuyendo en isóneas a medida que se aumenta la distancia del punto de aplicación de la carga.
4. Las tensiones que se generan en el momento del izaje del elemento superan las tensiones que puede soportar el material, fisurándose, incluso desprendiéndose la sección de hormigón en las zonas cercanas a los ganchos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Ampliar este estudio a otros elementos que presenten el mismo problema ya sean paneles estructurales, losas de entrepiso u otros.
2. Estudiar las variantes o soluciones que se pueden proponer para eliminar las sobretensiones introducidas en el proceso de izaje de estos elementos.

## BIBLIOGRAFÍA

A GÓMEZ CABRERA, A. R. O. O. 2014. Simulación Digital como Herramienta para la Gestión del Conocimiento en la Construcción de Edificaciones en Concreto. *INGE CUC*, vol.10, pp. 75–82.

ABREU, J. A. C. *TECNOLOGÍA DE LA PREFABRICACION EN LA CONSTRUCCIÓN*. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.

ARAVENA, M. G., J. Y CAAMAÑO, C 2008. Modelización matemática a través de proyectos. *Artículo de la revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*.

BANKS J., C. J. S., NELSON B.L 1996. *Discrete-Event System Simulation. Second Edition*, Prentice-Hall, New Jersey.

BANKS J., J. C., B. NELSON, Y D. NICOL 2000. *Discrete- Event System Simulation*, Prentice-Hall, New Jersey.

BAZÁN, Á. C. 2016. *Estudio mediante elementos finitos de los coeficientes de rozamientos mínimos para el arrastre en laminación en frío.*, Universidad de Sevilla.

BELLINGER, G. 1997. Modeling & Simulation. Outsights Corp.

DIAMOND, B. 1997. Concepts of Modeling and Simulation. Imagine That Inc.

EDWARDS, T. 2008. *MODELACION Y ANALISIS PLANO ESPACIAL DE UNA EDIFICACION DE SISTEMA GRAN BLOQUE*. MARTA ABREU.

G.S., F. 1978. Conceptos y métodos en la simulación digital de eventos discretos. Limusa, México.

KELTON W.D., S. R. P., SADOWSKI D.A 1998. Simulation with Arena. Mc Graw Hill, Boston.

- L., N. 2001. *Simulación Digital de Procesos Constructivos*. Tesis de Magíster, Universidad de los Andes.
- LAW A.M., K. W. D. 1991. *Simulation Modeling & Analysis*, McGraw-Hill, New York.
- MASPONS, R. 1987. *Prefabricación*, ISPJAE.
- MELO, J. 2009. Seguridad en accesorios de elementos de izaje. Universidad de Morón,.
- MUÑÍZ, D. T. 2013. *DESCONCHADOS EN LA ZONA DE LAS GAZAS DE IZAJE DE LAS LOSAS PREFABRICADAS DEL SISTEMA GRAN PANEL IV MODIFICADO*. Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”.
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2006. COMPONENTES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN— DISPOSITIVOS DE IZAJE— CARACTERÍSTICAS Y CÁLCULO. *NC 439: 2006*.
- OGUNNAIKE B.A., H. R. W. 1994. *Process Dynamics, Modeling and Control*. Oxford.
- P., B. 1986. Diseño gráfico y modelado geométrico. Marcombo.
- R.E, S. 1988. Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación. Trillas, México.
- VALERO, E. F. 2004. *Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos*. doctorado, UPC.
- WILMER VELILLA, R. M., GONZALOTRIANA 2012. Análisis estructural mediante simulación IAO en una estructura de carga y su validación. *In: CUC, I. (ed.)*. Barranquilla, Colombia.
- ZEIGLER, B. P. 1976. *Theory of Modeling and Simulation*. John Wiley and Sons.