

Búsqueda de la luz económicamente óptima para edificaciones simétricas con pórticos
resistentes a momentos en concreto reforzado - etapa 1

Francisco Lucero Tulcán, ✉ pachooo527@gmail.com
Christian Danilo Timaran Chachinoy, ✉ timarandani582@gmail.com

Proyecto de investigación presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director
JAVIER MORENO MESÍAS
Ingeniero Civil. Esp. Docente Universidad de Nariño



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
San Juan de Pasto
Noviembre, 2022

Nota de Responsabilidad

“Las ideas y conclusiones abortadas en este Trabajo de Grado son responsabilidad del autor”.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación

Firma del director

Firma del jurado evaluador

Firma del jurado evaluador

San Juan de Pasto, noviembre de 2022

Dedicatoria

A nuestros padres, familia, compañeros, y personas que de una u otra forma han hecho parte de nuestra formación académica, gracias a cada aporte hecho por ustedes a lo largo de este tiempo, cada experiencia, por más pequeña que sea ha permitido nuestro crecimiento como estudiantes, que poco a poco avanzamos hasta llegar a este punto.

Gracias también a nuestro asesor, por la seguridad puesta sobre nosotros para llevar a cabo la investigación desarrollada en este proyecto de grado, tarea que resultó ser difícil y extenuante, pero, a pesar de los altibajos presentados en el camino, con la ayuda y confianza de todas las personas mencionadas fue posible culminar esta meta tan importante.

Estamos satisfechos con el conocimiento adquirido en este proceso y con los resultados obtenidos, ya que al final sentimos que logramos cumplir los objetivos planteados al inicio, y sabemos que todo el trabajo se plasma en los resultados que servirán como referencia para profesionales en el campo de la construcción y el diseño.

Todo esto fue posible por ustedes y siempre estaremos agradecidos por eso.

RESUMEN

Las empresas constructoras tienen como principal objetivo buscar la máxima rentabilidad en sus obras, por lo tanto se debe evitar cualquier gasto innecesario, cada proyecto necesita ser diseñado según las normas pertinentes a cada profesional responsable, sin embargo entre el arquitecto y el ingeniero estructural suelen haber discrepancias por la afectación mutua de sus respectivos diseños, una de las diferencias se presenta al momento ubicar las columnas, aspecto principal que determina la forma de la estructura e influye directamente en el costo final de la edificación. Por la falta de información que determine el costo de la edificación respecto a la longitud de luz entre columnas predominante en la estructura, se ha propuesto iniciar la primera etapa para una base de datos que registre diferentes presupuestos estructurales, teniendo como principal criterio de evaluación la longitud de la luz entre columnas y su afectación en el costo por metro cuadrado final.

En la primera etapa del trabajo de investigación se ha realizado un análisis estructural y presupuestal de 28 edificaciones simétricas con pórticos resistentes a momentos y variando la longitud de luz y número de niveles en cada una, se seleccionaron diferentes parámetros para contextualizar la investigación a la ciudad de Pasto, el objetivo de la primera etapa es determinar cuál longitud de luz es la más económica y que además cumpla todos los requerimientos impuestos por la normatividad colombiana.

Los resultados de la investigación buscan disminuir las diferencias entre arquitectos e ingenieros, generando un criterio de escogencia con bases técnicas que se ajustan a la ciudad de Pasto, minimizaran tiempos y gastos generados en la etapa de diseño de los proyectos de vivienda.

Palabras Clave: Longitud de Luz, edificaciones con pórticos resistentes a momentos, análisis estructural, análisis presupuestal.

ABSTRACT

Construction companies have as their main objective the search for profitability in their works, so that it must be avoid all unnecessary expenses, every professional project has been made according to the relevant standards in charge of each professional, however, between the architect and the structural engineer there are discrepancies due to the mutual affectation of their designs, one of the differences is presented when they have placing the columns on their sheets, this is an important aspect that determines the shape of the structure and directly influences the final cost of the building. Due to the lack of information that determines the cost of the building with respect to the length of the light between columns predominant in the structure, it has been proposed to start the first stage for a database that registers structural budgets, having as main criterion of evaluation the length of light between columns and their effect on the cost per final square meter.

In the first stage of the research work, a structural and budgetary analysis of 28 buildings has been carried out and varying the length of light and levels in each, different parameters were selected to contextualize the research to the city of Pasto, the objective of the first stage is determinate which length of light is the most economical and that it also meets all the requirements imposed by Colombian regulations.

The results of the research are reduced to the differences between the architects and engineers, generating a criterion of choice with the technical bases that adjust to the grass city, and that minimize the time and expenses generated in the different housing projects.

Keywords: Length of light, buildings contributed, structural analysis, budget analysis.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
GLOSARIO	13
I. INTRODUCCIÓN	15
II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
A. Descripción del problema	16
B. Justificación	17
III. OBJETIVOS	18
A. Objetivo general	18
B. Objetivos específicos	18
IV. MARCO REFERENCIAL	20
A. Marco contextual	20
B. Marco teórico conceptual	21
1) Concreto Reforzado	21
2) Sistema de Pórticos en Concreto Reforzado	21
3) Diseño Estructural	22
4) Diseño Sismo-resistente	23
5) Métodos de análisis sísmico	24
6) Despiece Estructural	28
7) Presupuesto de Obra	28
V. MARCO LEGAL	31
VI. ANTECEDENTES	33
VII. METODOLOGÍA	34
A. Análisis y diseño estructural según NSR-10	35
1) Datos Generales	35
2) Norma Sismo-resistente	35
3) Tablas de Despiece	37
4) Definición de Plantas	37
5) Pre Dimensionamiento	40
6) Introducción de columnas	40
7) Introducción de Vigas	40
8) Introducción de Losas	40
9) Cálculo de la Obra Introducida	41
10) Chequeos Sismo-resistentes	41
11) Revisión de Elementos Estructurales	42
12) Obtención de cantidades de obra y planos estructurales	43
B. Presupuesto de la estructura	43
1) Elaboración de Ítems Presupuestales	43
2) Cantidades de obra	44
3) Precio de materiales	44
4) Maquinaria	44
5) Mano de Obra	44

6) Análisis de Precios Básicos	44
7) Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.)	45
8) Presupuesto de Obra:	45
VIII. RESULTADOS.....	46
A. Definición de parámetros estructurales.....	46
1) Evaluación de las Solicitaciones:	46
2) Movimientos Sísmicos de Diseño	47
3) Características de la Estructura.....	48
B. Análisis sísmico de la estructura	52
1) Espectro elástico de aceleraciones:.....	52
2) Espectro Sísmico de Diseño	53
3) Combinaciones de carga utilizadas:	54
4) Cortante Dinámico en la Base	57
5) Chequeo de Desplazamiento Horizontales (Derivas).....	60
6) Resumen de Secciones.....	61
7) Diseño de los Elementos Estructurales.....	61
8) Cantidades de Obra.....	64
C. Análisis de precios unitarios	65
1) Análisis de Salario y Horas efectivas	66
2) Conformación de Cuadrillas y Valor del Jornal Diario Real.....	70
3) Valor de los Equipos Utilizados	70
4) Valor de los Materiales.....	70
5) Calculo de Rendimientos.....	71
6) Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.)	71
D. Presupuesto final de las estructuras	72
E. Costo por metro cuadrado de las 28 edificaciones	73
IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS	75
X. CONCLUSIONES	85
XI. RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA I. NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA SEGÚN VALORES DE AA Y AV -TABLA A.2.3-1- NSR-10– TÍTULO A.....	24
TABLA II. TABLA CR.9.5 -TÍTULO C -NSR-10 - PÁG. C-129.....	39
TABLA III. DIMENSIONES DE VIGAS EN LAS EDIFICACIONES.	39
TABLA IV. VALORES DEL COEFICIENTE FA PARA LA ZONA DE PERIODOS CORTOS DEL ESPECTRO (A.2.4-3)-TITULO A NSR-10.	48
TABLA V. VALORES DEL COEFICIENTE FV, PARA LA ZONA DE PERIODOS INTERMEDIOS DEL ESPECTRO (A.2.4-4)-TITULO A NSR-10.	48
TABLA VI. VALORES DEL COEFICIENTE DE IMPORTANCIA (I), TABLA A.2.5-1 - TÍTULO A NSR 10 PÁG. A-26	49
TABLA VII. COMBINACIONES DE CARGA MAYORADAS USANDO EL MÉTODO DE RESISTENCIA SEGÚN B.2.4	54
TABLA VIII. COMBINACIONES PARA VERIFICACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS - DERIVAS	56
TABLA IX. VALORES DE SA Y SA/R PARA LAS DIFERENTES ALTURAS DE LAS EDIFICACIONES.	58
TABLA X. VERIFICACIÓN CORTANTE BASAL DINÁMICO VS CORTANTE BASAL ESTÁTICO.	59
TABLA XI. DERIVA MÁXIMA DE LAS 28 ESTRUCTURAS, Y COMPARACIÓN CON DERIVA MÁXIMA SEGÚN A.6.4.	60
TABLA XII. CALCULO DEL FACTOR DE SOBRECOSTO POR HORA EFECTIVA.	69
TABLA XIII. CÁLCULO DE JORNAL REAL DIARIO.	69
TABLA XIV. ANÁLISIS DE CUADRILLAS Y COSTO DEL RESPECTIVO JORNAL.....	69
TABLA XV. VALOR DIARIO DE EQUIPOS Y MAQUINARIA PARA ESTRUCTURA.	70
TABLA XVI.VALOR DE MATERIALES PARA ESTRUCTURA.....	70

LISTA DE FIGURASS

Pág.

Fig 1.	Mapa de Colombia según Zona de Amenaza Sísmica – Fig A.2.3-1 NSR-10 – Título A.....	20
Fig 2.	Sistema de pórticos resistentes a momentos.....	21
Fig 3.	Entrada de datos generales en CYPECAD.	35
Fig 4.	Introducción de la Normativa Colombiana para acción sísmica.	36
Fig 5.	Introducción de las tablas de despiece.....	37
Fig 6.	Ejemplo de armadura predeterminada a partir de la tabla de despiece.	38
Fig 7.	Introducción de niveles y las cargas.	38
Fig 8.	Disposición de vigas y losas en planta.	40
Fig 9.	Introducción de viga.	41
Fig 10.	Introducción de losa.....	41
Fig 11.	Resultados de la viga después del análisis.....	43
Fig 12.	Esquema de lámina colaborante utilizado.	46
Fig 13.	Ubicación representativa de los estudios de suelos recolectados en la ciudad de Pasto.....	49
Fig 14.	Esquema estructural para edificaciones con luces de 3 y 4 metros.	50
Fig 15.	Esquema estructural para edificaciones con luces de 5 hasta 9 metros.	51
Fig 16.	Tabla A.3-3 de la nsr-10 valor de r correspondiente a pórticos resistentes a momento.	52
Fig 17.	Espectro elástico de aceleraciones para todas las estructuras.....	53
Fig 18.	Espectro Sísmico de Diseño.	54
Fig 19.	Valores de c_t y a para el cálculo del periodo aproximado t_a , tabla A.4.2-1 - título A - nsr10.	57
Fig 20.	Deriva máxima para cada nivel según A.6.4 (tabla A.6.4-1, título A, nsr-10).....	60
Fig 21.	Ejemplo despiece típico de Viga.	62
Fig 22.	Posición, figuración, diámetro y longitud de las barras dispuestas en el despiece de la viga.....	62
Fig 23.	Posición, figuración, diámetro y longitud de las barras dispuestas en el despiece de la columna.....	63
Fig 24.	Ejemplo de despiece típico de Columna.....	64
Fig 25.	Resumen de cantidades estructurales de las 28 edificaciones.	65
Fig 26.	Análisis de salario más prestaciones (vigente para 2020).	67
Fig 27.	Análisis de precios unitarios para el ítem 1.01: columnas concreto 28 mpa.....	71
Fig 28.	Esquema de la obtención del presupuesto general para las edificaciones.	72
Fig 29.	Resumen del costo de las edificaciones por metro cuadrado.	73
Fig 30.	Recopilación cuantía de concreto total por edificio.	75
Fig 31.	Costo directo/m ² Vs Cuantía de ccto estructural (Kg/m ²).	76
Fig 32.	Costo directo/m ² Vs Cuantía de ccto no estructural (Kg/m ²).	76
Fig 33.	Costo directo por m ² (\$/m ²) Vs Cuantía total de ccto (kg/m ²).....	77
Fig 34.	Recopilación cuantía de acero total por edificio.	78
Fig 35.	Costo directo/m ² Vs Cuantía de acero estructural (kg/m ²).	79

Fig 36.	Costo directo/m ² Vs Cuantía de acero no estructural (kg/m ²).	79
Fig 37.	Costo directo por m ² (\$/m ²) Vs Cuantía total de acero (kg/m ²).....	80
Fig 38.	Costo por metro cuadrado vs edificios clasificados por número de niveles y longitud de luz.	81

LISTA DE ANEXOS

[Archivos adjuntos en pdf]

- Anexo 1. Mapa de valores de Aa según título A de la NSR-10.
- Anexo 2. Mapa de valores de Av según título A de la NSR-10.
- Anexo 3. Tabla A.2.3-2. Valor de Aa y de Av para las ciudades capitales de dpto.
- Anexo 4. Ejemplo de justificación de la acción sísmica (Análisis dinámico espectral) arrojado por CYPECAD.
- Anexo 5. Resultados de cortante basal estático y dinámico para las 28 edificaciones según CYPECAD.
- Anexo 6. Resultados de la deriva máxima para cada edificación según CYPECAD.
- Anexo 7. Análisis de precios básicos y Análisis de precios unitarios.
- Anexo 8. Tabla B.3.4.1-1. Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – cielo raso.
- Anexo 9. Tabla B.3.4.1-3. Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos.
- Anexo 10. Tabla B.3.4.3-1. Valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales.
- Anexo 11. Tabla B.4.2.1-1. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas.
- Anexo 12. Resumen de los resultados arrojados respecto al tipo de suelo obtenido según estudios de suelos recolectado para la presente investigación.
- Anexo 13. Tabla A.2.4-1. Clasificación de perfiles de suelo.
- Anexo 14. Numeral A.2.5.1. Grupos de uso.
- Anexo 15. Tabla A.3-6. Irregularidades en planta.
- Anexo 16. Tabla A.3-7. Irregularidades en altura.
- Anexo 17. Resumen de secciones + Resumen de cantidades.
- Anexo 18. Comparación de resultados edificio luz 5m y 3 niveles.
- Anexo 19. Modelos estructurales de las 28 edificaciones realizados con el software CYPECAD (medio magnético).
- Anexo 20. Modelos estructurales de las edificaciones realizados con el software ETABS (medio magnético).
- Anexo 21. Análisis presupuestal detallado de las 28 Edificaciones (Incluye gráficas y tablas de resumen) (medio magnético).
- Anexo 22. Análisis matricial de pórtico.
- Anexo 23. Análisis matricial de viga.
- Anexo 24. Diagrama de momentos y cortante.
- Anexo 25. Esfuerzo cortante en viga.
- Anexo 26. Diseño biaxial de columna.
- Anexo 27. Comprobación manual por medio de hoja cálculo del análisis matricial de pórtico, análisis matricial de viga, diagrama de momentos y cortante, esfuerzo cortante en viga y diseño biaxial de columna (medio magnético).
- Anexo 28. Comprobación de resultados del análisis estructural mediante el software CYPECAD y ETABS.
- Anexo 29. Valor real salario 2020 - Revista construdata.
- Anexo 30. Recopilación de presupuestos recolectados en la ciudad de Pasto.

GLOSARIO

Abreviaturas utilizadas: Norma sismo resistente (*NSR*), Salario Mínimo Mensual Legal Vigente (*S.M.M.L.V.*), Código sustancial del trabajo (*C.S.T.*), Plan de ordenamiento territorial (*P.O.T.*), Departamento Administrativo Nacional de Estadística (*DANE*).

Aceleración pico efectiva (*Aa*): Es la aceleración de mayor magnitud que se puede presentar en un sismo.

Concepto de norma urbanística: Dictamen escrito por medio del cual la oficina de planeación o la que haga sus veces, informa al interesado sobre las normas urbanísticas y demás vigentes aplicables a un predio que va a ser construido o intervenido, y que no otorga derechos ni obligaciones a su peticionario.

Curaduría urbana: Institución se encarga de estudiar, tramitar y expedir licencias de parcelación, urbanización, construcción y subdivisión de predios para cada proyecto presentado. Las expediciones de licencia se complementan en la oficina de planeación municipal, en la cual se revisa que los proyectos radicados en curaduría cumplan con las normas urbanísticas de cada municipio.

Despiece estructural: Parte indispensable en los planos estructurales, ya que indica la longitud, diámetro, geometría, y disposición del acero corrugado y propiedades de todos los elementos de concreto que formen parte de la edificación.

Fa: Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional.

Fv: Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional.

Jornal: Es la cantidad de dinero que se paga a un trabajador por día, esta cantidad depende de la importancia de su trabajo o función dentro del servicio para el cual fue contratado.

Lo: Carga viva sin reducir, en kN/m².

Metaldeck: Lamina colaborante fabricada por ACESCO, se utiliza en la elaboración de losas mixtas, las cuales se complementan con una placa de concreto reforzado en la parte superior.

Oficina de planeación municipal: Es un organismo principal con autonomía administrativa encargado de liderar la planificación para el desarrollo del Municipio, en el corto, mediano y largo plazo, de manera articulada y ordenada. Planeación municipal se encarga de elaborar y actualizar el P.O.T.

Plan de ordenamiento territorial (P.O.T.): Instrumento técnico y normativo para ordenar el territorio municipal o distrital; se compone conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo.

Sa: Valor de la aceleración de diseño para un periodo de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un periodo de vibración T.

T(s): Periodo de vibración del sistema elástico en segundos.

Tc: Periodo vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para periodos cortos, y la parte descendiente del mismo.

Tl: Periodo de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para periodos largos.

Velocidad pico efectiva (Av): coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el sector de la construcción en Colombia ha optado por la utilización del concreto reforzado como principal material para las edificaciones, respecto al diseño estructural, el sistema de pórticos estructurales ha sido uno de los más usados en edificios que no sean de gran altura, debido a las ventajas que representa su facilidad de ejecución en obra, la suficiencia de la estructura frente a las solicitaciones que se puedan presentar en situaciones sísmicas y su economía respecto a otras estructuras de concreto armado. El sistema de pórticos se basa en la utilización de un sistema de elementos estructurales que trabajan en conjunto para lograr una buena resistencia a todas las fuerzas horizontales y cargas verticales que afecten a la edificación. Los elementos del sistema se complementan entre sí, siendo los más importantes las vigas y las columnas, teniendo como fin transmitir las cargas de la losa hacia las vigas, luego a las columnas para finalmente transmitir la carga total al sistema de fundación.

El presente documento busca escoger una longitud de luz que minimice los costos de edificaciones con pórticos resistentes a momentos, sin dejar a un lado los requerimientos estructurales ni el diseño arquitectónico, busca un mejor aprovechamiento de los espacios sin dejar de ser estéticamente adecuado. En este contexto se propone un diseño estructural y presupuestal de 28 edificaciones simétricas y sin ausencia de redundancia, variando la distancia entre columnas y sus niveles, para no tener la necesidad de variar el sistema estructural propuesto se ha establecido un límite de 5 niveles para cada familia de edificaciones. El análisis obtenido busca generar una base de datos que optimice el tiempo de ejecución en la fase de diseños, armonizando los criterios arquitectónicos, estructurales y sobre todo los costos que puede generar dicha disposición de columnas, sentando una base de referencia para profesionales en cuanto a la longitud de luz que desean utilizar en una obra y el efecto que podría generar en el presupuesto final del proyecto.

La información obtenida a partir de los análisis realizados queda limitada por las variables que se tuvieron en cuenta para este estudio, debido a que las edificaciones fueron analizadas bajo la escogencia de algunos parámetros que buscan limitar la investigación a la ciudad de Pasto y la configuración estructural no obedece a ningún parámetro arquitectónico establecido por un profesional.

II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A. Descripción del problema

En la actualidad se ha aumentado la demanda de vivienda en la ciudad de Pasto, la cual se presenta por ser una ciudad capital y fronteriza, destino de varias poblaciones rurales o extranjeras que buscan estudiar, trabajar o simplemente miran una oportunidad para establecer un negocio, según las estimaciones poblacionales del DANE, el municipio tiene 455678 habitantes en el casco urbano (402.9 por cada km² de superficie) y pronostican un aumento anual de 5000 habitantes aproximadamente⁽¹⁾. Las principales empresas constructoras de la ciudad buscan cubrir la demanda de vivienda concentrando sus recursos económicos en la creación de enormes complejos residenciales de gran altura, dejando de lado la construcción de edificaciones con pórticos resistentes a momentos tradicionales, lo que representa un rápido aumento del número empresas más pequeñas y constructores independientes que aprovechen la oportunidad de construir ese tipo de obras.

La ciudad de Pasto está ubicada en medio de la cordillera Andina, al pie del volcán Galeras y sus alrededores se caracterizan por tener una complicada topografía montañosa, lo cual disminuye bastante las zonas de expansión urbana. Por otra parte el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) se compone por un conjunto de normas urbanísticas, que entre otros, tienen como objetivos: clasificar el territorio según su suelo (urbano, rural y expansión urbana), restringir construcciones en zonas de riesgo y/o preservación ambiental, imposibilitar la demolición o modificación edificaciones consideradas patrimonio histórico, establecer el número máximo de niveles para una edificación nueva y ordenar la ciudad de acuerdo a los usos de las edificaciones (industrial, comercial, vivienda, institucional, etc.). Los constructores están restringidos por todas las normas urbanísticas y características naturales de la ciudad, lo que ocasiona que conforme pasa el tiempo existan menos lotes o casas lotes con una ubicación estratégica, por esto el área de construcción debe ser aprovechada al máximo, la solución que se ha dado es realizar el mayor número de pisos posibles. Por otra parte la aprobación para realizar una obra nueva implica llevar a cabo tramites en curaduría urbana y planeación municipal, para poder emitir una licencia de construcción favorable, uno de los pasos más importantes es la revisión y aprobación de los diseños del proyecto (arquitectónico, estructural o diseño de vulnerabilidad, estudio de suelos, etc.), los encargados de este paso, de acuerdo a la profesión correspondiente son un arquitecto y un ingeniero civil, sin embargo ellos no tienen la obligación de revisar conjuntamente un proyecto, por lo tanto los profesionales diseñadores suelen acatar las observaciones de su área sin tener en cuenta el punto de vista del otro profesional, una de las principales diferencias entre los diseñadores arquitectónicos y estructurales es la ubicación de columnas en planta (longitud de luz), en unos casos el factor estético no permite que la estructura sea viable económicamente, para proyectos pequeños o medianos cada profesional contratado coloca las columnas basado en la experiencia adquirida profesionalmente o simplemente en criterios personales.

B. Justificación

La demanda de vivienda en la ciudad de Pasto debe ser cubierta por el porcentaje de constructores medianos y pequeños que viene en aumento, sin embargo este sector debe lidiar con una serie de restricciones urbanísticas y topográficas que limitan los buenos lugares para vivienda, además de los trámites que deben llevarse a cabo para cada obra, ocasionando que por acortar tiempos los constructores contraten a profesionales que no están involucrados económicamente con la obra, es decir que su prioridad no será el presupuesto final, a pesar de que su función influya directamente en este. La falta de concordancia entre un arquitecto y un ingeniero civil al momento de ubicar las columnas en la edificación es determinante para el costo de la estructura, pues este parámetro define la disposición de los demás elementos; hay una carencia de bases técnicas específica que proporcione un criterio para poder ubicar las columnas a una distancia adecuada, en la que no se presenten esfuerzos excesivos debido a una separación muy grande, o que evite el desperdicio de los materiales por una colocación excesiva de elementos estructurales verticales y que siempre tenga en cuenta su incidencia sobre el costo de la edificación; para resolver esta problemática se formula la pregunta: *“¿Es posible encontrar una longitud de luz económicamente óptima en edificaciones simétricas con pórticos resistentes a momento en concreto reforzado mediante la utilización de un software de apoyo y con parámetros establecidos para la ciudad de Pasto?”*, para lo cual se propone realizar un análisis comparativo entre edificaciones con pórticos resistentes a momentos teniendo en cuenta el costo final como factor principal de estudio.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Encontrar la longitud de luz económicamente óptima en edificaciones simétricas con una estructura simétrica de pórticos resistentes a momento en concreto reforzado, altura desde 2 hasta 5 niveles de 3 metros (6m – 15m), 3 luces en sentido X y dos luces en sentido Y con una longitud que varía entre 3 y 9 metros, zona de amenaza sísmica alta con $A_a = 0.25$, $A_v = 0.25$ y suelo tipo D.

B. Objetivos específicos

- Realizar el análisis y diseño estructural para las 28 edificaciones.
- Elaboración del análisis de precios unitarios para cada uno de los 28 edificios analizados en el presente proyecto.
- Recopilación y comparación de resultados para determinar cuál edificio dentro de los 28 analizados es el más económico en costo por metro cuadrado de construcción.

IV. MARCO REFERENCIAL

A. Marco contextual

Con el objetivo de disminuir variables de comparación, el desarrollo del diseño estructural, determinación de cantidades estructurales y análisis estructural de las 28 edificaciones se realizó con unos parámetros específicos, el enfoque de la investigación se quiere centrar en la ciudad de Pasto, sin embargo, puede ser aplicada en otras localidades las cuales cumplan con ciertos parámetros escogidos, entre los principales están:

Zona de amenaza sísmica: Pasto, y todo el departamento de Nariño se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta (Fig 1), esto se debe a que el departamento está ubicado en la zona sudoeste del territorio continental colombiano, abarca una zona región montañosa en los Andes y una región de la planicie del Pacífico. La región andina presenta un relieve en pleno desarrollo, evidente a través de volcanes y fallas geológicas activas, mientras que hacia el oeste del departamento, la planicie del Pacífico pasa a una fosa submarina asociada al choque de placas tectónicas; el departamento ha sido afectado de forma severa por sismos, cuyo origen está asociado a las estructuras geológicas presentes en toda la zona ⁽²⁾. El estudio se evalúa en zonas de amenaza sísmica alta que tengan valores de A_a : 0.25 y A_v : de 0.25 ⁽³⁾.

Tipo de suelo: Pasto presenta un tipo de suelo $D^{(4)}$ en la mayoría de su territorio, para la escogencia de este factor se realizó una recopilación de resultados de estudios de suelos, escogidos estratégicamente para que cubran la mayor parte de la ciudad, se seleccionaron alrededor de 5 estudios de suelo por cada una de las 12 comunas que conforman el municipio y algunos corregimientos cercanos a éste, que hagan parte de su cabecera municipal, la Fig que representa la ubicación de todos los estudios se puede observar en la Fig 13. Resultados del presente documento.

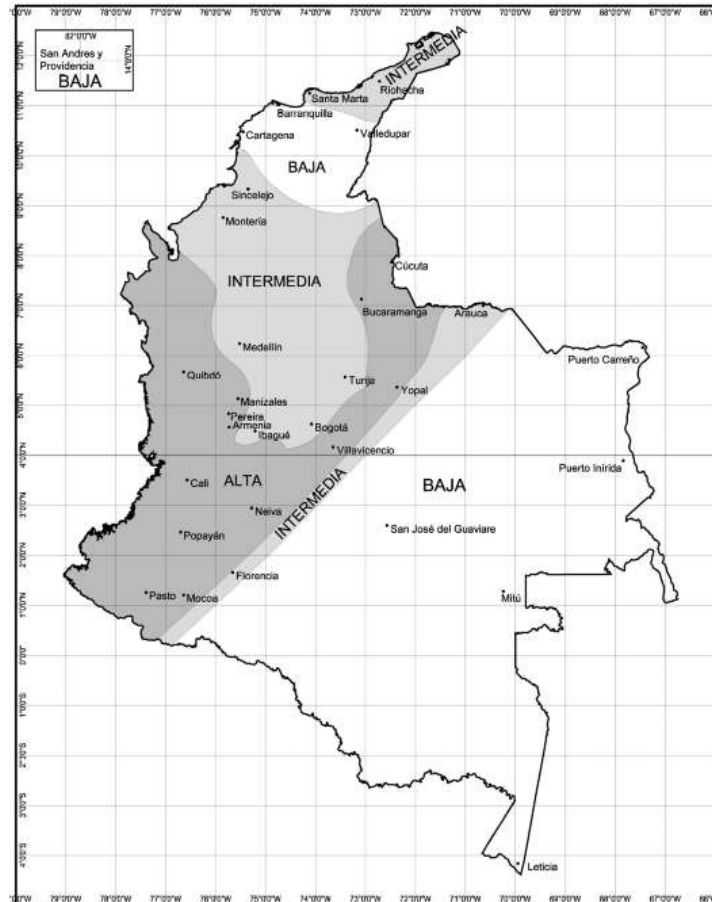


Fig 1. Mapa de Colombia según Zona de Amenaza Sísmica – Fig A.2.3-1 NSR-10 – Título A.

Uso de las edificaciones: Se escogieron edificaciones de uso residencial las cuales se catalogan dentro del Grupo I con un coeficiente de importancia igual a 1.00 según el numeral A.2.5 del título A de la NSR-10.

Presupuesto: Todos los precios de materiales, mano de obra y maquinaria se determinaron de acuerdo al año en curso (2018), en los aspectos importantes se encuentran los valores cobrados por las cuadrillas para la realización de la estructura, estos valores fueron determinados de acuerdo al salario mínimo vigente en la república de Colombia, además se suman aspectos importantes como las prestaciones y cesantías. Factores como rendimiento de maquinaria y mano de obra se tomaron iguales para todas las edificaciones pretendiendo obtener el valor por metro cuadrado de cada edificación de la manera más acertada posible.

B. Marco teórico conceptual

1) Concreto Reforzado

El concreto reforzado es un material formado por concreto y una armadura de acero. El concreto es un material formado por cemento, áridos, y agua, actualmente se hace uso de aditivos que pueden mejorar algunas características del concreto. La unión de estos elementos forma un aglomerado que se caracteriza por su resistencia a la compresión lo cual lo convierten en uno de los materiales más usados en la construcción.

2) Sistema de Pórticos en Concreto Reforzado

Sistema estructural compuesto por elementos que resisten las cargas verticales y fuerzas horizontales que puedan presentarse en la zona de la obra, los cuales están formados por columnas amarradas entre sí por medio de vigas y se complementa con un elemento no estructural de entrepiso, el cual puede ser losa maciza, aligerada, mixta, cubierta entre otras; todo esto debe cimentarse en un sistema de fundación adecuado según el tipo de edificación y la calidad del suelo donde se asienta la estructura. El sistema debe soportar cualquier carga que afecte a la edificación: carga muerta (acabados, muros, cubiertas, etc.), carga viva (personas, muebles, automóviles, etc.), cargas horizontales (sismo o viento), cargas por granizo, cargas por acumulación de agua, entre otras. Las cargas verticales que se presentan en la edificación son soportadas por el sistema de entrepiso (o cubierta) el cual transmite todas las cargas a las vigas (elementos que soportan fuerzas a flexión, torsión y cortante), estas a su vez llevan las cargas hasta las columnas (elementos que soportan fuerzas axiales principalmente, junto con flexión, torsión y cortante); las vigas y columnas también contrarrestan las fuerzas horizontales, finalmente todos los niveles de la edificación transmiten sus cargas hasta la cimentación para que el suelo proporcione un asentamiento adecuado a toda la estructura.

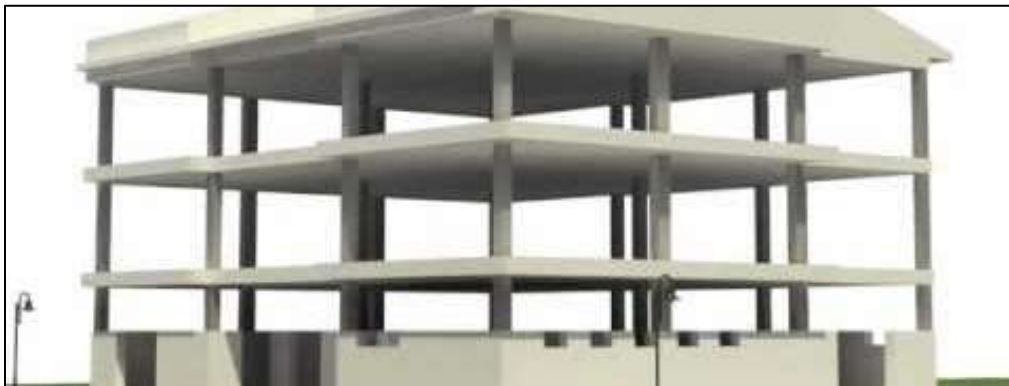


Fig 2. Sistema de pórticos resistentes a momentos

Elementos del sistema de pórticos resistentes a momento en concreto reforzado:

Columnas: elementos verticales que cumplen la función de soportar el sistema de entrepiso además de transmitir las cargas en forma longitudinal. Las columnas son elementos que trabajan a compresión lineal y se ven afectadas a carga axial y a flexión.

- **Vigas:** elementos horizontales que sostienen la placa de entrepiso y se encargan de transmitir las cargas de la edificación a las columnas. La viga descansa en apoyos que son generalmente las columnas.
- **Losas:** elementos no estructurales horizontales que separan un piso de otro, se encargan de soportar las cargas muertas y vivas de cada nivel y transmitirlas a las vigas. Se dividen en dos tipos:
 - **Losas unidireccionales:** en este tipo de losas las cargas son transmitidas en una sola dirección hacia las vigas debido a que los esfuerzos en un sentido son mayores a los esfuerzos en la dirección ortogonal. Algunos tipos de losas unidireccionales son: losa maciza, losa aligerada, losa mixta. La losa mixta está constituida por concreto y una lámina colaborante fabricada en acero galvanizado, esta lámina aporta en el refuerzo a tensión de la losa una vez que el concreto que se ha vaciado alcance su resistencia máxima, de esta forma el acero y el concreto actúan como una sección compuesta. Entre las ventajas de la utilización de lámina colaborante está su reducido peso, durabilidad, economía, disminución del tiempo de ejecución y facilidad constructiva pues no se requiere uso de formaleta.
 - **Losas bidireccionales:** cuando la losa es armada en dos direcciones ortogonales, lo que implica que se desarrollen esfuerzos y deformaciones en ambas direcciones.

3) Diseño Estructural

El diseño estructural es un método analítico que consiste en lograr una resistencia, rigidez y estabilidad en las edificaciones, donde los elementos estructurales sean capaces de soportar las cargas sin sobrepasar sus límites de falla.

Entre los diversos métodos de diseño, existe el método de los estados limites (Limit State Design), también conocido como Diseño por Factor de Carga y Resistencia (LRFD Load and Resistance Factor Design), el cual diseña las estructuras de tal manera que la probabilidad de falla para ciertos estados limites considerados esté dentro de los valores aceptables. Por lo general se estudian los estados límites de servicio y resistencia. El último caso se conoce como método de la resistencia y consiste en un método de diseño para los elementos estructurales tal que las fuerzas internas calculadas producidas por las cargas mayoradas no excedan las resistencias de diseños de los mismos. Los factores de seguridad, tanto para disminución de

resistencia como para mayoración de cargas dependen de la norma que aplique sobre la ubicación del diseño realizado.

4) Diseño Sismo-resistente

El diseño sismo-resistente permite que las estructuras sean diseñadas de tal forma que no sufran daños y no se vea afectada su funcionalidad en el caso que se presenten eventos sísmicos, aunque de presentarse sismos de mayor severidad los edificios podrían tener daños hasta tal punto que deberían demolerse después del sismo pero siempre se garantiza que la estructura no colapse y sea posible la evacuación de los ocupantes cumpliendo así con la función más importante de la ingeniería estructural que es la preservación de vidas. En Colombia se estableció un reglamento de construcción y diseño llamado “**Norma Sismo Resistente (NSR-10)**”, cuyos parámetros y limitaciones sirven para realizar un análisis apto para definir las condiciones mínimas que deben tener las edificaciones frente a sollicitaciones persistentes y transitorias. En esta norma se describe una serie de parámetros sísmicos que se presentan a continuación, estos deben ser asumidos por todo diseñador para realizar un análisis sísmico en el territorio colombiano.

Movimientos sísmicos de diseño: Los movimientos sísmicos de diseño según la NSR-10 se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro A_a , y de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro A_v , para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años ⁽⁵⁾.

Los valores de A_a y A_v , se determinan de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Parámetro 1: Se determina el número de la región en donde está localizada la edificación usando la A_a según mapa del anexo 1 y el número de la región donde está localizada la edificación para A_v , en el mapa del anexo 2. ⁽⁶⁾
- Parámetro 2: Los valores de A_a y A_v se obtienen en función del número de la región determinado en el parámetro 1. Para las ciudades capitales de departamento del país los valores se presentan en el anexo 3 y para todos los municipios del país en el Apéndice A-4 de la NSR-10. ⁽⁷⁾

Zonas de amenaza sísmica: La edificación debe localizarse dentro de una de las zonas de amenaza sísmica que se definen en la NSR-10 y que están presentadas en el Mapa de la Fig 1.

- Zona de amenaza sísmica baja: es el conjunto de lugares en donde tanto A_a como A_v son menores o iguales a 0.10 ⁽⁸⁾.

- Zona de amenaza sísmica intermedia: es el conjunto de lugares en donde Aa o Av, o ambos, son mayores de 0.10 y ninguno de los dos excede 0.20⁽⁹⁾.
- Zona de amenaza sísmica alta: es el conjunto de lugares en donde Aa o Av, o ambos, son mayores que 0.20⁽¹⁰⁾.

Los mapas en donde se discriminan los valores de Aa y Av según la región donde se encuentre la edificación pueden apreciarse en los Anexos 1 y 2.

TABLA I. NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA SEGÚN VALORES DE AA Y AV -TABLA A.2.3-1- NSR-10–
TÍTULO A.

Mayor Valor entre Aa y Av	Mapas A2.3-2 y A.2.3-3 Region N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

5) Métodos de análisis sísmico

Fuerza Horizontal Equivalente: el método de la FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE se utiliza para calcular la magnitud de la denominada fuerza de sismo (E), este procedimiento reemplaza el efecto de un sismo en la edificación por un grupo de fuerzas horizontales equivalentes, estas fuerzas que se aplican en los niveles de los pisos del edificio equilibran el cortante base. El cortante sísmico en la base (Vs) es el equivalente al total de los efectos de inercia horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección de estudio, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Vs = Sa \cdot g \cdot M$$

El valor de Sa corresponde al valor de la aceleración como un porcentaje de la gravedad con un periodo de vibración T.

F_x que es la fuerza sísmica horizontal en cualquier nivel x , para la dirección de estudio se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F_x = C_{vx} * V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i * h_i^k)}$$

Donde k es un exponente relacionado con el período fundamental T de la edificación de la siguiente manera:

- Para T menor o igual a 0.5 segundos, $K=1.0$
- Para T entre 0.5 y 2.5 segundos, $K=0.75+0.5T$
- Para T mayor que 2.5 segundos, $k= 2.0$

Según la NSR -10 el método de la fuerza horizontal equivalente se puede utilizar en las siguientes edificaciones:

- Todas las edificaciones, regulares e irregulares, en las zonas de amenaza sísmica baja.
- Todas las edificaciones, regulares e irregulares, pertenecientes al grupo de uso I, localizados en zonas de amenaza sísmica intermedia.
- Edificaciones regulares, de 20 niveles o menos y 60 m de altura o menos medidos desde la base, en cualquier zona de amenaza sísmica, exceptuando edificaciones localizadas en lugares que tengan un perfil de suelo tipo D, E o F, con periodos de vibración mayores de $2T_c$.
- Edificaciones irregulares que no tengan más de 6 niveles ni más de 18 m de altura medidos a partir de la base.
- Estructuras flexibles apoyadas sobre estructuras más rígidas que cumplan los requisitos de A.3.2.4.3

El método de la fuerza horizontal equivalente considera que las fuerzas sísmicas actúan en el centro de masa de cada piso como fuerzas estáticas, donde se trabaja con un periodo único que equivale al periodo fundamental.

Análisis dinámico Elástico Espectral: En este método se evalúan varios periodos de vibración, cada periodo se relaciona con una aceleración espectral S_a , por lo que resultan varias fuerzas sísmicas para cada periodo. Según el numeral A.5, cuando se utilice el método de análisis dinámico elástico espectral, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- Obtención de los modos de vibración: Se deben incluir todos los modos de vibración que contribuyan de manera significativa a la respuesta dinámica de la estructura se considera que se ha cumplido con este requisito cuando el porcentaje de participación de la masa total de la estructura sea de por lo menos el 90%. La masa participante M_j en cada una de las direcciones de análisis j , para el número de modos empleados p , se calcula por medio de las ecuaciones:

$$M_j = \sum_{m=1}^p M m_j \geq 0.90M$$

$$M m_j = \frac{(\sum_{i=1}^n m_i \phi_{ij}^m)^2}{\sum_{i=1}^n m_i (\phi_{ij}^m)^2}$$

Para combinar los modos de vibración se utilizan métodos como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados o combinación cuadrática completa, los cuales deben realizar una correlación entre los valores modales obtenidos por diferentes situaciones de sismo según el espectro resultante para la zona del proyecto.

- Respuesta espectral modal: Se utiliza las ordenadas del espectro de diseño definido en A.5.3.2 para obtener la respuesta máxima de cada modo, para el periodo de vibración propio del modo.
- Respuesta total: Las respuestas máximas modales, incluyendo derivas, deflexiones, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas de los elementos, se combinan utilizando métodos de combinación estadística, por lo general se debe apoyar de un método computacional debido a la enorme cantidad de posibles resultados, esto se realiza con el fin de ahorrar tiempo y sobre todo, obtener resultados precisos, sin dar lugar a errores de cálculo, sin embargo siempre se deben realizar chequeos por parte del diseñador, el cual debe comprender cada uno de los resultados arrojados en cada fase del proceso.
- Ajuste de los resultados (Cortante Estático vs Dinámico): si los resultados obtenidos son menores que los establecidos en A.5.4.5. los resultados totales del análisis dinámico deben ser ajustados como allí se indica. El valor del cortante dinámico total en la base V_{tj} , que se obtiene después de realizar la combinación modal, no puede ser menor que el 80% en estructuras regulares, o que el 90% en estructuras irregulares, del cortante sísmico en la base, V_s calculado por el método de la fuerza horizontal equivalente.

Evaluación de las derivas: Se define como el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación

al aplicar fuerzas sísmicas. Las derivas están asociadas con algunos efectos durante un sismo, como puede ser la inestabilidad global de la estructura además de la deformación inelástica de los elementos estructurales y no estructurales por lo que es fundamental cumplir con todos los requerimientos de la norma que garanticen que la estructura se comporte de manera adecuada ante este tipo de acontecimientos.

Se debe hacer una verificación para comprobar que las derivas totales obtenidas que deben estar debidamente ajustadas con los requisitos de A.5.4.5, no excedan los límites establecidos en el capítulo A.6. Las derivas máximas obtienen calculando la respuesta máxima en cada modo de vibración y combinándolas posteriormente.

Desplazamientos horizontales causados por efectos de segundo orden o p-delta: El efecto P-delta se presenta cuando las cargas verticales interactúan con el desplazamiento lateral generado por las cargas horizontales, ocasionando acciones de segundo orden. Estos efectos adicionales pueden causar un incremento en los desplazamientos horizontales en cada piso, sin embargo, solo deben tenerse en cuenta cuando el índice de estabilidad (Q_i) en cualquier piso supere los valores permitidos por la NSR-10. El índice de estabilidad determina si es necesario que se tenga en cuenta los efectos P-Delta, o en tal caso sea necesario se deba hacer nuevamente el dimensionamiento de la estructura para poder contrarrestar los momentos adicionales causados por dichos efectos. Según la NSR-10 el índice estabilidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_i = \frac{P_i * \Delta_{cm}}{V_i * h_p}$$

Dónde:

P_i = suma de la carga vertical total, incluyendo muerta y viva, que existe en el piso **i** , y todos los localizados por encima. Para el cálculo de los efectos P-Delta. No hay necesidad que los coeficientes de carga sean mayores que la unidad.

Δ_{cm} = deriva del piso **i** , en la dirección bajo estudio, **j** , medida en el centro de masa del piso, como la diferencia entre del desplazamiento horizontal del piso **i** menos el del piso **$i-1$** en la misma dirección **j** .

V_i = fuerza cortante del piso **i** , en la ecuación bajo estudio sin dividir por **R** . Se determina por medio de las ecuaciones del numeral A.4.3. Corresponde a la suma de las fuerzas horizontales sísmicas que se aplican al nivel **i** , y todos los niveles localizados por encima de él.

h_p = altura del piso **i** , medida desde la superficie de diafragma del piso **i** hasta la superficie del diafragma del piso inmediatamente inferior, **$i-1$** .

El índice de estabilidad de cualquier piso, **Q_i** , no debe exceder el valor de 0.30. Cuando el valor de **Q_i** es mayor que 0.30, la estructura es potencialmente inestable y debe rigidizarse, a menos

que se cumplan, en estructuras de concreto reforzado, la totalidad de los requisitos enumerados en C.10.11.6.2 (b) NSR-10.

La deflexión adicional causada por el efecto P-Delta en la dirección bajo estudio y para el piso i , se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\delta_{pd} = \delta_{cm} \left[\frac{Q_i}{1 - Q_i} \right]$$

Cuando el índice de estabilidad es mayor que 0.10, los efectos P-Delta en las fuerzas internas de la estructura causadas por las cargas laterales deben aumentarse, multiplicándose en cada piso por el factor $1/(1-Q_i)$.

6) Despiece Estructural

El despiece se refiere a la distribución de la cantidad de concreto y resulta del diseño estructural y se plasma en los planos para construcción, el cual brinda información clara y concisa de las cantidades de material en vigas, columnas, losas, cubiertas, escaleras, muros y cimentación. Sirve para la cantidad de material, indicar la posición del acero en cada elemento y determinar que longitud y tipo de Figción debe tener el acero longitudinal y transversal. Este proceso es indispensable para obtener las cantidades correctas que se necesitan en construcción y para que los encargados de la misma puedan ejecutar y controlar toda la obra de tal forma que el proyecto final sea adecuado para cumplir el uso de la edificación construida y pueda soportar cualquier fenómeno natural que se presente en la zona donde esta se encuentre.

7) Presupuesto de Obra

Un presupuesto de obra busca determinar un valor anticipado del dinero que se necesita para ejecutar la construcción de un edificio, es una medida de gastos e ingresos que ayudan a la correcta planificación de un proyecto de construcción.

Para la elaboración del presupuesto de obra es muy importante tener en cuenta todos los costos relacionados con la obra. Un presupuesto de obra está compuesto por costos directos y por costos indirectos que se definen a continuación:

- **Costos directos:** Son el conjunto de gastos que están directamente relacionados con la construcción de la obra, y se clasifican en:

Materiales: Los costos por materiales dependen específicamente de la región donde se ejecute la obra.

Maquinaria: Dependiendo de los alcances del proyecto se escoge la maquinaria necesaria para el cumplimiento de las actividades necesarias para la construcción.

Mano de obra: Se incluye en la mano de obra los gastos por todo el personal que con una actividad específica contribuye al logro final del proyecto. La mano de obra generalmente es realizada por un maestro, sus oficiales y ayudantes, las diferentes combinaciones de estos tres trabajadores conforman las cuadrillas; dependiendo de la complejidad de cada actividad se asigna una cuadrilla de trabajadores que sea capaz de cumplir con dicha tarea. El costo de mano de obra se rige por el salario mínimo mensual vigente al momento de la realización del presupuesto, además se debe tener en cuenta las prestaciones que deben ser canceladas por parte del empleador, este aspecto está detallado en el capítulo “1.3 Marco Legal” del presente documento. El valor pagado por día a cada trabajador o cuadrilla se denomina jornal.

- **Costos indirectos:** Los costos indirectos tienen tres componentes: Administración, Utilidad e Imprevistos, o abreviado en las siglas “A.U.I.”, tiene como finalidad permitir la correcta ejecución de la obra pues busca que se conozcan bien los gastos de ejecución que se presentan por las actividades administrativas además de prever posibles situaciones que traigan consigo algún tipo de afectación a la ejecución del proyecto.

Análisis de precios unitarios (A.P.U.): Análisis que determina el precio final de un ítem según su unidad de medida, para esto se relacionan materiales, maquinaria y mano de obra, la mano de obra es una de las variables que más afectan la productividad ya que tiene que ver con la medición del desempeño del recurso humano aspecto que influye directamente con el tiempo y el costo del proyecto, para poder calcular la eficiencia en la productividad de la mano de obra es necesario tener claro los siguientes conceptos:

Rendimiento de mano de obra: cantidad de obra de alguna actividad ejecutada por una cuadrilla, compuesta por uno o varios operarios de diferente especialidad por unidad de recurso humano, se expresa como um/hH (unidad de medida de la actividad por hora hombre)

Consumo de mano de obra: cantidad de recurso humano en horas-Hombre, que se emplea por una cuadrilla compuesta por uno o varios operarios de diferente especialidad, para ejecutar la cantidad unitaria de alguna actividad, se expresa en hH/um (horas-Hombre por unidad de medida).

Cada proyecto de construcción se realiza bajo diferentes condiciones por lo que existen factores que afectan los rendimientos y consumos de mano de obra. Entre estos factores podemos destacar el lugar donde se realiza el proyecto, el clima, el tipo de actividad que se realiza, el equipamiento de las cuadrillas, la supervisión de la obra, el desempeño de los trabajadores. Estos factores pueden afectar positiva o negativamente la productividad de la mano de obra por lo que esta puede variar en un rango que va desde 0% cuando hay actividad nula hasta un 100% cuando se logra la máxima eficiencia posible en una actividad.

V. MARCO LEGAL

Teniendo en cuenta la expedición del decreto 926 del 19 de marzo de 2010 – el cual dice que la norma sismo resistente a la NSR-10 actualiza y reemplaza la norma anterior NSR-98; debido a que en el periodo 1998-2010 en Colombia han ocurrido sismos importantes que han causado víctimas y daños a las edificaciones, el más reciente del periodo es el sismo de Quítame del 24 de mayo de 2008, el cual causó daños en la ciudad de Bogotá ⁽¹¹⁾. En cuanto a la Norma como tal se dice que la NSR-10 presenta requisitos mínimos que garantice de alguna forma el objetivo principal de salvaguardar vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo fuerte, la norma también recuerda que las víctimas humanas que se presentan durante los sismos, en su gran mayoría están asociadas con problemas de construcción ⁽¹²⁾. Además existen una modificación a la NSR 10 por medio de los Decretos 926 del 19 de marzo de 2018 y este ha sido modificado por los decretos 2525 del 13 de julio de 2018, 0092 del 17 de enero de 2011, el 0340 del 13 de febrero de 2012 y finalmente el 0945 del 5 de junio de 2017. Cabe recalcar que el presente documento se rige por la última modificación de la NSR-10 hasta el momento.

Un aspecto importante a la hora de la construcción es que para poder realizar el proceso, se debe tener una licencia debidamente aprobada por la curaduría o secretaria de planeación correspondiente a la ubicación del proyecto, y deben cumplir todas las normas y reglamentaciones que hayan sido expedidas por los entes correspondientes al sector, para el caso de la presente investigación en la cual se evalúa todos los aspectos estructurales, este aspecto se encuentra definido en el Decreto 1203 del 12 de julio de 2017⁽¹³⁾, cabe recalcar que los entes involucrados si se llega a presentar cualquier problema son: el curador urbano o secretario de planeación, el ingeniero estructural responsable del diseño y el constructor responsable el cual debe acatar todas las recomendaciones estructurales para que la edificación sea sísmicamente resistente, por lo cual es de vital importancia que se sigan todos los parámetros definidos para el correcto funcionamiento estructural una vez acabada la obra de construcción.

Para determinar el valor del jornal diario de cuadrillas es fundamental establecer los valores de salario mínimo mensual legal vigente (S.M.M.L.V.) para el año en curso, el decreto 2269 del 30 de diciembre de 2017⁽¹⁴⁾ dice que a partir del 1 de enero de 2018 el valor de setecientos ochenta y un mil doscientos cuarenta y dos pesos (\$ 781.242,00) debe pagarse a todos los trabajadores de sector urbano y rural, por otra parte, el decreto 2270 del 30 de diciembre de 2017 ⁽¹⁵⁾ fijó a partir del 1 de enero de 2018, el auxilio de transporte a que tienen derecho los servidores públicos y los trabajadores particulares que devenguen hasta dos (2) veces el S.M.M.L.V., en la suma de ochenta y ocho mil doscientos once pesos mensuales (\$ 88.211,00).

El empleador debe pagar algunas prestaciones además del valor del salario y auxilio de transporte, las siguientes corresponden a prestaciones para obras civiles:

Vacaciones: artículo 186 del código sustantivo del trabajo ⁽¹⁶⁾, los trabajadores que presten su servicio, tienen el derecho a 15 días de vacaciones pagos por cada año trabajado.

Cesantías: artículo 249 del código sustantivo del trabajo ⁽¹⁶⁾, el empleador debe cancelar un mes de S.M.M.L.V. por cada año de servicios. En cuanto a intereses de cesantías: ley 52 de 1975 ⁽¹⁷⁾, se deben cancelar intereses legales del 12% anual sobre el valor de la cesantía acumulada al 31 de diciembre.

Prima de servicios: artículo 306 del código sustantivo del trabajo ⁽¹⁶⁾, se debe cancelar un mes de S.M.M.L.V., la cual se reconocerá en dos pagos, así: la mitad máximo el 30 de junio y la otra mitad a más tardar los primeros 20 días de diciembre.

Dotación: artículo 7 de la ley 11 de 1984 ⁽¹⁸⁾, se entrega un par de zapatos y un vestido de labor a quienes trabajen por lo menos durante 3 meses y que devenguen hasta dos S.M.M.L.V., las entregas se realizan así: 30 de abril, 31 de agosto y 20 de diciembre.

Salud: artículo 10 de la ley 1122 de 2007 ⁽¹⁹⁾, el empleador debe cancelar el 8.50% del S.M.M.L.V. más auxilio de transporte, valor cancelado a sus trabajadores.

Pensiones: artículo 7 de la ley 797 de 2003 ⁽²⁰⁾, para el año en curso se debe cancelar un total del 16% del valor del S.M.M.L.V. más auxilio de transporte, de este total al empleador le corresponde pagar el 75%.

Riesgos: decreto 1772 de 1994 ⁽²¹⁾, el empleador debe cancelar 6.96% del valor del S.M.M.L.V. más auxilio de transporte, por concepto de riesgos altos (V).

VI. ANTECEDENTES

En la búsqueda de investigaciones y estudios previos no se encontró información directamente relacionada entre la longitud de la luz y su influencia en el presupuesto final del edificio, sin embargo, algunos trabajos realizados en áreas específicas de ingeniería civil, como la parte estructural o presupuestal, permitieron extraer conceptos y metodologías importantes para el desarrollo de la investigación.

Análisis de costos de los sistemas de entrepisos más utilizados en Colombia. AVILA ⁽²²⁾ 2016. En esta investigación se realizó un análisis de costos de los sistemas de entrepisos que más se usan en el país analizando una edificación con una altura máxima de 15 metros, este estudio consiguió determinar qué el sistema más eficiente y más económico es el de lámina colaborante el cual disminuye costos debido a que el refuerzo de acero en la losa es menor además de que no hay la necesidad de la utilización de formaleta como ocurre en sistemas tradicionales.

- **Estudio comparativo de costos entre losa aligerada y Metaldeck en el edificio Torres de Málaga – San Juan de Pasto. CAICEDO ⁽²³⁾ 2018.** este trabajo es un análisis comparativo de costos entre una construcción con losa en Metaldeck (lamina colaborante) y una con losa aligerada, el tipo de losa influye en el diseño estructural de la edificación en varios aspectos que se analizan en la investigación. El análisis fue realizado para zonas de amenaza sísmica alta, intermedia y baja, tipos de suelo A, C y E. El estudio fue solicitado por la empresa ACESCO, empresa colombiana que comercializa Acero Galvanizado, Teja de Zinc Ondulada y Productos para la Arquitectura Metálica. El estudio se realizó en Torres de Málaga un edificio de 8 niveles con un área de 18.000 m² ubicado en la ciudad de Pasto, construido con losas de entrepiso en Metaldeck, los resultados muestran una disminución porcentual respecto a la losa aligerada en algunos parámetros relevantes, 6.95% en el costo final de la obra, 28.57% en concreto, 5.6% en acero y 7.70% en carga muerta correspondiente al peso propio de entrepiso; además el estudio concluye según el presupuesto que se disminuye notablemente el uso de formaletas, lo cual resulta en menor tiempo de construcción según el cronograma final de obra.

VII. METODOLOGÍA

Un proyecto de investigación es aquel que se refiere a un conjunto articulado y coherente de actividades orientadas a alcanzar uno o varios objetos relacionados con la generación, adaptación o aplicación creativa de conocimiento. Para ello se sigue una metodología definida que prevé al logro de determinados resultados bajo condiciones limitadas de recursos y tiempo, especificados en un presupuesto y en un cronograma, respectivamente ⁽²⁴⁾.

Según el uso que se le quiera dar a los resultados de la investigación, esta se clasifica en cuatro tipos: básica, aplicada, documental, de campo o mixta ⁽²⁵⁾.

Los dos tipos de investigación de acuerdo al fin que se persigue en la misma son básica y aplicada: "La básica denominada también pura o fundamental, busca el progreso científico, acrecentar los conocimientos teóricos, sin interesarse directamente en sus posibles aplicaciones o consecuencias prácticas; es más formal y persigue las generalizaciones con vistas al desarrollo de una teoría basada en principios y leyes. En cuanto a la investigación aplicada, esta guarda íntima relación con la básica, pues depende de los descubrimientos y avances de la investigación básica y se enriquece con ellos, pero se caracteriza por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los conocimientos. La investigación aplicada busca el conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar." ⁽²⁵⁾.

Tipo de investigación: Teniendo en cuenta la justificación del problema, los objetivos y el marco referencial, se puede clasificar el presente trabajo como una investigación "Aplicada", ya que el interés principal es utilizar los resultados obtenidos en una problemática actual en el sector de la construcción, dentro de una línea de investigación enfocada a la optimización estructural, se parte de varios principios, conocimientos científicos y leyes generales probados experimental o teóricamente por varios autores y grupos de investigación en el pasado, es decir se utilizan como fundamentos teóricos, analíticos y prácticos, varias investigaciones básicas o puras que a largo plazo terminaron sentando cimientos importantes en la ingeniería.

Se utilizó una secuencia de pasos para el desarrollo del trabajo que permitió la obtención de los resultados finales que plasman el cumplimiento de los objetivos planteados, el desarrollo de la investigación se divide en dos grandes partes, la primera es "Análisis y diseño estructural de acuerdo a la norma sismo resistente colombiana del 2010" y "Presupuesto de la estructura", que consiste en chequear los edificios propuestos estructuralmente, obtener despieces y cantidades estructurales para realizar un análisis de costos, para finalmente obtener el costo por metro cuadrado de las 28 edificaciones evaluadas. El proceso es el siguiente:

A. Análisis y diseño estructural según NSR-10

El cálculo estructural se realizó con el software CYPECAD 2020, de CYPE INGENIEROS S.A., el cual analiza la estructura con el método matricial, para el diseño sísmo resistente el software incluye la NSR-10 en su base de datos, el usuario introduce los parámetros pertinentes al proyecto.

1) Datos Generales

Inicialmente se presenta la ventana de entrada de datos generales, en los cuales se definen parámetros como el nombre del proyecto, norma de cálculo, localización, zona de amenaza, materiales, tipo de sistema estructural, cargas verticales y horizontales, tipo de suelo e hipótesis de carga.

Normas: NSR-10, AISI S100-2007 (LRFD), ANSI/AISC 360-10 (LRFD), CTE DB SE-M y Eurocódigo 9

Hormigón armado

Hormigón

Losas: $f'_c=280$

Fundación: $f'_c=280$

Columnas: $f'_c=280$

Muros: $f'_c=280$

Características del árido: Origen metamórfico (15 mm)

Acero

Barras: Grado 60 (Latinoamérica)

Pernos: A-307

Acciones

Carga permanente y sobrecarga de uso

☐ Con acción de viento

☒ Con acción sísmica

Criterio de armado por ductilidad: Especial (DES)

Elementos constructivos: No se consideran

☐ Comprobar resistencia al fuego

Estados límite (combinaciones)

Hipótesis adicionales (cargas especiales)

Fig 3. Entrada de datos generales en CYPECAD.

2) Norma Sismo-resistente

La norma NSR-10 es la que rige el cálculo de la edificación, por lo tanto se deben definir parámetros locales y específicos a la estructura de cálculo.

☒ NSR-10 ☐ NSR98

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (2010)

☒ Acción sísmica según X ☒ Acción sísmica según Y

Método de análisis ☒ Dinámico (modal espectral) ☐ Estático (fuerza lateral equivalente)

Definición del espectro ☒ Según norma ☐ Especificado por el usuario

Parámetros de cálculo	Sistema estructural
Fracción de sobrecarga de uso: 0.00	Coeficiente de disipación de energía básico (X): 7.00
Fracción de sobrecarga de nieve: 0.00	Coeficiente de disipación de energía básico (Y): 7.00
Factor multiplicador del espectro: 1.00	Coeficiente de irregularidad en altura: 1.00
Estimación del periodo fundamental de la estructura ☒ Según norma ☐ Especificado por el usuario	Coeficiente de irregularidad en planta: 1.00
☒ Altura del edificio: 6.00 m	Coeficiente por ausencia de redundancia (X): 1.00
Tipología estructural (X): ☒ I ☐ II ☐ III ☐ IV	Coeficiente por ausencia de redundancia (Y): 1.00
Tipología estructural (Y): ☒ I ☐ II ☐ III ☐ IV	Geometría en altura: ☒ Regular ☐ Irregular

Zona sísmica
☐ Bogotá, D.C.
☐ Cali
☐ Pereira
☒ Resto del territorio

Caracterización del emplazamiento
 Velocidad media de onda de cortante (vs) = 180.00 m/s
 Aceleración horizontal pico efectiva (Aa): 0.250
 Velocidad horizontal pico efectiva (Av): 0.250
☐ Aplicar reducción a todos los modos excepto al modo fundamental

Tipo de edificación
☐ IV ☐ III ☐ II ☒ I

Estructuras de ocupación normal

Sin efectos de 2º orden Espectro de cálculo

Fig 4. Introducción de la Normativa Colombiana para acción sísmica.

Los parámetros del sistema estructural se obtienen por la configuración geométrica del edificio, están definidos en el capítulo 5 “RESULTADOS” del presente documento y son los siguientes:

$$R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0 \text{ (Ecuación A.3.3-1; NSR-10; Título A)}$$

$$R = 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 7.0 = 7.0$$

ϕ_a = Irregularidad en Altura; ϕ_p = Irregularidad en Planta, ϕ_r = Ausencia de redundancia.

R₀=Factor de capacidad sísmica básico según el sistema estructural escogido.

R=Factor de capacidad sísmica para la reducción de las fuerzas sísmicas de diseño

3) Tablas de Despiece

El programa tiene condiciones de despiece predefinidas según la norma, sin embargo, deja algunos parámetros a criterio del diseñador, algunos de estos criterios están relacionados con la capacidad de disipación de energía, estas condiciones se definen en las tablas de despiece.

Diámetros utilizables

- Amaduras longitudinales: Ø1/2", Ø5/8", Ø3/4", Ø7/8"
- Estribos: Ø3/8", Ø1/2"

Configuración de las amaduras longitudinales

Separación libre mínima entre barras cm

Separación máxima entre ejes de barras cm

Cuantía geométrica mínima %

Cuantía geométrica máxima %

Pilares rectangulares ☒ Pilares circulares ☐

Esq.	Caras				Sep. máx. (cm)	Estribos		Bmín. (cm)	Bmáx. (cm)
	Ø1/2"	Ø5/8"	Ø3/4"	Ø7/8"		Ø3/8"	Ø1/2"		
Ø1/2"	✓	✗	✗	✗	7	✓	✗	80	1000
Ø5/8"	✓	✓	✗	✗	7	✓	✓	0	1000
Ø3/4"	✓	✓	✓	✗	7	✓	✓	40	1000
Ø7/8"	✗	✓	✓	✓	7	✓	✓	40	1000

Configuración de los estribos

Separación libre mínima entre barras cm

☒ El diámetro del estribo secundario siempre es igual al del principal

Disposición de los estribos

Fig 5. Introducción de las tablas de despiece.

4) Definición de Plantas

Se introduce el número de plantas, nomenclatura, altura, y las sobre cargas comunes que afectan a estas, (Q= carga viva); (CM= Muerta), si se requiere se puede agrupar varias plantas para que los cambios que se realicen dentro de una planta, afecten a todas las que pertenecen al grupo. La ventana correspondiente a este paso se puede ver en la Fig 7.

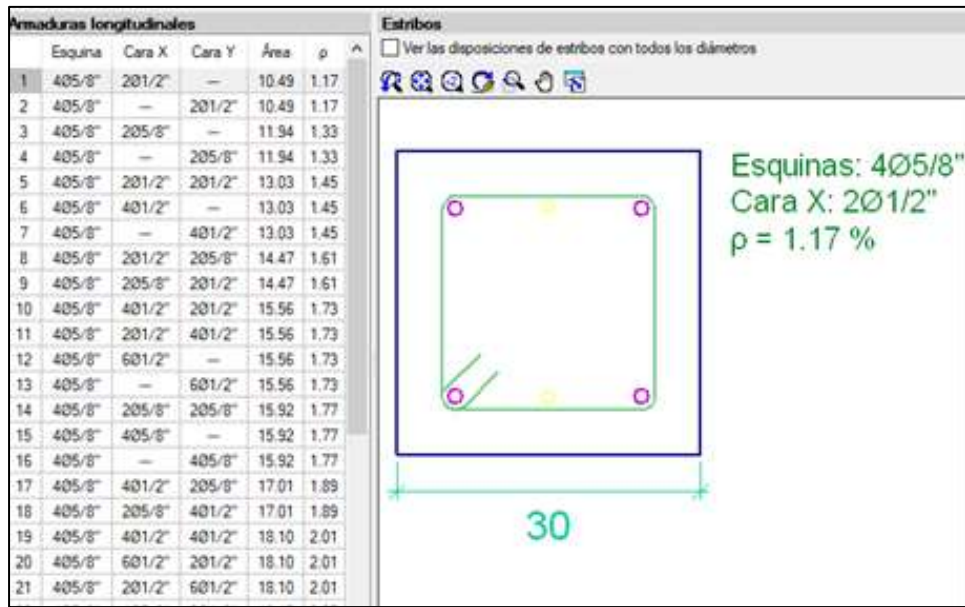


Fig 6. Ejemplo de armadura predeterminada a partir de la tabla de despiece.

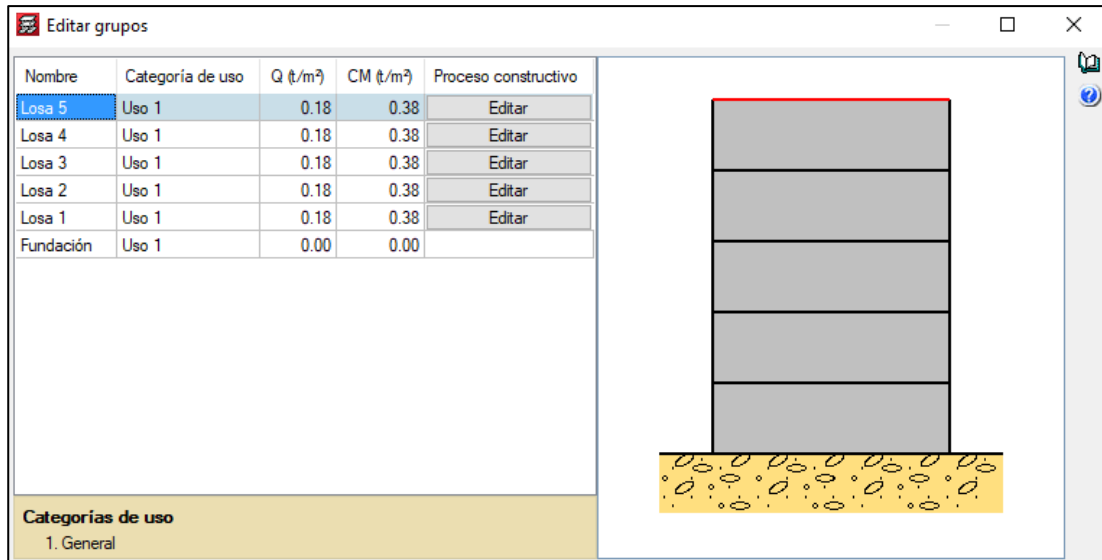


Fig 7. Introducción de niveles y las cargas.

5) Pre Dimensionamiento

Se realiza el pre dimensionamiento de acuerdo a la tabla CR.9.5 (Tabla II) la cual recomienda la altura mínima para vigas no pre esforzadas o losas reforzadas,

TABLA II. TABLA CR.9.5 -TÍTULO C -NSR-10 - PÁG. C-129.

	Espesor Mínimo, h			
	Simplemente Apoyado	Con un Ext. Continuo	Ambos Ext. Continuos	Voladizo
Vigas o losas nervadas en una dirección	$l/11$	$l/12$	$l/14$	$l/5$

TABLA III. DIMENSIONES DE VIGAS EN LAS EDIFICACIONES.

Luz (m)	Altura mínima vigas (cm)	Altura mas pequeña del proyecto (cm)
3	25	30
4	35	30
5	45	40
6	50	50
7	60	60
8	70	60
9	75	70

Según esta para el esquema estructural planteado en las Fig 10.

Para las vigas con altura más pequeña que la permitida por norma, se debe calcular la deflexión máxima permisible, la cual está integrada en el software de diseño, si se llegara a encontrar algún problema por deflexión o flecha máxima se mostrara un aviso, el usuario debe examinar y aumentar la sección hasta que las deflexiones sean aceptables. En el caso de las columnas simplemente se tiene en cuenta que la dimensión menor de sección transversal no puede ser menor a 300 mm ⁽²⁶⁾. La relación entre la dimensión menor y mayor de la sección transversal no puede ser menor que 0.4 ⁽²⁷⁾.

6) Introducción de columnas

La primera parte de la interfaz como tal, es la entrada de columnas, en la cual se define su posición, dimensión, nomenclatura, altura, número de pisos que abarca, diferentes coeficientes recubrimiento y su vinculación exterior, (tipo de apoyo en el terreno).

7) Introducción de Vigas

En la pestaña “vigas” se definen todas las características de las vigas y se introducen según la configuración geométrica de las plantas.

8) *Introducción de Losas:*

En la misma pestaña del numeral anterior, se selecciona la opción de nueva losa, luego definición de losa, aquí se selecciona el tipo de losa del sistema entre las múltiples opciones, en este caso se escoge una losa mixta y posteriormente una chapa colaborante (lamina colaborante), luego se define el tipo de lámina, la altura de concreto y el sentido de apoyo de los nervios (Fig 10), con los parámetros de la losa definidos, se lleva el entorno de trabajo a la vista en planta, el cual permite introducir una losa o vacío en las áreas encerradas completamente por vigas, finalmente se escoge la viga de referencia para el sentido de los nervios (paralelo o perpendicular a las vigas de apoyo).

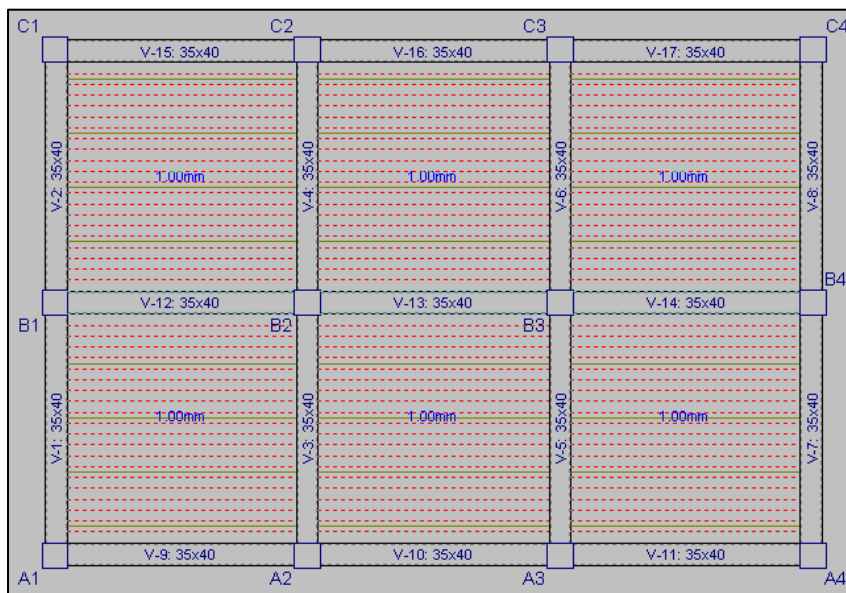


Fig 8. Disposición de vigas y losas en planta.

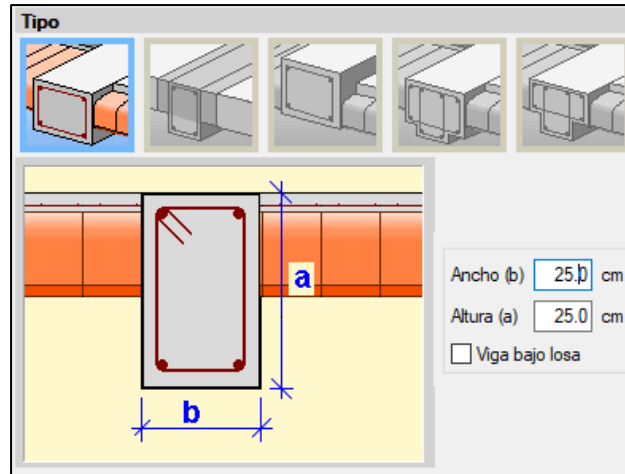


Fig 9. Introducción de viga.

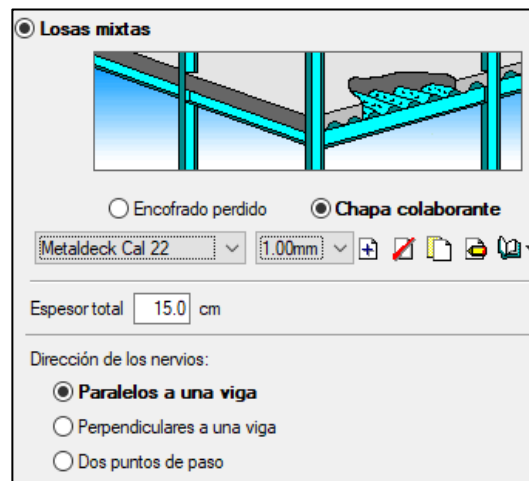


Fig 10. Introducción de losa.

9) Cálculo de la Obra Introducida

Se calcula la obra según los datos introducidos y el programa realiza el chequeo según la NSR-10, sin embargo, el usuario debe revisar todos los resultados en los numerales descritos de aquí en adelante, los parámetros de cálculo y límites se describieron anteriormente en el marco teórico del presente documento.

10) Chequeos Sismo-resistentes

Cuando la obra esté calculada se deben chequear dos parámetros importantes, el primero es el cortante basal, para esto se revisa los resultados de “justificación de la acción sísmica” (ver anexo 4), aquí se revisa las condiciones pertinentes de la NSR-10 (A.5.4.5), si estas se cumplen,

se prosigue con la revisión, si no se aplica un factor de ajuste en las acciones sísmicas. Cabe recordar que según NSR-10(A.3.6.7) Existe un efecto de torsión accidental, esto quiere decir que la masa de todos los pisos esta desplazada el 5% de su centro de masa hacia cualquiera de las direcciones principales del sismo.

Una revisión fundamental es el chequeo de derivas, aquí se verifica que la deriva máxima de cada nivel no sobrepase la establecidas por la NSR-10 (A.6.4), si algún punto es mayor al 1% de la altura de piso se debe aumentar las secciones de columnas y/o vigas según la ubicación del punto donde la deriva se excede (ver anexo 6).

11) Revisión de Elementos Estructurales

Las vigas o columnas pueden presentar errores según el título C de la NSR-10, por lo tanto, se debe revisar cada planta para verificar el correcto funcionamiento de cada elemento, cuando una viga o columna aparezca en color rojo, este elemento no está cumpliendo algún requisito de norma.

Los requisitos de las secciones estructurales están sujetos estrictamente al título C.21 de la NSR-10, el cual evalúa parámetros de despiece sismo resistente de acuerdo a la zona de amenaza. Cada elemento tiene propiedades de despiece que el usuario puede modificar, teniendo en cuenta que todo cambio debe encontrarse dentro de los rangos que la norma admite. El programa permite al usuario hacer dichas modificaciones mediante una ventana que se despliega al seleccionar el elemento, donde además de las propiedades de despiece se muestran los parámetros que no se cumplen. Para lograr una sección optima se puede aumentar dimensiones, aumentar o disminuir refuerzo longitudinal, aumentar o disminuir separación o diámetro del refuerzo transversal, sin embargo, si se requiere aumentar la sección de concreto se debe recalcular la estructura y el acero vuelve a armarse según los parámetros que se haya escogido inicialmente en la opción “datos generales de obra”.

Una sección óptima se obtiene al variar propiedades como: refuerzo longitudinal, separación y/o diámetro del refuerzo transversal, sección transversal de concreto; es necesario resaltar el hecho de que al modificar un valor asociado a la sección transversal del elemento, el programa analiza la estructura asumiendo los parámetros de diseño establecidos inicialmente en la opción “datos generales de obra”, en consecuencia todo despiece que el usuario haya modificado previamente vuelve a las condiciones iniciales.

12) Obtención de cantidades de obra y planos estructurales

Si la estructura definida por el usuario es la definitiva se procede a la obtención de cantidades de obra, estas cantidades las arroja directamente el programa a partir de las secciones y despieces finales obtenidos en el numeral inmediatamente anterior, el acero de refuerzo puede ser modificado según necesidades constructivas, por ejemplo, longitudes de barras comerciales o recortes de barras en puntos estratégicos para evitar desperdicios de material. El programa proyecta las cantidades de dos maneras diferentes, planos estructurales, los cuales son indispensables para la construcción del proyecto y el control de obra; la segunda forma es un cómputo de cantidades en tablas de resumen, esta manera es suficiente para obtener un presupuesto de obra y posterior valor de estructura por metro cuadrado.

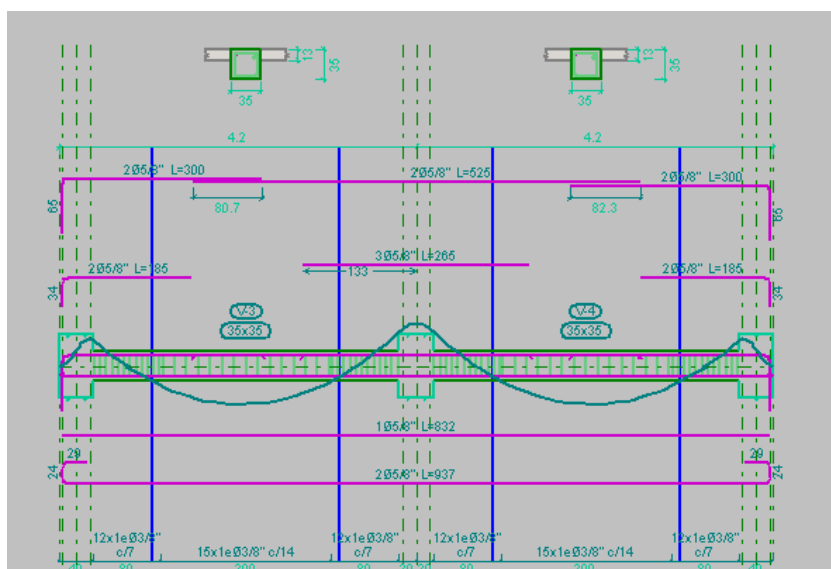


Fig 9. Resultados de la viga después del análisis.

B. Presupuesto de la estructura

Cuando se determinan las cantidades de obra se procede a realizar el presupuesto, una manera de hacerlo es con la utilización de hojas de cálculo es de la más utilizadas ya que permite al usuario restringir las variables de acuerdo a las necesidades de cada proyecto, además de poder realizar condicionales y formulas a criterio individual.

1) Elaboración de Ítems Presupuestales

Se debe tener claridad desde un principio cuales son los ítems y los sub-ítems que conforman el presupuesto y su unidad de medición, la idea de esto es organizar de una mejor manera la estructura para poder realizar una medición más sencilla de las cantidades.

2) Cantidades de obra

Las cantidades determinadas del diseño requerido son recopiladas de acuerdo a la unidad de cálculo en la que se vayan a realizar los ítems del presupuesto. Las cantidades por lo general son medidas de planos o si algún programa arroja cantidades como listado también pueden ser tomadas de esa forma. La unidad de medición debe ser la misma determinada en el numeral anterior.

3) Precio de materiales

Primero se debe escoger los materiales que pertenecen a los ítems establecidos, luego se procede a determinar los precios, estos se obtienen a partir de los valores puestos por el mercado, para esto se realizaron cotizaciones en el mercado local, al final se escogen los precios a criterio del diseñador, para esto se debe tener en cuenta la ubicación de la obra y la calidad de los materiales, ya que no siempre es conveniente escoger el precio más bajo.

4) Maquinaria

Se determina el tipo de maquinaria utilizado para elaborar los elementos de la obra, se cotiza el costo de alquiler por día, en algunos casos resulta conveniente comprar maquinaria para ahorrar costos. Cuando se determina el precio final de la maquinaria, se procede a analizar el rendimiento que tendrá para determinada tarea, esto quiere decir cuánto tiempo demora en realizar dicha tarea.

5) Mano de Obra

Una vez calculado el salario de cada trabajador, el cual debe tener en cuenta todas las prestaciones y parámetros explicados en el numeral “1.3 Marco Legal” del presente documento, se forman conforman las cuadrillas y el valor de su jornal diario. De forma similar a la maquinaria se debe determinar el rendimiento para cada tarea en la que se necesiten dichas cuadrillas.

6) Análisis de Precios Básicos

En esta parte se incluyen elementos compuestos por dos o más materiales, no incluye mano de obra o maquinaria. Para elaborar este análisis es necesario encontrar las proporciones de los materiales utilizados para obtener el precio final de cada elemento; un ejemplo de esto es el

concreto; el cual contiene agua, arena y cemento en diferentes proporciones dependiendo de la resistencia que se quiera lograr. ^(Anexo 7).

7) *Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.)*

Una parte esencial es elaborar el análisis unitario para cada sub ítem, en esta parte se deben combinar todos parámetros anteriores excepto las cantidades de obra. En este análisis se debe fijar la unidad de medición del sub ítem con claridad, para después definir los elementos que conforman el sub ítem; los materiales deben tener un consumo por unidad de sub ítem, para poder obtener el subtotal de materiales, también se tiene encuentra un desperdicio entre el 3% y 5%; para la mano de obra se determinan las cuadrillas que conforman cada sub ítem y su rendimiento por unidad de medición, de igual manera se determina el valor de la maquinaria. Finalmente se obtiene un precio de sub ítem por unidad de medición.

8) *Presupuesto de Obra:*

La parte final consiste en elaborar el presupuesto, en el cual se tiene el precio unitario de cada sub-ítem, su unidad de medición y su cantidad total, se debe multiplicar el precio por la cantidad y así se obtiene el subtotal por cada ítem elaborado y finalmente el total de costo directo por simple sumatoria, a este costo directo se le añaden los costos por A.U.I., los cuales pueden estar entre un 25% y 30%, para obtener el precio total de la obra o estructura. Finalmente se calcula el total de metros cuadrados construidos, se realiza la división entre el precio total y los metros construidos para obtener el costo por metro cuadrado de construcción, el cual es el valor de comparación final de este trabajo de investigación.

VIII. RESULTADOS

A. Definición de parámetros estructurales

Se trata de realizar un análisis contextualizado para la ciudad de Pasto, por lo tanto, se asocian las restricciones y datos de entrada a la región, de acuerdo a esto se pueden determinar algunos parámetros de diseño para la modelación de las 28 edificaciones, estos se definen a continuación:

1) Evaluación de las Solicitaciones:

- **Cargas utilizadas:**
 - **Peso propio:** El peso propio de los elementos es calculado directamente por el programa, sin embargo se realiza un chequeo manual para obtener el cortante basal estático, que luego será comparado con el cortante basal dinámico obtenido por análisis modal.

Elementos estructurales: según secciones de vigas y columnas introducidas en el programa.

Elementos no estructurales horizontales – Entrepiso: Esta carga la calcula directamente el programa, tenemos el siguiente tipo de losa mixta:

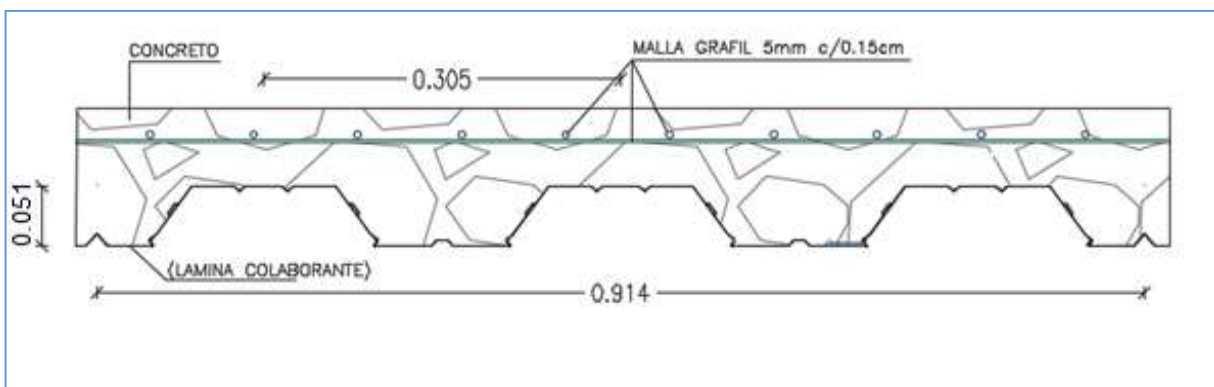


Fig 10. Esquema de lámina colaborante utilizado.

- **Carga Muerta:** Se obtienen las cargas muertas que soportarán los elementos estructurales según Título B, numeral B.3.4.

Elementos no estructurales horizontales – Cielo raso: Se escoge un cielo raso en entramado metálico suspendido afinado en yeso, cuya carga será 0.050 t/m^2 según Tabla B.3.4.1-1 ^(Anexo 8).

Elementos no estructurales horizontales – Pisos: Se escoge un piso flotante en madera, cuya carga será 0.020 t/m^2 según Tabla B.3.4.1-3 ^(Anexo 9).

Elementos no estructurales verticales – Muros: Para los muros se escoge el valor mínimo permitido de carga muerta debido a que no se conoce la distribución de los muros, el cual es 0.30 t/m^2 según Tabla B.3.4.3-1 ^(Anexo 10).

- **Carga Viva:** Se establece que los edificios tendrán un uso residencial, en los edificios no se define escaleras o balcones, debido a esto se tiene que sus espacios serán utilizados como cuartos privados o corredores, por lo tanto, tienen una carga viva uniformemente distribuida de 0.18 t/m^2 , según Tabla B.4.2.1-1. ^(Anexo 11)
- **Carga de Granizo:** Según B.4.8.3, NSR-10, se debe tener en cuenta una carga de granizo en el nivel para las regiones del país con más de 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar. El valor de la carga de granizo será 0.10 t/m^2 (inclinación menor a 15 grados).

2) Movimientos Sísmicos de Diseño

Estos movimientos dependen de la ubicación del proyecto y de la calidad del suelo donde se va a cimentar. Se busca contextualizar la investigación a la ciudad de Pasto, es decir zona de amenaza sísmica alta ^(Fig 1) con valores de $A_a: 0.25$ y $A_v: 0.25$.

Para escoger el tipo de suelo se recolectaron 71 estudios de suelos brindados por dos ingenieros especialistas en suelos y geotecnia con amplio reconocimiento por la buena realización de estudios geotécnicos dentro del departamento de Nariño ^(Anexo 12), los estudios fueron escogidos de tal manera que procuren cubrir las 12 comunas del casco urbano y algunos corregimientos cercanos para brindar una caracterización más exacta del suelo predominante en la ciudad, según la recolección el suelo tipo D es el que prevalece en mayoría de la ciudad (84.5%), la consistencia de este tipo de suelo es principalmente suelo rígido que cumpla con los criterios de la tabla A.2.4-1 (Anexo 13).

Con los valores de A_a , A_v y el perfil de suelo podemos obtener los coeficientes F_a y F_v , según tablas 4 (A.2.4-3) y tabla 5 (A.2.4-4) de la NSR-10 Título A, por medio de interpolación lineal.

TABLA IV. VALORES DEL COEFICIENTE FA PARA LA ZONA DE PERIODOS CORTOS DEL ESPECTRO (A.2.4-3)-TITULO A NSR-10.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	Aa≤0.1	Aa=0.2	Aa=0.3	Aa=0.4	Aa≥0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.7	0.9	0.9
F	para este suelo se debe ver nota				

Nota: para perfil de suelo tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10

TABLA V. VALORES DEL COEFICIENTE FV, PARA LA ZONA DE PERIODOS INTERMEDIOS DEL ESPECTRO (A.2.4-4)-TITULO A NSR-10.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	Av≤0.1	Av=0.2	Av=0.3	Av=0.4	Av≥0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	para este suelo se debe ver nota				

Nota: para perfil de suelo tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10

Según la interpolación se deben tomar los valores de Fa=1.30 y Fv= 1.90.

3) Características de la Estructura

- **Sistema estructural:** Se escoge un sistema de pórtico estructural, resistente a momentos y sin diagonales, el cual resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales, este sistema específicamente está conformado por columnas amarradas entre sí con vigas estructurales y viguetas apoyadas entre las vigas cuando la losa mixta requiera un apoyo intermedio debido a las grandes deflexiones.
- **Coefficiente de importancia:** Las edificaciones evaluadas no se clasifican en los grupos de uso II, III o IV, por lo tanto, estas corresponden a un grupo de uso I, ver numeral A.2.5.1 del título A de la NSR10 (anexo 14), según esto su coeficiente de importancia (I) es igual a 1.00, ver tabla VI.

TABLA VI. VALORES DEL COEFICIENTE DE IMPORTANCIA (I), TABLA A.2.5-1 - TÍTULO A NSR 10
PÁG. A-26

Grupo de Uso	Coefficiente de importancia, I
IV	1.50
III	1.25
III	1.10
I	1.00

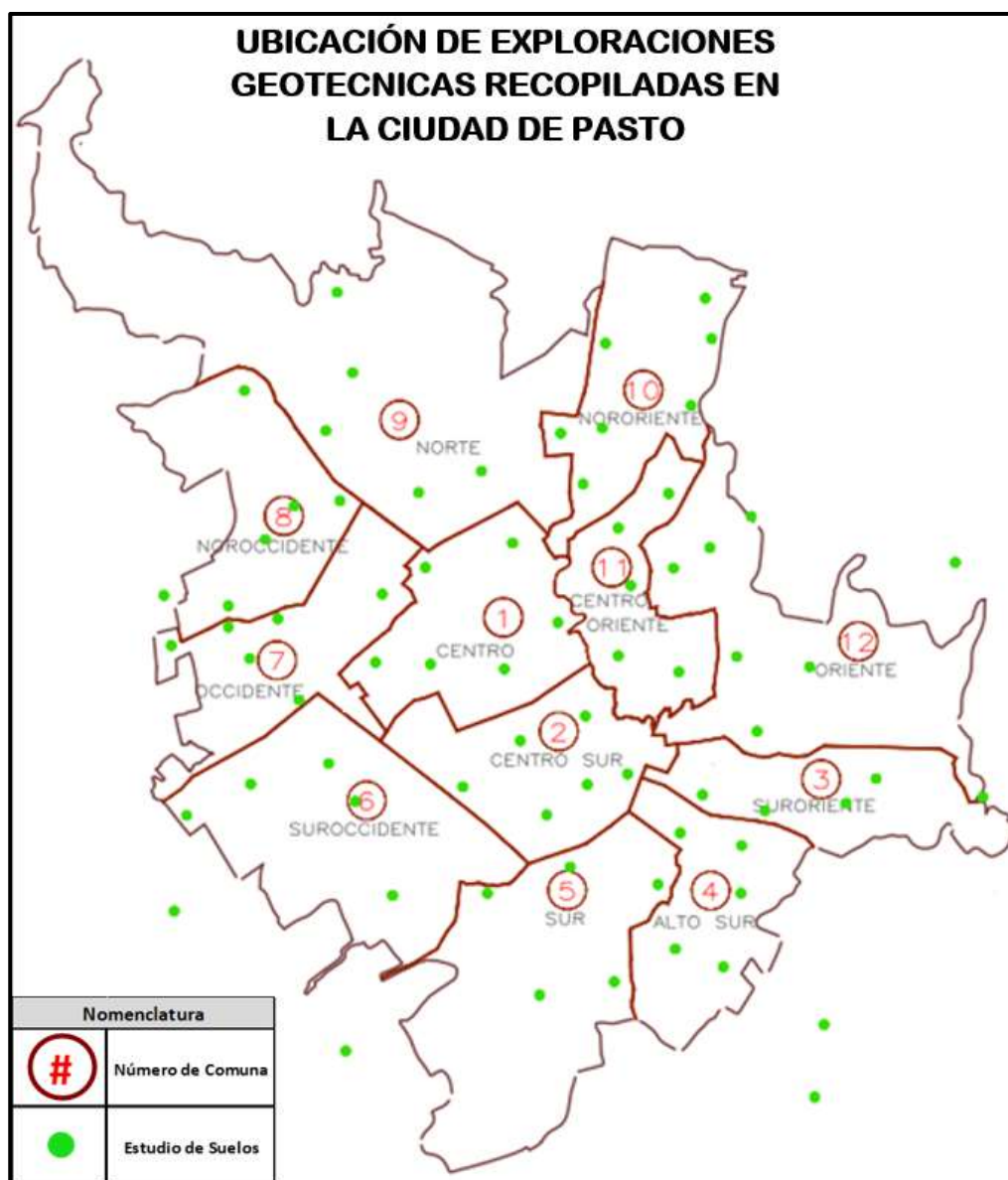


Fig 11. Ubicación representativa de los estudios de suelos recolectados en la ciudad de Pasto.

- **Características geométricas e irregularidades:** Se utilizó un esquema similar para las estructurar evaluadas, en la Fig 14 se puede observar el esquema para los edificios con longitud de luz igual a 3 y 4 metros, a partir de los 5 metros se requiere una vigueta de apoyo para la losa mixta, la cual va apoyada en el sentido X (Flecha color verde) debido a que la lámina colaborante excedía su flecha máxima. La altura de piso es de 3 metros para todos los niveles.

No se presentan irregularidades en planta (ϕ_p) o altura (ϕ_a) según las Tablas A.3-6 y A.3-7 del título A de la NSR-10 (Anexo 15 y 16), el valor de ausencia de redundancia es igual a 1 ya que cumple con la condición enunciada en el numeral (A.3.3.8.2) de la NSR-10: “se debe asignar un valor de $\phi_r=1.0$, si todos los pisos que resistan más del 35% del cortante basal sean regulares en planta y tengan al menos dos vanos compuestos por elementos que sean parte del sistema de resistencia sísmica”, como ninguna edificación tiene pórticos simplemente apoyadas se puede decir que la condición se está cumpliendo. Por lo tanto los valores obtenidos son: $\phi_p=1.0$, $\phi_a=1.0$, $\phi_r=1.0$

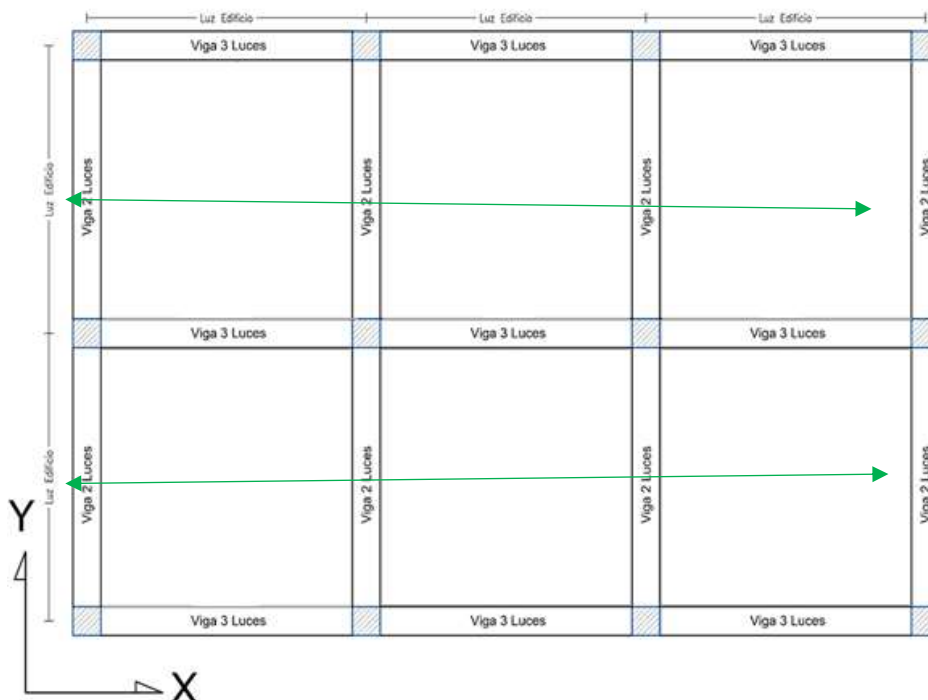


Fig 12. Esquema estructural para edificaciones con luces de 3 y 4 metros.

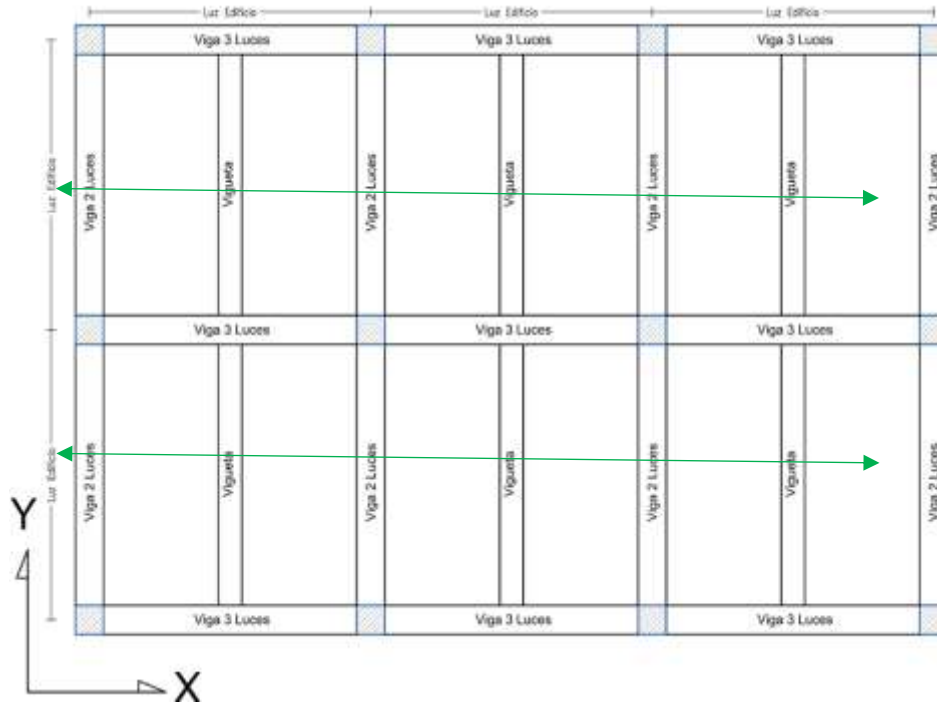


Fig 13. Esquema estructural para edificaciones con luces de 5 hasta 9 metros.

- **Materiales seleccionados:** Los materiales escogidos para todos los elementos son:
 - Concreto reforzado de 28 MPa (Columnas y Vigas).
 - Acero de refuerzo: Acero corrugado de resistencia igual a 420 MPa, utilizado para refuerzos longitudinal y transversal.
 - Losa Mixta (Lamina Colaborante): Lamina en acero, de espesor 0.75 mm o 1.00 mm, de calidad estructural; sobre la cual se hace un vaciado de concreto de 10 cm de espesor, se requiere colocar un refuerzo longitudinal de 420 MPa en los apoyos.
- **Capacidad de disipación de energía:** El coeficiente de disipación de energía (R_0) depende del tipo de sistema estructural, el material para dicho sistema y la zona de amenaza sísmica, este se obtiene de acuerdo a la tabla A.3-3 del título A de la NSR-10, para este proyecto se debe aplicar un coeficiente R_0 igual a 7.0.

C. SISTEMA DE PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTOS		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_0 (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			Alta		Intermedia		baja	
				uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)									
a. De concreto (DES)	el mismo	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DES)	el mismo	7.0 (Nota-3)	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
d. De acero con cerchas dúctiles (DES)	Pórticos de acero resistentes o no a momentos	6.0	3.0	si	30 m	si	45 m	si	sin límite
2. Pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)									
a. De concreto (DMO)	el mismo	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DMO)	el mismo	5.0 (Nota-3)	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos con conexiones rígidas (DMO)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
3. Pórticos resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)									
a. De concreto (DMI)	el mismo	2.5	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
b. De acero (DMI)	el mismo	3.0	2.5	no se permite		no se permite		si	Sin límite
c. Mixtos con conexiones totalmente restringidas a momento (DMI)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	3.0	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
d. Mixtos con conexiones parcialmente restringidas a momento	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	6.0	3.0	no se permite		si	30 m	si	50 m
e. De acero con cerchas no dúctiles	el mismo	1.5	1.5	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	12 m
f. De acero con perfiles de lámina doblada en frío y perfiles tubulares estructurales PTE que no cumplen los requisitos de F.2.2.4 para perfiles no esbeltos (nota 6)	el mismo	1.5	1.5	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	Sin límite
g. Otras estructuras de celosía tales como vigas y cerchas		No se pueden usar como parte del sistema de resistencia sísmica, a no ser que tengan conexiones rígidas a columnas, en cuyo caso serán tratadas como pórticos de celosía							

Fig 16. Tabla A.3-3 de la nsr-10 valor de r correspondiente a pórticos resistentes a momento.

B. Análisis sísmico de la estructura

Se escogió el método del análisis dinámico elástico; ya que el método de la fuerza horizontal equivalente no cubre a las edificaciones ubicadas en zonas de amenaza sísmica alta (Titulo A.3.4.2- NSR 10–pág. A-45). Por lo tanto, se cumplirán los principales parámetros establecidos en el título A, principalmente en el numeral A.5 “Método del análisis dinámico” de la NSR-10.

1) Espectro elástico de aceleraciones:

Con los movimientos sísmicos de diseño se obtiene el espectro de aceleraciones que regirá a todas las estructuras, ya que este sólo depende de la zona de amenaza, tipo de suelo y coeficiente de importancia de la estructura (NSR-10 Titulo A Pág. A-26 – A-27), este espectro se utiliza para realizar el análisis modal, obtener los porcentajes de desplazamiento de masas y posteriormente obtener las fuerzas sísmicas F, que sirven para calcular las derivas máximas en cada piso.

Ts	0.00	0.20	0.40	0.60	0.70	1.00	1.30	1.60	1.90	2.20	2.50	2.80	3.10	3.40	3.70	4.00	4.30	4.56	4.60	4.90	5.20	5.50
Sa	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.57	0.44	0.36	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09
						Tc												TL				

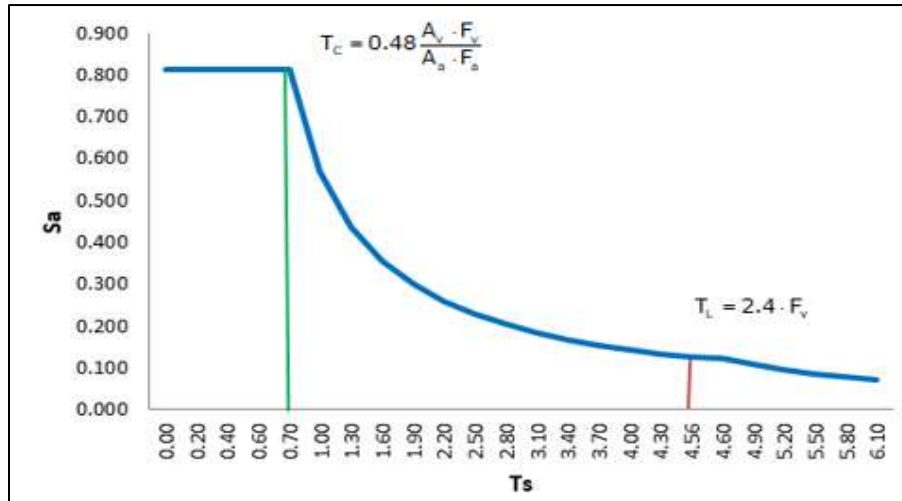


Fig 17. Espectro elástico de aceleraciones para todas las estructuras.

Nomenclatura:

S_a : Valor de la aceleración de diseño para un periodo de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un periodo de vibración $T(s)$ (Periodo de vibración del sistema elástico en segundos)

T_c : Periodo de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro, para periodos cortos, y la parte descendiente del mismo.

T_L : Periodo de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de aceleraciones aproximadamente constante del espectro de diseño, para periodos largos.

2) Espectro Sísmico de Diseño

El espectro de diseño sísmico se obtiene dividiendo el espectro elástico de aceleraciones entre el coeficiente de disipación de energía (R) correspondiente a cada dirección de análisis (Titulo A.3.7 NSR-10 Pág. A-49).

El coeficiente R se obtiene por medio de la siguiente formula:

$$R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0 \text{ (Ecuación A.3.3-1; NSR-10; Titulo A)}$$

$$R = 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 7.0 = 7.0$$

Por lo tanto el espectro resultante para las fuerzas sísmicas de diseño es:

Ts	0.00	0.20	0.40	0.60	0.70	1.00	1.60	2.20	2.80	3.40	4.00	4.30	4.56	4.60	4.90	5.20	5.50
Sa	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.081	0.051	0.037	0.029	0.024	0.020	0.019	0.018	0.018	0.015	0.014	0.012

Tc

TL

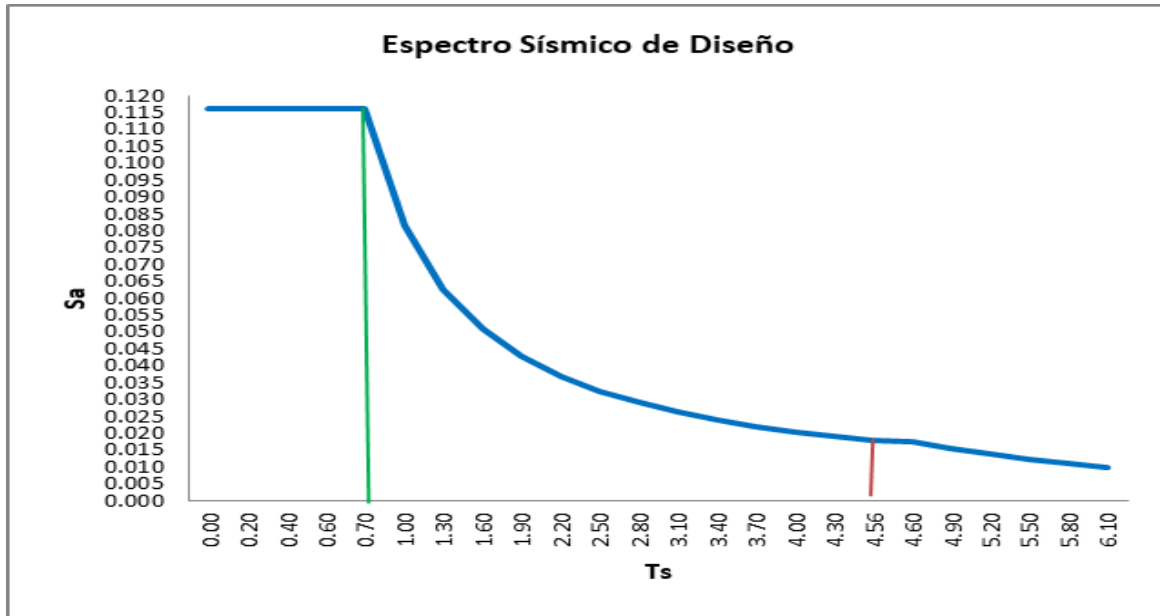


Fig 18. Espectro Sísmico de Diseño.

* La nomenclatura para la Fig 18 es la misma de la Fig 17.

3) Combinaciones de carga utilizadas:

TABLA VII. COMBINACIONES DE CARGA MAYORADAS USANDO EL MÉTODO DE RESISTENCIA SEGÚN B.2.4

Combinación	PP	CM	L	G	EX	EY
1	1.4	1.4				
2	1.2	1.2				
3	1.2	1.2	1.6			
4	1.2	1.2	1.6	0.5		
5	1.2	1.2		1.6		
6	1.2	1.2	0.5	1.6		
7	1.2	1.2			-0.3	-1.0
8	1.2	1.2	0.5		-0.3	-1.0
9	1.2	1.2			0.3	-1.0
10	1.2	1.2	0.5		0.3	-1.0
11	1.2	1.2			-1.0	-0.3
12	1.2	1.2	0.5		-1.0	-0.3

Combinación	PP	CM	L	G	EX	EY
13	1.2	1.2			-1.0	0.3
14	1.2	1.2	0.5		-1.0	0.3
15	1.2	1.2			0.3	1.0
16	1.2	1.2	0.5		0.3	1.0
17	1.2	1.2			-0.3	1.0
18	1.2	1.2	0.5		-0.3	1.0
19	1.2	1.2			1.0	0.3
20	1.2	1.2	0.5		1.0	0.3
21	1.2	1.2			1.0	-0.3
22	1.2	1.2	0.5		1.0	-0.3
23	0.9	0.9				
24	0.9	0.9			-0.3	-1.0
25	0.9	0.9			0.3	-1.0
26	0.9	0.9			-1.0	-0.3
27	0.9	0.9			-1.0	0.3
28	0.9	0.9			0.3	1.0
29	0.9	0.9			-0.3	1.0
30	0.9	0.9			1.0	0.3
31	0.9	0.9			1.0	-0.3

TABLA VIII. COMBINACIONES PARA VERIFICACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS - DERIVAS

Comb.	PP	CM	L	G	FX	FY
1	1.4	1.4				
2	1.2	1.2				
3	1.2	1.2	1.6			
4	1.2	1.2	1.6	0.5		
5	1.2	1.2		1.6		
6	1.2	1.2	0.5	1.6		
7	1.2	1.2			-1.0	
8	1.2	1.2	0.5		-1.0	
9	1.2	1.2			1.0	
10	1.2	1.2	0.5		1.0	
11	1.2	1.2				-1.0
12	1.2	1.2	0.5			-1.0
13	1.2	1.2				1.0
14	1.2	1.2	0.5			1.0
15	0.9	0.9				
16	0.9	0.9			-1.0	
17	0.9	0.9			1.0	
18	0.9	0.9				-1.0
19	0.9	0.9				1.0

Nomenclatura	
PP	Peso propio
CM	Cargas permanentes
L	Carga Viva
G	Granizo
FX	Fuerza Sísmica X (Obtenida del análisis modal)
FY	Fuerza Sísmica Y (Obtenida del análisis modal)
EX	FX/R (Fuerza sísmica de diseño (X))
EY	FY/R (Fuerza sísmica de diseño (Y))

NOTAS:

- CARGA VIVA (B.2.4.2.1): se permite una reducción a 0.5 del factor de carga viva, **L**, en las combinaciones B.2.4-3 a B.2.4-5, exceptuando estacionamientos, áreas ocupadas como lugares de reunión pública y en todas las áreas donde **L_o** sea superior a 48 KN/m².
- EFECTOS SÍSMICOS (B.2.4.2.2): las fuerzas sísmicas reducidas de diseño, **E**, corresponden al efecto, expresado en la fuerza, **F_s**, de los movimientos sísmicos de diseño, divididos por **R** (**E=F_s/R**). Cuando se trata de diseñar los miembros, el valor del coeficiente de carga que afecta a las fuerzas sísmicas **E**, es 1.0. para la verificación de las

derivas obtenidas de las deflexiones horizontales causadas por el sismo de diseño, deben utilizarse los requisitos del capítulo A.6, los cuales exigen que las derivas se verifiquen para las fuerzas sísmicas, sin haber sido divididas por **R**.

- **CARGA DE GRANIZO (B.4.8.3):** Las cargas de granizo, **G**, deben tenerse en cuenta en las regiones del país con más de 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar. Su valor es de 1.0 kN/m² (100 kgf/m²).
- Todos los elementos estructurales deben diseñarse para los efectos de los movimientos sísmicos de diseño que actúen sobre ellos. Puede suponerse que el efecto crítico sobre una edificación causado por la dirección de aplicación de las fuerzas sísmicas se ha tomado en cuenta si todos los elementos se diseñan para el 100% de las fuerzas sísmicas actuando no simultáneamente en las dos direcciones principales:
EFFECTOS ORTOGONALES (A.3.6.3.2): estos efectos pueden tenerse en cuenta suponiendo la concurrencia simultánea al 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección perpendicular. Debe utilizarse la combinación que requiera la mayor resistencia del elemento.

4) Cortante Dinámico en la Base

Primero se debe obtener el cortante sísmico estático en la base (**V_s**) por medio de la siguiente ecuación:

$$V_s = S_a \times W \text{ (Ecuación A.4.3-1-, NSR-10, Titulo A)}$$

Donde **W** = **g.M**

El valor de **W** en la anterior ecuación corresponde al peso total por carga muerta de la edificación y **S_a** es el valor de la aceleración leída en el espectro de diseño, para el periodo fundamental de la edificación **T_a**, obtenido por medio de la siguiente ecuación:

$$T_a = C_t \times h^\alpha \text{ (Ecuación A.4.2-3, NSR 10, Titulo A)}$$

Donde **h** es la altura total de la edificación, **C_t** y **α** se determinan en la siguiente tabla:

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_t y α , donde C_w se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Fig 19. Valores de C_t y α para el cálculo del periodo aproximado T_a , tabla A.4.2-1 - título A - NSR10.

De acuerdo al sistema estructural escogido y su material, los valores de C_t y α son 0.047 y 0.9 respectivamente, a continuación se presenta el valor de S_a para las alturas de los edificios.

TABLA IX. VALORES DE S_a Y S_a/R PARA LAS DIFERENTES ALTURAS DE LAS EDIFICACIONES.

Altura Edificio (m)	$T_a=0.047 h^{0.9}$	S_a	S_a/R
6	0.236	0.813	0.116
9	0.340	0.813	0.116
12	0.440	0.813	0.116
15	0.538	0.813	0.116

Para estructuras regulares en planta, el cortante dinámico total en la base (V_t) obtenido después de realizar la combinación modal, debe ser mayor que el 80% del cortante estático obtenido por el método de la fuerza horizontal equivalente (V_s) para cualquiera de las direcciones de análisis, (Según numeral A.5.4.5 del título A de la NSR-10), a continuación se presenta la siguiente tabla de resumen para las 28 edificaciones, como se puede observar la condición se cumple en todos los casos (Tabla X):

TABLA X. VERIFICACIÓN CORTANTE BASAL DINÁMICO VS CORTANTE BASAL ESTÁTICO.

Edificio	Luz (m)	W(t)	Vtx/R	Vty/R	Vs/R	0.80Vs/R	Condición Norma (A.5.4.5)
I	3	102.1	75.95	75.74	82.99	66.39	Cumple
II		155.0	111.09	110.74	125.97	100.77	Cumple
III		207.9	146.02	145.53	168.94	135.15	Cumple
IV		272.7	186.83	186.13	221.55	177.24	Cumple
V	4	175.3	129.22	128.87	142.44	113.95	Cumple
VI		271.4	189.63	188.93	220.49	176.39	Cumple
VII		378.0	254.66	251.65	307.16	245.72	Cumple
VIII		489.1	318.50	317.94	397.36	317.88	Cumple
IX	5	267.1	197.68	195.02	217.03	173.63	Cumple
X		403.2	287.56	283.43	327.56	262.05	Cumple
XI		573.6	393.68	390.25	466.03	372.83	Cumple
XII		778.1	517.37	509.95	632.17	505.74	Cumple
XIII	6	446.1	326.90	324.59	362.49	289.99	Cumple
XIV		673.4	475.65	471.87	547.12	437.69	Cumple
XV		900.6	624.33	619.50	731.77	585.42	Cumple
XVI		1165.0	795.48	926.03	946.56	757.24	Cumple
XVII	7	668.2	487.76	483.98	543.31	434.65	Cumple
XVIII		1008.0	709.17	702.73	818.98	655.19	Cumple
XIX		1347.8	931.07	923.23	1095.02	876.02	Cumple
XX		1687.7	1153.39	1143.59	1371.21	1096.97	Cumple
XXI	8	887.0	643.79	638.75	720.72	576.58	Cumple
XXII		1402.4	985.81	976.71	1139.49	911.59	Cumple
XXIII		1874.8	1293.95	1281.98	1523.24	1218.59	Cumple
XXIV		2517.4	1708.91	2054.08	2045.38	1636.31	Cumple
XXV	9	1248.0	900.55	900.06	1014.03	811.23	Cumple
XXVI		1880.5	1307.04	1304.24	1527.92	1222.33	Cumple
XXVII		2721.8	1715.74	1708.21	2049.00	1639.20	Cumple
XXVIII		3304.5	2239.65	2224.95	2684.87	2147.89	Cumple

5) Chequeo de Desplazamiento Horizontales (Derivas)

En la tabla XI se muestra el resumen de la deriva máxima por edificación tanto en sentido X como en Y, estas derivas se comparan con la deriva máxima permitida por norma, la cual es 1.0% según la tabla XI (Numeral A.6.4. del título A de la NSR-10).

TABLA XI. DERIVA MÁXIMA DE LAS 28 ESTRUCTURAS, Y COMPARACIÓN CON DERIVA MÁXIMA SEGÚN A.6.4.

Edificio	Luz (m)	Niveles	Máxima Deriva X	Máxima Deriva Y	Máxima Deriva Edificio	Condición A.6.4 (Max:1.0 %)
I	3	2	0.35%	0.37%	0.35%	Cumple
II		3	0.57%	0.62%	0.50%	Cumple
III		4	0.84%	0.91%	0.80%	Cumple
IV		5	0.84%	0.92%	0.92%	Cumple
V	4	2	0.67%	0.71%	0.71%	Cumple
VI		3	0.91%	0.99%	0.85%	Cumple
VII		4	0.89%	0.87%	0.89%	Cumple
VIII		5	0.79%	0.88%	0.88%	Cumple
IX	5	2	0.52%	0.47%	0.60%	Cumple
X		3	0.97%	0.88%	0.97%	Cumple
XI		4	0.93%	0.96%	0.96%	Cumple
XII		5	0.87%	0.90%	0.90%	Cumple
XIII	6	2	0.32%	0.30%	0.40%	Cumple
XIV		3	0.56%	0.56%	0.56%	Cumple
XV		4	0.81%	0.82%	0.82%	Cumple
XVI		5	0.91%	0.99%	0.99%	Cumple
XVII	7	2	0.25%	0.25%	0.25%	Cumple
XVIII		3	0.44%	0.46%	0.46%	Cumple
XIX		4	0.65%	0.67%	0.67%	Cumple
XX		5	0.84%	0.88%	0.88%	Cumple
XXI	8	2	0.25%	0.29%	0.29%	Cumple
XXII		3	0.38%	0.37%	0.50%	Cumple
XXIII		4	0.55%	0.54%	0.55%	Cumple
XXIV		5	0.60%	0.65%	0.65%	Cumple
XXV	9	2	0.24%	0.26%	0.25%	Cumple
XXVI		3	0.42%	0.47%	0.47%	Cumple
XXVII		4	0.60%	0.63%	0.60%	Cumple
XXVIII		5	0.57%	0.59%	0.59%	Cumple

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ($\Delta_{\max}^i \leq 0.010 h_{pi}$)
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% ($\Delta_{\max}^i \leq 0.005 h_{pi}$)

Fig 20. Deriva máxima para cada nivel según A.6.4 (tabla A.6.4-1, título A, nsr-10).

6) Resumen de Secciones

En el anexo 17 se presenta el resumen de secciones de concreto definitivas de las 28 edificaciones, estas secciones tienen los siguientes parámetros de escogencia:

- **Pre dimensionamiento:** El requisito inicial para determinar la dimensión de los elementos estructurales se explica en el capítulo 3.1.5 del presente documento. Este requisito está regido por el capítulo C.9. del título C de la NSR-10.
- **Chequeo de derivas:** Los desplazamientos horizontales por sismo en cualquiera de las dos direcciones (X o Y) no deben ser mayor al 1 % de la altura de cada piso, de lo contrario, se evalúa los puntos críticos según cada piso y se debe aumentar las secciones correspondientes de columnas y/o vigas.
- **Diseño estructural:** La disposición del acero de refuerzo en las secciones obtenidas después de la evaluación del parámetro anterior, es un criterio importante en la selección de la sección de concreto de un elemento estructural, puesto que el diseño estructural debe cumplir ciertos parámetros establecidos en el capítulo C.21 del título C de la NSR-10, en dicho capítulo se establecen varios puntos importantes a tener en cuenta, por ejemplo, las longitudes de desarrollo de las barras en los elementos de concreto reforzado; también se determina la distancia de flejes ya sea por confinamiento, cortante o torsión; la máxima cuantía de acero de vigas o columnas, entre otras propiedades.

7) Diseño de los Elementos Estructurales

Una vez se cumplan todos los chequeos correspondientes al análisis sísmico, el software realiza el diseño estructural de cada elemento para poder despiezarlo según las condiciones iniciales impuestas por el usuario en las tablas de despiece, todas deben cumplir con el Capítulo C.21 de la norma sismo resistente colombiana. Las Figs 21 y 24 muestran los despieces típicos para columnas y vigas.

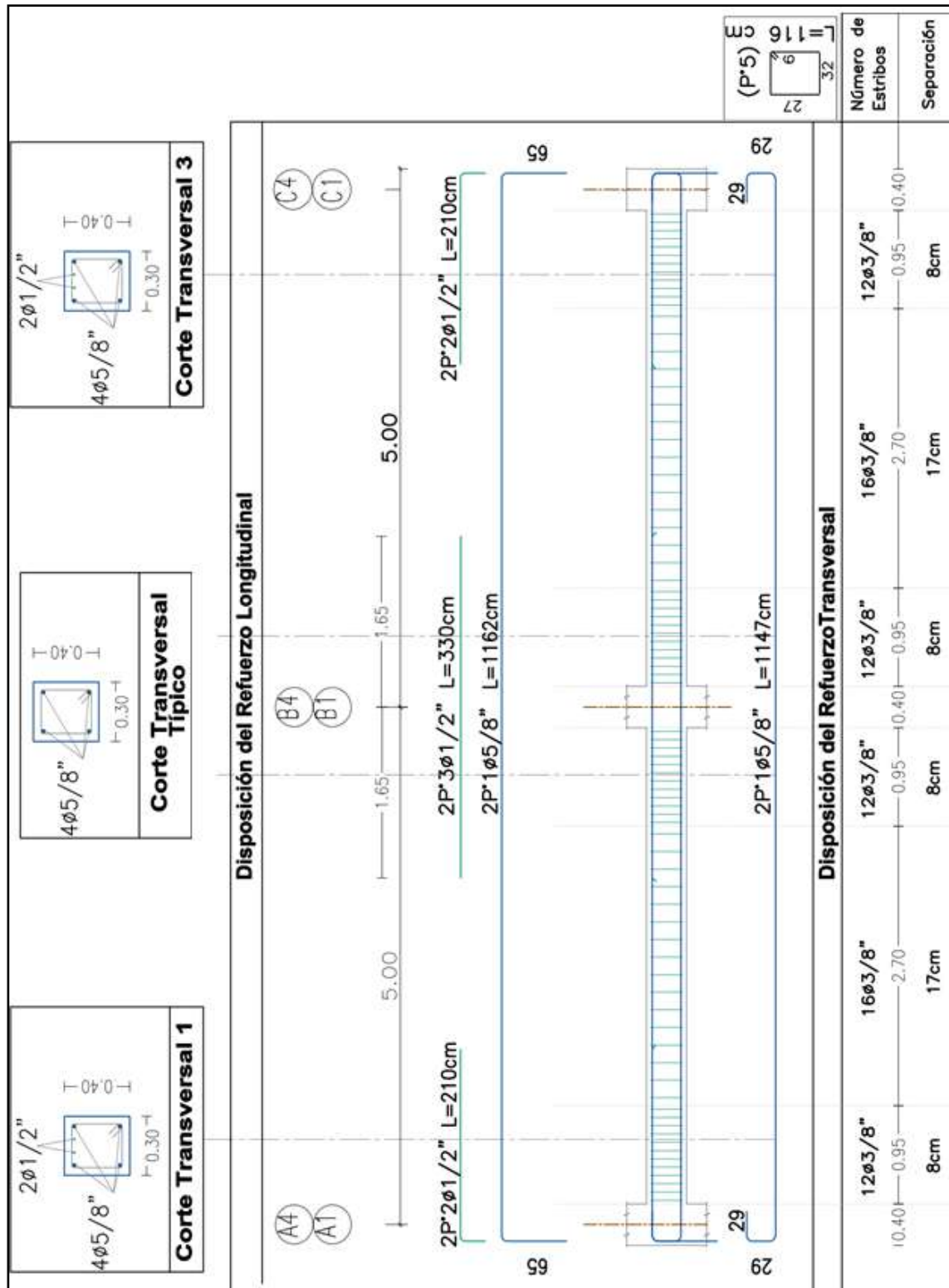


Fig 21. Ejemplo despiece típico de Viga.

Tipo	Diám.	No.	Esquema de Figuración	Long. (cm)	Total (cm)	Grado 60 (kg)
P1	Ø5/8"	2		1162	2324	36.3
P2	Ø1/2"	4		210	840	8.4
P3	Ø1/2"	2		330	660	6.6
P4	Ø5/8"	2		1147	2294	35.8
P5	Ø3/8"	80		116	9280	51.9
Total+10%: (x2):					152.9 305.8	
Peso total para las barras con diámetro de Ø3/8": Peso total para las barras con diámetro de Ø1/2": Peso total para las barras con diámetro de Ø5/8": Peso total del acero en viga tipo:					114.2 33.0 158.6 305.8	

Ejemplo de nomenclatura:
2 P 2 Ø 1/2" significa: 2 barras tipo P2, con diámetro de 1/2 pulgada, longitud de 210 cm y Figción como se muestra en la tabla 15.

Fig 22. Posición, figuración, diámetro y longitud de las barras dispuestas en el despiece de la Viga.

Tipo	Diám.	No.	Esquema (cm)	Longitud (cm)		Peso (kg)
				Unid.	Total	
P1	Ø5/8"	12		380	4560	71.2
P2	Ø1/2"	4		365	1460	14.5
P3	Ø1/2"	162		130	21060	209.5
P4	Ø5/8"	6		166	996	15.6
P5	Ø1/2"	2		166	332	3.3
P6	Ø5/8"	6		290	1740	27.2
P7	Ø1/2"	2		275	550	5.5
Total+Desperdicio (10%) Columna :					381.5	
Total 4 Columnas (A2=A3+C2=C3) :					1526.0	
Peso total para las barras con diámetro de 1/2": Peso total para las barras con diámetro de 5/8": Peso total del acero en columna tipo:					1024.4 501.6 1526.0	

Ejemplo de nomenclatura:
6 P 6 Ø5/8" significa: 6 barras tipo P6, con diámetro de 5/8 de pulgada, longitud de 290 cm y Figción como se muestra en la tabla 16.

Fig 23. Posición, figuración, diámetro y longitud de las barras dispuestas en el despiece de la Viga.

escaleras, muros de mampostería no estructurales, ningún elemento de cubierta ni acabados, ya que se pretende realizar un análisis genérico, el cual se pueda aplicar a diferentes edificios o casas. Tampoco se evaluaron elementos como excavaciones, cerramientos, campamentos, instalaciones hidrosanitarias, eléctricas, ya que estos dependen de condiciones específicas a cada edificación.

A continuación, se presenta un resumen de cantidades obtenidas del análisis y diseño estructural:

Longitud de Luz (m)	Num. Niveles	Edificio	Cantidades						
			Formaleta (m ²)	Lamina Colaborante (m ²)	Concreto (m ³)			Acero (Kg)	
					Columnas	Vigas	Losa	Estructural	N.E. (Losa)
3	2	EDIFICIO 1	119.88 m ²	109.08 m ²	5.76 m ³	9.57 m ³	8.66 m ³	3889.60 kg	516.68 kg
	3	EDIFICIO 2	179.82 m ²	163.62 m ²	8.64 m ³	14.37 m ³	12.99 m ³	5769.71 kg	775.02 kg
	4	EDIFICIO 3	257.04 m ²	218.16 m ²	11.52 m ³	19.14 m ³	17.32 m ³	7974.50 kg	1033.36 kg
	5	EDIFICIO 4	330.15 m ²	273.70 m ²	19.80 m ³	24.70 m ³	21.70 m ³	10930.50 kg	1291.70 kg
4	2	EDIFICIO 5	130.16 m ²	193.08 m ²	5.76 m ³	12.63 m ³	21.10 m ³	4511.50 kg	1543.28 kg
	3	EDIFICIO 6	208.35 m ²	290.22 m ²	11.91 m ³	19.02 m ³	33.60 m ³	6950.00 kg	1935.00 kg
	4	EDIFICIO 7	300.76 m ²	385.54 m ²	17.98 m ³	30.04 m ³	42.62 m ³	10168.00 kg	2580.00 kg
	5	EDIFICIO 8	412.45 m ²	482.10 m ²	25.44 m ³	41.24 m ³	52.70 m ³	14119.90 kg	3761.03 kg
5	2	EDIFICIO 9	228.32 m ²	300.62 m ²	8.64 m ³	31.20 m ³	19.84 m ³	7265.60 kg	264.00 kg
	3	EDIFICIO 10	340.20 m ²	454.23 m ²	12.36 m ³	42.54 m ³	29.97 m ³	10408.00 kg	396.00 kg
	4	EDIFICIO 11	471.32 m ²	605.83 m ²	20.96 m ³	65.24 m ³	39.98 m ³	16120.20 kg	533.92 kg
	5	EDIFICIO 12	650.69 m ²	761.02 m ²	33.96 m ³	96.93 m ³	50.23 m ³	22352.90 kg	668.88 kg
6	2	EDIFICIO 13	223.84 m ²	437.10 m ²	16.20 m ³	62.40 m ³	28.86 m ³	11256.00 kg	3063.66 kg
	3	EDIFICIO 14	486.60 m ²	655.55 m ²	20.16 m ³	93.60 m ³	43.29 m ³	17047.50 kg	4595.49 kg
	4	EDIFICIO 15	648.80 m ²	874.20 m ²	26.88 m ³	124.80 m ³	57.72 m ³	23724.40 kg	6193.00 kg
	5	EDIFICIO 16	821.10 m ²	1087.35 m ²	37.80 m ³	168.85 m ³	71.75 m ³	34542.70 kg	7659.15 kg
7	2	EDIFICIO 17	424.66 m ²	595.26 m ²	18.40 m ³	99.62 m ³	51.20 m ³	17012.70 kg	4036.52 kg
	3	EDIFICIO 18	636.99 m ²	892.89 m ²	27.60 m ³	149.43 m ³	76.80 m ³	25648.50 kg	6054.78 kg
	4	EDIFICIO 19	849.32 m ²	1190.52 m ²	36.80 m ³	199.24 m ³	102.40 m ³	35630.40 kg	8073.04 kg
	5	EDIFICIO 20	1061.65 m ²	1488.15 m ²	46.00 m ³	249.05 m ³	128.00 m ³	46307.40 kg	10091.30 kg
8	2	EDIFICIO 21	484.98 m ²	777.00 m ²	21.52 m ³	135.80 m ³	66.64 m ³	24410.50 kg	5418.80 kg
	3	EDIFICIO 22	805.41 m ²	1165.74 m ²	34.92 m ³	229.08 m ³	99.96 m ³	38688.40 kg	7832.10 kg
	4	EDIFICIO 23	1073.88 m ²	1554.32 m ²	46.56 m ³	305.44 m ³	133.28 m ³	53683.40 kg	10442.80 kg
	5	EDIFICIO 24	1376.60 m ²	1929.65 m ²	67.80 m ³	444.20 m ³	165.50 m ³	74929.20 kg	12736.20 kg
9	2	EDIFICIO 25	596.00 m ²	983.76 m ²	27.12 m ³	203.56 m ³	103.84 m ³	36004.40 kg	10077.78 kg
	3	EDIFICIO 26	988.20 m ²	1476.54 m ²	42.72 m ³	305.34 m ³	155.85 m ³	54832.40 kg	15295.95 kg
	4	EDIFICIO 27	1200.36 m ²	1969.00 m ²	58.48 m ³	407.12 m ³	207.88 m ³	75678.00 kg	20419.00 kg
	5	EDIFICIO 28	1637.10 m ²	2463.10 m ²	77.30 m ³	565.25 m ³	260.00 m ³	101140.60 kg	25456.52 kg

Fig 25. Resumen de cantidades estructurales de las 28 edificaciones.

C. Análisis de precios unitarios

Para la elaboración del presupuesto de obra se utilizaron diversas fuentes en la presente investigación, para la determinación de salarios reales, prestaciones y cuadrillas se tomó como base la revista *Construdata edición 194 (2020) "Informe especial mano de obra y equipo*

humano”, dicha revista elabora una base de datos de costos y salarios cada año, la cual sirve como referencia para todo el país; sin embargo algunos ítems como rendimientos de la mano de obra y precios de materiales varían para cada zona del país porque se ven afectados por diversos factores propios de cada región, para no realizar un cálculo de eficacia y conteo del tiempo que se demoran diferentes trabajadores en realizar actividades específicas dentro del A.P.U., se tomaron como base para los rendimientos, varios presupuestos realizados por profesionales con la suficiente experiencia en el sector, ya que a través de los años han podido recopilar información acorde a la ciudad y a los tipos de edificios que cubre esta investigación, además el programa de cálculo CYPECAD tiene una base de datos para el departamento de Nariño que también puso correlacionarse con los presupuestos recogidos para poder cubrir todos los ítems que manejamos en este trabajo; los precios de materiales y alquiler de maquinaria se obtuvieron realizando cotizaciones en las principales ferreterías y centros de alquiler de la ciudad. El proceso de elaboración del análisis de precios unitarios se divide en los siguientes subcapítulos.

1) Análisis de Salario y Horas efectivas

El análisis tiene en cuenta el salario mínimo legal vigente con subsidio de transporte afectado por las prestaciones explicadas en el marco legal y marco metodológico del presente documento, todos los valores son vigentes para el año (2020) y sirven para la república de Colombia, además se tiene como base de referencia la revista Construdata para saber qué valor gana el equipo humano (Ayudante, Oficial y Maestro de Obra) expresado en números de SMLV. (Ver Tabla 14).

Finalmente se determina las horas efectivas trabajadas ya que para el costo de un empleado se deben tener en cuenta las horas que no se trabajan y sin embargo el empleador debe pagar, esto se refleja en un sobre costo que se utiliza para valorizar el tiempo efectivo que un trabajador dedica a una labor y refleja el costo del tiempo durante el cual no está trabajando pero si está devengando. Al final se obtiene que se debe aumentar un 12.64% a las horas laborales de cada trabajador (Ver Fig 26). Este proceso de cálculo se realiza con base a un SLMV con subsidio de transporte y el porcentaje se aumenta a cada salario efectivo según el trabajador.

Subsidio de transporte mensual: \$ 102,854 Días Festivos 18			SMLV Básico		Ayudante 2	
SALARIO			1 Mínimo		1.2 Mínimo	
			Valor	Ref	Valor	Ref
Mensual			\$ 877,803	A	\$ 1,053,364	A
Subsidio de Transporte			\$ 102,854	B	\$ 102,854	B
Total mensual			\$ 980,657	C	\$ 1,156,218	C
Anual (A/30x360)			\$ 10,533,636	D	\$ 12,640,363	D
Subsidio transp. Anual para calculo liquidacion cesantias y prima			\$ 1,234,248		\$ 1,234,248	
Subsidio transp. anual para calculo de h. efec. y Anual con subsidio de Transporte			\$ 1,172,536 \$ 11,767,884	E	\$ 1,172,536 \$ 13,874,611	E
CONCEPTO	Ref / Costo	Factor	Valor (Ref*Factor)	%	Valor (Ref*Factor)	%
SALARIO						
Salario Anual (365 días)			\$ 10,533,636	100%	\$ 12,640,363	100%
Subsidio transporte (1)			\$ 1,172,536	11.13%	\$ 1,172,536	9.28%
SOCIALES						
Cesantias anuales	E	36/360	\$ 1,176,788	10.00%	\$ 1,387,461	10.00%
Intereses Cesantía	Cesantia	12%	\$ 141,215	1.20%	\$ 166,495.33	1.20%
Vacaciones - 15 días	A	50%	\$ 438,902	4.17%	\$ 526,681.80	4.17%
Prima - 30 días	C	100%	\$ 980,657	8.33%	\$ 1,156,218	8.33%
SEGURIDAD SOCIAL						
Pensiones	D	12.000%	\$ 1,264,036	12.00%	\$ 1,516,844	12.00%
Salud	D	0.00%	\$ -	0.00%	\$ -	0.00%
Riesgos profesionales (V)	D	6.96%	\$ 733,141	6.96%	\$ 879,769	6.96%
PARAFISCALES						
SENA	D	0%			\$ -	
ICBF	D	0%			\$ -	
Caja Compensación	D	4%	\$ 421,345.44	4.00%	\$ 505,614.53	4.00%
FIC (Fondo de formación Industria Construcción)			\$ 263,341	2.50%	\$ 263,341	2.08%
OTROS COSTOS						
Dotación Trimestral						
Overol	\$ 59,900	3	\$ 179,700	1.71%	\$ 179,700	1.71%
Bota Industrial	\$ 89,900	3	\$ 269,700	2.56%	\$ 269,700	2.56%
Implementos Seguridad Social:						
Casco	\$ 22,900	1	\$ 22,900	0.22%	\$ 22,900	0.22%
Guantes	\$ 36,900	1	\$ 36,900	0.35%	\$ 36,900	0.35%
Monogafas	\$ 6,900	1	\$ 6,900	0.07%	\$ 6,900	0.07%
Botas de Caucho	\$ 46,900	1	\$ 46,900	0.45%	\$ 46,900	0.45%
Respirador	\$ 75,000	1	\$ 75,000	0.71%	\$ 75,000	0.71%
Tapaoído	\$ 47,520	1	\$ 47,520	0.45%	\$ 47,520	0.45%
VALOR DEL SALARIO ANUAL y PORCENTAJE DE SMLV + PRESTACIONES	Ref:		F	F/E	F	F/E
Trabajador:			\$ 17,811,117	151.35%	\$ 20,900,843	150.64%
			SMLV Básico		Ayudante 2	

Fig 26. Análisis de salario más prestaciones (vigente para 2020).

...Continúa en la página siguiente

...Viene de la página anterior

Subsidio de transporte mensual: \$ 102,854 Días Festivos 18			Oficial		Maestro	
SALARIO			1.5 Mínimo		3 Mínimo	
			Valor	Ref	Valor	Ref
Mensual			\$ 1,316,705	A	\$ 2,633,409	A
Subsidio de Transporte			\$ 102,854	B	\$ -	B
Total mensual			\$ 1,419,559	C	\$ 2,633,409	C
Anual (A/30x360)			\$ 15,800,454	D	\$ 31,600,908	D
Subsidio transp. Anual para calculo liquidacion cesantias y prima			\$ 1,234,248		\$ -	
Subsidio transp. anual para calculo de h. efec. y Anual con subsidio de Transporte			\$ 1,172,536	E	\$ -	
			\$ 17,034,702		\$ 31,600,908	E
CONCEPTO	Ref / Costo	Factor	Valor (Ref*Factor)	%	Valor (Ref*Factor)	%
SALARIO						
Salario Anual (365 días)			\$ 15,800,454	100%	\$ 31,600,908	100%
Subsidio transporte (1)			\$ 1,172,536	7.42%	\$ -	0.00%
SOCIALES						
Cesantias anuales	E	36/360	\$ 1,703,470	10.00%	\$ 3,160,091	10.00%
Intereses Cesantía	Cesantia	12%	\$ 204,416.42	1.20%	\$ 379,210.90	1.20%
Vacaciones - 15 días	A	50%	\$ 658,352.25	4.17%	\$ 1,316,704.50	4.17%
Prima - 30 días	C	100%	\$ 1,419,559	8.33%	\$ 2,633,409	8.33%
SEGURIDAD SOCIAL						
Pensiones	D	12.000%	\$ 1,896,054	12.00%	\$ 3,792,109	12.00%
Salud	D	0.00%	\$ -	0.00%	\$ -	0.00%
Riesgos profesionales (V)	D	6.96%	\$ 1,099,712	6.96%	\$ 2,199,423	6.96%
PARAFISCALES						
SENA	D	0%	\$ -		\$ -	
ICBF	D	0%	\$ -		\$ -	
Caja Compensación	D	4%	\$ 632,018.16	4.00%	\$ 1,264,036.32	4.00%
FIC (Fondo de formación Industria Construcción)			\$ 263,341	1.67%	\$ 263,341	0.83%
OTROS COSTOS						
Dotación Trimestral						
Overol	\$ 59,900	3	\$ 179,700	1.71%		
Bota Industrial	\$ 89,900	3	\$ 269,700	2.56%		
Implementos Seguridad Social:						
Casco	\$ 22,900	1	\$ 22,900	0.22%	\$ 22,900	0.22%
Guantes	\$ 36,900	1	\$ 36,900	0.35%	\$ 36,900	0.35%
Monogafas	\$ 6,900	1	\$ 6,900	0.07%	\$ 6,900	0.07%
Botas de Caucho	\$ 46,900	1	\$ 46,900	0.45%	\$ 46,900	0.45%
Respirador	\$ 75,000	1	\$ 75,000	0.71%	\$ 75,000	0.71%
Tapaoído	\$ 47,520	1	\$ 47,520	0.45%	\$ 47,520	0.45%
VALOR DEL SALARIO ANUAL y PORCENTAJE DE SMLV + PRESTACIONES	Ref:		F	F/E	F	F/E
			\$ 25,535,432	149.90%	\$ 46,845,353	148.24%
Trabajador:			Oficial		Maestro	

TABLA XII. CALCULO DEL FACTOR DE SOBRECOSTO POR HORA EFECTIVA.

	Concepto	Proceso Cálculo	Valor	%
F	Salario mínimo anual con prestaciones:	SMLV + PRESTACIONES	\$ 17,811,117	
G	Horas calendario anuales	365 días * 8 horas	2920 hrs	
H	Horas laborales anuales	52 semanas *48 horas	2496 hrs	
I	Horas Efectiva anuales	2920 hrs-(52domingos + 18 festivos +3permisos + 15 vacaciones)*8hrs	2216 hrs	
J	Valor Hora Calendario	F/G	\$ 6,099.70	
K	Valor Hora Laboral	F/H	\$ 7,135.86	100.00%
L	Valor Hora Efectiva	F/I	\$ 8,037.51	112.64%*

2) Conformación de Cuadrillas y Valor del Jornal Diario Real

Las cuadrillas están conformadas por oficiales, ayudantes y/o maestros, una vez se determina el porcentaje total de aumento (prestaciones + factor de sobrecosto) que afectara al salario básico (SMLV con subsidio de transporte) de cada trabajador, se calcula el jornal diario (Salario básico dividido entre 30 días) se aplican los porcentajes de aumento total y se obtiene el jornal real diario de cada trabajador. Una vez conformadas las cuadrillas (Tabla XII) se procede a calcular el jornal real diario de cada cuadrilla, este valor es el que afecta al análisis de precios unitario final.

TABLA XIII. CÁLCULO DE JORNAL REAL DIARIO.

TRABAJADOR	SALARIO BÁSICO=SMLV + SUBSIDIO TRANSPORTE (A)	JORNAL DIARIO (B)=A/30	PORCENTAJE DE INCREMENTO POR PRESTACIONES (C)	JORNAL REAL DIARIO B x C x D
Ayudante (1.0 SMLV)	\$ 980,657.00	\$ 32,688.57	151.35%	\$ 55,729.01
Oficial (1.5 SMLV)	\$ 1,419,558.50	\$ 47,318.62	149.90%	\$ 79,897.53
Maestro (3.0 SMLV)	\$ 2,633,409.00	\$ 87,780.30	148.24%	\$ 146,573.90

TABLA XIV. ANÁLISIS DE CUADRILLAS Y COSTO DEL RESPECTIVO JORNAL.

DESCRIPCION	EQUIPO HUMANO	VALOR JORNAL DIARIO
CUADRILLA A	0.08 MAESTRO + 1 OFICIALES + 4 AYUDANTES	\$ 314,539
CUADRILLA B	1 OFICIAL + 2 AYUDANTE	\$ 191,356
CUADRILLA C	2 AYUDANTES	\$ 111,458

3) Valor de los Equipos Utilizados

Obtenidos mediante cotizaciones en diferentes centros de alquiler y profesionales particulares.

TABLA XV. VALOR DIARIO DE EQUIPOS Y MAQUINARIA PARA ESTRUCTURA.

EQUIPOS	VR/DIA	UN
BOMBA ESTACIONARIA PARA CONCRETO	\$ 60,000.00	UN
CIZALLA	\$ 99,000.00	UN
FLEJADORA	\$ 165,000.00	UN
VOLQUETAS 7 M3	\$ 387,200.00	UN
VIBRADOR PARA CONCRETOS	\$ 55,000.00	UN
HERRAMIENTA MENOR	5% Mano de Obra	UN
PARALES METALICOS	\$ 200.00	UN
VIBROCOMPACTADOR	\$ 330,000.00	UN

4) Valor de los Materiales

Obtenidos mediante diferentes cotizaciones en las principales ferreterías de la ciudad y también de la base de datos proporcionada por CYPECAD.

TABLA XVI. VALOR DE MATERIALES PARA ESTRUCTURA.

MATERIAL	UND	PRECIO
ACERO REFUERZO CORRUGADO	Kg	\$ 2,600.00
AGUA	LT	\$ 20.00
ALAMBRE NEGRO No.18	Kg	\$ 4,500.00
ARENA CRIBADA	M3	\$ 68,507.14
BISAGRA COBRIZADA 3"	UN	\$ 1,950.00
CEMENTO GRIS	Kg	\$ 510.00
CONECTORES DE CORTANTE	UND	\$ 1,500.00
LAMINA COLABORANTE 2" Cal 20	M2	\$ 37,000.00
LISTON MADERA COMUN 4x4	UN	\$ 6,000.00
MALLA ELECTROSOLDADA 15x15 5mm.	M2	\$ 9,150.00
MALLA ELECTROSOLDADA 15x15 4mm.	M2	\$ 5,277.00
PUNTILLAS	LB	\$ 3,900.00
TABLA COMUN 0.24 x 2.70 20mm	UN	\$ 8,500.00
ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA ENCOFRADO	M2	\$ 161,860.42
LAMINA METÁLICA PARA ENCOFRADO COLUMNAS	M2	\$ 91,403.53
BERENJENO DE PVC 2.50m	UN	\$ 666.50
SEPARADOR PARA ARMADURA COLUMNA	UN	\$ 135.00
SEPARADOR PARA ARMADURA VIGAS	UN	\$ 170.70
PUNTAL METÁLICO TELESCÓPICO 3M	UN	\$ 30,813.57
TEJA DE ZINC L=2.15	M2	\$ 29,017.00
TRITURADO CORRIENTE	M3	\$ 49,590.33

5) *Calculo de Rendimientos*

Los rendimientos se obtuvieron a partir de los datos recolectados a través varios ingenieros en la ciudad de Pasto que dieron acceso a sus bases de datos para poder tomarlos como referencia para el análisis, además se complementaron con otros valores obtenidos de la base de datos del programa CYPECAD.

6) *Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.)*

Los ítems creados para el análisis se, se enumeran a continuación:

- 1.01 Columnas de concreto de 28 MPa,
- 1.02 Vigas aéreas de concreto 28 MPa,
- 1.03 Acero de refuerzo estructura,
- 1.04 Formaleta de columnas
- 2.01 Lamina colaborante de 2"
- 2.02 Acero de refuerzo losa entrepiso
- 2.03 Concreto lamina colaborante 28 Mpa.

Para más detalle se pueden observar todos los ítems en el anexo 7, sin embargo en la tabla 20 se explica el proceso de cálculo para cada análisis de precios unitario, en la última casilla se puede observar el total para cada ítem, el cual será utilizado en el cálculo del presupuesto final.

1.01 - COLUMNA DE CONCRETO 28 MPA		PROYECTO: BUSQUEDA DE LA LUZ ECONOMICAMENTE OPTIMA PARA EDIFICACIONES APORTICADAS EN CONCRETO REFORZADO - ETAPA I			
DESCRIPCION ITEM: COLUMNA DE CONCRETO 28 MPA		ESTRUCTURA		ITEM: UN:	1.01 m3
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD (c)	VR. UNITARIO (vu)	SUBTOTAL VT= c x vu	REF
CONCRETO 28 MPa	M3	1.00	383,871.7	\$ 383,871.73	
SEPARADOR COLUMNAS	UN	12.05	135.0	\$ 1,626.75	
		SUBTOTAL		\$ 385,498.48	
		DESPERDICIO (5%)		\$ 19,274.92	
		TOTAL MATERIALES:		\$ 404,773.41	A
EQUIPO	UNIDAD	RENDIMIENTO (r)	VR. UNITARIO (vu)	SUBTOTAL VT= c x vu	
HERRAMIENTA MENIOR	5% Mano de Obra		3,931.7	\$ 3,931.74	
BOMBA ESTACIONARIA PARA CONCRETO	DIA	0.10	\$ 60,000.00	\$ 6,000.00	
		TOTAL MATERIALES		\$ 9,931.74	B
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIMIENTO (r)	VR. UNITARIO (vu)	SUBTOTAL VT= c x vu	
CUADRILLA A	DIA	0.25	\$ 314,539.47	\$ 78,634.87	
		TOTAL M. de OBRA		\$ 78,634.87	C
		TOTAL COLUMNA DE CONCRETO 28 MPA		\$ 493,340.02	A+B+C

Fig 27. Análisis de precios unitarios para el ítem 1.01: Columnas concreto 28 mpa.

D. Presupuesto final de las estructuras

Se utilizó el esquema mostrado en la Fig 28 para calcular el costo final de la estructura asumiendo un porcentaje por administración, utilidades (A.U.I.) e interventoría del 30% y luego se calcula el costo por metro cuadrado de construcción, en el esquema se asignaron letras para explicar la obtención de cada una de las casillas. La casilla de cantidad (A) se obtuvo del resumen de cantidades en el numeral 6.4, la casilla B se obtuvo de las tablas de precios unitarios mostradas en el numeral 6.5.7 y la casilla I se obtiene de la multiplicación del área del lote de cada edificación por su número de pisos. La casilla J es la más importante porque con este valor se compara todas las edificaciones y se resume el objetivo de este proyecto, con el cual se procede a realizar el análisis final de la investigación en el capítulo “6 - Análisis de Resultados”.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUB-TOTAL
			A	B	C=AXB
1.00	ESTRUCTURA				
1.01	COLUMNAS DE CONCRETO 28 MPA	M3	A1	B1	C1= A1XB1
1.02	VIGAS AÉREAS DE CONCRETO 28 MPA	M3	A2	B2	C2=A2XB2
1.03	ACERO DE REFUERZO ESTRUCTURA 420 Mpa	Kg	A3	B3	C3=A3XB3
1.04	FORMALETA DE ESTRUCTURA	M2	A4	B4	C4=A3XB4
			SUBTOTAL ITEM		D=C1+C2+C3+C4
2.00	LOSA DE ENTREPISO				
2.01	LAMINA COLABORANTE 2"	M2	A5	B5	C5=A5XB5
2.02	ACERO DE REFUERZO 420 Mpa PARA LOSA ENTREPISO	Kg	A6	B6	C6=A6XB6
			SUBTOTAL ITEM		E=C5+C6
TOTAL COSTO DIRECTO OBRA CIVIL					F=D+E
A.U.I. 30%					G=0.30XF
TOTAL COSTO OBRA CIVIL					H=F+G
I ->			I = M2 Totales Construidos		J=H/I

Fig 28. Esquema de la obtención del presupuesto general para las edificaciones.

E. Costo por metro cuadrado de las 28 edificaciones

Con la elaboración del presupuesto de cada edificación es posible realizar la siguiente tabla que resume el costo por metro cuadrado de cada estructura:

Longitud de Luz (m)	Num. Niveles	Edificio	Costo Total Directo	Costo Total Edificio (Incluye AUI)	Superficie Construida (M2)	Costo Directo por M2 (\$/M2)	Costo Total por M2 COP (\$/M2)	Costo Total en % de SMLV 2020	Costo Total por M2 en USD 2020
3	2	EDIFICIO 1	\$ 41,227,970	\$ 53,596,362	108 m ²	\$ 381,740	\$ 496,263	57%	\$ 140.2
	3	EDIFICIO 2	\$ 62,616,890	\$ 81,401,957	162 m ²	\$ 386,524	\$ 502,481	57%	\$ 141.9
	4	EDIFICIO 3	\$ 83,131,699	\$ 108,071,208	216 m ²	\$ 384,869	\$ 500,330	57%	\$ 141.3
	5	EDIFICIO 4	\$ 109,958,751	\$ 142,946,376	270 m ²	\$ 407,255	\$ 529,431	60%	\$ 149.6
4	2	EDIFICIO 5	\$ 64,005,964	\$ 83,207,753	192 m ²	\$ 333,364	\$ 433,374	49%	\$ 122.4
	3	EDIFICIO 6	\$ 97,910,572	\$ 127,283,744	288 m ²	\$ 339,967	\$ 441,957	50%	\$ 124.8
	4	EDIFICIO 7	\$ 136,230,280	\$ 177,099,363	384 m ²	\$ 354,766	\$ 461,196	53%	\$ 130.3
	5	EDIFICIO 8	\$ 180,694,668	\$ 234,903,068	480 m ²	\$ 376,447	\$ 489,381	56%	\$ 138.2
5	2	EDIFICIO 9	\$ 94,075,433	\$ 122,298,062	300 m ²	\$ 313,585	\$ 407,660	46%	\$ 115.2
	3	EDIFICIO 10	\$ 137,719,179	\$ 179,034,932	450 m ²	\$ 306,043	\$ 397,855	45%	\$ 112.4
	4	EDIFICIO 11	\$ 197,638,530	\$ 256,930,089	600 m ²	\$ 329,398	\$ 428,217	49%	\$ 121.0
	5	EDIFICIO 12	\$ 263,111,029	\$ 342,044,338	750 m ²	\$ 350,815	\$ 456,059	52%	\$ 128.8
6	2	EDIFICIO 13	\$ 157,230,252	\$ 204,399,328	432 m ²	\$ 363,959	\$ 473,147	54%	\$ 133.7
	3	EDIFICIO 14	\$ 233,554,821	\$ 303,621,268	648 m ²	\$ 360,424	\$ 468,551	53%	\$ 132.4
	4	EDIFICIO 15	\$ 310,117,023	\$ 403,152,130	864 m ²	\$ 358,932	\$ 466,611	53%	\$ 131.8
	5	EDIFICIO 16	\$ 419,732,425	\$ 545,652,152	1080 m ²	\$ 388,641	\$ 505,233	58%	\$ 142.7
7	2	EDIFICIO 17	\$ 224,142,312	\$ 291,385,006	588 m ²	\$ 381,194	\$ 495,553	56%	\$ 140.0
	3	EDIFICIO 18	\$ 339,651,430	\$ 441,546,859	882 m ²	\$ 385,092	\$ 500,620	57%	\$ 141.4
	4	EDIFICIO 19	\$ 449,316,793	\$ 584,111,830	1176 m ²	\$ 382,072	\$ 496,694	57%	\$ 140.3
	5	EDIFICIO 20	\$ 580,362,658	\$ 754,471,456	1470 m ²	\$ 394,805	\$ 513,246	58%	\$ 145.0
8	2	EDIFICIO 21	\$ 306,585,718	\$ 398,561,434	768 m ²	\$ 399,200	\$ 518,960	59%	\$ 146.6
	3	EDIFICIO 22	\$ 480,405,587	\$ 624,527,263	1152 m ²	\$ 417,019	\$ 542,124	62%	\$ 153.1
	4	EDIFICIO 23	\$ 647,903,867	\$ 842,275,027	1536 m ²	\$ 421,812	\$ 548,356	62%	\$ 154.9
	5	EDIFICIO 24	\$ 866,456,532	\$ 1,126,393,492	1920 m ²	\$ 451,279	\$ 586,663	67%	\$ 165.7
9	2	EDIFICIO 25	\$ 437,749,066	\$ 569,073,786	972 m ²	\$ 450,359	\$ 585,467	67%	\$ 165.4
	3	EDIFICIO 26	\$ 662,821,167	\$ 861,667,517	1458 m ²	\$ 454,610	\$ 590,993	67%	\$ 166.9
	4	EDIFICIO 27	\$ 872,062,199	\$ 1,133,680,859	1944 m ²	\$ 448,592	\$ 583,169	66%	\$ 164.7
	5	EDIFICIO 28	\$ 1,147,894,897	\$ 1,492,263,366	2430 m ²	\$ 472,385	\$ 614,100	70%	\$ 173.5

Fig 29. Resumen del costo de las edificaciones por metro cuadrado.

Notas:

- Valor del salario mínimo legal vigente para el año 2020=\$877,803.00 COP.
- Valor del dólar estadounidense en pesos colombianos (Diciembre 2020) = \$3540 COP.
- Las celdas marcadas con verde representan el costo más bajo por metro cuadrado para cada agrupación de edificios por niveles, y las celdas en color rojo representan el costo más alto.

IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan diferentes tablas y graficas que recopilan los resultados obtenidos para poder realizar un análisis más detallado de los mismos.

Relacionando la incidencia del concreto sobre el costo directo del edificio se obtiene lo siguiente:

Longitud de Luz (m)	Num. Niveles	Edificio	Costo Directo por M2 (\$/M2)	Superficie Construida (M2)	Concreto Total (m³)	Cuántia concreto total m³/m²	Costo Concreto Total	Costo CCTO / Costo Directo Obra
3	2	EDIFICIO 1	\$ 381,740	108 m²	23.72 m³	0.2197 m³/m²	\$ 9,043,652	21.94%
	3	EDIFICIO 2	\$ 386,524	162 m²	36.00 m³	0.2222 m³/m²	\$ 13,724,402	21.92%
	4	EDIFICIO 3	\$ 384,869	216 m²	48.14 m³	0.2229 m³/m²	\$ 18,352,944	22.08%
	5	EDIFICIO 4	\$ 407,255	270 m²	66.20 m³	0.2452 m³/m²	\$ 25,253,642	22.97%
4	2	EDIFICIO 5	\$ 333,364	192 m²	39.49 m³	0.2057 m³/m²	\$ 15,005,583	23.44%
	3	EDIFICIO 6	\$ 339,967	288 m²	64.53 m³	0.2241 m³/m²	\$ 24,525,565	25.05%
	4	EDIFICIO 7	\$ 354,766	384 m²	90.64 m³	0.2360 m³/m²	\$ 34,482,503	25.31%
	5	EDIFICIO 8	\$ 376,447	480 m²	119.38 m³	0.2487 m³/m²	\$ 45,441,274	25.15%
5	2	EDIFICIO 9	\$ 313,585	300 m²	59.68 m³	0.1989 m³/m²	\$ 22,764,398	24.20%
	3	EDIFICIO 10	\$ 306,043	450 m²	84.87 m³	0.1886 m³/m²	\$ 32,360,058	23.50%
	4	EDIFICIO 11	\$ 329,398	600 m²	126.18 m³	0.2103 m³/m²	\$ 48,144,608	24.36%
	5	EDIFICIO 12	\$ 350,815	750 m²	181.12 m³	0.2415 m³/m²	\$ 69,159,575	26.29%
6	2	EDIFICIO 13	\$ 363,959	432 m²	104.76 m³	0.2425 m³/m²	\$ 40,003,383	25.44%
	3	EDIFICIO 14	\$ 360,424	648 m²	157.05 m³	0.2424 m³/m²	\$ 59,970,526	25.68%
	4	EDIFICIO 15	\$ 358,932	864 m²	209.40 m³	0.2424 m³/m²	\$ 79,960,702	25.78%
	5	EDIFICIO 16	\$ 388,641	1080 m²	278.40 m³	0.2578 m³/m²	\$ 106,345,266	25.34%
7	2	EDIFICIO 17	\$ 381,194	588 m²	169.22 m³	0.2878 m³/m²	\$ 64,584,409	28.81%
	3	EDIFICIO 18	\$ 385,092	882 m²	253.83 m³	0.2878 m³/m²	\$ 96,876,613	28.52%
	4	EDIFICIO 19	\$ 382,072	1176 m²	338.52 m³	0.2879 m³/m²	\$ 129,199,527	28.75%
	5	EDIFICIO 20	\$ 394,805	1470 m²	423.15 m³	0.2879 m³/m²	\$ 161,499,408	27.83%
8	2	EDIFICIO 21	\$ 399,200	768 m²	223.96 m³	0.2916 m³/m²	\$ 85,484,652	27.88%
	3	EDIFICIO 22	\$ 417,019	1152 m²	363.96 m³	0.3159 m³/m²	\$ 138,983,065	28.93%
	4	EDIFICIO 23	\$ 421,812	1536 m²	485.28 m³	0.3159 m³/m²	\$ 185,310,753	28.60%
	5	EDIFICIO 24	\$ 451,279	1920 m²	677.50 m³	0.3529 m³/m²	\$ 258,862,990	29.88%
9	2	EDIFICIO 25	\$ 450,359	972 m²	334.52 m³	0.3442 m³/m²	\$ 127,653,511	29.16%
	3	EDIFICIO 26	\$ 454,610	1458 m²	503.91 m³	0.3456 m³/m²	\$ 192,297,255	29.01%
	4	EDIFICIO 27	\$ 448,592	1944 m²	673.48 m³	0.3464 m³/m²	\$ 257,009,950	29.47%
	5	EDIFICIO 28	\$ 472,385	2430 m²	902.55 m³	0.3714 m³/m²	\$ 344,562,355	30.02%

Fig 30. Recopilación cuántia de concreto total por edificio.

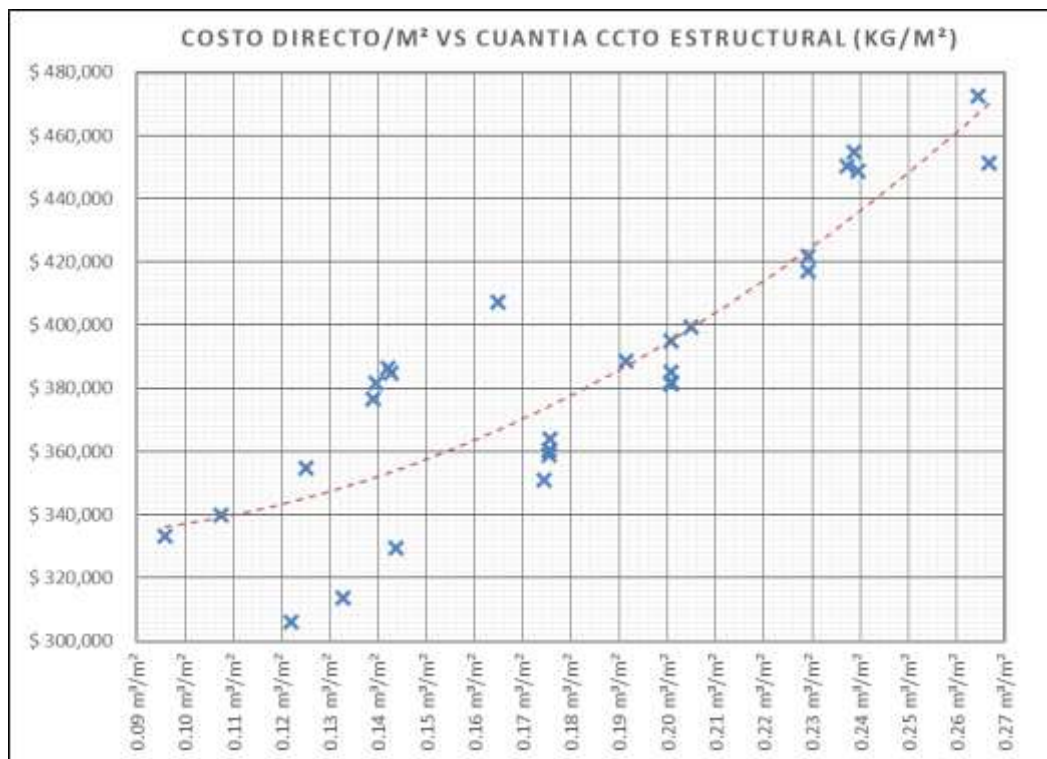


Fig 31. Costo directo/m² Vs Cuantía de ccto estructural (Kg/m²).

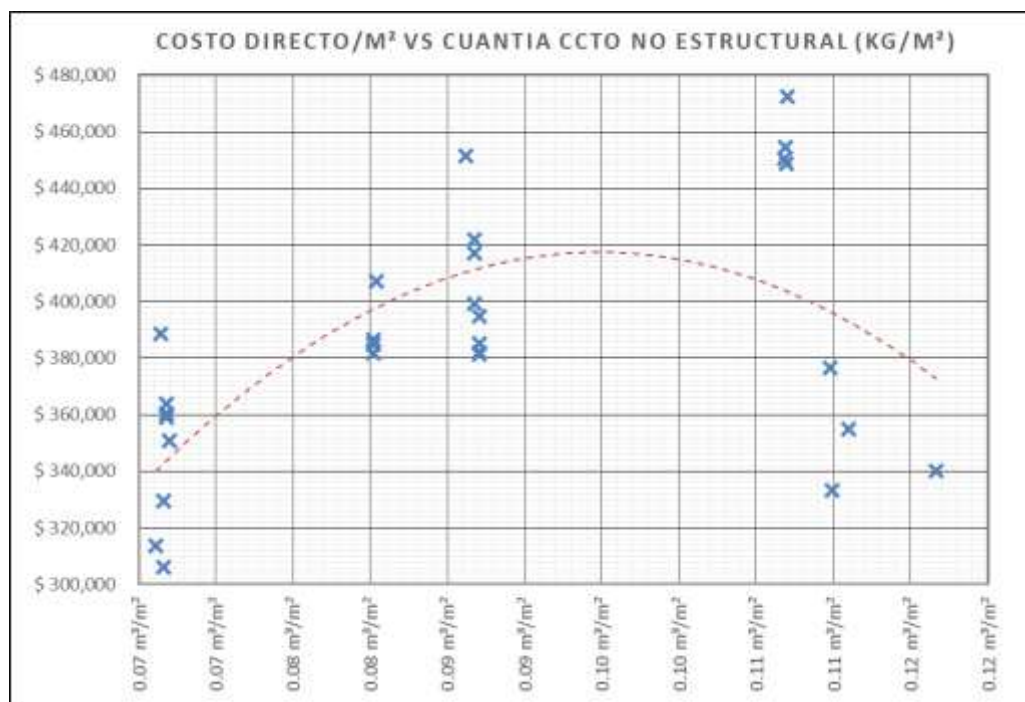


Fig 15. Costo directo/m² Vs Cuantía de ccto no estructural (Kg/m²).

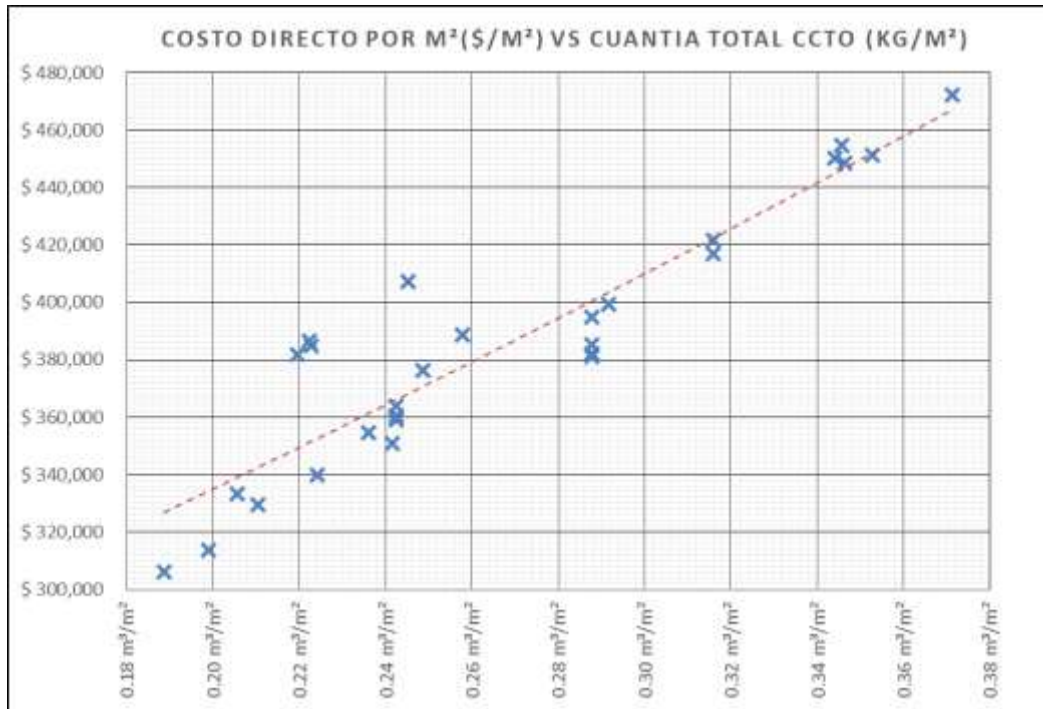


Fig 33. Costo directo por m² (\$/m²) Vs Cuántía total de ccto (kg/m²).

A continuación se recopilan los resultados correspondientes al acero resultante en las 28 edificaciones:

Longitud de Luz (m)	Num. Niveles	Edificio	Costo Directo por M2 (\$/M2)	Superficie Construida (M2)	Acero Total (kg)	Cuántia de Acero total kg/m ²	Costo Acero Total	Costo Acero Total / Costo Directo Obra
3	2	EDIFICIO 1	\$ 381,740	108 m ²	4348 kg	40.26 kg/m ²	\$ 15,195,813	36.86%
	3	EDIFICIO 2	\$ 386,524	162 m ²	6685 kg	41.26 kg/m ²	\$ 23,372,391	37.33%
	4	EDIFICIO 3	\$ 384,869	216 m ²	8792 kg	40.70 kg/m ²	\$ 30,738,532	36.98%
	5	EDIFICIO 4	\$ 407,255	270 m ²	11732 kg	43.45 kg/m ²	\$ 41,026,192	37.31%
4	2	EDIFICIO 5	\$ 333,364	192 m ²	6055 kg	31.54 kg/m ²	\$ 21,084,662	32.94%
	3	EDIFICIO 6	\$ 339,967	288 m ²	8885 kg	30.85 kg/m ²	\$ 30,973,763	31.63%
	4	EDIFICIO 7	\$ 354,766	384 m ²	12748 kg	33.20 kg/m ²	\$ 44,460,340	32.64%
	5	EDIFICIO 8	\$ 376,447	480 m ²	17881 kg	37.25 kg/m ²	\$ 62,347,716	34.50%
5	2	EDIFICIO 9	\$ 313,585	300 m ²	7530 kg	25.10 kg/m ²	\$ 26,388,041	28.05%
	3	EDIFICIO 10	\$ 306,043	450 m ²	10804 kg	24.01 kg/m ²	\$ 37,861,677	27.49%
	4	EDIFICIO 11	\$ 329,398	600 m ²	16654 kg	27.76 kg/m ²	\$ 58,370,659	29.53%
	5	EDIFICIO 12	\$ 350,815	750 m ²	23022 kg	30.70 kg/m ²	\$ 80,695,536	30.67%
6	2	EDIFICIO 13	\$ 363,959	432 m ²	13423 kg	31.07 kg/m ²	\$ 46,779,319	29.75%
	3	EDIFICIO 14	\$ 360,424	648 m ²	21643 kg	33.40 kg/m ²	\$ 75,461,000	32.31%
	4	EDIFICIO 15	\$ 358,932	864 m ²	29917 kg	34.63 kg/m ²	\$ 104,326,909	33.64%
	5	EDIFICIO 16	\$ 388,641	1080 m ²	42202 kg	39.08 kg/m ²	\$ 147,273,835	35.09%

Longitud de Luz (m)	Num. Niveles	Edificio	Costo Directo por M2 (\$/M2)	Superficie Construida (M2)	Acero Total (kg)	Cuántia de Acero total kg/m ²	Costo Acero Total	Costo Acero Total / Costo Directo Obra
7	2	EDIFICIO 17	\$ 381,194	588 m ²	19730 kg	33.55 kg/m ²	\$ 68,806,440	30.70%
	3	EDIFICIO 18	\$ 385,092	882 m ²	30575 kg	34.67 kg/m ²	\$ 106,647,621	31.40%
	4	EDIFICIO 19	\$ 382,072	1176 m ²	42491 kg	36.13 kg/m ²	\$ 148,247,056	32.99%
	5	EDIFICIO 20	\$ 394,805	1470 m ²	55015 kg	37.42 kg/m ²	\$ 191,975,571	33.08%
8	2	EDIFICIO 21	\$ 399,200	768 m ²	29829 kg	38.84 kg/m ²	\$ 104,096,231	33.95%
	3	EDIFICIO 22	\$ 417,019	1152 m ²	46521 kg	40.38 kg/m ²	\$ 162,406,684	33.81%
	4	EDIFICIO 23	\$ 421,812	1536 m ²	64126 kg	41.75 kg/m ²	\$ 223,905,330	34.56%
	5	EDIFICIO 24	\$ 451,279	1920 m ²	87665 kg	45.66 kg/m ²	\$ 306,251,557	35.35%
9	2	EDIFICIO 25	\$ 450,359	972 m ²	46082 kg	47.41 kg/m ²	\$ 160,641,628	36.70%
	3	EDIFICIO 26	\$ 454,610	1458 m ²	70128 kg	48.10 kg/m ²	\$ 244,470,235	36.88%
	4	EDIFICIO 27	\$ 448,592	1944 m ²	96097 kg	49.43 kg/m ²	\$ 335,052,772	38.42%
	5	EDIFICIO 28	\$ 472,385	2430 m ²	126597 kg	52.10 kg/m ²	\$ 441,540,927	38.47%

Fig 34. Recopilación cuantía de acero total por edificio.

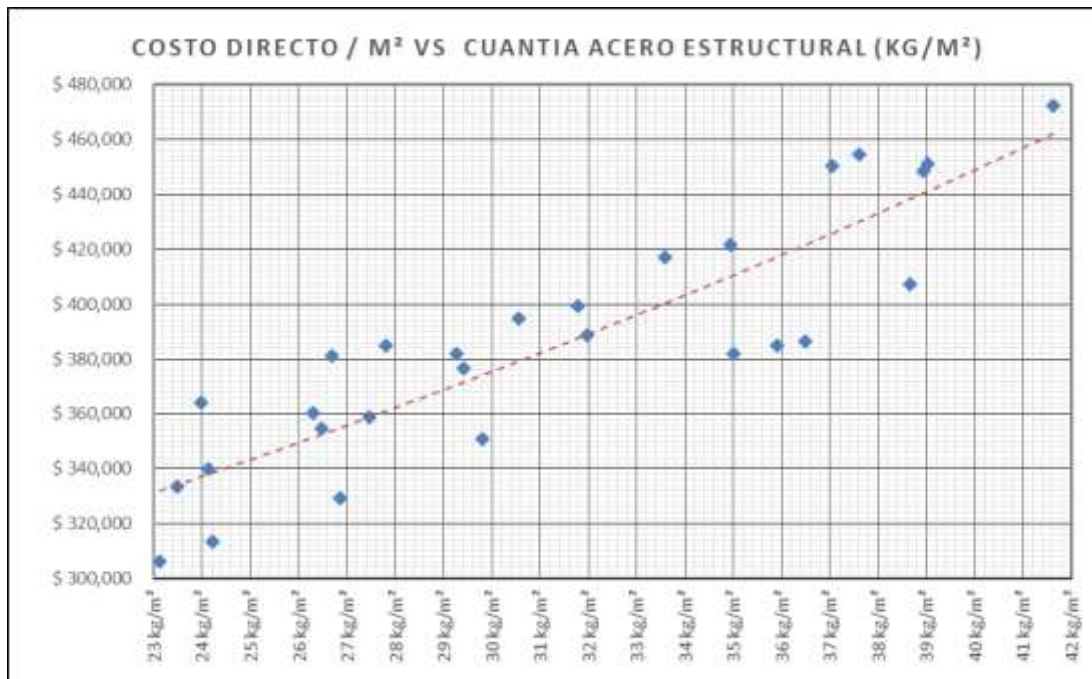


Fig 35. Costo directo/m² Vs Cuántia de acero estructural (kg/m²).

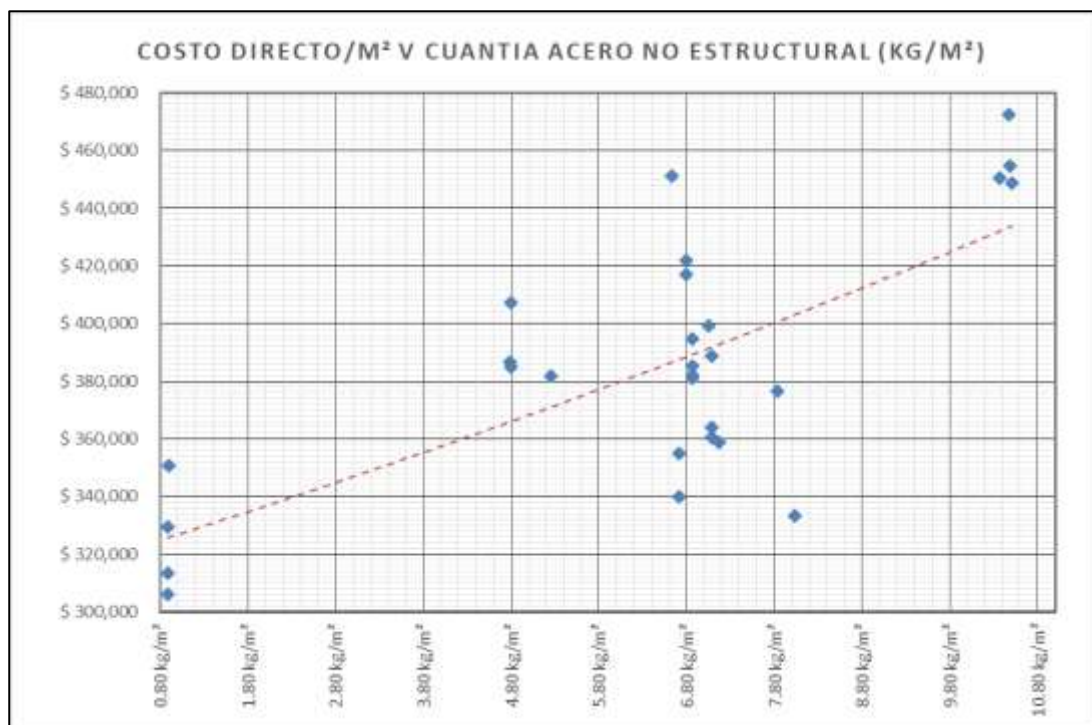


Fig 36. Costo directo/m² Vs Cuántia de acero no estructural (kg/m²).

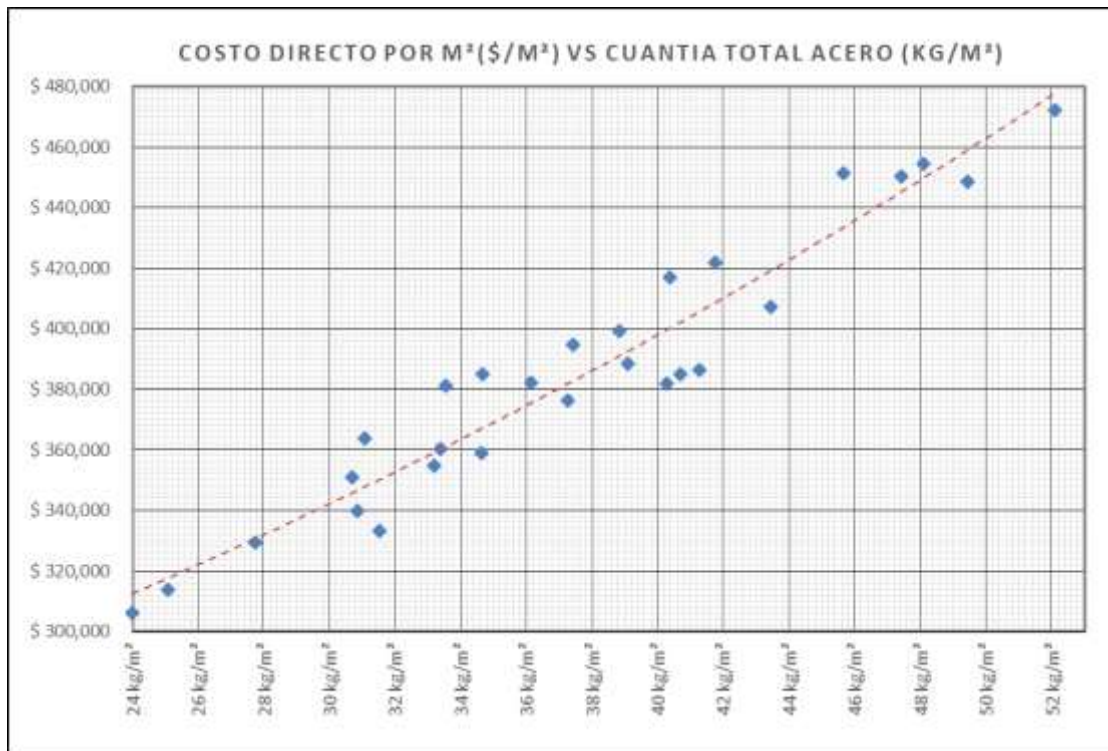


Fig 37. Costo directo por m² (\$/m²) Vs Cuántia total de acero (kg/m²).

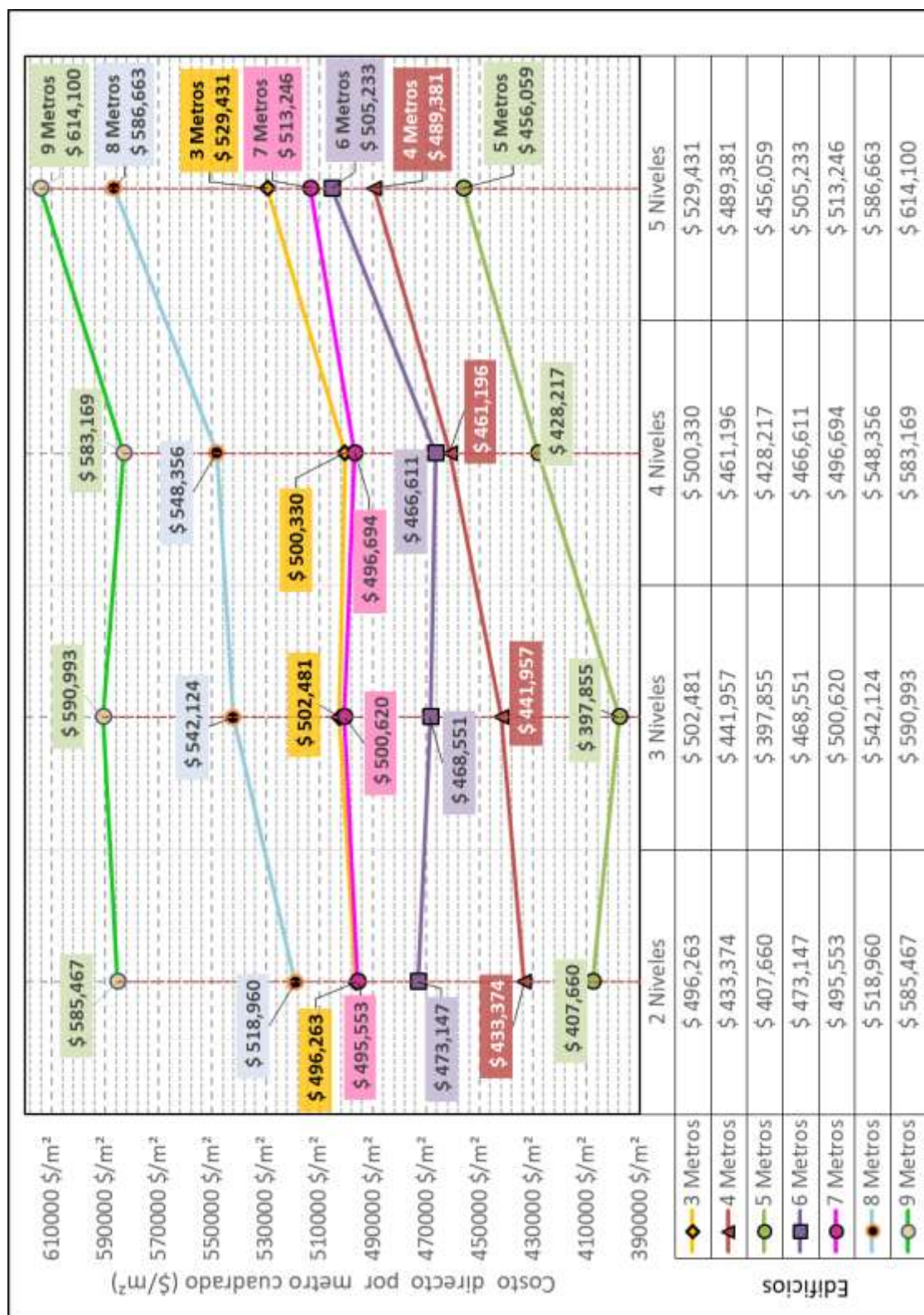


Fig 38. Costo por metro cuadrado vs edificios clasificados por número de niveles y longitud de luz.

En ningún caso fue necesario realizar un ajuste en el cortante basal al realizar el chequeo del numeral A.5.4.5 NSR-10, (ver tabla X), esto se debe al hecho de que las estructuras no poseían irregularidad en planta, por lo que el cortante dinámico solo debía alcanzar el 80% del cortante estático obtenido mediante fuerza horizontal equivalente, por otra parte la regularidad en altura y por ausencia de redundancia también ayudo a que la fuerza sísmica aplicada tenga una reducción mayor debido a un R más grande.

Analizando la tabla de derivas (Tabla XI), se puede apreciar que los edificios de dos niveles tienen las derivas más pequeñas de cada agrupación, estas edificaciones poseen una gran rigidez frente a las fuerzas horizontales, al tener una superficie de apoyo (Plano XY) mucho mayor que las áreas de recepción de cargas sísmicas (Planos XZ o YZ), sumado a que los nodos de apoyo se encuentran empotrados y que es una estructura regular en planta y altura, su comportamiento en situaciones sísmicas es óptimo.

En las edificaciones más esbeltas se observan derivas grandes, esto se debe a que las situaciones sísmicas provocan desplazamientos horizontales grandes en la parte superior, lo que ocasiona que las fuerzas verticales generen desplazamientos horizontales adicionales, (efecto p-delta), debido a que se genera un momento adicional en el mismo sentido cuando la edificación se encuentra en su desplazamiento máximo, en edificaciones de baja altura, este efecto es imperceptible porque los desplazamientos son pequeños y el momento adicional es despreciable. Las edificaciones de 3 metros de luz son una de las agrupaciones más costosas, una de las razones es que al haber poco espacio entre las columnas, se deben colocar muchas más por metro cuadrado, lo que incurre en mayor gasto de materiales (concreto, acero, formaleta, etc.). Por otra parte en las zonas de amenaza sísmica alta, existen parámetros mínimos y máximos de diseño que se deben respetar para pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (C.21.5 y C.21.6), estos parámetros establecen secciones de concreto mínimas, por lo que no importa si una sección de columna o viga cumple según el análisis estructural, se debe colocar una más grande por exigencia sismo resistente, lo que causa que estos elementos trabajan muy por debajo de los límites de falla, es decir que resultan sobredimensionados y se desaprovechan los materiales utilizados en los mismos, otro parámetro importante es la separación máxima del acero transversal y la colocación de estribos cerrados por confinamiento, al haber más nudos por metro cuadrado (unión viga columna), se deben colocar un mayor número de estribos en esas zonas, causando más costos por acero. Adicionalmente, las edificaciones requieren una cimentación, por lo que al haber más columnas, las zapatas también estarían más unidas, ocasionando una probable interferencia en los bulbos de presión sobre el suelo.

Las agrupaciones con longitud de luz igual a 5 metros resultaron más económicas en todos los casos seguidas de las agrupaciones de 4m y 6m. En las edificaciones de 5m se realizó un chequeo adicional, en el cual se quitó la vigueta intermedia y se aumentó el espesor de concreto sobre la lámina colaborante, en la estructura de 4m se realizó el chequeo de manera inversa, sin embargo los resultados fueron muy parecidos en cuanto a costos, ya que la cantidad de materiales se compensaba en las dos opciones. Esto se puede apreciar en el resumen de

cantidades (Anexo 17), la utilización de viguetas intermedias reduce considerablemente el acero de elementos no estructurales (acero de refuerzo de la losa), pero se aumenta el acero en las vigas estructurales, sobre todo en las que son paralelas al sentido de carga de la losa, ya que las viguetas perpendiculares generan cargas puntuales en el centro de la luz, además las viguetas adicionales consumen formaleta y también tienen un refuerzo adicional, por lo tanto el costo final se compensa en las dos opciones. Esto se realizó para descartar la posibilidad de que ese cambio sea determinante en los resultados finales.

La luz de 5 metros resulta óptima económicamente, sus secciones se están aprovechando al máximo, las vigas soportan las cargas verticales impuestas, pero su longitud resulta adecuada como para que las deflexiones producidas no sean tan grandes que requieran aumentar sección o acero longitudinal por fallas a largo plazo; las columnas tienen una sección que soporta las derivas, a pesar de que estas estén relativamente altas, por lo que se interpreta que los materiales están trabajando en un rango cercano al estado límite de falla, si fuese al contrario los elementos estarían sobredimensionados, como es el caso de la luz de 3 metros. La longitud de 5 metros también se traduce en un número eficiente de elementos por metro cuadrado, todos están trabajando y la cantidad es la adecuada como para aprovechar al máximo la resistencia de los materiales frente a las cargas aplicadas.

Las luces de 8m y 9m tienen un costo por metro cuadrado tan alto que se separan demasiado de las anteriores agrupaciones, en este caso la longitud es excesiva, ya que para poder compensar las deflexiones producidas en los elementos se requiere aumentar la altura de viga obligatoriamente, porque si la deflexión solo se contrarresta aumentando el acero, la cara a tracción se puede reforzar tanto que será mucho más resistente que el concreto, cuando eso suceda la falla viene de parte del concreto, en ese caso no hay deflexión perceptible, se produce una falla abrupta y puede provocar el colapso de la viga. Por otra parte, cuando se aumenta demasiado las secciones de las vigas se debe evaluar que las columnas sean más resistentes en los nudos de unión, puesto que si las columnas son débiles es posible una falla por flexión en las columnas y en el peor de los casos un colapso cuando se presenten cargas horizontales por sismo, ya que los momentos flectores en ese nodo se incrementan tanto que el comportamiento del conjunto se vuelve inelástico. Por ese motivo las edificaciones de 8m y 9m tienen derivas bajas, ya que al realizar un primer dimensionamiento las columnas tenían una sección menor, sin embargo cuando se realiza el chequeo por momentos flectores en los nodos es necesario aumentar la sección de las columnas, cuando se llega a un dimensionamiento final las derivas resultan bajas porque se ha rigidizado el sistema en su totalidad.

Según la Fig 33 (grafica costo vs concreto) se obtiene una tendencia lineal ascendiente, es decir que se cumple la condición de que a mayor cantidad de concreto por metro cuadrado, el precio es mayor, sin embargo hay cuatro puntos que se separan considerablemente de dicha línea en la parte superior, estos puntos corresponden a los que tienen 3 metros de luz, esto significa que a pesar de tener una cuantía de concreto baja (según la zona en la que se encuentra eje x) el precio es alto. Por otra parte se observa que en la esquina inferior izquierda se encuentran los edificios de longitud de luz de 5 metros; es decir que su cuantía es la más baja (mayor aprovechamiento de

concreto). La desviación de los edificios de 3 metros de luz indica que el valor del concreto no representa el mayor porcentaje en el costo final del edificio, por lo menos para esta agrupación de edificaciones. Los parámetros mínimos de diseño para zona de amenaza alta terminan siendo un poco excesivas para una luz de 3 metros, se dice esto porque en la mayoría se obtuvieron refuerzos mínimos, los cuales dependen de la sección de concreto, es decir que la sección en general está sobredimensionada para esta longitud de luz, definitivamente es una longitud que no resulta conveniente en esta región del país.

La Fig 37 (grafica costo vs acero) también tiene una tendencia lineal ascendente pero no hay ninguna agrupación que se desvíe excesivamente de esta línea de tendencia, la esquina superior derecha tiene a los puntos más alejados de los demás, los cuales representan a las edificaciones de 9 metros, sin embargo todos están dentro de la tendencia, el hecho de que estén muy lejos de los otros puntos solo quiere decir que esa longitud de luz es inviable en cuanto a gastos por acero. Nuevamente al ubicar la los edificios de 5 metros y ver que están en la parte más baja y dentro de la tendencia quiere decir que el aprovechamiento de los materiales es el más eficiente con esta longitud, también se puede observar en las tablas 23 y 24 que los porcentajes de costo de acero y concreto son los más bajos, esto dice que es preferible aumentar las secciones de concreto antes que el acero, en este caso la longitud de 5 metros logra un equilibrio adecuado entre ambos materiales. Las edificaciones de 3m, 8m y 9m son las que tienen una relación costo acero/ costo directo edificación más grande que todas las demás agrupaciones, la mayoría tiene un porcentaje mayor al 35%.

Los gráficos de dispersión de cuantías no estructurales de acero y concreto tienen una distribución similar, sin embargo hay una dispersión muy grande entre todos los puntos por lo que no se puede elaborar una correlación muy clara, pero si se deduce que la cantidad de estos materiales en los elementos no estructurales no influyen demasiado en el costo final directo, puesto que su la dispersión de estos puntos no afecto la distribución en las gráficas de acero total y concreto total, las cuales terminan siendo bastante similares a las gráficas de acero y concreto estructural.

X. CONCLUSIONES

- Los edificios con longitud de luz de 5 metros resultaron ser los más económicos en todas las agrupaciones de edificaciones, los materiales tienen un aprovechamiento óptimo, la resistencia de los materiales es eficiente frente a las solicitaciones.
- Los edificios de 4m y 6m no están muy alejados en su valor respecto a los edificios de 5m, estas longitudes se pueden utilizar como referencia para ser utilizadas en una edificación dependiendo de los espacios o habitaciones que la misma posea, estos 3 valores sirven como base para un pre dimensionamiento antes de realizar el diseño estructural por completo.
- La longitud de luz es escasa cuando el número de elementos deja de ser eficiente, en este caso los elementos están sobredimensionados y no trabajan en su máximo potencia, se desaprovechan materiales y mano de obra, lo que aumenta el costo final.
- La longitud de luz es excesiva cuando las vigas son tan largas que se producen esfuerzos y deformaciones tan altas que los elementos estructurales requieren un aumento de sección y/o acero de refuerzo, además de necesitar apuntalamientos adicionales durante la obra.
- La combinación de un análisis estructural acorde a la norma colombiana y un análisis presupuestal completo y actualizado, permitió obtener resultados de cálculo cercanos a la realidad; los cuales sirven como referencia para proyectos construidos en una zona similar a la ciudad de Pasto.
- La unión entre el arquitecto y el ingeniero desde el inicio del proyecto es indispensable para satisfacer las necesidades de espacios, estructurales y económicas en cualquier proyecto de construcción.
- En zona de amenaza sísmica alta no es conveniente utilizar una longitud de luz escasa sin el proyecto no lo requiere. La luz de tres metros resulta antieconómica debido a la necesidad de cumplir con los parámetros mínimos impuestos por la NSR-10.
- La cantidad de acero en una estructura es un factor económico determinante para el valor final de la obra, las gráficas y tablas representan una tendencia directamente proporcional entre el acero y el costo directo de la estructura.

- Los resultados obtenidos forman el primer paso en la creación de una base de datos dirigida a profesionales involucrados en el diseño de edificaciones, la cual servirá como aproximación para saber el costo de una edificación con base en la longitud de luz que predomine en la estructura, lo que crea un criterio de decisión técnico respecto a la ubicación de las columnas respecto a la distancia entre estas.

XI. RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos pueden ser utilizados como base para futuros proyectos en edificaciones aporticadas, sin embargo solo representan una visión inicial que puede servir como guía, que solo será eficaz si el ingeniero estructural comprueba los resultados de su propio proyecto y si tiene en cuenta todos los parámetros que apliquen para su proyecto según la norma sismo resistente.
- Se recomienda continuar con las siguientes etapas de la investigación para que la base de datos sea genérica, es decir, que aplique a la mayoría de edificaciones con pórticos resistentes a momentos en el país.
- Para próximas etapas de la investigación se propone concentrarse en las edificaciones agrupadas en longitudes de 4 m, 5 m y 6 m, y variar la distribución de las columnas en este rango de longitudes, debido a que sus costos por metro cuadrado fueron más bajos;
- Los parámetros como tipo de suelos y zona de amenaza sísmica se pueden variar de tal forma que los resultados de próximas investigaciones sirvan para diferentes regiones que se rigen con la normatividad colombiana.
- En futuras etapas de investigación se recomienda realizar un muestreo para obtener el sistema de entrepiso más utilizado para edificios con sistema de pórticos en Colombia, con el fin de que los resultados finales tengan una aplicación más cercana a la realidad.
- En etapas más avanzadas de la investigación se pueden evaluar edificaciones construidas realmente para tener en cuenta irregularidades, factores estructurales o problemas comunes que se presentan en la construcción, con miras a obtener una base de datos, que en el futuro pueda servir de referencia a profesionales y entidades dedicadas al diseño y construcción de propiedades.

REFERENCIAS

- [1]. DANE. Departamento Nacional de Estadística. “Información general”. Bogotá: s.n., 2018.
- [2]. INGEOMINAS. “Estudios de sismicidad histórica en el departamento de Nariño”. Bogotá: s.n., 2021.
- [3]. NORMA SISMO RESISTENTE. “Numeral A.2.3-Zonas de amenaza sísmica, Título A, NSR-10”.
- [4]. NORMA SISMO RESISTENTE. “Numeral A.2.4.3- Parámetros empleados en la definición del tipo de suelo, Título A, NSR-10”
- [5]. NORMA SISMO RESISTENTE. “Numeral A.2.2.12.1– Movimientos sísmicos de diseño, Título A, NSR-10”
- [6]. NORMA SISMO RESISTENTE. “Numeral A.2.2.2. – Movimientos sísmicos de diseño, Título A, NSR-10”
- [7]. NORMA SISMO RESISTENTE. “Numeral A.2.2.3. – Movimientos sísmicos de diseño, Título A, NSR-10”
- [8]. NORMA SISMO RESISTENTE. “Numeral A.2.3.1. – Zona de amenaza sísmica baja, Título A, NSR-10”
- [9]. NORMA SISMO RESISTENTE. “Numeral A.2.3.2. – Zona de amenaza sísmica Intermedia, Título A, NSR-10”
- [10]. NORMA SISMO RESISTENTE. “Numeral A.2.3.3. – Zona de amenaza sísmica Alta, Título A, NSR-10”
- [11]. ALCALDIA DE BOGOTA. “Secretaría jurídica distrital de la alcaldía mayor de Bogotá, 2010”.
- [12]. NORMA SISMO RESISTENTE. “Norma Sismo Resistente NSR-10”, última modificación en febrero de 2012.
- [13]. REPÚBLICA DE COLOMBIA. “Ministerio de vivienda ciudad y territorio”. 2017.
- [14]. REPÚBLICA DE COLOMBIA. “Ministerio de hacienda y crédito público”. 2017.
- [15]. REPÚBLICA DE COLOMBIA. “Ministerio de hacienda y crédito público”. 2017.

- [16]. CÓDIGO SUSTANCIAL DEL TRABAJO. Ciudad de Bogotá, última actualización en 2018.
- [17]. CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. “Ley 52”. Bogotá: Diario oficial, 1975.
- [18]. CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. “Ley 11”. Bogotá: Diario oficial, 1984.
- [19]. CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. “Ley 1122”. . Bogotá: Diario oficial, 2007.
- [20]. CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. “Ley 797”. Bogotá: Diario oficial, 2003.
- [21]. REPÚBLICA DE COLOMBIA. “Decreto 1172”. Bogotá: Ministerio de trabajo y seguridad social, 2007.
- [22]. J. Ávila. “Análisis de costos de los sistemas de entrepisos más utilizados en Colombia” Bogotá: s.n., 2016.
- [23]. A. Caicedo. “Estudio comparativo de costos entre losa aligerada y metaldeck, estudio realizado por petición de Acesco en el edificio Torres de Málaga- San Juan de Pasto” Bogotá: s.n., 2018.
- [24]. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE CIENCIA. “Tecnología e Innovación” Bogotá: Colciencias, 2013.
- [25]. A. Zorrilla y B. Torres. “Metodología de la investigación I” Bogotá: s.n., 1993.