MONOGRAFÍA:

CREACIÓN DEL APLICATIVO DE SOFTWARE "5IT", PARA EL DISEÑO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO REFORZADO DE TAMAÑO Y ALTURA LIMITADOS SEGÚN DOCUMENTO AIS 114-17

DIRECTOR DE PROYECTO:

INGENIERO CARLOS ARIEL NARANJO TORRES

AUTORES

JULY MARCELA ORTIZ MONTES

FRANKLIN AGUDELO CASTRO

UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

IBAGUÉ, COLOMBIA

2019

DERECHOS DE AUTOR Y MARCAS REGISTRADAS

La presente monografía “Creación del aplicativo de software “5π”, para el diseño de edificaciones de concreto reforzado de tamaño y altura limitados según documento AIS 114-17” posee un registro de soporte lógico – Software en la Dirección Nacional de Derecho de Autor del Ministerio del Interior y de Justicia. Este software emplea diversos recursos informáticos.

- Microsoft Office Excel es una marca registrada de Microsoft Corporation.

Los nombres de los productos anteriormente mencionados se utilizan sólo con fines académicos y educativos, los cuales pueden ser marcas comerciales registradas por sus respectivas compañías.

«La imaginación es más importante que el conocimiento.»
- A. Einstein

"Estoy muy agradecida con la universidad de Ibagué, con los docentes que fueron una base para mi proceso académico y formación como ingeniera civil, con el grupo administrativa que formaron parte durante el proceso de estudio, con mis compañeros de estudio que con cada uno de ellos aprendí muchas cosas buenas para mi vida, a mi familia que siempre estuvo ahí apoyándome en lo que necesitara, a mi madre que fue el mayor motor para dar este paso , a mi hija Salomé que me acompañó desde la barriguita durante la etapa final y, por último a mi esposo que siempre me apoya de forma incondicional para que llegue a ser una gran profesional."

JULY MARCELA ORTIZ MONTES

"A Dios gracias por permitirme culminar un logro de los muchos que pretendo. Para mis queridos padres el agradecimiento es poco, pues son ustedes los verdaderos artífices de mi carrera. A cada una de esas personas que aportaron en la construcción de mi profesión, que son muchas, que han moldeado, con calidad, un mejor ser humano para esta sociedad. Con esta *alma mater* un profundo agradecimiento por satisfacer mi intelecto. Orgulloso de ser un ingeniero civil."

FRANKLIN AGUDELO CASTRO

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos este espacio para hacer un sentido reconocimiento y agradecer a cada uno de los docentes de este claustro. Para decirles que apreciamos sinceramente su actividad formadora, que la valoramos y la resaltamos. Que han sido luz en la densa bruma de la ignorancia. A los ingenieros y el profesorado en general del programa de ingeniería civil, al ingeniero Carlos Ariel Naranjo, a los orientadores del área de estructuras: gracias por sus aportes, cada uno de ustedes ha sido un peldaño en el cual nos apoyamos para ser posible la realización de esta monografía.

A todos: ¡MUCHAS GRACIAS!

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN 8
JUSTIFICACIÓN 9
OBJETIVOS 10
Objetivo general: 10
Objetivos Específicos: 10
ANTECEDENTES 11
MARCO TEÓRICO 12
AIS 114-17: 12
Excel 12
Diseño estructural 14
Estructuras en concreto 15
Vigas 16
Columnas 16
Losas 17
Cimentación 17
Muros estructurales 18
METODOLOGÍA 19
Paso A 19
Paso B 21
Paso C 22
Paso D 23
Paso E 24
Paso F 26
Paso G 27
Paso H 27
Paso I 28
Paso J 29
Resultados 31
CONCLUSIONES 32
RECOMENDACIONES 33
BIBLIOGRAFÍA 34

Tabla de Figuras

Figura 1. Interfaz Paso A.1 19
Figura 2. Interfaz Paso A.1 con todas sus tablas. 20
Figura 3. Interfaz Paso A.2 20
Figura 4. Interfaz Paso B 21
Figura 5. Interfaz Paso C 22
Figura 6. Interfaz Paso D 23
Figura 7. Interfaz Paso E 24
Figura 8. Tablas del diseño de viguetas 25
Figura 9. Tabla de diseño de vigas 25
Figura 10. Tablas para el dimensionamiento de las columnas 26
Figura 11. Interfaz Paso F 26
Figura 12. Interfaz Paso H 27
Figura 13. Tablas para el suministro de acero de los muros estructurales. 28
Figura 14. Interfaz Paso I 29
Figura 15. Interfaz Paso J.1 29
Figura 16. Tablas para el diseño de la losa de cimentación 30
Figura 17. Interfaz Paso J.2 31

INTRODUCCIÓN

La presente monografía muestra el desarrollo teórico tenido en cuenta a la hora de elaborar el software educativo “5π”, el cual se llevó acabo por medio de la herramienta de programación *Visual Basic for Applications* de la aplicación de hojas de cálculo Microsoft Excel. El aplicativo “5π” está basado en la elaboración de una herramienta de cálculo automática, que ejecuta los procedimientos de diseño propuestos en el documento AIS 114-17, para edificaciones de concreto reforzado de tamaño y altura limitados contemplados en el mismo documento.

Para el desarrollo del aplicativo se estipuló como base de diseño la Tabla 1.5.1 del documento AIS 114-17, la cual contiene doce pasos que van conectados con los flujos de diseños mostrados en las Figuras 1.5.1a y 1.5.1b del documento AIS 114-17. Los pasos mostrados en la tabla anteriormente nombrada se ordenan alfabéticamente desde el Paso A hasta el Paso L, para el diseño del software solo se programó lo contenido del Paso A hasta el Paso J, ya que los dos últimos hacen referencia a las recomendaciones para la producción de planos, construcción y supervisión técnica de la obra y, están fuera del alcance de este proyecto. (ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, 2017)

En el documento encontrará la justificación, objetivos, antecedentes, marco teórico, metodología, conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

JUSTIFICACIÓN

El software educativo "5π" está diseñado para ser utilizado en los procesos educativos de la Universidad de Ibagué en el área de estructuras de concreto y ha sido desarrollado debido a la complejidad que supone dominar la normativa vigente de construcción sismo resistente, NSR-10, para concebir proyectos de edificios. La adaptación del manual AIS 114-17, que pretende dar facilidades a la hora del diseño estructural de edificaciones, cumpliendo la normativa del país y dando recomendaciones generales de construcción y un camino a seguir en la ejecución de la consultoría estructural de proyectos de hasta 5 pisos y un sótano, supone un gran paso para que desde la academia se pueda analizar y estudiar un proyecto de edificación como un todo y no miembro a miembro como se hace hoy día, al ritmo del aprendizaje adquirido. La herramienta en cuestión muestra resultados que permiten la interacción de los futuros ingenieros civiles, con datos reales que permiten la formación de un criterio para la vida laboral.

Este software está diseñado para que el proceso de diseño con el documento AIS 114-17 sea mucho más sencillo y rápido, debido a que la mayoría de los procesos están automatizados dentro de una interfaz simple y entendible, lo que permite que se puedan poner en práctica todos los conocimientos teóricos adquiridos durante el proceso de formación en el área estructural.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Desarrollar un aplicativo de software que permita el diseño de estructuras de concreto reforzado que se encuentren bajo el alcance del documento ASI 114-17.

Objetivos Específicos:

1. Desarrollar un aplicativo de software en Excel que siga un previo diagrama de flujo del documento.
2. Crear una interfaz amigable para el manejo de los datos de diseño.

ANTECEDENTES

Este aplicativo no cuenta con antecedentes, pueda que existan algunas creadas por ingenieros estructurales para su uso propio y profesional, pero al momento no se encuentra ninguna evidencia de esto.

MARCO TEÓRICO

AIS 114-17:

El documento AIS 114 presenta métodos y técnicas de diseño simplificados que facilitan y agilizan el diseño de edificaciones de poca altura dentro de ciertas limitaciones. El material se presenta en un orden que sigue el proceso típico de diseño, con procedimientos que se introducen a medida que el diseñador estructural los necesita en el transcurso del diseño de una edificación.

La información presentada en el documento AIS 114 se deriva del "Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10", Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, Republica de Colombia.

La calidad y los ensayos de los materiales usados en construcción están cubiertos por las referencias a las especificaciones de las Normas Técnicas Colombianas NTC, expedidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC.

Si bien muchas de las tablas, gráficas y valores incluidos en el documento AIS 114 provienen del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10, estos se han modificado o reorganizado para que sean más conservadores, se adapten al ritmo del proceso de diseño, o ayuden en el enfoque de diseño holístico y simplificado propuesto.

El AIS 114 presenta la información de tal manera que una estructura diseñada siguiendo este documento cumplirá, en principio, con el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 en el cual está basado. Este documento AIS 114 está diseñado para aplicarse en su totalidad, ya que los requisitos simplificados son interdependientes, y no sería seguro emplear solamente una parte de él y hacer caso omiso del resto. Dado que el documento AIS 114 se empleará como una ayuda de diseño, es responsabilidad del diseñador estructural garantizar el cumplimiento de los requisitos del Reglamento NSR-10. Se espera que este documento AIS 114 sea especialmente útil en la educación y entrenamiento de ingenieros en el diseño de concreto reforzado de edificaciones de baja altura y área de piso pequeña a mediana. (ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, 2017)

Excel

Excel es un programa informático desarrollado y distribuido por Microsoft Corp. Se trata de un software que permite realizar tareas contables y financieras gracias a sus funciones, desarrolladas específicamente para ayudar a crear y trabajar con hojas de cálculo.

La primera incursión de Microsoft en el mundo de las hojas de cálculo (que permiten manipular datos numéricos en tablas formadas por la unión de filas y columnas) tuvo lugar en 1982, con la presentación de Multiplan. Tres años más tarde llegaría la primera versión de Excel.

Ante la demanda de una compañía que ya comercializaba un programa con el nombre de Excel, Microsoft fue obligada a presentar su producto como Microsoft Excel en todos sus comunicados oficiales y documentos jurídicos.

Microsoft presentó en 1989 su primera versión de Office, una suite ofimática (conjunto de programas que son útiles en las tareas de oficina) que incluía Excel, Word (un procesador de textos) y PowerPoint (una aplicación para la creación de presentaciones multimedia).

Microsoft Excel presentó, a lo largo de su historia, diversos problemas con las operaciones realizadas en la hoja de cálculo. Uno de los más importantes ha sido la imposibilidad de trabajar con fechas anteriores al año 1900, al menos utilizando el formato de fecha propio de la aplicación; una forma de atravesar dicho obstáculo consiste en crear campos personalizados, con formatos numéricos, combinados con fórmulas inteligentes que los traten como datos cronológicos.

Cabe destacar que Excel es un programa comercial: hay que pagar una licencia para poder instalarlo. Existen otras opciones, de código abierto (“open source“, en inglés), que pueden instalarse o ejecutarse sin cargo y que también permiten administrar hojas de cálculo, tales como OpenOffice.org Calc y Google Docs. La mayoría de estos productos son compatibles con los documentos creados en Excel, pero no ocurre lo mismo en la dirección opuesta (Excel no es capaz de leer archivos creados con estos programas).

Uno de los puntos fuertes de Excel es que da a sus usuarios la posibilidad de personalizar sus hojas de cálculo mediante la programación de funciones propias, que realicen tareas específicas, ajustadas a las necesidades de cada uno, y que no hayan sido incluidas en el paquete original. A grandes rasgos, las opciones son dos: crear fórmulas en las mismas celdas de la planilla en cuestión, o bien utilizar el módulo de desarrollo en Visual Basic.

En el primer caso, las posibilidades son muy limitadas, aunque esto no quiere decir que no sean suficientes para la mayoría de los usuarios. El problema principal reside en la incomodidad que conlleva escribir el código en una celda, sin la posibilidad de

utilizar saltos de línea, tabulación o comentarios, entre otros tantos elementos propios de un editor convencional. Desarrollar funciones en el pseudolenguaje de Excel resulta antinatural, incómodo y poco intuitivo para un programador, sin mencionar que diversas limitaciones estructurales hacen que no todo sea posible.

Para los desarrolladores que buscan objetivos muy específicos, o de una complejidad mayor al cálculo de un promedio o de una comparación entre varios datos, la solución reside en el uso de Visual Basic. Se trata de un lenguaje con un grado de abstracción relativamente alto (que se aleja considerablemente del lenguaje de máquina, de la forma en la que trabaja el procesador) y que, al igual que el utilizado en Excel, funciona por eventos (esto quiere decir que el usuario debe realizar alguna acción para que se dispare la ejecución del programa).

Dicho esto, la combinación de Excel y Visual Basic también tiene sus limitaciones, y de ninguna manera puede superar el nivel de personalización y precisión posible a través de la creación de un programa desde cero; pero resulta muy eficaz y cómodo para una pequeña compañía, que no desee invertir el dinero y el tiempo necesarios para el desarrollo de sus propias aplicaciones. (Porto, 2009)

Diseño estructural

Una estructura puede concebirse como un sistema, es decir, como un conjunto de partes o componentes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada. La función puede ser: salvar un claro, como en los puentes; encerrar un espacio, como sucede en los distintos tipos de edificios, o contener un empuje, como en los muros de contención, tanques o silos. La estructura debe cumplir la función a la que está destinada con un grado razonable de seguridad y de manera que tenga un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio. Además, deben satisfacerse otros requisitos, tales como mantener el costo dentro de límites económicos y satisfacer determinadas exigencias estéticas.

Un examen de las consideraciones anteriores hace patente la complejidad del diseño de sistemas estructurales. ¿Qué puede considerarse como seguridad razonable, o como resistencia adecuada? ¿Qué requisitos debe satisfacer una estructura para considerar que su comportamiento sea satisfactorio en condiciones de servicio? ¿Qué es un costo aceptable? ¿Qué vida útil debe preverse? ¿Es estéticamente aceptable la estructura?

Éstas son algunas de las preguntas que el proyectista tiene en mente al diseñar una estructura. El problema no es sencillo y en su solución usa su intuición y experiencia, basándose en el análisis y en la experimentación.

Si los problemas de diseño se contemplan en toda su complejidad, puede afirmarse que no suelen tener solución única, sino solución razonable. En efecto, la labor del ingeniero proyectista tiene algo de arte. Indudablemente, el ingeniero debe aprovechar el cúmulo de información y metodología científica disponible, pero además tiene que tomar en cuenta otros factores que están fuera del campo de las matemáticas y de la física. (Cuevas, 2005)

Estructuras en concreto

Las estructuras de concreto reforzado tienen ciertas características, derivadas de los procedimientos usados en su construcción, que las distinguen de las estructuras de otros materiales.

El concreto se fabrica en estado plástico, lo que obliga a utilizar moldes que lo sostengan mientras adquiere resistencia suficiente para que la estructura sea auto-soportante. Esta característica impone ciertas restricciones, pero al mismo tiempo aporta algunas ventajas. Una de éstas es su "maleabilidad", propiedad que brinda al proyectista gran libertad en la elección de formas. Gracias a ella, es posible construir estructuras, como los cascarones, que en otro material serían muy difíciles de obtener.

Otra característica importante es la facilidad con que puede lograrse la continuidad en la estructura, con todas las ventajas que esto supone. Mientras que en estructuras metálicas el logro de continuidad en las conexiones entre los elementos implica serios problemas en el diseño y en la ejecución, en las de concreto reforzado el monolitismo es consecuencia natural de las características de construcción.

Existen dos procedimientos principales para construir estructuras de concreto. Cuando los elementos estructurales se forman en su posición definitiva, se dice que la estructura ha sido colada in situ o colada en el lugar. Si se fabrican en un lugar distinto al de su posición definitiva en la estructura, el procedimiento recibe el nombre de prefabricación.

El primer procedimiento obliga a una secuencia determinada de operaciones, ya que para iniciar cada etapa es necesario esperar a que se haya concluido la anterior. Por ejemplo, no puede procederse a la construcción de un nivel en un edificio hasta que el nivel inferior haya adquirido la resistencia adecuada. Además, es necesario a menudo construir obras falsas muy elaboradas y transportar el concreto fresco del lugar de fabricación a su posición definitiva, operaciones que influyen decisivamente en el costo.

Con el segundo procedimiento se economiza tanto en la obra falsa como en el transporte del concreto fresco, y se pueden realizar simultáneamente varias etapas de construcción. Por otra parte, este procedimiento presenta el inconveniente del costo adicional de montaje y transporte de los elementos prefabricados y, además, el problema de desarrollar conexiones efectivas entre los elementos.

El proyectista debe elegir entre estas dos alternativas, guiándose siempre por las ventajas económicas, constructivas y técnicas que pueden obtenerse en cada caso. Cualquiera que sea la alternativa que escoja, esta elección influye de manera importante en el tipo de estructuración que se adopte.

Otra característica peculiar de las estructuras de concreto reforzado es el agrietamiento, que debe tenerse en cuenta al estudiar su comportamiento bajo condiciones de servicio. (Cuevas, 2005)

Vigas

Las vigas de entrepiso son los elementos estructurales que transmiten las cargas del piso a los elementos verticales resistentes. Las vigas de entrepiso se dividen en principales y secundarias. Las vigas principales forman parte del sistema resistente a cargas laterales, reciben la carga tributaria de las losas y de vigas secundarias y las transmiten directamente a las columnas, a las cuales se conectan a través de las “uniones”. Las vigas secundarias reciben las cargas tributarias de las losas y la transmiten a vigas primarias. Las cargas que actúan sobre las vigas son transversales al eje longitudinal de las mismas, generándose principalmente esfuerzos de flexión y cortante. Generalmente no se generan esfuerzos axiales de tensión o compresión que sean significativos, por lo que comúnmente son despreciados en el diseño. Los efectos de torsión toman importancia en las vigas de borde de los tableros de entrepisos, o en vigas interiores cuando las cargas de los tableros adyacentes son bastante diferentes por lo que no están balanceadas. (Chorro, 2004)

Columnas

Las columnas son los miembros verticales a compresión de los marcos estructurales que sirven para apoyar a las vigas y, por tanto, transmitir las cargas de los pisos superiores hasta la cimentación. La falla de las columnas en un lugar crítico puede causar el colapso progresivo de los pisos concurrentes y el colapso total último de la estructura completa.

El refuerzo principal en columnas es longitudinal, paralelo a la dirección de la carga y consta de barras dispuestas en forma de cuadrado, rectángulo o círculo. El diseño de columnas consiste esencialmente en la selección de una sección transversal

adecuada con refuerzo para resistir una combinación requerida de carga axial y momentos. (Chorro, 2004)

Losas

Son elementos de una amplia placa plana, generalmente horizontal, cuyas superficies superior e inferior son paralelas o casi paralelas entre sí. Puede estar apoyada en vigas, muros de mampostería o de concreto, en elementos estructurales, en forma directa en columnas, en el terreno en forma continua. (Chorro, 2004)

Cimentación

Cualquier estructura que se diseña debe transmitir su carga al suelo que la soporta, sean edificios, puentes, presas, torres de transmisión, muros de retención, etc. La estructura consiste de dos partes, la superestructura o parte superior y los elementos de la subestructura o parte inferior, los cuales crean la interface entre la superestructura y el suelo soportante. La cimentación puede ser definida como la subestructura y las zonas adyacentes de suelo y/o roca que será afectada tanto por los elementos de la subestructura como por las cargas transmitidas desde la superestructura.

El diseño de cimentaciones requiere el conocimiento de factores como: (a) la carga que será transmitida por la superestructura a la cimentación; (b) los requisitos del reglamento local de construcción; (c) el comportamiento esfuerzo-deformación de los suelos que soportarán el sistema, y (d) las condiciones geológicas del suelo. Es deseable además tomar en cuenta el aspecto económico de construcción al momento de elegir el sistema de cimentación más adecuado.

El diseño de cimentaciones requiere que los asentamientos globales se limiten a valores tolerablemente pequeños y los asentamientos diferenciales se eliminen. Para cumplir con ello se hace necesario que la transmisión de la carga de la estructura se haga hasta un estrato de suelo que tenga la resistencia suficiente y, además, distribuir la carga sobre un área de contacto suficientemente grande para minimizar las presiones de contacto.

En general, las cimentaciones de edificios y puentes pueden dividirse en dos principales categorías: cimentaciones superficiales y cimentaciones profundas. Esta división se basa en la profundidad del estrato al cual la cimentación transfiere la carga proveniente de la superestructura. (Chorro, 2004)

Muros estructurales

Los muros de cortante o muros estructurales, si están debidamente diseñados, de tal manera que posean una rigidez lateral adecuada que reduzca las distorsiones de los entrepisos debidas a los movimientos inducidos por el sismo, reducen la posibilidad de daño a los elementos no estructurales del edificio. Cuando se utilizan combinados con marcos rígidos, los muros forman un sistema que combina la eficiencia a las cargas laterales del muro estructural con la eficiencia a la carga gravitacional proporcionada por el marco. Se ha observado que, para los edificios de varios pisos, los cuales son más susceptibles de tener grandes deformaciones laterales cuando ocurre un sismo, el comportamiento se mejora en cuanto a seguridad y control de daños al rigidizar los marcos a través de muros de cortante.

Los muros de cortante por lo general son más rígidos que los elementos de marco convencionales, y consecuentemente, están sujetos a las fuerzas laterales mayores durante la respuesta a los movimientos sísmicos. Debido a que el peralte de los muros es relativamente mayor, las capacidades de los muros a resistir deformaciones laterales son limitadas, de modo, que, para una cantidad dada de desplazamiento lateral, los muros de cortante tienden a exhibir daños mayores que los elementos de los marcos. Para diversos rangos de períodos, la estructura del muro de cortante, que es considerablemente más rígida y, por consiguiente, posee un período más corto que el de una estructura a base de marcos, sufrirá un menor desplazamiento lateral que éstos cuando se vea sometida a la misma intensidad de movimientos del terreno. Los muros de cortante con una relación altura a longitud mayor que dos, básicamente se comportan como vigas verticales en voladizo y, por consiguiente, se deberán diseñar como elementos en flexión, en los que su resistencia esté regida por la flexión más que por el cortante. (Chorro, 2004)

METODOLOGÍA

A continuación, se dará a conocer los procedimientos llevados a cabos para cumplir con el desarrollo del aplicativo, los cuales estuvieron basados en la apropiación del aplicativo Excel y su lenguaje de programación Visual Basic, además te contar con un conocimiento claro del documento AIS 114-17.

El desarrollo del aplicativo como lo anteriormente nombrado se basó en el procedimiento de diseño especificado en el capítulo 1 del documento y por consiguiente las etapas se dividieron de igual cantidad a las del AIS 114.

Paso A

Lo primero que se debe tener en cuenta para el diseño de una estructura, es su concepción a nivel de planta y elevación, debido a esto se ejecutó la primera interfaz de diseño del aplicativo, en el cual le plantea al usuario una manera práctica de ingresar estos datos.

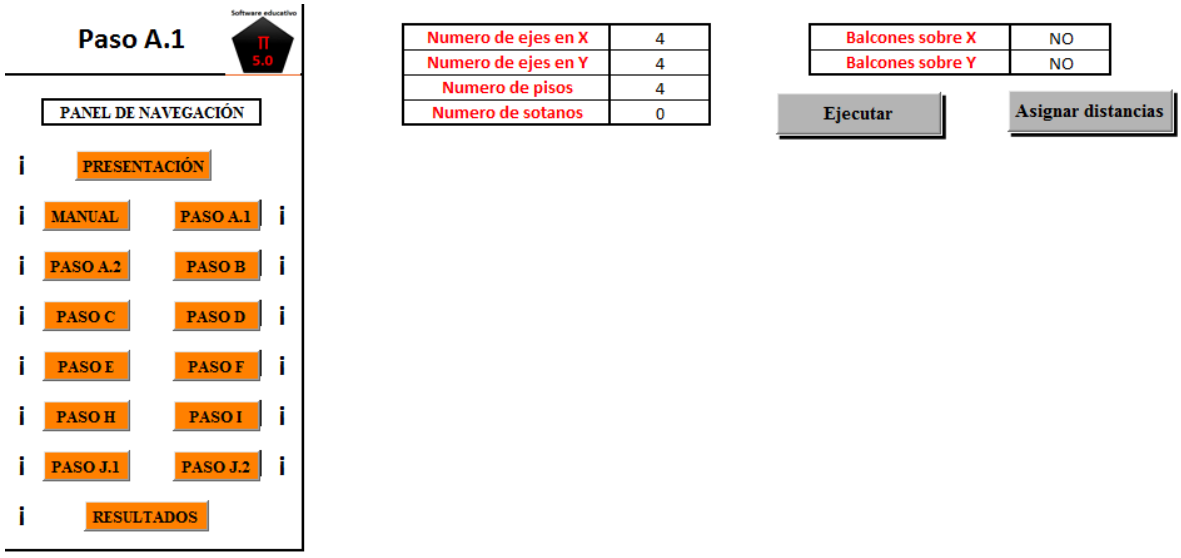


Figura 1. Interfaz Paso A.1

En la Figura 1 se muestra el apartado en donde el usuario solo necesita establecer el número de ejes en cada una de sus direcciones, el número de pisos de la edificación, establecer el número de sótanos y especificar si cuenta con balcones. Con estos datos el aplicativo podrá ser capaz de formar unos cuadrantes en donde

el usuario puede ingresar las separaciones entre ejes y la altura de cada uno de los pisos, esto se ve reflejado en la Figura 2.

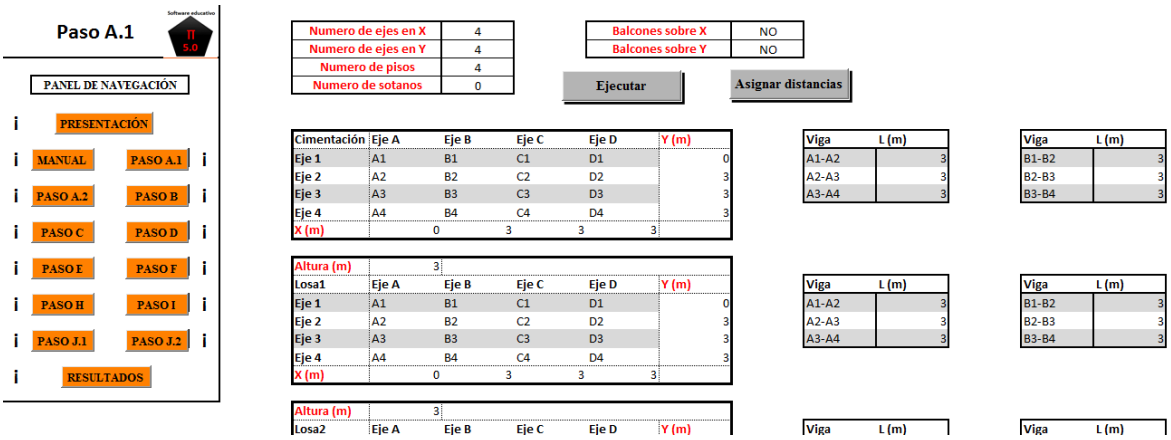


Figura 2. Interfaz Paso A.1 con todas sus tablas.

Al tener la concepción de la estructura, lo primero que exige el documento AIS 114, es definir si la estructura cumple con las limitaciones presentadas en este. Para esto se desarrolló una segunda interfaz que le permite al usuario verificar si la estructura suministrada cumple con los requerimientos. Este se puede apreciar en la figura 3.

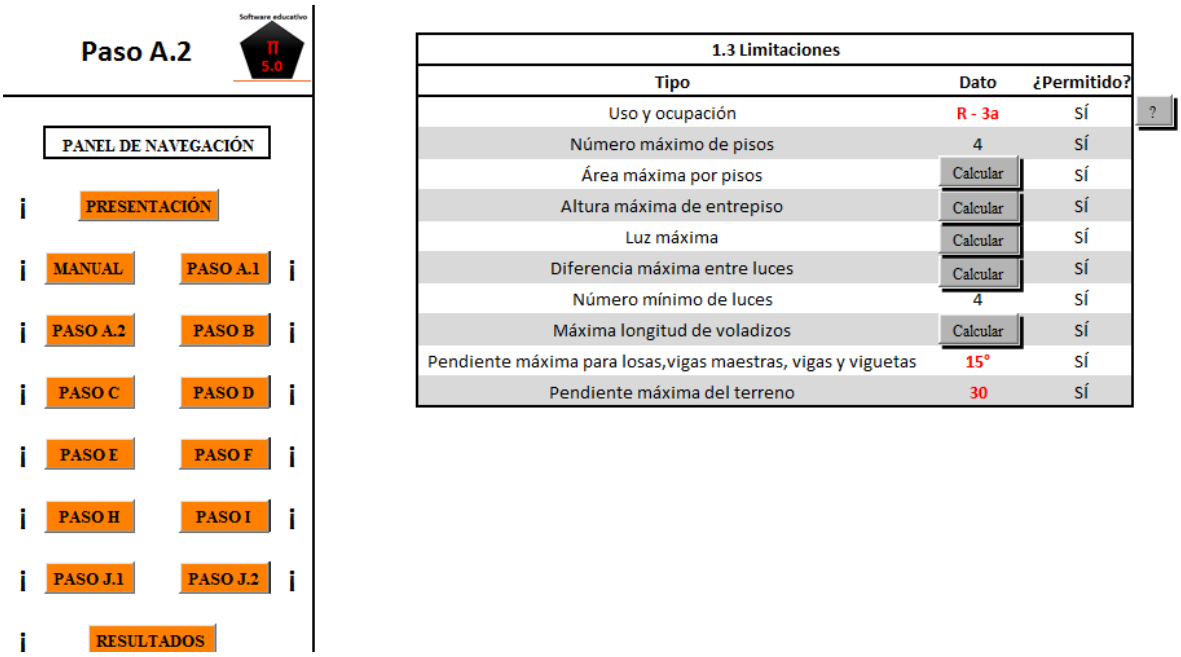


Figura 3. Interfaz Paso A.2

Con esto se da por terminado el primer paso del procedimiento de diseño.

Paso B

En el paso B del documento AIS 114 propone solo realizar el cálculo de las cargas gravitacionales que actúan sobre la estructura, que constituye una parte del capítulo 4 de este y en el paso G plantea calcular las fuerzas horizontales por efectos de sismo, viento y empuje de tierras, que complementan la otra parte del capítulo 4. Debido a esto, se decidió establecer estos dos procedimientos en el Paso B del aplicativo, ya que, para el diseño de los elementos propuestos en los siguientes pasos, es necesario conocer todas estas fuerzas.

Para dar cumplimiento a este procedimiento se creó una interfaz que le permite al usuario, realizar el cálculo de todas las cargas requeridas para el análisis y diseño de la edificación. Aquí se plantean unas tablas, que constituyen una serie de datos presentados en el documento AIS 114, que le facilita al usuario su acceso con el fin de que pueda establecer las cargas vivas y muertas correctamente, también se generaron una serie de tablas automatizadas que ayudan a calcular las fuerzas horizontales que actúan en la estructura, teniendo en cuenta principalmente su ubicación, masa, altura y área. En la Figura 4 se muestra una vista general de la interfaz de este paso.

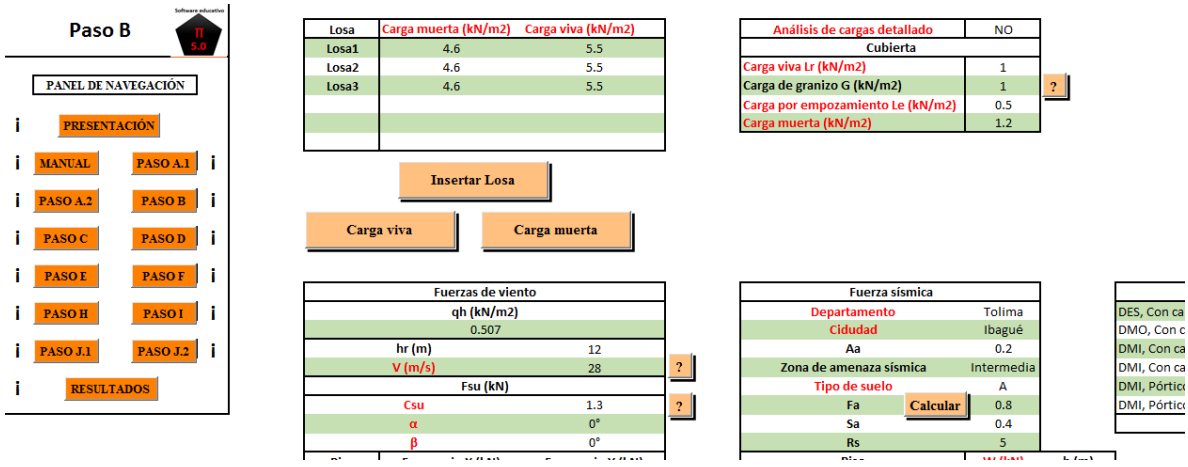


Figura 4. Interfaz Paso B

Además, en este apartado, se definen las dimensiones iniciales de los muros de concreto debido a que son necesarias para calcular el centro de rigidez, el centro de masa y la torsión, procedimientos que también están incluidos en el capítulo 4 del documento AIS 114.

Paso C

Para esta instancia, se debe definir el sistema de piso a utilizar en la estructura, el documento AIS 114, presenta una serie de sistemas de piso con los cuales se puede realizar el diseño siguiendo sus requerimientos, estos son:

- Sistema de losa maciza sobre vigas maestras
- Sistema de losa maciza sobre vigas maestras con vigas intermedias en una dirección
- Sistema de losa maciza sobre vigas maestras con vigas intermedias en dos direcciones
- Sistema de viguetas en una dirección
- Sistema de viguetas en una dirección con riostras de distribución
- Sistema de viguetas en dos direcciones
- Sistema losa-columna
- Sistema losa-columna con ábacos
- Sistema losa-columna reticular celulado

El único criterio de selección establecido dentro del aplicativo, depende de la zona de amenaza sísmica en donde se requiere diseñar la estructura. Esto limita que los sistemas de losa-columna planteados, solo se pueden utilizar en edificaciones construidas en zonas de amenaza sísmica baja; los demás criterios de selección son tomados por el usuario. En la Figura 5 se muestra dicha interfaz.

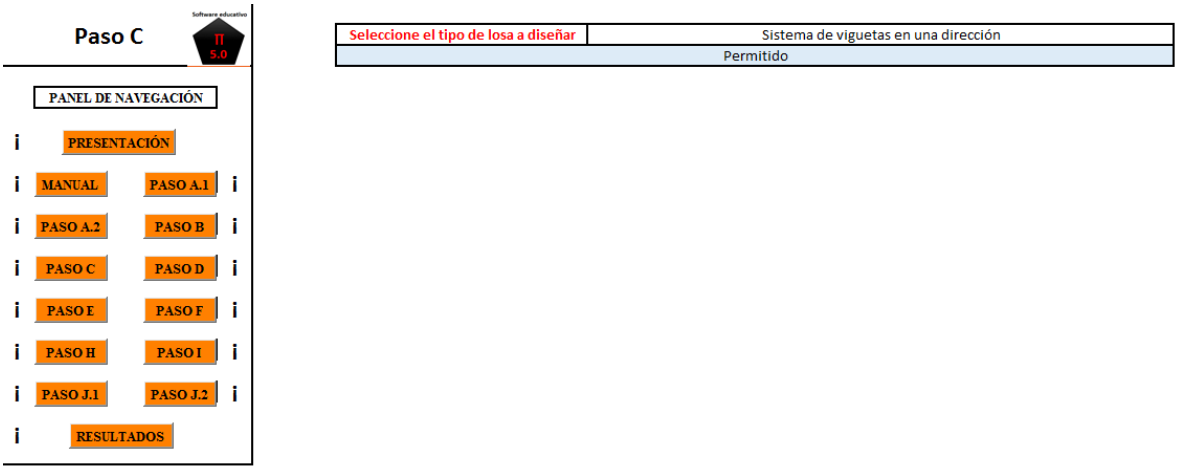


Figura 5. Interfaz Paso C

Paso D

En este paso, se realiza el diseño de la losa del sistema de piso, como primer procedimiento se establece el cálculo del espesor mínimo e inicial que tendrá la losa a diseñar, que parte de unas formulas establecidas en el capítulo 6 del AIS 114 y tienen como criterio de decisión los elementos no estructurales de la edificación y su susceptibilidad de dañarse por deflexiones grandes.

Luego se realizan las combinaciones de cargas gravitacionales, para realizar el diseño de la losa, con el fin de poder calcular los momentos y cortantes generados en ella. El diseño planteado por AIS 114, establece realizar este proceso para cada cuadrante de losa, debido a que, por cuestiones constructivas, es recomendable ejecutar un solo diseño para toda la losa. Debido a esta situación se definió que el aplicativo desarrollara el diseño del cuadrante más crítico de la losa, que corresponde al de mayor área.

Al contar con una variedad de tipos de losa que se pueden utilizar, de igual forma se crearon distintos apartados para diseñar cada uno de estos tipos, siguiendo cada uno de los procedimientos planteados en el capítulo 7 para las losas con sistemas de vigas y el capítulo 9 para el sistema losa-columna del documento AIS 114. En la figura 6 se puede apreciar una parte de la interfaz de este paso.

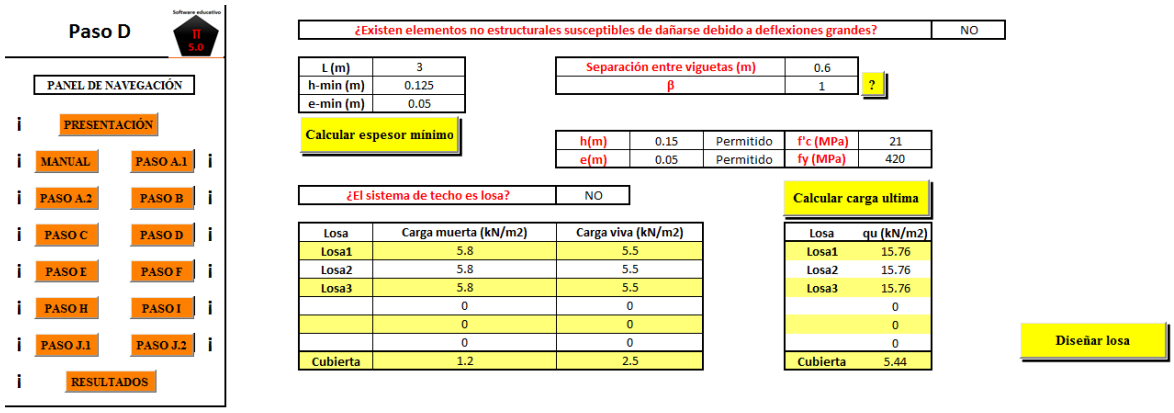


Figura 6. Interfaz Paso D

Paso E

El Paso E implica el diseño de las vigas de la estructura, este se realiza dependiendo el tipo de losa que se utilizó para la estructura. Si es una losa-columna este paso se debe omitir, debido a que este sistema no cuenta con vigas.

La interfaz ejecutada para esta sección, se personalizo teniendo en cuenta que se diseñan dos tipos de vigas, las cuales son las viguetas o vigas intermedias y las vigas maestras. En primera instancia se realizó una serie de chequeos que corresponden a las dimensiones mínimas con los que se debe iniciar el diseño. Requisitos que se dispones en el capítulo 6 y el capítulo 8 del documento AIS 114.

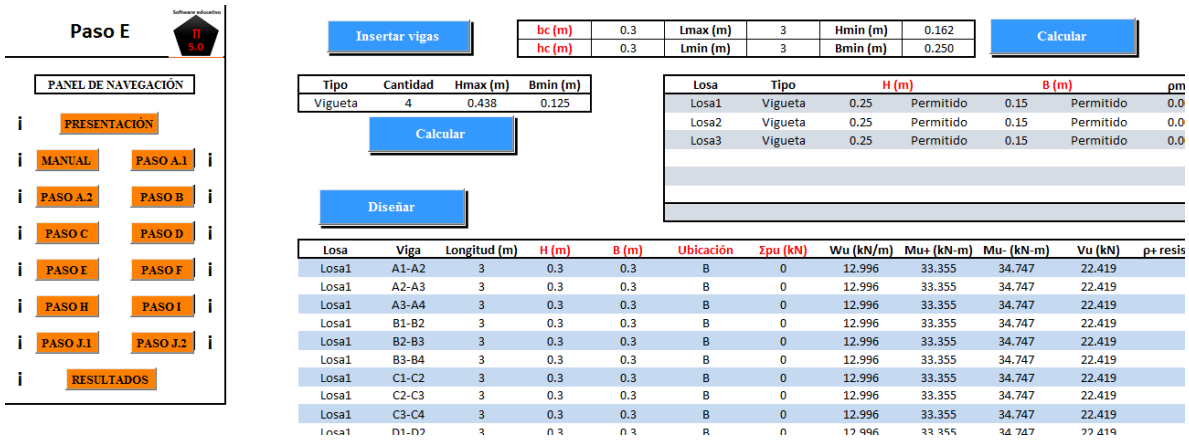


Figura 7. Interfaz Paso E

Para el primer caso se desarrolló un diseño tipo para todas las viguetas de un mismo nivel, que se calcularon a partir de las condiciones más críticas. Para el caso de las viguetas, su condición más crítica es cuando cuenta con una máxima separación entre ellas, debido a que el área de aferencia es mucho mayor y por ende cargan más, por esta razón el aplicativo se diseñó para manejar una misma separación para todas las viguetas para poder cubrir esta condición desfavorable, además también se diseña para la vigueta con mayor longitud.

Las vigas intermedias cumplen con las mismas condiciones que las viguetas, a diferencia de que no hay separación entre ellas debido a que solo existe una por cuadrante, y esta condición se remplaza por la que esté ubicada en el cuadrante más grande.

Los casos anteriormente nombrados, se diseñaron siguiendo los procedimientos y requisitos planteados en el documento AIS 114, que plantea diseño por flexión y cortante del elemento.

Losa	Tipo	H (m)		B (m)		ρmin	ρmax	Wu (kN/m)	Σpu (kN)	Mu+ (kN-m)	Mu- (kN-m)	Vu (kN)	ρ+
Losa1	Vigueta	0.25	Permitido	0.15	Permitido	0.003	0.025	10.356	0	6.863	8.388	16.078	0.004
Losa2	Vigueta	0.25	Permitido	0.15	Permitido	0.003	0.025	10.356	0	6.863	8.388	16.078	0.004
Losa3	Vigueta	0.25	Permitido	0.15	Permitido	0.003	0.025	10.356	0	6.863	8.388	16.078	0.004

Diseñar

Vu (kN)	ρ+	As+ (cm2)	ρ-	As- (cm2)	Av (cm2)	S (m)	ru (kN/m)
16.078	0.004	1.068	0.004	1.305	1.42	0.1	26.796
16.078	0.004	1.068	0.004	1.305	1.42	0.1	26.796
16.078	0.004	1.068	0.004	1.305	1.42	0.1	26.796

Figura 8. Tablas del diseño de viguetas

Para las vigas maestras, si se realizó un diseño especificado de cada una, para esto se creó una tabla que cuenta con el listado completo de las vigas existentes, tomado de la primera interfaz del Paso A. Estas vigas son diseñadas siguiendo cada uno de los requisitos planteados en el capítulo 8 junto con los chequeos planteados en el capítulo 12 para resistir las demandas por resistencia sísmica. Esto debido a que las vigas maestras, hacen parte del sistema que resiste los efectos sísmicos producidos en la estructura.

Diseñar

Losa	Viga	Longitud (m)	H (m)	B (m)	Ubicación	Σpu (kN)	Wu (kN/m)	Mu+ (kN-m)	Mu- (kN-m)	Vu (kN)	ρ+ resistencia	ρ- resistencia	As+ (cm2)
Losa1	A1-A2	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	A2-A3	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	A3-A4	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	B1-B2	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	B2-B3	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	B3-B4	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	C1-C2	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	C2-C3	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	C3-C4	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	D1-D2	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	D2-D3	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	D3-D4	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	A1-B1	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	B1-C1	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	C1-D1	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	A2-B2	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	B2-C2	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	C2-D2	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	A3-B3	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152
Losa1	B3-C3	3	0.3	0.3	B	0	12.996	33.355	34.747	22.419	0.006	0.006	4.152

Figura 9. Tabla de diseño de vigas

Paso F

En esta instancia se realiza el diseño de las columnas de la estructura, este se basó en lo descripto en el capítulo 10 del documento AIS 114. Como ya es conocido, las columnas son elementos que no se diseñan si no que se chequean, por lo que es necesario un proceso iterativo de selección del refuerzo longitudinal del elemento para poder resistir las cargas recibidas.

El proceso iterativo lo realiza el usuario, y para esto se creó un apartado que le permite, de manera práctica, ingresar los datos correspondientes a la composición total de la columna, como sus dimensiones transversales y el refuerzo longitudinal y transversal. Esto se puede observar en la Figura 10.

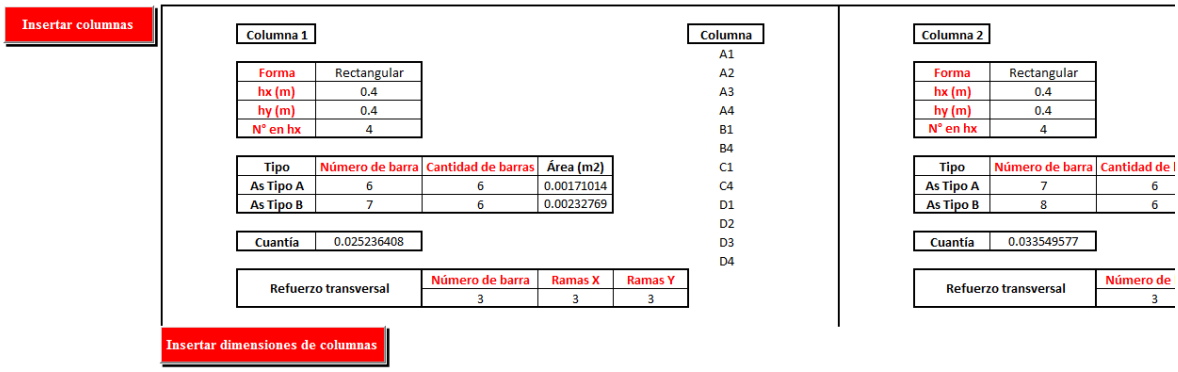


Figura 10. Tablas para el dimensionamiento de las columnas

El aplicativo también fue planificado, para dejar ingresar al usuario el número de tipos de columnas que desee, como también poder seleccionar el tipo de sección del elemento, ya sea circular o rectangular, tipos que están permitidos y explicados en el documento AIS 114.

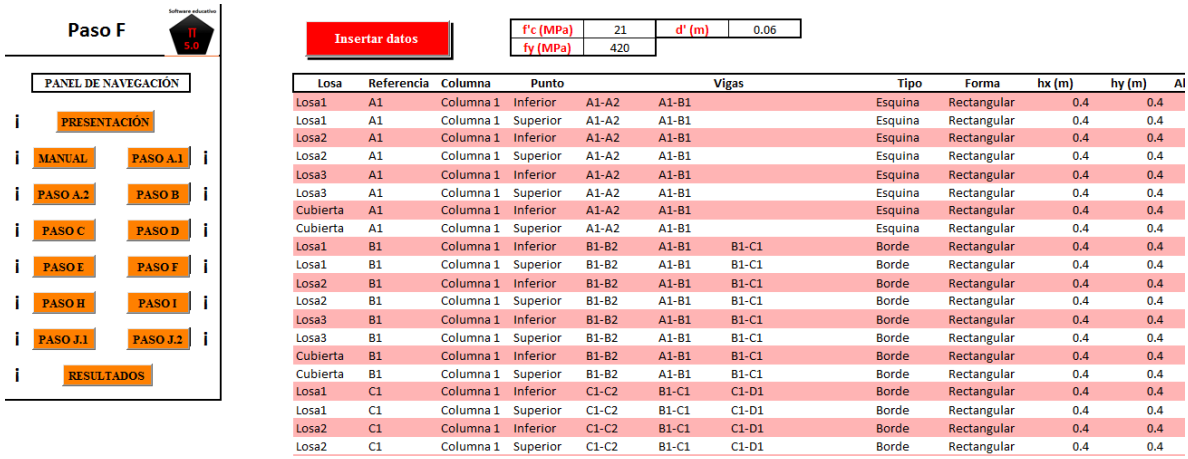


Figura 11. Interfaz Paso F

En la sección de la Paso F al igual que en vigas, como se contempla en la Figura 11, está diseñada una tabla que contiene todos los datos y resultados de las columnas, que provienen de las referencias ya creadas en el Paso A y contienen las dimensiones y áreas de refuerzos proporcionadas en el apartado de insertar columnas.

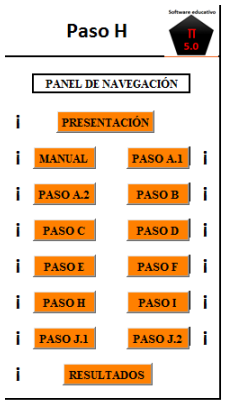
Además de los requerimientos de capítulo 10 que pauta las dimensiones mínimas, áreas de acero mínimas, diseño por cortante, diseño por momento biaxial, entre otros; también se chequean los del capítulo 12, debido a que las columnas hacen parte del sistema de resistencia sísmica de la edificación.

Paso G

Como se comentó anteriormente este paso fue desarrollado dentro del Paso B debido a que los dos contemplan los procedimientos descritos en el capítulo 4 del documento AIS 114.

Paso H

Para el Paso H, el AIS 114, establece los muros de concreto como los elementos a diseñar, para esto se creó una interfaz en donde se ingresan la cantidad de muros ya establecidos en el Paso B del procedimiento, los cuales ya contienen los datos iniciales de la composición geométrica del muro.



Insertar datos y diseñar muros

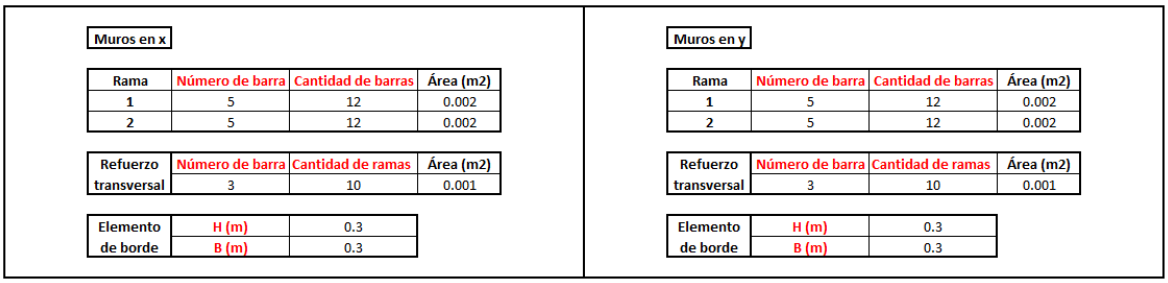
f'c (MPa)	21	dc (m)	0.05
fy (MPa)	420		

Nivel	Muro	Punto	Viga	Viga	Altura (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kN-m)	Muy (kN-m)
Piso1	Muro1x	Inferior	B1-C1		3	3.5	0.2	199.349	0.651	1794.142	5.858
Piso1	Muro1x	Superior	B1-C1		3	3.5	0.2	199.349	0.651	1196.094	3.906
Piso2	Muro1x	Inferior	B1-C1		3	3.5	0.2	179.414	0.586	1196.094	3.906
Piso2	Muro1x	Superior	B1-C1		3	3.5	0.2	179.414	0.586	657.852	2.148
Piso3	Muro1x	Inferior	B1-C1		3	3.5	0.2	139.544	0.456	657.852	2.148
Piso3	Muro1x	Superior	B1-C1		3	3.5	0.2	139.544	0.456	239.219	0.781
Piso4	Muro1x	Inferior	B1-C1		3	3.5	0.2	79.740	0.260	239.219	0.781
Piso4	Muro1x	Superior	B1-C1		3	3.5	0.2	79.740	0.260	239.219	0.781
Piso1	Muro2x	Inferior	B4-C4		3	3.5	0.2	199.349	0.651	1794.142	5.858
Piso1	Muro2x	Superior	B4-C4		3	3.5	0.2	199.349	0.651	1196.094	3.906
Piso2	Muro2x	Inferior	B4-C4		3	3.5	0.2	179.414	0.586	1196.094	3.906
Piso2	Muro2x	Superior	B4-C4		3	3.5	0.2	179.414	0.586	657.852	2.148
Piso3	Muro2x	Inferior	B4-C4		3	3.5	0.2	139.544	0.456	657.852	2.148
Piso3	Muro2x	Superior	B4-C4		3	3.5	0.2	139.544	0.456	239.219	0.781
Piso4	Muro2x	Inferior	B4-C4		3	3.5	0.2	79.740	0.260	239.219	0.781
Piso4	Muro2x	Superior	B4-C4		3	3.5	0.2	79.740	0.260	239.219	0.781
Piso1	Muro1y	Inferior	A2-A3		3	3.5	0.2	0.651	199.349	5.858	1794.142
Piso1	Muro1y	Superior	A2-A3		3	3.5	0.2	0.651	199.349	3.906	1196.094
Piso2	Muro1y	Inferior	A2-A3		3	3.5	0.2	0.586	179.414	3.906	1196.094
Piso2	Muro1y	Superior	A2-A3		3	3.5	0.2	0.586	179.414	2.148	657.852

Figura 12. Interfaz Paso H

Además de lo que ya se tiene, es necesario suministrar el acero longitudinal que contendrá el elemento, este al igual que en columnas, es insertado por el usuario en un apartador específico para esta función. En este solo es posible establecer dos

tipos de muros, los cuales van a ser para las dos direcciones de estudio de la estructura (X, Y).



Muros en x

Rama	Número de barra	Cantidad de barras	Área (m2)
1	5	12	0.002
2	5	12	0.002

Refuerzo transversal	Número de barra	Cantidad de ramas	Área (m2)
	3	10	0.001

Elemento de borde		
	H (m)	0.3
	B (m)	0.3

Muros en y

Rama	Número de barra	Cantidad de barras	Área (m2)
1	5	12	0.002
2	5	12	0.002

Refuerzo transversal	Número de barra	Cantidad de ramas	Área (m2)
	3	10	0.001

Elemento de borde		
	H (m)	0.3
	B (m)	0.3

Figura 13. Tablas para el suministro de acero de los muros estructurales.

En la Figura 13 se puede observar que hay 3 tablas, para refuerzo longitudinal, refuerzo transversal y dimensiones de los elementos de borde. Esto se debe a que los muros de concreto reforzado cuando tienen demandas significativas de cargas, es necesario suplicarlas con dos características nuevas, como el refuerzo transversal en estribo y elementos de borde.

En la tabla general se formuló unas columnas específicas, para infórmale al usuario cuando es necesario el uso de las características anteriormente nombradas. Estos muros son diseñados según lo establecido en el capítulo 11 y capítulo 12 del documento AIS 114.

Paso I

El documento AIS 114 también considera el procedimiento para el diseño de escaleras y tanques de agua potable pequeños, el cual se realiza en la instancia del Paso I y se encuentran registrados en el capítulo 13 de AIS 114.

Las consideraciones para el diseño de estos elementos son bastante simples, debido a que se desarrollan como los procedimientos establecidos para losas macizas. Para esto se estableció inicialmente, dos tablas que contienen la información inicial de estos elementos, tales como sus dimensiones, chequeos iniciales y sus cargas gravitacionales. Por ultimo en una sola tabla se resumen todos los datos correspondientes al diseño de estas dos estructuras.

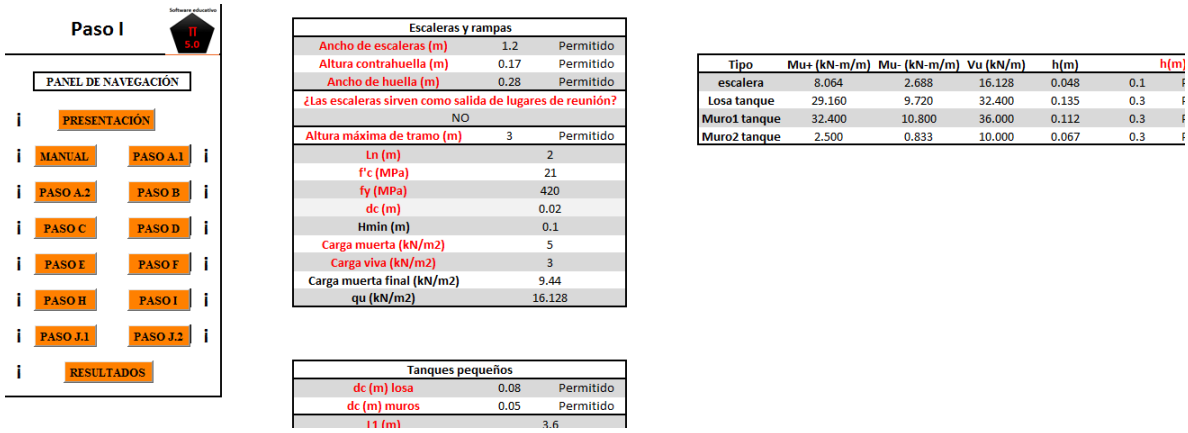


Figura 14. Interfaz Paso I

Paso J

El último paso de diseño corresponde a la cimentación de la estructura, que se ejecuta a través del capítulo 14 del documento AIS 114. Este documento plantea dos tipos de cimentación, zapatas con vigas de cimentación o losa de cimentación, por ende, el aplicativo también fue diseñado para abarcar estos dos tipos de cimentación y se estableció una tabla de diseño para cada uno de los componentes que contienen estas estructuras. Es de resaltar, que dentro de los procedimientos del capítulo 14, se formulan algunas alternativas para calcular la capacidad portante admisible del suelo, pero en este software, se optó por dejarlo como dato de entrada del usuario, ya que este corresponde a un estudio de suelos previo.

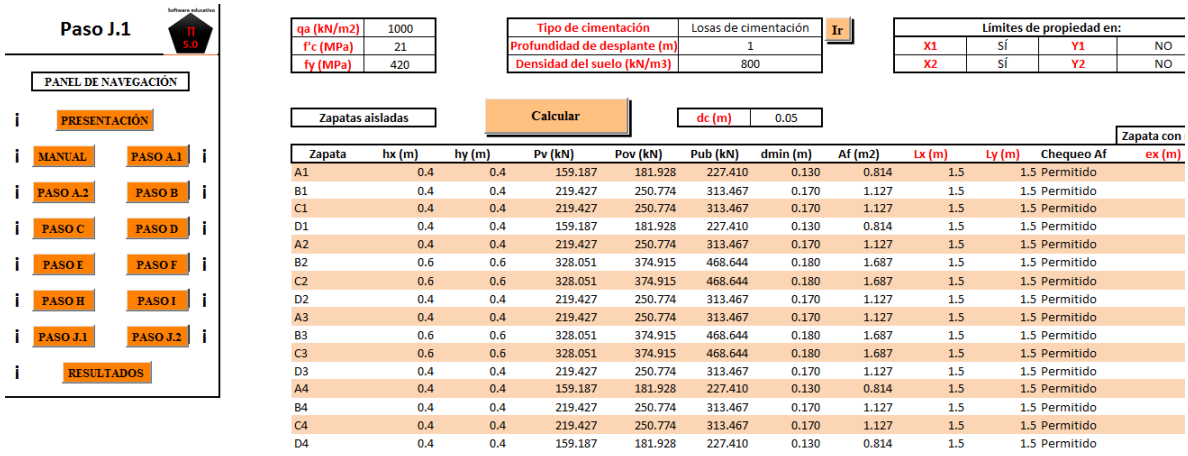


Figura 15. Interfaz Paso J.1

Para la cimentación constituida por zapatas y vigas de cimentación, primero se debe establecer si la edificación cuenta con limitaciones en sus bordes, lo cual genera que las zapatas no se puedan construir concéntricamente con las columnas. En este caso el diseño de este elemento se basa en zapatas combinadas, en el cual la zapata se debe diseñar para cargas excéntricas y tiene que estar conectada con vigas de cimentación, para cubrir sus efectos de vuelco. Para las demás zapatas se realiza el diseño típico de zapatas aisladas y se unen con vigas de cimentación diseñadas independientemente. Además, se establece el diseño para las zapatas de muros, que tiene su propio procedimiento de diseño.

En la losa de cimentación, simplemente se ejecutan dos diseños, el correspondiente a la losa y el de vigas de cimentación que están por debajo de esta. En la Figura 16 se puede observar las tablas correspondientes a este diseño.

Calcular

Losa de cimentación	dc (m)	0.02	ρmáx	0.01	ρmín	0.002	ϕc	0.75	ϕf	0.9	Ln (m)	3	h

Pv (kN)	Pu (kN)	qun (kN/m2)	Mu+ (kN-m/m)	Mu- (kN-m/m)	Vu (kN/m)	h(m)	h(m)		ρ+	As+ (cm2)	ρ-	As- (cm2)	Asmín (cm2)	Asm
328.051	468.644	5.786	3.834	4.218	8.982	0.035	0.31	Permitido	0.000	0.412	0.000	0.453	6.2	

Vigas de cimentación	dc (m)	0.05

Diseñar

Viga	Longitud (m)	H (m)	B (m)	Ubicación	Σpu (kN)	Wu (kN/m)	Mu+ (kN-m)	Mu- (kN-m)	Vu (kN)	ρ+ resistencia	ρ- resistencia	As+ (cm2)	As- (cm2)	As+
A1-A2	3		0.3	B	0	160.000	102.857	120.000	276.000	0.006	0.006	100.000	100.000	
A2-A3	3		0.3	B	0	160.000	102.857	120.000	276.000	0.006	0.006	100.000	100.000	
A3-A4	3		0.3	B	0	160.000	102.857	120.000	276.000	0.006	0.006	100.000	100.000	
B1-B2	3		0.3	B	0	160.000	102.857	120.000	276.000	0.006	0.006	100.000	100.000	
B2-B3	3		0.3	B	0	160.000	102.857	120.000	276.000	0.006	0.006	100.000	100.000	
B3-B4	3		0.3	B	0	160.000	102.857	120.000	276.000	0.006	0.006	100.000	100.000	
C1-C2	3		0.3	B	0	160.000	102.857	120.000	276.000	0.006	0.006	100.000	100.000	
C2-C3	3		0.3	B	0	160.000	102.857	120.000	276.000	0.006	0.006	100.000	100.000	
C3-C4	3		0.3	B	0	160.000	102.857	120.000	276.000	0.006	0.006	100.000	100.000	
D1-D2	3		0.3	B	0	160.000	102.857	120.000	276.000	0.006	0.006	100.000	100.000	

Figura 16. Tablas para el diseño de la losa de cimentación

Los muros de contención solo se diseñan si la edificación cuenta con un sótano, y aunque su diseño este establecido en el Paso I, se desarrolló como parte del Paso J, debido a que igual que la cimentación este elemento se diseña con procedimientos del capítulo 14.

Para esto se creó una interfaz que sigue cada uno de los pasos establecidos para el cálculo de las fuerzas de empuje de tierra y el respectivo diseño del muro de contención. Esto se presenta seccionado en tablas, con cada uno de los procedimientos.

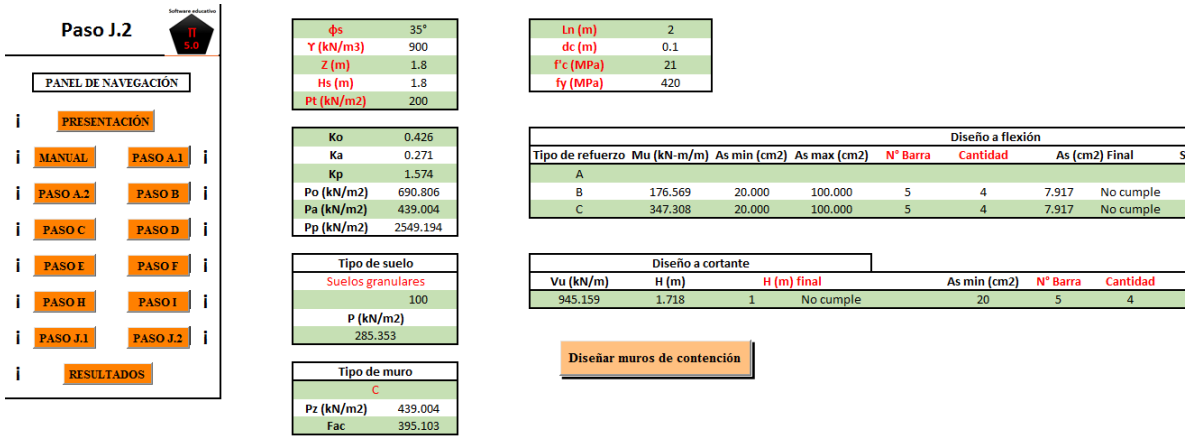


Figura 17. Interfaz Paso J.2

Resultados

Al final del aplicativo, se creó una última interfaz en donde se genera el resumen de todos los resultados obtenidos durante el proceso de diseño.

CONCLUSIONES

- Se logró desarrollar un software educativo que le permite a los estudiantes de la Universidad de Ibagué, comprender de manera más práctica, el proceso de diseño de una edificación.
- El procedimiento de diseño del documento AIS 114-17 es posible llevarse a cabo usando una calculadora, aunque de esta manera conlleva bastante tiempo, debido a la gran cantidad de elementos que se necesitan diseñar.
- La interfaz del aplicativo es clara y sencilla de comprender y utilizar, generando una herramienta óptima para el proceso de aprendizaje.
- El flujo de diseño planteado en el AIS 114-17 es un procedimiento adecuado, debido a que sigue la dinámica del análisis y diseño estructural, permitiendo que se siga un camino lineal.
- El aplicativo abarco todos los tipos de losas, vigas, columnas, muros y cimentaciones planteados en el documento AIS 114-17, lo que permite una gran flexibilidad, a la hora de la toma de decisión para el planteamiento estructural.
- La herramienta de programación Visual Basic del aplicativo Excel, proporciona una gran ayuda, debido a que permite realizar procedimientos, en su mayoría cíclicos, que optimizan una gran cantidad de tiempo.
- El documento AIS 114-17 programado en este software educativo, cambiara la perspectiva de que el diseño de estructuras de concreto, es un proceso complejo y dispendioso, que genera rechazo por alguna parte de los estudiantes de ingeniería civil, al contar con una alternativa que facilita y optimiza todo este proceso.

RECOMENDACIONES

- Es importante que las personas que van hacer uso del aplicativo, tengan conocimiento del documento AIS 114-17.
- Sería fundamental, que, en un futuro próximo, se desarrolle una extensión de este aplicativo, que proporcione el despiece y dibujo de los elementos diseñados, generando un software mucho más completo.

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. (2017). *Requisitos esenciales para edificaciones de concreto reforzado de tamaño y altura limitados.* Bogotá D.C.

Chorro, L. A. (2004). *Diseño de elementos estructurales en edificios de concreto reforzado.* San Salvador.

Cuevas, Ó. M. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado.* Mexico D.F.: LIMUSA NORIEGA EDITORES.

Porto, J. P. (2009). *Definición.de*. Obtenido de Definición.de: https://definicion.de/excel/