



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Título del proyecto:**

“ESTUDIO ESTADÍSTICO SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA NEC (2015),  
EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS CON LUCES DE HASTA 5m EN LA CIUDAD  
DE RIOBAMBA”

**Autores:** CRISTIAN ROMARIO COLCHA SÁNCHEZ  
EDGAR ENRIQUE SANTACRUZ BÁEZ.

**Director:** ING. ALEXIS MARTÍNEZ M.Sc.

**Riobamba - Ecuador**

**2017**

## CALIFICACIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “ESTUDIO ESTADÍSTICO SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA NEC (2015), EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS CON LUCES DE HASTA 5m EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA” presentado por **Cristian Romario Colcha Sánchez, Edgar Enrique Santacruz Báez** y dirigida por: **Ing. Alexis Martínez**.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Víctor Velásquez  
**Presidente del Tribunal**



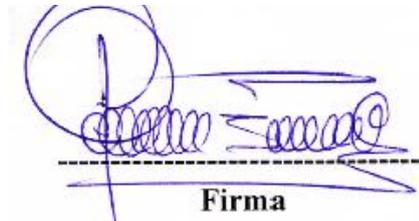
**Firma**

Ing. Alexis Martínez  
**Director del Proyecto**



**Firma**

Ing. Javier Palacios  
**Miembro del Tribunal**



**Firma**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Alexis Martínez**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “ESTUDIO ESTADÍSTICO SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA NEC (2015), EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS CON LUCES DE HASTA 5m EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a los Señores **Cristian Romario Colcha Sánchez** y **Edgar Enrique Santacruz Báez** para que se presenten ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,



---

Ing. Alexis Martínez M.Sc.,  
**TUTOR DE TESIS.**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Cristian Romario Colcha Sánchez, Edgar Santacruz Báez e Ing Alexis Martínez; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



-----  
Sr. Cristian Romario Colcha Sánchez  
**C.I. 0603574328**



-----  
Sr. Edgar Enrique Santacruz Báez  
**C.I. 0604541573**

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento infinito a Dios por permitirme cumplir un objetivo más de mi vida.

A mis padres y hermanas por el apoyo incondicional.

A la Universidad Nacional de Chimborazo por la formación académica brindada, al Ing Alexis Martínez e Ing Javier Palacios por el tiempo dedicado en el desarrollo de esta investigación.

**CRISTIAN ROMARIO COLCHA SÁNCHEZ**

## **AGRADECIMIENTO**

Un Agradecimiento al Ing. Alexis Martínez e Ing Javier Palacios por su tiempo y colaboración en la realización de del proyecto de investigación, y a la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo en la formación y culminación de mis estudios profesionales.

**EDGAR ENRIQUE SANTACRUZ BÁEZ**

## **DEDICATORIA**

“El mundo está en manos de aquellos que tienen el coraje de soñar y correr el riesgo de vivir sus sueños”. (Paulo Coelho).

Mi dedicatoria a Dios por ser el compositor de mis sueños al haberme dado salud, fortaleza y sabiduría a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mis padres por el sacrificio, apoyo, consejos, valores, y motivación constante brindados en todo momento, esto se los debo a ustedes.

A mis hermanas que siempre han estado junto a mí brindándome su apoyo, las quiero mucho.

A mis amig@s por todas las experiencias, conocimientos y apoyo mutuo brindado a lo largo de nuestra formación profesional.

**CRISTIAN ROMARIO COLCHA SÁNCHEZ**

## **DEDICATORIA**

El proyecto de investigación va dedicado a Dios, a mis padres por su apoyo y valores impartidos durante toda mi formación profesional y a todas las personas quienes han velado por mi bienestar y prosperidad. Así también a la Universidad Nacional de Chimborazo por su motivación a la investigación.

**EDGAR ENRIQUE SANTACRUZ BÁEZ**

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	OBJETIVOS .....	3
2.1.	OBJETIVO GENERAL .....	3
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	3
3.	MARCO TEÓRICO.....	4
3.1.	NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	4
3.2.	MÉTODO DE ANÁLISIS DE DISEÑO DE LA NORMA (NEC 2015) .....	4
3.3.	SISTEMAS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN ARMADO .....	4
3.4.	PARÁMETROS MÍNIMOS SEGÚN LA NORMA NEC 15 .....	4
3.4.1.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	4
3.4.2.	PARÁMETROS PARA VIVIENDAS DE HASTA 2 PISOS.....	5
3.4.3.	COMBINACIONES DE CARGA POR ÚLTIMA RESISTENCIA .....	6
3.4.4.	DETERMINACIÓN DEL CORTANTE BASAL .....	6
3.4.5.	INERCIAS DE LAS SECCIONES AGRIETADAS .....	7
3.5.	FILOSOFÍA DE DISEÑO POR MÉTODO DE CARGAS ÚLTIMAS.....	7
3.5.1.	RESISTENCIA REQUERIDA A FLEXIÓN .....	8
3.5.2.	RESISTENCIA REQUERIDA A FLEXOCOMPRESIÓN.....	8
3.5.3.	RESISTENCIA REQUERIDA A CORTE .....	9
3.5.4.	CONEXIÓN LOSA-COLUMNA .....	11
3.5.5.	CHEQUEO CONEXIÓN LOSA-COLUMNA (PUNZONAMIENTO) .....	11
3.5.6.	CHEQUEO VIGA DÉBIL-COLUMNA FUERTE .....	13
4.	METODOLOGÍA .....	14
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	19
5.1.	RESULTADOS .....	19
5.2.	DISCUSIÓN .....	26
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	29
6.1.	CONCLUSIONES.....	29
6.2.	RECOMENDACIONES .....	30
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	31
8.	ANEXOS .....	32
8.1.	ANEXO 1: Detalle de viviendas inspeccionadas .....	33
8.2.	ANEXO 2: Implantación de las viviendas inspeccionadas. ....	35
8.3.	ANEXO 3: Ficha de ensayo de esclerómetro según la norma AST C805. ....	36
8.4.	ANEXO 4: Ficha de cuantías obtenida en campo de la vivienda C011. ....	37
8.5.	ANEXO 5: Análisis de la vivienda C007 y cuantificación de cargas .....	38
8.8.	ANEXO 8: Verificación de la deriva de piso casa C019.....	47

8.8. ANEXO 8: Chequeo a flexión de nervios en losa casa C013 .....	48
8.9. ANEXO 9: Verificación a flexión de la viga casa C014.....	49
8.10. ANEXO 10: Verificación de columna casa C015 .....	52
8.11. ANEXO 11: Diseño a corte en vigas Casa C016.....	55
8.12. ANEXO 12: Diseño a punzonamiento casa C018 .....	58
8.13. ANEXO 13: Diseño a confinamiento de columnas casa C020.....	61
8.14. ANEXO 14: Verificación de columna fuerte- viga débil casa C022 .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Requisitos mínimos de confinamiento en columnas .....	5
Figura 2: Requisitos mínimos de confinamiento en vigas .....	6
Figura 3: Esfuerzos y deformación en vigas .....	8
Figura 4: Diagrama de interacción P vs M .....	9
Figura 5: Interpretación del momento desbalanceado sísmico. ....	10
Figura 6: Perímetro de la zona de punzonamiento.....	11
Figura 7: Interpretación del momento desbalanceado sísmico. ....	12
Figura 8: Inspecciones y levantamiento de datos .....	16
Figura 9: Modelación en software ETABS.....	16
Figura 10: Resistencia requerida obtenida en software ETABS.....	17
Figura 11: Resistencia de Hormigón (VIGA-LOSA) .....	19
Figura 12: Resistencia de Hormigón (Columnas).....	19
Figura 13: Porcentaje de resistencia a compresión de los elementos .....	20
Figura 14: Secciones mínimas de columnas .....	20
Figura 15: Peralte mínimo de viga banda .....	21
Figura 16: Cuantía mínima de columnas. ....	21
Figura 17: Cuantía mínima en vigas .....	22
Figura 18: Derivas de piso .....	22
Figura 19: Filosofía a flexión de nervios .....	23
Figura 20: Filosofía de diseño a flexión en vigas banda.....	23
Figura 21: Análisis de carga y momento en columnas .....	24
Figura 22: Refuerzo transversal en vigas .....	24
Figura 23: Refuerzo transversal en columnas .....	25
Figura 24: Chequeo a punzonamiento .....	25
Figura 25: Chequeo columna fuerte-viga débil .....	26
Figura 26: Implantación de viviendas inspeccionadas.....	35
Figura 27: Detalle de elevación de la vivienda.....	38
Figura 28: Detalle en planta de la vivienda .....	38
Figura 29: Momento requerido en la viga.....	49
Figura 30: Detalle del armado de viga banda casa C014.....	50
Figura 31: Valores de carga y momento requerido sentido 3-3 obtenidos del programa .....	52
Figura 32: Detalle del armado de columna casa C015 .....	52
Figura 33: Diagrama de Interacción de Columna sentido X-X .....	53
Figura 34: Valores de carga y momento requerido obtenidos del software sentido 2-2.....	54
Figura 35: Detalle del armado de columna sentido Y-Y casa C015.....	54
Figura 36: Diagrama de Interacción de Columna sentido Y-Y. ....	55
Figura 37: Detalle armado de viga en los extremos y el centro casa C016 .....	55
Figura 38: Cortante vertical obtenido del programa .....	57
Figura 39: Detalle transversal de la viga casa C016 .....	57
Figura 40: Detalle del armado de columna de casa C018.....	58
Figura 41: Detalle del armado de columna casa C020 .....	61
Figura 42: Detalle de distribución de acero transversal en columna de casa C020.....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros mínimos de columnas y vigas.....	5
Tabla 2: Refuerzo transversal mínimo en columnas.....	5
Tabla 3: Requisitos mínimos de refuerzo transversal en vigas.....	5
Tabla 4: Combinaciones de carga.....	6
Tabla 5: Detalle de viviendas inspeccionadas. ....	33
Tabla 6: Cargas permanentes de cada una de los pisos .....	39
Tabla 7: Solicitaciones en cada una de los pisos. ....	40
Tabla 8: Distribución vertical de carga sísmica.....	40
Tabla 9: Cálculo de Centro de masas.....	40
Tabla 10: Centro de masas.....	40
Tabla 11: Características de los materiales.....	41
Tabla 12: Distancia X e Y.....	41
Tabla 13: Detalle en elevación de la estructura .....	41
Tabla 14: Sección e inercia agrietada de columna.....	42
Tabla 15: Sección e inercia agrietada de viga.....	42
Tabla 16: Sección e inercia agrietada de nervios.....	43
Tabla 17: Dimensión de loseta.....	43
Tabla 18: Casos de carga .....	44
Tabla 19: Combinaciones de carga.....	44
Tabla 20: Icono de trazado vigas secundarias.....	44
Tabla 21: Propiedades de vigas secundarias.....	45
Tabla 22: Modelación de vivienda C 007.....	45
Tabla 23: Restricciones.....	45
Tabla 24: Valor de PP de vigas y columnas .....	46
Tabla 25: Asignación de carga viva.....	46
Tabla 26: Asignación de carga muerta.....	47
Tabla 27: Asignación de carga sísmica.....	47
Tabla 28: Deriva elástica sentido X-X.....	47
Tabla 29: Momento requerido obtenido del programa .....	48
Tabla 30: Detalle de refuerzo positivo y negativo de los nervios casa C013 .....	48
Tabla 31: Valore de carga y momento de la columna sentido X-X.....	53
Tabla 32: Valores de carga y momento requerido sentido Y-Y .....	54

## **RESUMEN**

La norma NEC 2015 establece requisitos y criterios mínimos que deben cumplirse para el análisis, diseño y construcción de estructuras sismo-resistentes, sin embargo tras el terremoto ocurrido el pasado 16 de abril del 2016 se ha suscitado una controversia sobre el cumplimiento o no de la norma NEC 2015 en viviendas de baja altura. En la ciudad de Riobamba se desconoce si en este tipo de viviendas existe incumplimiento de dicha norma y sobre todo el parámetro más frecuente de incumplimiento.

Se evalúan 23 viviendas donde se determina su geometría, secciones y cuantías utilizadas en sus elementos estructurales para su posterior análisis donde se obtiene las cargas, esfuerzos últimos y requeridos que pueden llegar a soportar en su vida útil y de esta manera verificar si existe relación con los parámetros mínimos y filosofía de diseño establecido en la norma.

El estudio demuestra que un alto porcentaje de viviendas de hasta 2 pisos y luz máxima de 5m no tienen un total cumplimiento de la norma NEC 2015 siendo la falta de confinamiento en vigas el problema común de todas las viviendas analizadas.

**PALABRAS CLAVES:** NEC (2015), viviendas, parámetros, incumplimiento.

## ABSTRACT

The NEC 2015 standard establishes minimum requirements and criteria that are met for the analysis, design and construction of earthquake-resistant structures. However, following the earthquake that occurred on April 16, 2016, a controversy has arisen over whether or not Standard NEC 2015 in low-rise housing. In the city of Riobamba it is unknown if in this type of housing there is a breach of this rule and above all the most frequent parameter of non-compliance. It evaluates 23 houses where they determine their geometry, sections and amounts used in their structural elements for later analysis where the loads, the efforts of the latter and the required ones that can end up in their useful life are obtained. Minimum parameters and the design philosophy established in the standard. The study shows that a high percentage of dwellings up to 2 floors and maximum light of 5m do not have a full compliance with the NEC 2015 standard being the lack of confinement in beams the common problem of all dwellings analyzed.

KEY WORDS: NEC (2015), housing, parameters, non-compliance.



Reviewed by: Barriga, Luis  
Language Center Teacher



## 1. INTRODUCCIÓN

Las construcciones informales son muy frágiles y vulnerables ante los sismos, desafortunadamente hay una gran cantidad de edificaciones de este tipo en el país, el 70 por ciento de las edificaciones no contempla ningún tipo de provisión mínima. No solamente en cuanto al diseño por cargas sísmicas sino también por cargas verticales o de ocupación normal. (Paguay & Trujillo, 2010)

Las viviendas de uno y dos pisos son las que mayor daño sufren en un sismo, y más aún en países subdesarrollados donde la gente construye sin normas técnicas (Aguiar, 2007).

El terremoto más reciente que sufrió nuestro país fue el suscitado el 16 de Abril del 2016 en la provincia Ecuatoriana de Manabí, se pudo observar que los principales problemas por los cuales se produjo el colapso de las estructuras es debido a la construcción de columna débil-viga débil y falta de confinamiento en los elementos estructurales, la mayoría de estas construcciones se caracterizan por ser construidas con vigas banda y una de sus falencia constructivas es el no cumplimiento de la norma Ecuatoriana de la Construcción. (Bermeo & Sánchez, 2017).

¿Existe cumplimiento de la norma NEC 2015 y cuáles son los parámetros más frecuentes de incumplimiento en viviendas de hasta dos pisos con luces de hasta 5 m en la ciudad de Riobamba?

Las viviendas de baja altura en la ciudad de Riobamba no cuentan con planos estructurales y se desconoce si existe cumplimiento o no de la norma NEC (2015), por lo que es necesario determinar los parámetros más frecuentes de incumplimiento, ya que como se ha mencionado estas viviendas no son tomados con la importancia y seriedad que estas necesitan y por ende son las más propensas a daños ante un evento sísmico.

Para este tipo de viviendas la norma NEC 2015 tiene por objeto establecer los requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de viviendas sismo resistentes de hasta 2 pisos, indica la importancia de los criterios a tomar en

consideración para un buen planeamiento estructural y así reducir la pérdida de vidas humanas y materiales, reducir el daño y el costo económico en futuros eventos naturales, estos requisitos son de índole general y están dirigidos a todos los profesionales de la ingeniería y la arquitectura que trabajan en el diseño, construcción y supervisión de viviendas.

Se prevé que el 80% de viviendas en la ciudad de Riobamba no cumple con los requisitos mínimos establecidos en la norma (NEC 2015), y el parámetro más frecuente es la falta de confinamiento en elementos como columnas y vigas.

Para esta investigación se analiza 23 viviendas construidas de forma legal en el área urbana de la ciudad de Riobamba y que no superen los dos niveles de altura y luz máxima de 5m, también se analiza viviendas de 2 pisos con terraza accesible cuando se tiene un tercer nivel que únicamente sirve de techo para la rampa de acceso.

La información de las viviendas fue proporcionada por el Municipio de la Ciudad de Riobamba de las cual se seleccionó los casos a analizar, se realiza la inspección obteniendo los datos necesario para realizar la modelación y análisis estructural en el Software ETABS 9.7 con licencia educativa, finalmente se llega a la comparación de los parámetros establecidos en la norma NEC (2015) y verificación de la filosofía de diseño por el método de cargas últimas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar porcentaje de viviendas de hasta 2 pisos y luces de hasta 5m construidas en la ciudad de Riobamba que incumplen con la norma (NEC 2015) y el parámetro más frecuente de incumplimiento.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Identificar los parámetros mínimos, especificaciones y filosofía de diseño que establece la norma NEC 2015 para viviendas de hasta 2 pisos y luces hasta 5m.
- Identificar mediante instrumentos y equipos de medición parámetros como geometría de la vivienda, secciones y cuantías empleadas en los elementos estructurales que la conforman.
- Realizar la modelación de las viviendas inspeccionadas en el software computarizado de análisis estructural tomando en cuenta las características geométricas y estructurales que poseen, para de esta manera obtener la resistencia requerida de cada uno de los elementos que lo conforman
- Determinar si existe relación entre los parámetros establecidos por la norma NEC 2015 y los parámetros encontrados en cada vivienda.
- Determinar si se cumple la filosofía de diseño por resistencia última que establece la norma NEC 2015 en las viviendas inspeccionadas.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN**

la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) cuenta con diferentes capítulos, uno de ellos dirigido a viviendas con limitante en altura de 2 Pisos y luz máxima de 5m destinadas al uso exclusivo residencial conocido como (NEC-SE-VIVIEDAS 2015), si bien este capítulo no abarca la totalidad de viviendas de nuestro país por las limitantes tanto en altura como en luz, la misma hace referencia que las viviendas que no cumplan con el rango establecido deben ser diseñadas con los parámetros del capítulo (NEC 15-SE-HM), dando a entender claramente que toda vivienda o edificación por más pequeña que esta sea debe ser diseñada con este capítulo.

Para un buen diseño es necesario un correcto funcionamiento de los elementos estructurales, a su vez esto dependerá mucho de la calidad de los materiales, resistencia y secciones empleadas.

#### **3.2. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DISEÑO DE LA NORMA (NEC 2015)**

El cálculo de estructuras regulares como es el caso de viviendas de baja altura se podrá aplicar procedimientos estáticos de determinación de fuerzas laterales, la aplicación del método estático basado en fuerzas se considera como requisito mínimo. (NEC SE-DS, 2015).

#### **3.3. SISTEMAS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN ARMADO**

Son sistema aporticados formados de columnas y vigas banda, la ubicación de rotulas plásticas serán en el extremo de las vigas y bases de las columnas del primer piso; teniendo así como objetivo una columna fuerte, viga fuerte a corte y punzonamiento pero débil en flexión (NEC SE-HM, 2015).

#### **3.4. PARÁMETROS MÍNIMOS SEGÚN LA NORMA NEC 15**

##### **3.4.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

- Valor mínimo para el hormigón normal:  $f'c = 21 \text{ MPa}$

Estos valores de resistencia corresponderán a los 28 días.

### 3.4.2. PARÁMETROS PARA VIVIENDAS DE HASTA 2 PISOS.

En la tabla N° 1 se estipula los diferentes requisitos mínimos establecidos por la norma (NEC 2015) que deben cumplir las viviendas de hasta 2 pisos.

**Tabla 1:** Parámetros mínimos de columnas y vigas

# de pisos	Luz (m)	Columnas		Vigas	
		Sección (a x b)	Cuantía ( $\rho$ )	Peralte	Cuantía ( $\rho$ )
2	$\leq 4m$	(25x25) cm	$1\% \geq \rho \leq 3\%$	20 cm	$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y}$
2	$> 4m$	(30x30) cm	$1\% \geq \rho \leq 3\%$	25 cm	$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y}$

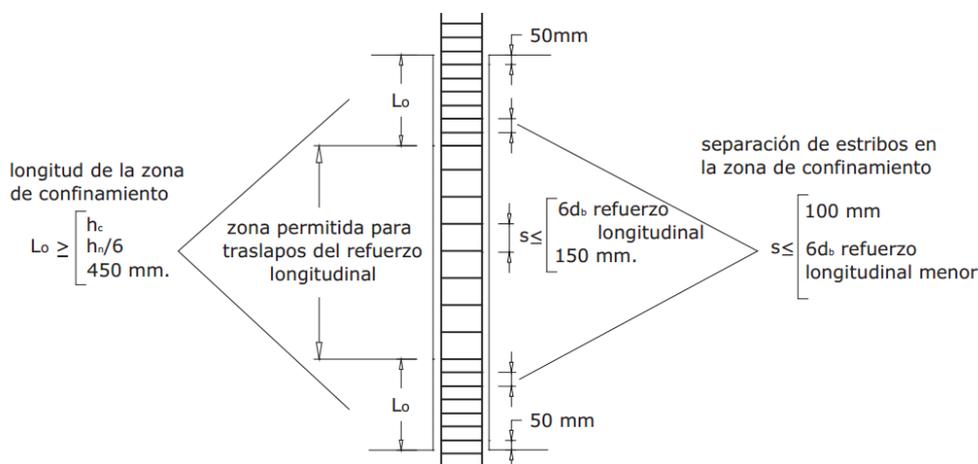
**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015)

Para el refuerzo transversal en columnas la norma establece los siguientes parámetros mínimos:

**Tabla 2:** Refuerzo transversal mínimo en columnas

# de pisos	Luz (m)	$\varnothing$ (mm)	Espaciamiento
2	$\leq 4m$	8mm	10 cm
2	$> 4m$	10 mm	(NEC-HM-SE) Sección 4.3.4

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015)



**Figura 1:** Requisitos mínimos de confinamiento en columnas

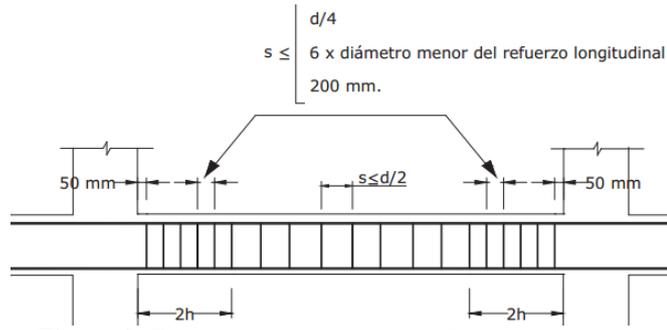
**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Hormigón Armado (NEC, 2015)

En el caso de vigas se establece lo siguiente:

**Tabla 3:** Requisitos mínimos de refuerzo transversal en vigas

# de pisos	Luz (m)	$\varnothing$ (mm)	Espaciamiento
2	$\leq 4m$	8mm	5 cm al L/4, 10 cm en el centro
2	$> 4m$	10 mm	(NEC-HM-SE) Sección 4.2.8

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015)



**Figura 2:** Requisitos mínimos de confinamiento en vigas

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Hormigón Armado (NEC, 2015)

### 3.4.3. COMBINACIONES DE CARGA POR ÚLTIMA RESISTENCIA

Dentro de las combinaciones de carga tenemos la resistencia requerida expresada como  $U$  son referentes a las cargas mayoradas y momentos internos, los factores de carga varía por el grado de precisión para el cálculo, ya que los factores de carga muerta son menores en comparación de los de carga viva puesto a que estos son variables.

**Tabla 4:** Combinaciones de carga

Combinación de carga	Carga primaria
$U=1.40D$	D
$U=1.20D+1.60L+0.50(Lr; S; R)$	L
$U=1.20D+1.60(Lr; S; R)+(1.0L; 0.50W)$	Lr; S; R
$U=1.20D+1.0W+1.0L+0.50(Lr; S; R)$	W
$U=1.20D+1.0E+1.0L+0.20S$	E
$U=0.90D+1.0W$	W
$U=0.90D+1.0E$	E

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción – Cargas no sísmicas (NEC, 2015)

### 3.4.4. DETERMINACIÓN DEL CORTANTE BASAL

El cortante basal sísmico se debe determinar mediante lo mencionado en la (NEC-SE-VIVIEDAS, 2015).

$$V_{base} = \frac{Z C W}{R} \quad (Ec. 3.1)$$

**Dónde:**

**Z:** Factor de zona que depende de la posición geográfica del proyecto

**C:** Coeficiente de respuesta sísmica.

**W:** Peso sísmico efectivo de la estructura.

**R:** Factor de reducción de resistencia sísmica.

**3.4.4.1 Sistemas estructurales y coeficiente R de reducción de respuesta estructural**

Los coeficientes de reducción **R** son expuestos, según los sistemas estructurales de viviendas resistentes a cargas sísmicas (NEC-SE-VIVIENDAS 2015) en la sección 3.1.4, por lo que para nuestros casos se utilizó un  $R=3$  debido a que se obtienen pórticos de hormigón armado con vigas banda y estas tienen una ductilidad muy limitada.

**3.4.5. INERCIAS DE LAS SECCIONES AGRIETADAS**

Tanto la norma NEC (2015) y el código ACI 318-02 recomiendan utilizar los siguientes valores de inercias agrietadas:

Los elementos como vigas un valor de  $0.50 I_g$ , para columnas un valor de  $0.80 I_g$  y para nervios un valor de  $0.25 I_g$ .

**3.5. FILOSOFÍA DE DISEÑO POR MÉTODO DE CARGAS ÚLTIMAS.**

El requisito básico de diseño por resistencia se expresarse de la siguiente manera.

Resistencia de diseño  $\geq$  Resistencia requerida

$$\phi P_n \geq P_u \quad (Ec. 3.2)$$

$$\phi M_n \geq M_u \quad (Ec. 3.3)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (Ec. 3.4)$$

**Dónde:**

**P<sub>u</sub>:** Resistencia a carga axial requerida

**M<sub>u</sub>:** Resistencia a momento requerida

**V<sub>u</sub>:** Resistencia a cortante requerida (NEC-SE-HM 2015)

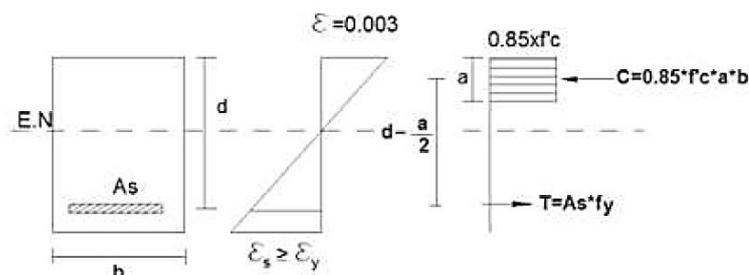
### 3.5.1. RESISTENCIA REQUERIDA A FLEXIÓN

#### 3.5.1.1. Diseño a flexión de losas con viga banda de hormigón armado.

La metodología del pórtico equivalente no es la más adecuada para modelar las losas con vigas embebidas, pues conducen a modelar momentos flectores insuficientes sobre las columnas, momentos flectores positivos insuficientes en los tramos de franja central, y momentos flectores sobrevalorados en el resto de la estructura. (Romo, 2008), el autor recomienda determinar los momentos mediante el análisis de elementos finito o enmallado de nervios.

#### 3.5.1.2. Diseño a flexión de vigas banda de hormigón armado

El código de diseño ACI establecen que cuando un elemento trabaja a flexión el momento nominal debe ser determinado mediante la investigación del doctor Whitney como lo expone (Romo, 2008).



**Figura 3:** Esfuerzos y deformación en vigas

**Fuente:** Guía práctica de diseño de viviendas de 2 pisos y luces hasta 5m – NEC 2015

$$Mu \leq \phi Mn \quad (Ec. 3.5)$$

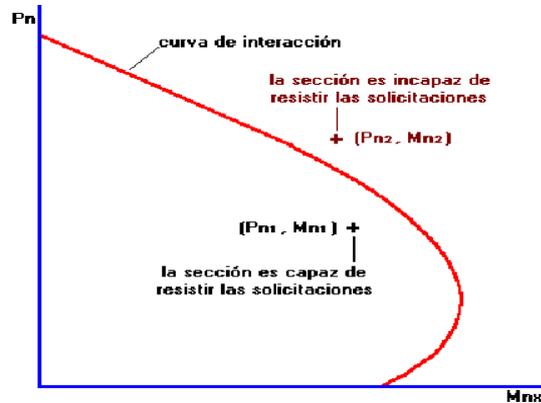
$$Mn = As * fy * \left( d - \frac{As * fy}{1.7 * f_c * b} \right); \phi = 0.9 \quad (Ec. 3.6)$$

En edificios donde la losa de entrepiso se funde monolíticamente con las vigas, y más aún en edificios con vigas banda, el análisis de la capacidad a flexión de las vigas deberá considerar el refuerzo de la franja de losa que aporta resistencia a la viga. (NEC-SE-HM, 2015).

### 3.5.2. RESISTENCIA REQUERIDA A FLEXOCOMPRESIÓN

El comportamiento de secciones específicas de columnas de hormigón armado es descrito más claramente mediante gráficos denominados curvas o diagramas de interacción. (Romo, 2008).

Cabe recalcar que si el punto queda fuera de la curva de interacción esto determinara que la sección es insuficiente para resistir las solicitaciones especificadas.



**Figura 4:** Diagrama de interacción P vs M  
**Fuente:** Temas de Hormigón Armado – Marcelo Romo.

### 3.5.3. RESISTENCIA REQUERIDA A CORTE

#### 3.5.3.1. Refuerzo transversal en vigas

- **Por capacidad**

Debido a que se debe garantizar la ductilidad de la viga, el refuerzo a corte debe ser lo suficientemente resistente para que fallen a flexión y no por corte, como lo recomienda (Placencia, 2013) presentado por (Bermeo & Sánchez, 2017).

La resistencia a corte va relacionado con la resistencia a flexión del elemento, por lo que se considera la resistencia pos fluencia mediante los momentos probables

$$M_p = A_s * \alpha f_y * \left( d - \frac{A_s * \alpha f_y}{1.7 * f_c * b} \right) ; \alpha = 1.25 \quad (Ec. 3.7)$$

El cálculo del cortante último está dada por fórmulas del ACI 318

$$V_u = \frac{V_{sismo} + V_{vertical}}{\phi} \quad (Ec. 3.8)$$

$$V_{sismo} = \frac{M_{p_{sup}} + M_{p_{inf}}}{L_n} \quad (Ec. 3.8)$$

**Dónde:**

$V_{sismo}$ : Cortante sísmico;

$M_{p_{sup}}$ : Momento probable superior en el nudo

$M_{p_{inf}}$ : Momento probable inferior en el nudo.

$L_n$ : Longitud libre del vano

$V_{vertical}$ : cortante vertical obtenido del software ETABS

En elementos sometidos a flexión o flexo-compresión en los cuales la resistencia cortante calculada represente más del 50% del cortante total de diseño no se debe considerar el aporte del hormigón (NEC-SE-HM, 2015).

$$V_c = 0 \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Por lo tanto el acero transversal necesario será:

$$A_v = \frac{V_u * \text{espaciamiento}}{f_y * d} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

### 3.5.3.2. Refuerzo transversal en columnas

- **Por confinamiento**

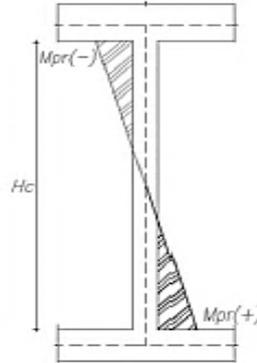
El área del refuerzo en forma de estribos de confinamiento debe ser la menor expresión presentada por (NEC-SE-HM, 2015)

$$A_{sh1} = 0.3 * \frac{s * bc * f'c}{f_y} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (\text{Ec. 3.11})$$

$$A_{sh2} = 0.09 * \frac{s * hc * f'c}{f_y} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

- **Por capacidad**

Momento balanceado de la columna es la sumatoria de los momentos de la zona superior e inferior de la columna como lo expone (Bermeo & Sánchez, 2017).



**Figura 5:** Interpretación del momento desbalanceado sísmico.

**Fuente:** (Bermeo Fárez & Sánchez Oñate, 2017).

$$V_u = \frac{2Mb}{H_c} \quad (\text{Ec. 3.13})$$

$$M_o = \frac{A_{sc}}{2} * \alpha f_y * (d - d'), \alpha = 1.25 \quad (\text{Ec. 3.14})$$

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'c} * 0.8 A_g \quad (\text{Ec. 3.15})$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (Ec. 3.16)$$

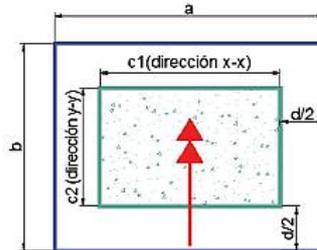
$$A_v = \frac{V_s * \text{espaciamiento}}{f_y * d} \quad (Ec. 3.17)$$

### 3.5.4 CONEXIÓN LOSA-COLUMNA

Como el peralte de las vigas banda es igual al peralte de las losas planas, la losa no se llega apoyar sobre las vigas debido a su peralte sino que directamente se apoya sobre las columnas; razón por la que es necesario revisar la conexión losa-columna. (Bermeo & Sánchez, 2017)

### 3.5.5. CHEQUEO CONEXIÓN LOSA-COLUMNA (PUNZONAMIENTO)

Este Chequeo se debe realizar necesariamente en estructuras con losas de viga banda, para ello se debe tomar en lo cuenta estipulado en el código (ACI-318 sección 11.12) y (Placencia, 2013) presentado por (Bermeo & Sánchez, 2017) en donde anuncia dos requisitos que deben cumplirse para que las rótulas plásticas se formen en las conexiones extremas de las vigas banda con columnas, que es lo ideal en una estructura para garantizar la serviciabilidad de la misma.



**Figura 6:** Perímetro de la zona de punzonamiento  
**Fuente:** (Bermeo Fárez & Sánchez Oñate, 2017).

### Cálculo del perímetro y área de zona punzonada

$$B_o = 2(a) + 2(b) \quad (Ec. 3.18)$$

$$B_o = 2(C_1 + d) + 2(C_2 + d) \quad (Ec. 3.18.1)$$

$$A_c = B_o * d \quad (Ec. 3.19)$$

#### Dónde:

$B_o$ = Perímetro de zona punzonada

$A_c$ = Área comprimida

$C_1$ = Lado 1 de columna

$C_2$ = Lado 2 de columna

$d$ = Altura comprimida del hormigón al centro de la varilla en tracción.

### Cálculo del módulo de la sección (módulo resistente)

$$\frac{J}{C} = \frac{J}{C} = \frac{[a * d(a + 3b) + d^3]}{3} \quad (Ec. 3.20)$$

#### Dónde:

J : Propiedad de la sección crítica supuesta de un momento de inercia polar

d : Peralte de la viga

$\frac{J}{C}$ : Módulo resistente de la sección crítica.

### Factor de transferencia de losa a columna según (ACI 318-14)

$$\gamma_f = \frac{1}{\left(1 + \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{a}{b}}\right)} \quad (Ec. 3.21)$$

$$\gamma_v = 1 - \gamma_f \quad (Ec. 3.22)$$

#### Donde:

$\gamma_f$ = factor de momento desbalanceado transmitido por flexión de losa a columna.

$\gamma_v$ = factor de transferencia por cortante excéntrico de losa a columna

Por lo tanto las solicitaciones con sismo por capacidad debido al momento desbalanceado existente está dada por:

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + M_{db} * \frac{\gamma_v}{\frac{J}{C}} \quad (Ec. 3.23)$$

#### Donde:

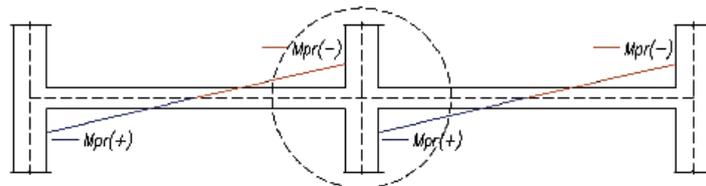
$V_u$ : Carga vertical mayorada que actúa en el área de aportación a la columna

$A_c$ : Área de la zona de punzonamiento

$v_u$ : Máximo esfuerzo de corte debido a  $V_u$  y a  $M_{db}$

$M_{db}$ : Momento desbalanceado

El momento desbalanceado  $M_{db}$  es la sumatoria de los momentos probables en el nudo losa-columna.



**Figura 7:** Interpretación del momento desbalanceado sísmico.

**Fuente:** (Bermeo Fárez & Sánchez Oñate, 2017).

$$M_{db} = M_{pr}(-) + M_{pr}(+) \quad (Ec. 3.24)$$

Para el diseño de estribos, se aplica la ecuación dada por el ACI 318:

$$v_c = 0.53 * \sqrt{f_c} \quad (Ec. 3.18)$$

$$V_s = \frac{v_u * B_o * d - 0.75 * v_c * B_o * d}{0.75} \quad (Ec. 3.25)$$

**Dónde:**

$v_c$ : Es el esfuerzo de corte del hormigón.

$f_c$ : Resistencia del concreto.

$V_s$ : Cortante sísmico

$v_u$ : Máximo esfuerzo de corte debido a  $V_{uy}$  a  $M_{db}$

$B_o$ : Perímetro del área de punzonamiento

$d$ : Peralte de la viga.

Por lo tanto el área de acero resistente a punzonamiento está expresada por:

$$A_v = \frac{V_u * \text{espaciamiento}}{f_y * d} \quad (Ec. 3.26)$$

### 3.5.6. CHEQUEO VIGA DÉBIL-COLUMNA FUERTE

La filosofía básica de diseño de pórticos de hormigón armados establece que la sumatoria de los momentos nominales de la columna debe ser mayor a la sumatoria de los momentos nominales de la viga.

$$\sum M_{nc} > \sum M_{nv} \quad (Ec. 3.27)$$

$$M_{nc \text{ sup}} + M_{nc \text{ inf}} > M_{nv \text{ der}} + M_{nv \text{ inz}} \quad (Ec. 3.28)$$

$$M_{nc} = \frac{A_{sc}}{2} * f_y * (d - d')$$

(Ec. 3.29)

$$M_{nv} = A_{sv} * f_y * \left( d - \frac{A_s * f_y}{1.7 * f_c * b} \right) \quad (Ec. 3.30)$$

**Dónde:**

$M_o$ : Momento resistente de la columna con carga axial =0.00

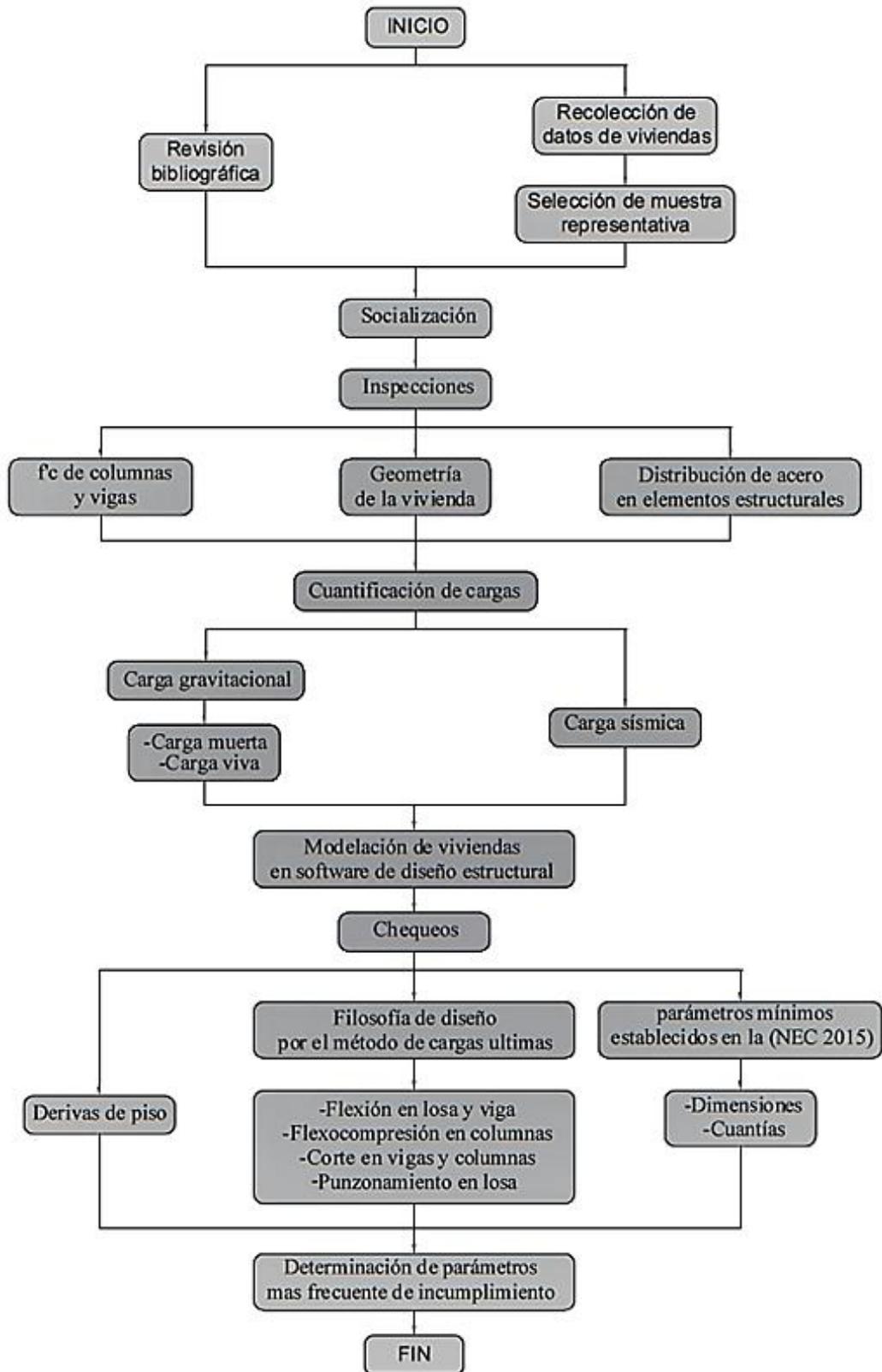
$A_{sc}$ : Refuerzo longitudinal de columna.

$A_{sv}$ : Refuerzo longitudinal de viga

$d$ : Distancia de la fibra de compresión del hormigón al centro de la varilla a tracción.

$d'$ : Distancia de la fibra de compresión del hormigón al centro de la varilla a compresión.

#### 4. METODOLOGÍA



Se recolecta información de viviendas construidas en la ciudad de Riobamba, tomando en cuenta únicamente las construidas de forma legal, en el área urbana de la ciudad, a partir del mes de Enero del 2015 y que no superen los 2 niveles de altura y luz máxima de 5m, también se consideró viviendas 2 pisos con terraza accesible siempre y cuando el tercer nivel únicamente sirva de techo para la rampa de acceso, son 64 viviendas que cumplen con estas características, esta información fue brindada por el GADM de la ciudad.

La muestra representativa se determina mediante la siguiente expresión

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{[e^2 * (N - 1)] + k^2 * p * q} \quad (Ec. 3.31)$$

$$n = \frac{1.28^2 * 0.7 * 0.3 * 64}{[0.1^2 * (64 - 1)] + 1.28^2 * 0.7 * 0.3}$$

$$n = 23$$

Se utiliza un nivel de confianza de 80% para un valor k de 1.28, se opta por un error muestral de 10% previendo que no todos los propietarios colaboraran con la investigación, los factores de probabilidad el de éxito p corresponde a 0.7 y el de fracaso es 0.3, son valores recomendados para una investigación exploratoria.

Se requiere evaluar 23 proyectos de viviendas, recalando que las viviendas fueron aprobadas sin planos estructurales como lo señala la ordenanza vigente de la ciudad. (Ver anexo N° 1).

La revisión de la bibliografía se realizará en base a artículos científicos, libros, publicaciones etc. Los cuales encaminan la investigación y ayudan a determinar la influencia y consecuencias del no cumplimiento de una norma de construcción.

La socialización se realiza mediante entrevistas personales con los propietarios de las viviendas con el fin de dar a conocer la importancia de la investigación y sobre todo para obtener el consentimiento para inspección.

En las inspecciones se utiliza fichas técnicas, instrumentos y equipos de medición con el fin de obtener datos necesarios como:

- La resistencia a la compresión  $f'c$  de elementos estructurales se determina mediante el ensayo de esclerómetro según la norma (ASTM C805).
- La geometría de la vivienda tanto en planta como en elevación, se utiliza instrumentos medición como cinta, flexómetro y distanciómetro.

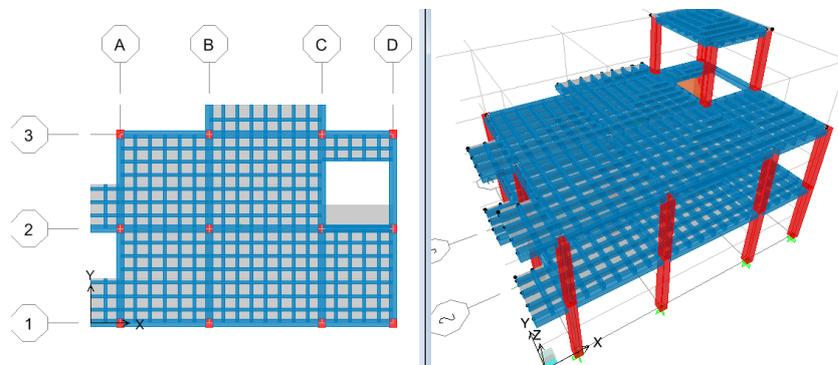
- Para determinar la distribución de acero en elementos estructurales, se utiliza un detector de metales “multi scanner digital” tomando en cuenta que la profundidad máxima que alcanza es 4plg, se ve la necesidad de realizar esta actividad en la terraza y fachadas posteriores donde se tiene acceso directo al elemento en sí.



**Figura 8:** Inspecciones y levantamiento de datos

Se cuantifica las diferentes solicitaciones que posiblemente pueden llegar a tener cada vivienda, para la carga viva se utiliza los valores establecidos en la norma (NEC-SE-CG, 2015), la carga muerta se obtiene cuantificando el peso permanente y la carga sísmica se determina mediante la expresión y parámetros señalados en la sección 3.1.3 de la (NEC-SE-VIVIENDAS, 2015).

Para la modelación de las viviendas se utiliza el Software ETABS 9.7 con licencia educativa, debido a que el 100% de las viviendas son construcciones con viga banda la modelación se realiza como lo establece (Bermeo & Sánchez, 2017), ya que la vivienda se encuentra construida no se realiza un diseño estructural, en el Software se realiza un análisis estructural.

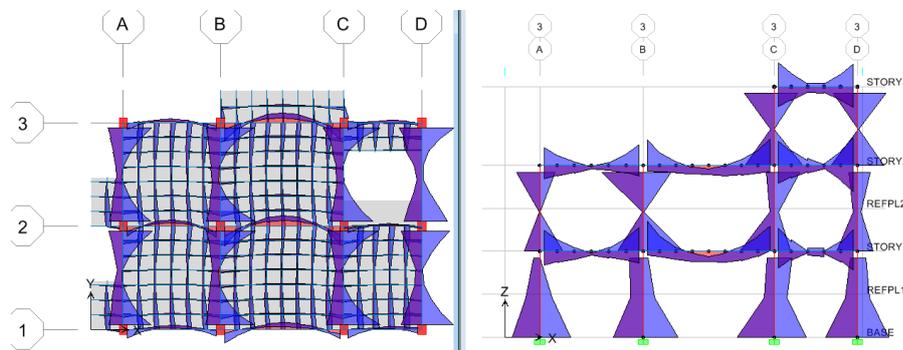


**Figura 9:** Modelación en software ETABS

Para viviendas de baja altura la norma (NEC-SE-VIVIENDAS, 2015) menciona que no es necesario el control de derivas, sin embargo se considera que es necesario este control ya que si bien una estructura aporricada es resistente a carga vertical no sucede lo mismo a carga horizontal como la sísmica, el software determina la deriva elástica, la deriva inelástica tiene un límite máximo de 0.02 se determina mediante la expresión 6.3.9 estipulada en la (NEC-SE-DS, 2015).

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E \quad (Ec. 4.1)$$

Del software también se obtiene las cargas y esfuerzos últimos tanto de columnas vigas y nervios.



**Figura 10:** Resistencia requerida obtenida en software ETABS

Para el chequeo a flexión de los nervios de la losa cabe señalar que no se utilizó el método del pórtico equivalente como lo indica (NEC-SE-VIVIENDAS, 2015) debido a que (Romo, 2008) menciona que este método otorga valores erróneos si se tiene un sistema estructural de losa y vigas banda, el momento último que se utiliza es el otorgado por el software ya que es lo que recomienda el mismo autor. Las vigas y nervios son diseñados a flexión se debe cumplir con la ecuación 3.3 del este proyecto.

$$M_u < \phi M_n$$

Donde el  $M_u$  se obtiene del software y el  $\phi M_n$  como lo señala (ACI 10.2.7) presentado por (Romo, 2008), también se verifica cuantías mínimas y máximas.

En el caso de los nervios la base es de 10cm y peralte 20cm con una inercia agrietada de 25% de la inercia bruta.

Para el chequeo a flexocompresión de columnas se utiliza el diagrama de interacción el cual se obtiene como lo indica (ACI 10.3.3) presentado por (Romo, 2008), la carga y momentos últimos se obtiene del programa, y los cuales deben

ser menores al punto balanceado como lo recomienda (Placencia, 2013) debido a que es un sistema estructural con vigas banda.

Para el chequeo de cortante en vigas y columnas se debe cumplir con la ecuación 3.4 del este proyecto

$$Vu < \phi Vn$$

Debido a que se debe garantizar la ductilidad de las vigas el cortante último se obtiene mediante el diseño por capacidad es decir la suma del cortante producido por la carga estática más el cortante correspondiente a la máxima resistencia probable en los extremos como lo indica la ecuación 3.8.

$$(V_{vertical} + V_{sismo}) < \phi Vn$$

En las columnas también se utiliza el diseño por capacidad como lo recomienda el mismo autor y el diseño por confinamiento según (NEC-SE-HM, 2015).

Al ser estructuras con viga banda se chequea el punzonamiento, se debe cumplir con la ecuación 3.4 y 3.23 del este proyecto

$$Vu < \phi Vn$$
$$vu = \frac{Vu}{Ac} + M_{db} * \frac{Yv}{J/C}$$

Se considera la carga vertical mayorada que actúa en el área de aportación de la columna y el cortante excéntrico que se produce por el momento desbalanceado que existe, la resistencia de diseño a corte es la que posee la losa plana en el área de punzonamiento, el procedimiento se lo realiza como lo señala (Bermeo & Sánchez, 2017).

Se verifica la filosofía de estructuras aporticadas es decir viga débil columna fuerte como lo señala (NEC-SE-HM, 2015), el procedimiento se lo realiza como lo establece (Placencia 2013) presentado por (Bermeo & Sánchez, 2017)

En la fase de chequeos se verifica si los elementos estructurales cuentan con los parámetros mínimos mencionados en la sección 3.4.2 de este proyecto.

Finalmente mediante gráficos, diagramas y tablas se determina cual es el parámetro más frecuente de incumplimiento de la norma NEC 2015 en este tipo de viviendas.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. RESULTADOS

#### Requisitos mínimos de la Norma (NEC 2015)

El primer parámetro que se analiza es la resistencia del hormigón de los elementos estructurales de cada vivienda

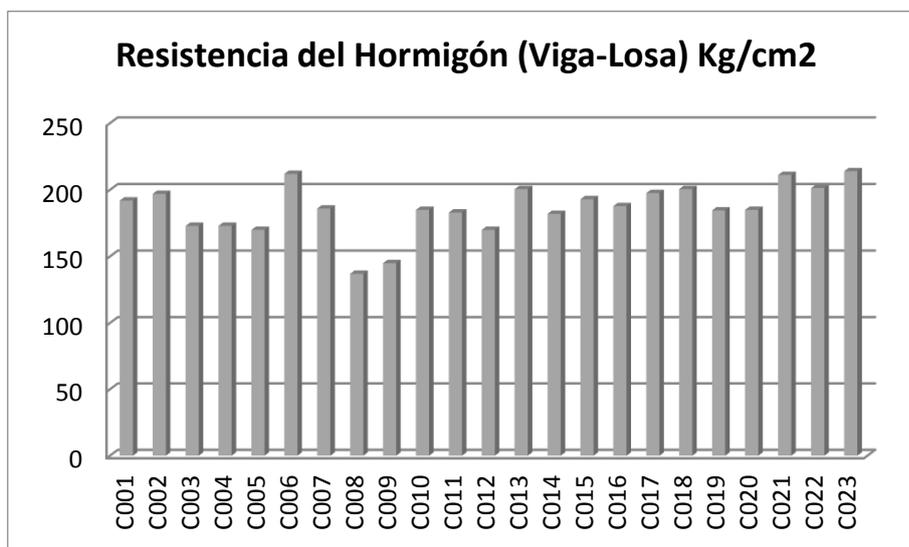


Figura 11: Resistencia de Hormigón (VIGA-LOSA)

En la figura 11 observamos la resistencia a la compresión  $f'_c$  de la Viga-losa de cada una de las 23 viviendas.

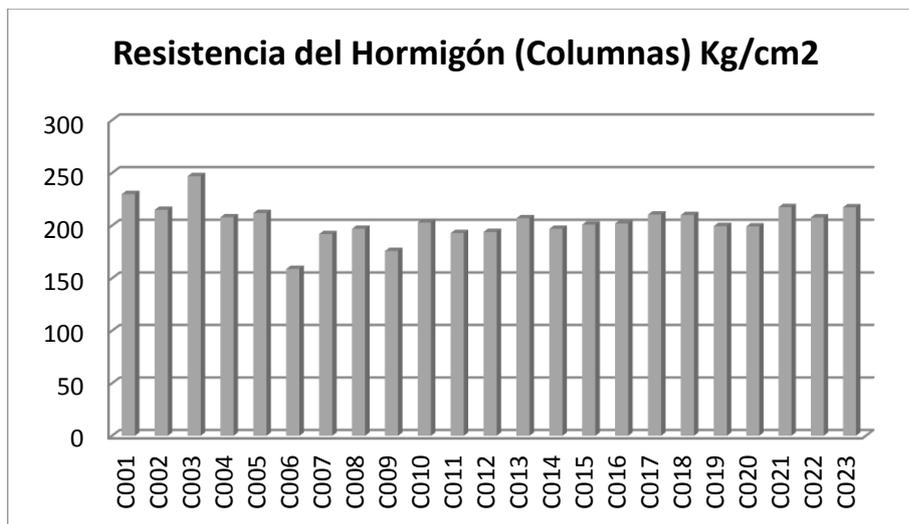
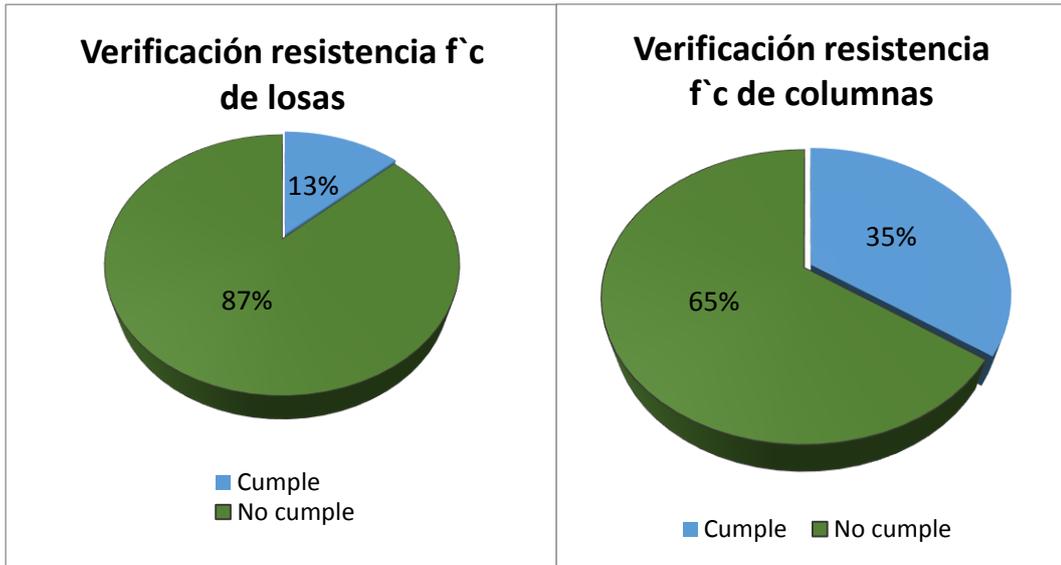


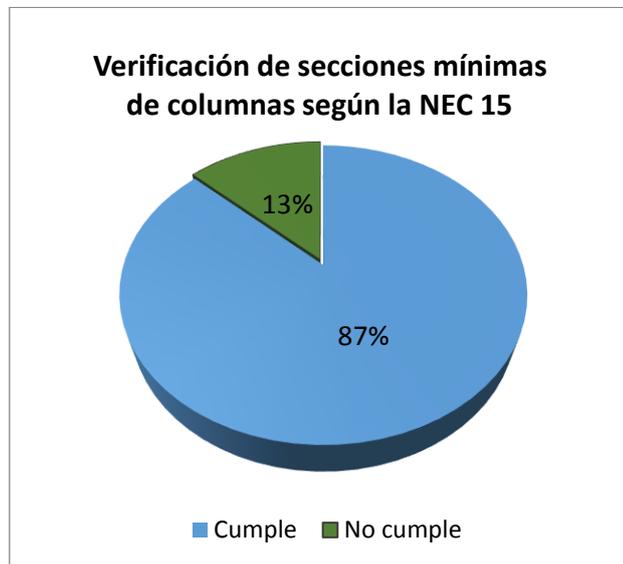
Figura 12: Resistencia de Hormigón (Columnas)

En la siguiente figura en cambio se observa la resistencia a la compresión  $f'_c$  de las columnas de cada vivienda.



**Figura 13:** Porcentaje de resistencia a compresión de los elementos

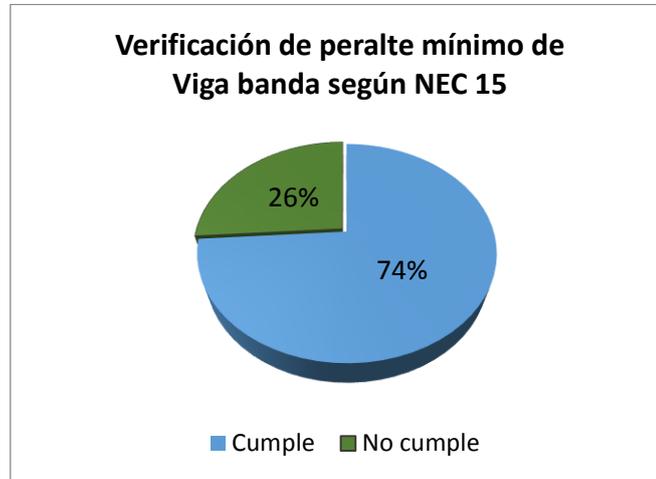
En las figura N° 13 se observa el porcentaje de viviendas que tiene resistencia superior a 210 Kg/cm<sup>2</sup>, un 13% en el caso de vigas banda y 65% en las columnas tienen una resistencia f'c adecuada como señala la norma (NEC 2015), el resto de viviendas cuentan con resistencia inferior a la estipulada.



**Figura 14:** Secciones mínimas de columnas

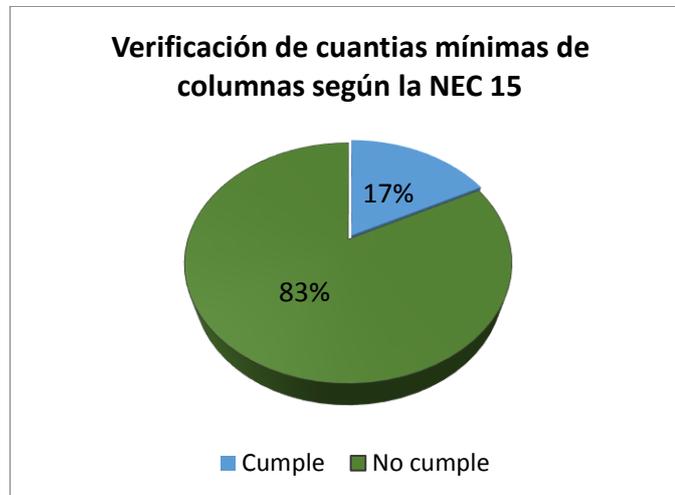
La figura 14 nos presenta el resultado de la verificación de secciones mínimas de columnas señalado en la sección 3.4.2 de este proyecto, un 87% de viviendas cuentan con secciones de columnas adecuadas y un 13% cuenta con sección subdimensionadas.

Ya que el 100% de las viviendas son sistemas estructurales de viga banda se analiza el peralte mínimo establecido por la norma.



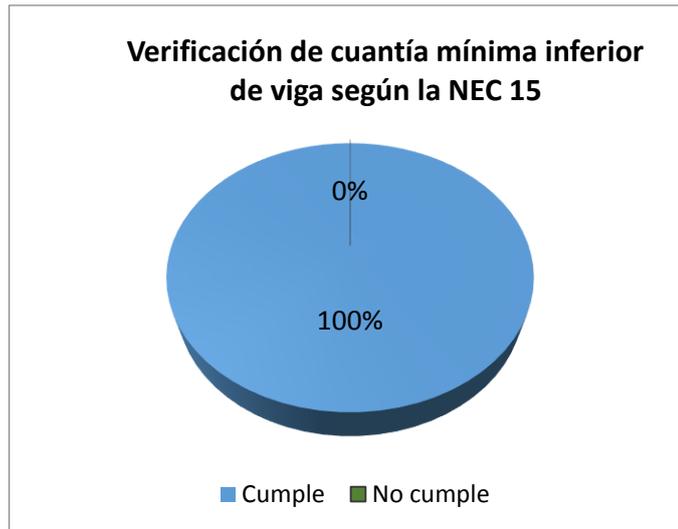
**Figura 15:** Peralte mínimo de viga banda

La figura 15 nos presenta el resultado de la verificación de peralte mínimo de viga banda como lo señala la sección 3.4.2 de este proyecto, un 74% de viviendas cuentan con un peralte mínimo mientras el 26% con un peralte menor.



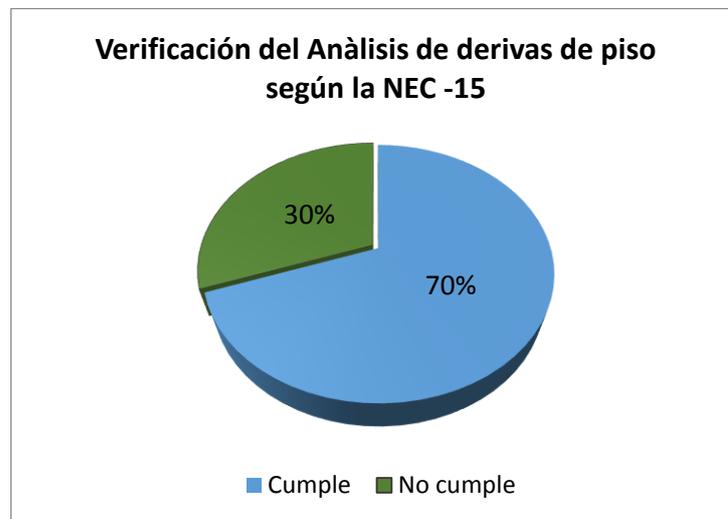
**Figura 16:** Cuantía mínima de columnas.

La figura N° 16 nos presenta el resultado de la verificación de cuantía mínima en columnas, el 17% de viviendas cuentan con una cuantía superior al 1%Ag, mientras que el 83% son viviendas que no cuentan con el refuerzo longitudinal mínimo en este elemento estructural.



**Figura 17:** Cuantía mínima en vigas

La figura 17 nos presenta el resultado de la verificación de cuantía mínima en vigas banda, el 100% de viviendas cuentan con una cantidad de refuerzo transversal superior a la mínima ya que la cuantía empleada es mayor a  $14/F_y$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).



**Figura 18:** Derivas de piso

La figura 18 nos presenta el resultado de la verificación de deriva de piso, el 70% de viviendas tienen derivas de piso adecuada ya que es inferior al 2%, mientras que el 30% de viviendas no cuenta con la rigidez lateral necesaria debido a que la deriva es mayor al 2%.

## Verificación de filosofía de diseño por cargas últimas

Primero se analiza el cumplimiento de la filosofía en los nervios de las losas

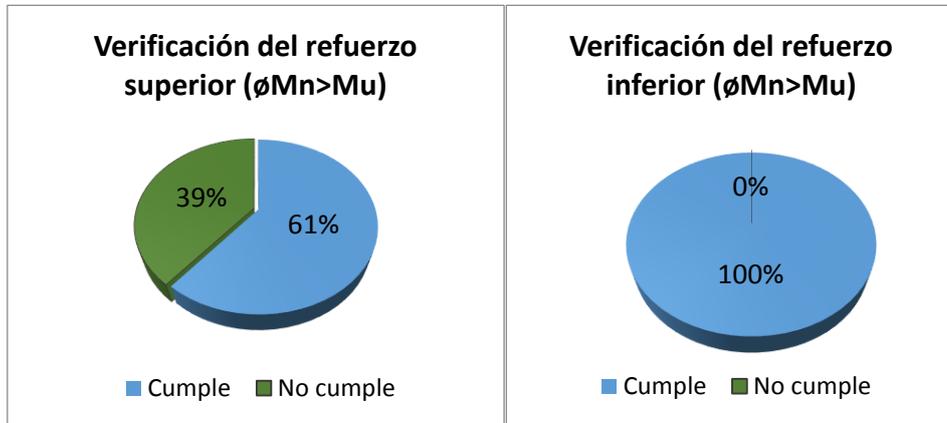


Figura 19: Filosofía a flexión de nervios

La figura N° 19 nos presenta el resultado de la verificación de la filosofía de diseño a flexión de los nervios de la losa, un 61% en el caso del refuerzo superior y el 100% en el refuerzo inferior, se obtuvo que el momento de diseño es mayor al momento requerido, sin embargo en el resto de viviendas el diámetro empleado en los nervios es insuficiente.

A continuación se analiza el cumplimiento de la filosofía en las vigas banda.

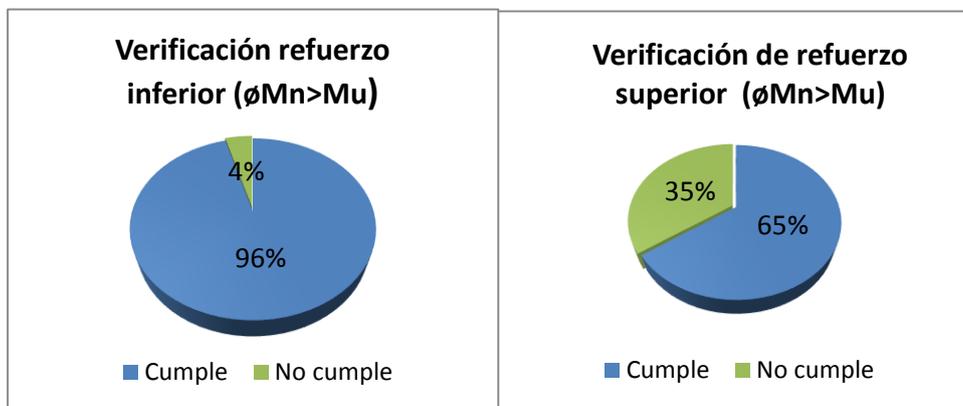
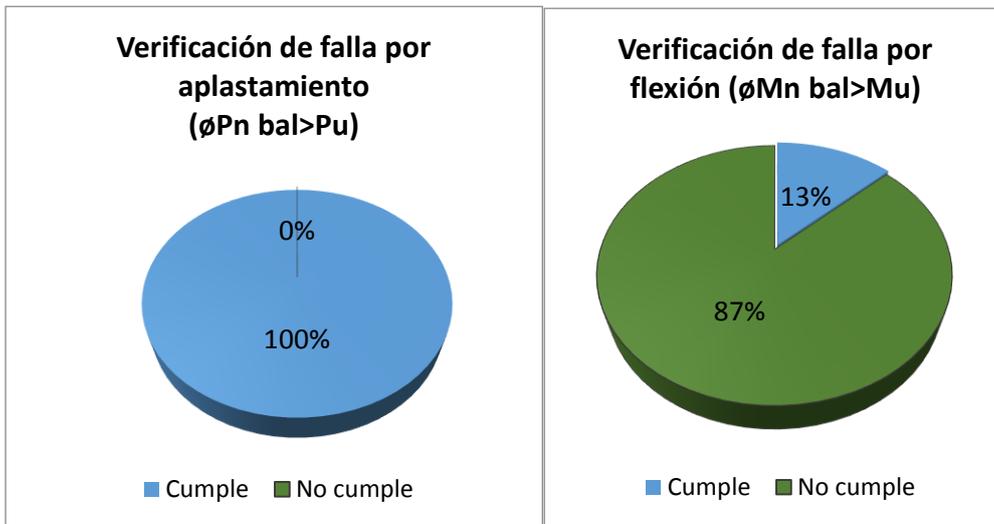


Figura 20: Filosofía de diseño a flexión en vigas banda

La figura N° 20 nos presenta el resultado de la verificación de la filosofía de diseño a flexión en las vigas banda, un 65% en el caso del refuerzo superior y el 96% en el refuerzo inferior se tiene que el momento de diseño es mayor al momento requerido, por lo que el resto de viviendas pueden tener problemas de flexión.

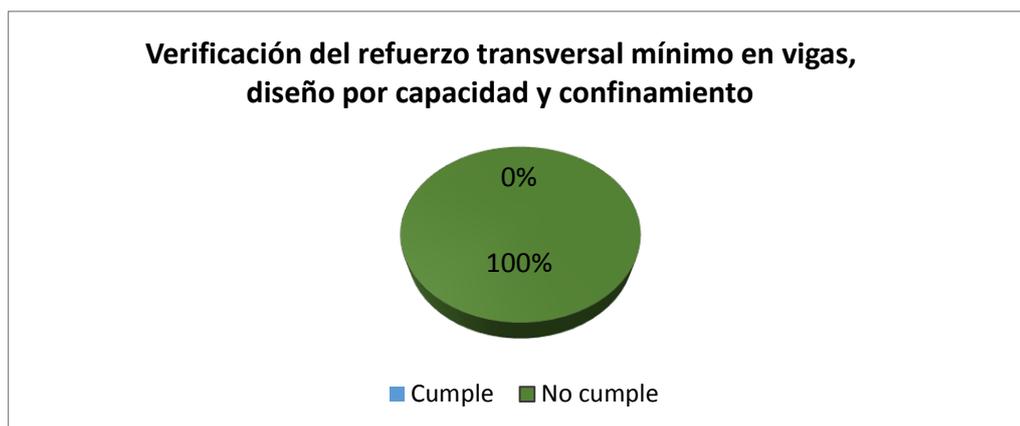
## Análisis del cumplimiento de filosofía de diseño en columnas a flexocompresión



**Figura 21:** Análisis de carga y momento en columnas

La figura N° 21 nos presenta el resultado de verificación de flexocompresión en columnas, el 100% de las viviendas no tienen problemas de aplastamiento ya que cuentan con una sección adecuada, sin embargo un 87% tiene problemas de flexión debido que el momento requerido es mayor al momento de diseño por lo que el refuerzo longitudinal empleado es insuficiente.

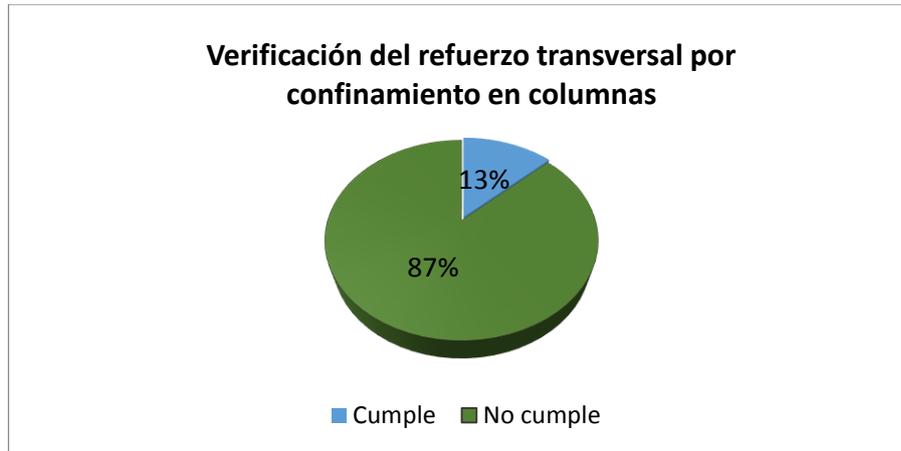
## Análisis de refuerzo transversal en vigas



**Figura 22:** Refuerzo transversal en vigas

La figura N°22 nos presenta el resultado de verificación del refuerzo transversal en vigas (estribos), en el 100% de viviendas el espaciamiento empleado no es suficiente por lo que no se garantiza un confinamiento adecuado y este refuerzo puede fallar antes de que se produzca la fluencia de la viga.

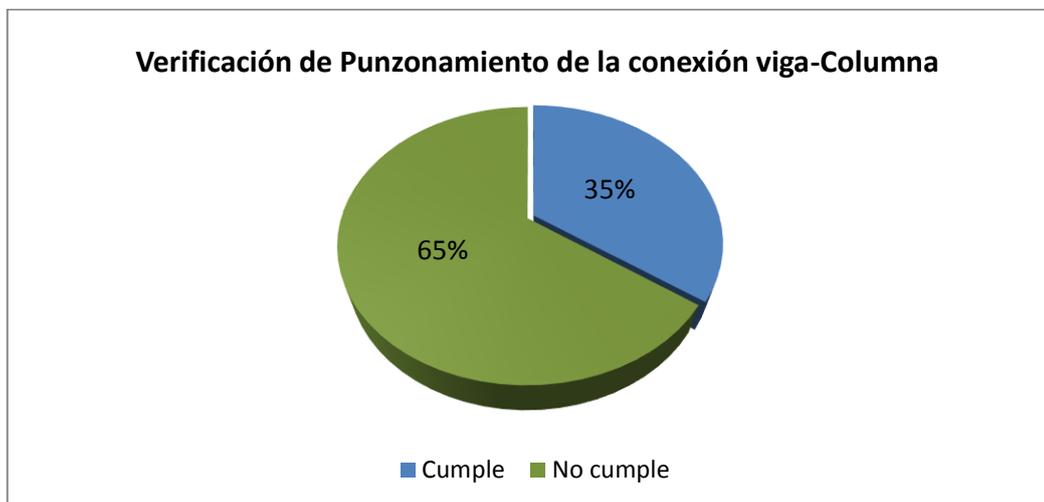
También se verifica el cumplimiento del refuerzo transversal en columnas



**Figura 23:** Refuerzo transversal en columnas

La figura N°23 nos presenta el resultado de verificación del refuerzo transversal en columnas (estribos), en el 13% de viviendas el espaciamiento empleado es el adecuado, en el 87% de viviendas este refuerzo es insuficiente por lo que no se garantiza un confinamiento adecuado.

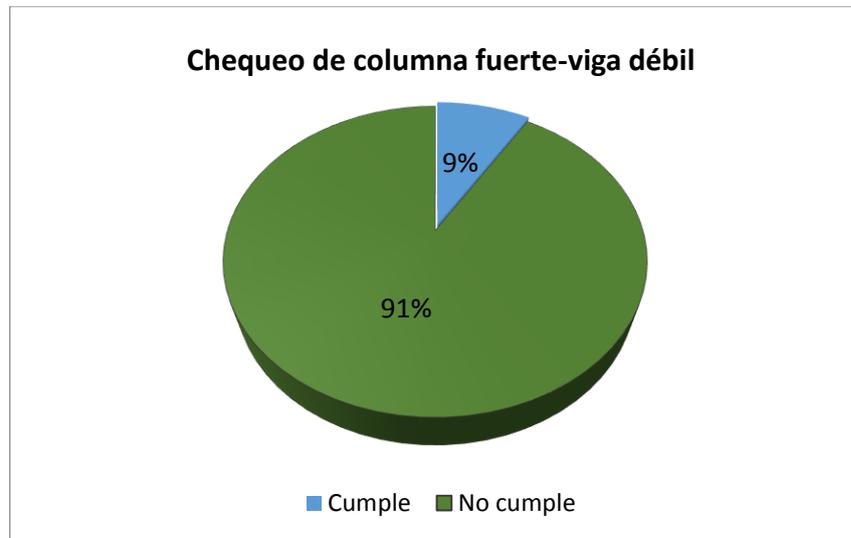
Debido a que se trata de sistemas estructural con viga banda es necesaria la verificación de falla por punzonamiento.



**Figura 24:** Chequeo a punzonamiento

La figura N° 24 nos muestra este resultado, un 35% de viviendas no presentan problemas de punzonamiento, mientras que el 65% no cuentan con el macizado y refuerzo transversal adecuado en el área crítica, por lo que pueden presentar el problema de punzonamiento.

Finalmente se verifica la filosofía de diseño para pórticos resistente a momentos.



**Figura 25:** Chequeo columna fuerte-viga débil

La figura N° 25 nos presenta el resultado de verificación de la filosofía de Columna fuerte-viga débil, un 9% de viviendas cumplen esta filosofía ya que los momentos resistentes posibles de las columnas es mayor a los momentos resistentes posibles de las vigas, en el resto de viviendas se tienen vigas fuertes – columnas débiles debido a que el refuerzo longitudinal en las columnas es subdimensionado.

## 5.2. DISCUSIÓN

Los resultados guardan relación con lo que sostiene (Aguar, 2007) quien señala que las viviendas de uno o dos pisos no son tomadas con importancia, más aún en países subdesarrollados, el autor expresa que se construye sin normas técnicas, esto es acorde con lo que en este estudio se encontró.

En lo que respecta a los parámetros mínimos de columnas y peralte de viga que deben cumplir este tipo de viviendas de sistema estructural con vigas banda no concuerda con lo especificado en la norma (NEC 2015), ya que la misma menciona que viviendas de hasta 2 pisos con luz menor a 4m deben tener una sección mínima de (25x25)cm y un peralte de losa de 20cm, las viviendas fuera de este limitante tendrán una sección mínima de (30x30)cm y peralte de 25cm, sin

embargo en el estudio se determinó que un 87% cumplen en el caso de columnas y un 74% en el caso de peralte de viga banda.

Respecto a cuantías mínimas la norma (NEC 2015) establece que para columnas se debe tener como mínimo el 1%  $A_g$  y en vigas una cuantía mayor a  $14/F_y$ , por lo que en el caso de vigas el estudio concuerda con lo establecido ya que el 100% de viviendas cumplen con este parámetro, mientras que en columnas apenas un 17% cumple.

La norma (NEC 2015) establece que la resistencia a la compresión  $f'_c$  debe ser como mínimo  $210 \text{ kg/cm}^2$ , esto no concuerda con el estudio ya que el 35% en columnas y apenas un 13% en losa con viga banda tienen una resistencia  $f'_c$  adecuada, es curioso destacar que al tratarse de estructuras monolíticas se tiene diferentes valores de resistencia en columnas con respecto a la losa con vigas banda.

Según la norma (NEC 2015) para viviendas de hasta dos pisos no es necesario el control de derivas sin embargo (VISIÓN 2000) menciona que mediante este chequeo se evalúa el daño que sufre la estructura para niveles de severidad sísmica mucho más allá de las estipuladas en las normas, se tiene un 70% de viviendas que cumplen este chequeo.

Con respecto a la filosofía de diseño la norma (NEC 2015) menciona el diseño por cargas últimas, en los nervios que conforman la losa y las vigas banda deben ser diseñadas a flexión donde se debe cumplir que  $\phi M_n > M_u$ , en el caso de los nervios de la losa el refuerzo para el momento positivo concuerda con el parámetro señalado, sin embargo el refuerzo del momento negativo apenas un 61% cumplen, en el caso de vigas el 96% cumplen para el momento positivo y una 65% para el negativo.

En la verificación de las columnas (ACI, 10.3.1) menciona que el punto correspondiente a la carga axial última vs el momento último no deben estar fuera

del diagrama de interacción, sin embargo apenas un 13% de las viviendas cumplen la filosofía de diseño, es notable destacar que no hay problemas por aplastamiento la dificultad presentada es que no se cumple con la expresión  $\phi M_n \text{ bal} > M_u$  debido a la baja cuantía empleada.

Respecto al diseño de resistencia a corte en vigas la norma NEC 2015 establece que debe cumplirse con la siguiente expresión  $\phi V_n > V_u$  en un diseño por capacidad y confinamiento sin embargo, no concuerda en su totalidad ya que el estudio demuestra que el 100% de las viviendas no cumple este parámetro.

Para el diseño de resistencia a corte en columnas la norma NEC 2015 establece que la resistencia al corte de diseño debe ser mayor al requerido mediante un diseño por capacidad y confinamiento, sin embargo el estudio demuestra que apenas un 13% cumple este parámetro.

Debido a que el 100% de viviendas son sistemas estructurales con vigas banda la norma NEC 2015 menciona que deben ser fuertes a punzonamiento sin embargo el estudio demuestra que un 35% cumplen este parámetro.

La norma NEC 2015 menciona que la hipótesis básica de diseño para pórticos resistentes a momentos es columna fuerte viga débil, sin embargo el estudio demuestra que un 9% cumple la hipótesis básica de diseño.

Lo expuesto por (Bermeo & Sánchez, 2017) concuerda con lo encontrado en esta investigación ya que los principales problemas que se presentan es falta de confinamiento en vigas y el sistema estructural de columna débil - viga fuerte, pero cabe destacar que en el estudio también se encontró un alto porcentaje de viviendas con problemas de punzonamiento

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

Desarrollado el proyecto de investigación y con los resultados presentados anteriormente se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

- En este estudio se analizaron 23 viviendas de hasta dos pisos con luces de hasta 5m en la ciudad de Riobamba, concluyendo que ninguna vivienda analizada cumplen con la norma (NEC 2015), se determina que el parámetro más frecuente y que presentan todas las viviendas es la falta de confinamiento en los elementos estructurales sobre todo en vigas, también se destaca un alto porcentaje con característica de viga fuerte- columna débil.
- Toda vivienda de dos pisos con luces de hasta 5 metros deben cumplir con requisitos mínimos, especificaciones y criterios establecidos en los capítulos (NEC VIVIENDAS, 2015) y (NEC-SE-HM, 2015), se debe realizar un análisis por el método de cargas últimas como señala la norma, para de esta manera obtener un diseño sismo-resistente brindando seguridad y confort a sus habitantes.
- Identificados los parámetros de cada vivienda, se establece que la totalidad de las mismas son construcciones de hormigón armado con un sistema estructural de columnas con vigas banda.
- Ya que la totalidad de las viviendas son sistemas estructurales con vigas banda, se tuvo la necesidad de tomar en cuenta consideraciones especiales para una correcta modelación en el programa computarizado de análisis estructural, de esta manera se obtuvo resultados confiables y acorde a la realidad de cada vivienda.
- Analizados los parámetros establecidos por la norma NEC 2015 y de cada una de las viviendas se observa que existe un porcentaje mayoritario en relación con lo que es las secciones mínimas, pero no en cuanto a sus cuantías haciendo referencia en el caso de columnas, también se analiza que no hay relación con el objetivo del comportamiento del pórtico adoptado de ser una columna fuerte, viga fuerte a corte y punzonamiento pero débil en

flexión, debido a que no se realiza el cálculo a corte y chequeo a punzonamiento adecuado de cada vivienda.

- Las mayoría de viviendas analizadas según la norma (NEC-SE-HM 2015) en cuanto al diseño viga-losa cumple con la filosofía de diseño  $\emptyset M_n \geq M_u$ , caso contrario sucede en la columnas ya que al realizar el diagrama de interacción de cada una de ellas y hacerlas una comparación con su falla balanceada este presenta problemas con lo que respecta a la flexión ya que no cumple con la condición  $\emptyset M_n \geq M_u$  , en cambio con la expresión  $\emptyset P_n \geq P_u$  todas las viviendas cumplen debido a que las secciones son resistentes al esfuerzo por aplastamiento pero no a flexión.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- Analizar la ordenanza vigente de la ciudad de Riobamba, ya que hace mención a las viviendas de hasta 2 pisos y que no superen los 400m<sup>2</sup> de construcción no necesitan planos estructurales, siendo este un problema por lo que se demostró en este estudio existe falta de criterio al momento del diseño y construcción.
- Evitar la construcción informal ya que es otro motivo que influye en la construcción de viviendas con problemas estructurales.
- Implementar multas estrictas por parte de las GAD Municipal de la ciudad de Riobamba para los propietarios de viviendas que irrespeten las normas de construcción.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- NEC. (2015). *Peligro Sísmico, Diseño sismo resistente (NEC-SE-DS)*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- NEC. (2015). *Cargas no sísmicas (NEC-SE-CG)*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- NEC. (2015). *Estructuras de hormigón armado (NEC-SE-HM)*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- NEC. (2015). *Viviendas de hasta 2 pisos y luces de hasta 5m (NEC-SE-VIVIENDAS)*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- ACI 318-14. (2015). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-14)*. Farmington Hilla, USA: IHS.
- ACI 318-08. (2008). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-18)*. Farmington Hilla, USA: IHS.
- Aguiar, R. (2007). *Factores que influyeron en el daño en el simo de Colombia de Enero de 1999*. Quito: Centro de Investigaciones Científicas (ESPE).
- Barahona Rivadeneira, D. J. (2009). *Requisitos mínimos de cálculos para diseño sismo-resistente de estructuras de edificación de concreto reforzado en la ciudad de Raïobamba*. Ambato: Univercidad Técnica de Ambato.
- Bermeo, C. J., & Sánchez, D. M. (2017). *Compartimiento de conexión losa-columna en pórticos de vigas banda en nudos interiores*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Núñez León, C. R. (2012). *Requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo-resistente de viviendas de concreto reforzado en losas con vigas banda*. Riobamba: UNACH.
- Paguay, & Trujillo. (2010). *Evaluación de la construcción informal de edificaciones en zonas urbano marginales de la ciudad de Riobamba*. Riobamba : Universidad Nacional de Chimborazo.
- Romo, M. (2008). *Temas de hormigón armado*. Quito: Escuela Superior del Ejército.
- Yépez , H., Chatelain, L., & Guillier, B. (1994). *ESTUDIO DEL RIEGO SÍSMICO EN EL ECUADOR*. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana, FACULTAD DE INGENIERÍA, Quito.

## **8. ANEXOS**

### 8.1. ANEXO 1: Detalle de viviendas inspeccionadas

Ubicación de las viviendas analizadas según la información proporcionada por el Gobierno Autónomo de la Ciudad de Riobamba.

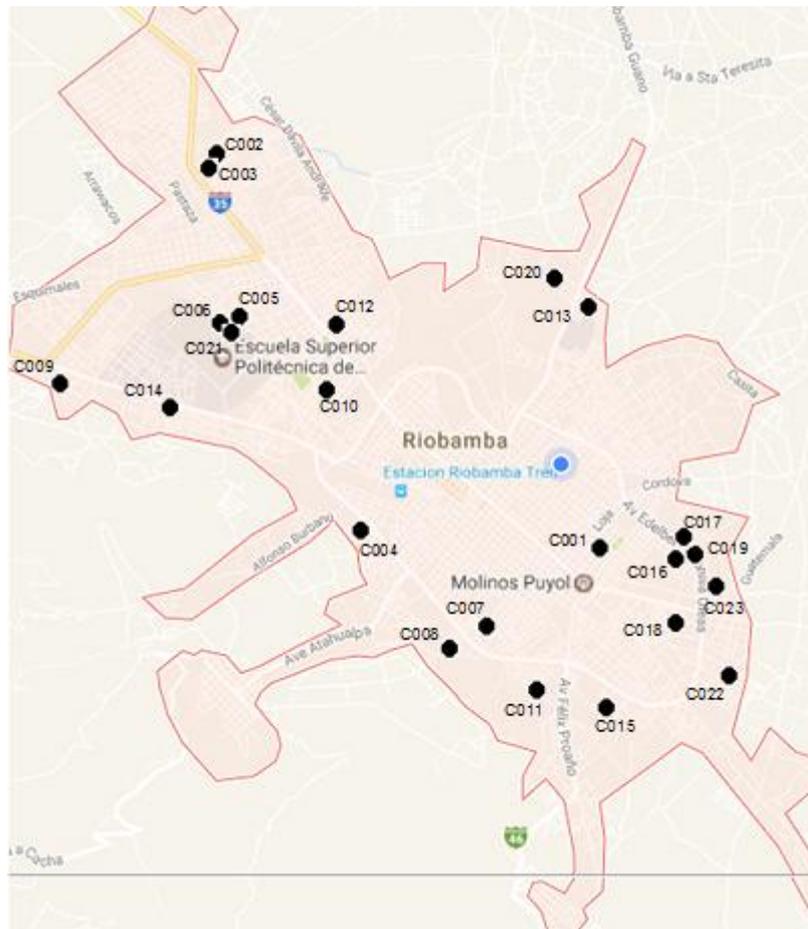
**Tabla 5:** Detalle de viviendas inspeccionadas.

	<b># pisos</b>	<b>Dirección de la vivienda</b>	<b>Sector</b>	<b>Fecha de inspección</b>	<b>Detalle</b>
C001	2	Calles: Juan de León entre Joaquín Chiriboga y Fernando Darquea	Barrio Bellavista	07/11/2016	Terraza accesible
C002	2	Calles: Rio Marañón y Rio Santiago	Cdla: Las Acacias	08/11/2016	Terraza accesible
C003	2	Calles: Rio Marañón y pasaje	Cdla: Las Acacias	09/11/2016	Terraza accesible
C004	2	Calles: Gausuntos y San Juan	Cdla: 9 de Octubre	11/11/2016	Terraza accesible
C005	2	Calles: Pedro León Donoso y Av. Canónigo Ramos	Pinar II	14/11/2016	Terraza accesible
C006	2	Calles: Av. Canónigo Ramos y pasaje	Pinar I	17/11/2016	Terraza accesible
C007	2	Calles: 12 de Octubre y Javier Donoso	La Florida	17/11/2016	Terraza accesible
C008	2	Saraguro Sur Jardines del Valle.	Parque Ecológico	18/11/2016	Terraza accesible
C009	2	Avenida Circunvalación urbanización el Edén	Sur de la Ciudad.	18/11/2016	Terraza accesible
C010	2	Calles: Hormaza y Agustín Cascante	Terminal Terrestre	21/11/2016	Terraza accesible
C011	2	Calles: Transversal 2 y Calle A ; Mz.D Lote 2	Vía a san Luis	22/11/2016	Terraza accesible
C012	2	Calles: Av.11 de Noviembre y Av.Lizarzaburu Casa N°2	Álamos 2	24/11/2016	Terraza accesible

C013	2	Calles: Av. Antonio José de Sucre y segundo pasaje puerta posterior de la Universidad Nacional de Chimborazo.	km. 1 1/2 vía Guano	25/11/2016	Terraza accesible
C014	2	Calles: Conde de Caza Jijón y López de Armendáris	Pinar II	28/11/2016	Terraza accesible
C015	2	Calles: Yugoslavia y Ucrania	Barrio: Sixto Durán Ballén	28/11/2016	Terraza inaccesible
C016	2	Calles: Puebla y Teheran	Eucaliptos Bajos	30/11/2016	Terraza accesible
C017	2	Calles: Av. Edilberto Bonilla y Teheran	Eucaliptos Altos	30/11/2016	Terraza accesible
C018	2	Calles: Rosario y San José	Cdla Fausto Molina	01/12/2016	Terraza accesible
C019	2	Calles: Bagdad y Teheran	Eucaliptos Bajos	03/12/2016	Terraza accesible
C020	2	San Antonio de las abras primer pasaje pasando el redondel.	vía a Guano	03/12/2016	Terraza accesible
C021	2	Calles: Av. Canónigo ramos y tercer pasaje antes de la campana	Pinar II	05/12/2016	Terraza accesible
C022	2	Calles: Costa rica y Pasaje	Barrio Florecer	07/12/2016	Terraza accesible
C023	2	Calles: Av. Circunvalación y Cuzco	Parroquia Maldonado	07/12/2016	Terraza accesible

## 8.2. ANEXO 2: Implantación de las viviendas inspeccionadas.

- Viviendas inspeccionadas
- Límite zona urbana de la ciudad de Riobamba



**Figura 26:** Implantación de viviendas inspeccionadas

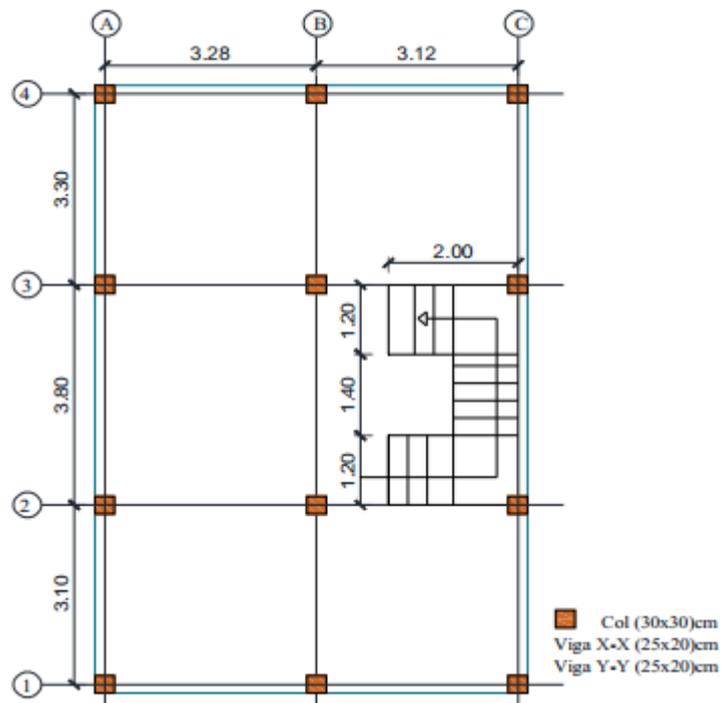
8.3. ANEXO 3: Ficha de ensayo de esclerómetro según la norma AST C805.

Fecha:  
24/11/2016

Código de vivienda:  
C011

Elementos Estructurales:					
Columna			Viga(Banda) y losa		
Dimensiones (cm):	30 x 30 (cm)		Dimensiones (cm):	25 x 20 (cm)	
Angulo de Disparo	$\alpha-0^\circ$		Angulo de Disparo	$\alpha+90^\circ$	
N° Disparo	Lectura	f'c(kg/cm <sup>2</sup> )	N° Disparo	Lectura	f'c(kg/cm <sup>2</sup> )
1	29	190	1	33	190
2	28	180	2	32	170
3	28	180	3	36	230
4	29	190	4	32	170
5	30	210	5	33	190
6	29	190	6	34	200
7	26	158	7	32	170
8	28	180	8	32	170
9	30	210	9	32	170
10	32	238	10	32	170
<b>Resistencia f'c (kg/cm)</b>	<b>193</b>		<b>Resistencia f'c (kg/cm)</b>	<b>183</b>	

OBSERVACIONES :



### 8.4. ANEXO 4: Ficha de cuantías obtenida en campo de la vivienda C011.

**Institución:** UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

**Estudio:** "ESTUDIO ESTADÍSTICO SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA NEC 2015, EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISO CON LUCES DE HASTA 5M EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA".

**Datos generales:** Fecha de inspección: 24/11/2016 Código de vivienda: C011

**Responsables:** Técnico: Cristian Colcha Técnico: Edgar Santacruz

**Detalle:** Estructura de uso exclusivo residencial de dos pisos con terraza accesible

Elementos Estructurales:					
Columnas 25 x 30 (cm)		Vigas 25 x 20			
<b>Refuerzo Longitudinal</b>	Esquema Gráfico	<b>Refuerzo Longitudinal</b>	Esquema Gráfico		
Acero Corrugado		Acero Corrugado			
$\phi(\text{mm})=$		12		$\phi(\text{mm})=$	12
Cantidad=		6		Cantidad=	5
<b>Refuerzo Transversal</b>			<b>Refuerzo Transversal</b>		
Acero Corrugado			Acero Corrugado		
$\phi(\text{mm})=$		8	$\phi(\text{mm})=$	8	
Distribución	L/3	Distribución	L/3		
	Detalle longitudinal de la columna	<b>Refuerzo (Puentes)</b>			
		Acero Corrugado			
		$\phi(\text{mm})=$		14	
		Cantidad=	1	Cantidad=	1
Longitud	L/3	Longitud	L/3		
		Detalle longitudinal de la viga			
<b>LOSA</b>		20cm			
<b>Nervios ( Refuerzo Momento positivo)</b>					
Detalle:	Acero Corrugado	$\phi(\text{mm})=$	12		
<b>Puentes( Refuerzo Momento Negativo)</b>					
Detalle:	Acero Corrugado	$\phi(\text{mm})=$	12		
		Detalle armado de la losa			

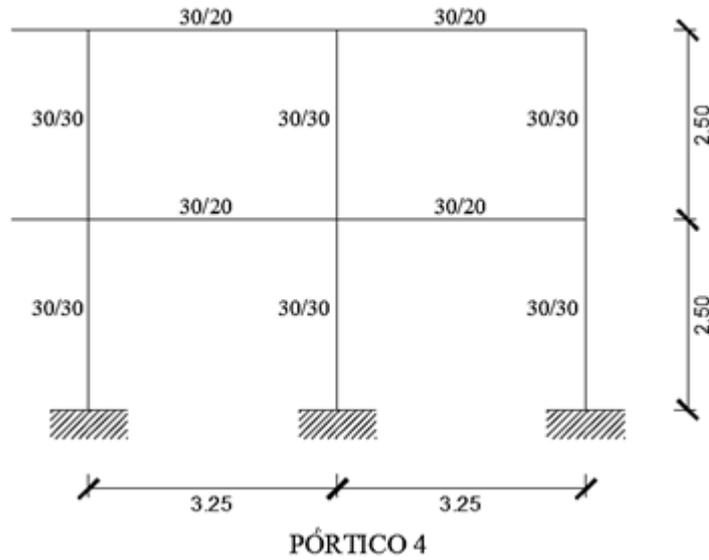
**OBSERVACIONES :**

## 8.5. ANEXO 5: Análisis de la vivienda C007 y cuantificación de cargas

- Características Geométricas

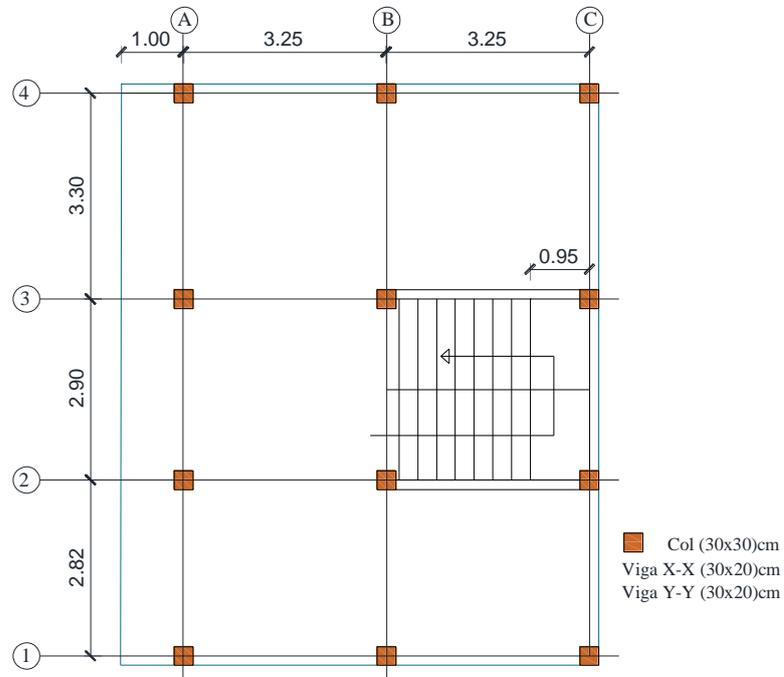
N<sup>a</sup> de pisos: 2

Detalle de las secciones en la vista de elevación de vigas y columnas.



**Figura 27:** Detalle de elevación de la vivienda

Detalle de la vivienda en planta



**Figura 28:** Detalle en planta de la vivienda

- **Cálculo de la carga permanente (muerta) y viva.**

La losa en las viviendas analizadas es de 20 cm en todos los casos, por lo que se procede a realizar su cuantificación de carga y así mismo la asignación de la carga viva como lo estipula la NEC 2015.

### Cuantificación de cargas permanentes o muertas

**Tabla 6:** Cargas permanentes de cada una de los pisos

	<b>PISO 1</b>	<b>PISO 2</b>	<b>(Tapa Grada)</b>
$P_{\text{loseta}} \text{ (T/m}^2\text{)=}$	0.12	0.12	0.12
$P_{\text{nervios}} \text{ (T/m}^2\text{)=}$	0.13	0.13	0.13
$P_{\text{bloques}} \text{ (T/m}^2\text{)=}$	0.08	0.08	0.08
$P_{\text{macillado y enl.}} \text{ (T/m}^2\text{)=}$	0.04	0.04	-----
$P_{\text{instalaciones}} \text{ (T/m}^2\text{)=}$	0.01	0.01	-----
$P_{\text{cerámica piso}} \text{ (T/m}^2\text{)=}$	0.02	-----	-----
$P_{\text{paredes}} \text{ (T/m}^2\text{)=}$	0.15	-----	-----
<b>CM (T/m<sup>2</sup>)=</b>	<b>0.60</b>	<b>0.427</b>	<b>0.33</b>

La carga viva a utilizarse es de **0.20 T/m<sup>2</sup>** para residencias

- **Cálculo de las cargas sísmicas**

Determinación del cortante basal según la NEC VIVIENDAS 2015.

$$V_{base} = \frac{ZCW}{R}$$

Los valores de las variables son los siguientes:

$Z = 0.4$  zona 5 peligro sísmico alto.

$C = 3$  Zona geográfica Sierra.

$R = 3$  Factor de reducción para viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m

$$V_{base} = 0.40 W$$

**Tabla 7:** Solicitaciones en cada una de los pisos.

<b>DATOS INICIALES</b>	
Wpp (Ton)=	41.18
Alosa-correctada (m2)=	67.57
WCM (Ton)=	72.94
WT (Ton)=	114.12
V (Ton)=	45.64

**Tabla 8:** Distribución vertical de carga sísmica.

<b>CARGAS SÍSMICAS</b>				
<b>PISO</b>	<b>hi (m)</b>	<b>Wi (Ton)</b>	<b>hi Wi</b>	<b>Qi (Ton)</b>
1	2.5	54.31	135.77	13.21
2	5.0	42.59	212.93	20.71
Tapa grada	7.0	17.23	120.62	11.73
		$\Sigma=$	469.31	

- **Cálculo de centro de masas. (CGx-y)**

**Tabla 9:** Cálculo de Centro de masas

<b>FIGURA</b>	<b>AREA</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Ax</b>	<b>Ay</b>
1	86.78	4.45	4.88	386.15	423.03
Tapa grada	-10.87	2.05	5.72	-22.27	-62.20
$\Sigma=$	75.91		$\Sigma=$	363.88	360.83

**Tabla 10:** Centro de masas

<b>Sentido</b>	<b>Valor</b>
X <sub>CG</sub> (m)=	4.79
Y <sub>CG</sub> (m)=	4.75

### 8.6. ANEXO 6: Modelación de vivienda C007 en el software ETABS.

Recopilada la información de las características geométricas se procede a realizar la modelación en el software ETABS conjuntamente con la aplicación de la norma NEC 2015 y el código ACI 318-05

- **Características geométricas y tipo de material en las viviendas**

**Tabla 11: Características de los materiales**

CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA	
Columnas	30x30 cm
Vigas XX-YY	30x20 cm
Altura de losa	20cm
Resistencia del hormigón $f'c$	192 kg/cm <sup>2</sup> losa 186 kg/cm <sup>2</sup> columnas
Fluencia del acero	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	$4.7 \sqrt{f'c}$ kg/cm <sup>2</sup>

- **Distancias en los sentidos de los ejes X e Y para elaboración de la grilla**

**Tabla 12: Distancia X e Y**

X Grid Data						
	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	A1	0.	Secondary	Show	Top	
2	A	1.	Primary	Show	Top	
3	B	4.25	Primary	Show	Top	
4	gx	6.55	Primary	Hide	Top	
5	C	7.5	Primary	Show	Top	
6						
7						
8						
9						
10						

Y Grid Data						
	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	1	0.	Primary	Show	Left	
2	2	2.82	Primary	Show	Left	
3	gy	4.27	Primary	Hide	Left	
4	3	5.72	Primary	Show	Left	
5	4	9.02	Primary	Show	Left	

- **Distancias en elevación de las viviendas de los pisos.**

**Tabla 13: Detalle en elevación de la estructura**

	Label	Height	Elevation	Master Story	Similar To	Splice Point	Splice Height
4	STORY3	2.3	7.3	No	NONE	No	0.
3	STORY2	2.5	5	Yes		No	0.
2	STORY1	2.5	2.5	No	STORY2	No	0.
1	BASE		0.				

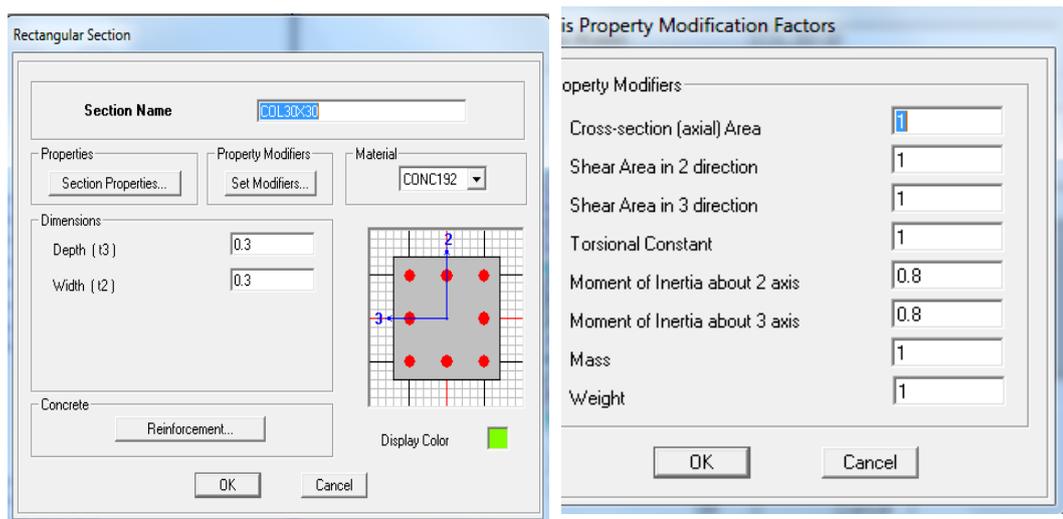
- **Definición de los materiales de la vivienda:**

Se utiliza un hormigón en losa de 186 kg/cm<sup>2</sup> y en columnas de 192 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia al acero de 4200 kg/cm<sup>2</sup>, son los datos obtenidos en campo.

- **Características geométricas de las secciones de columnas y vigas.**

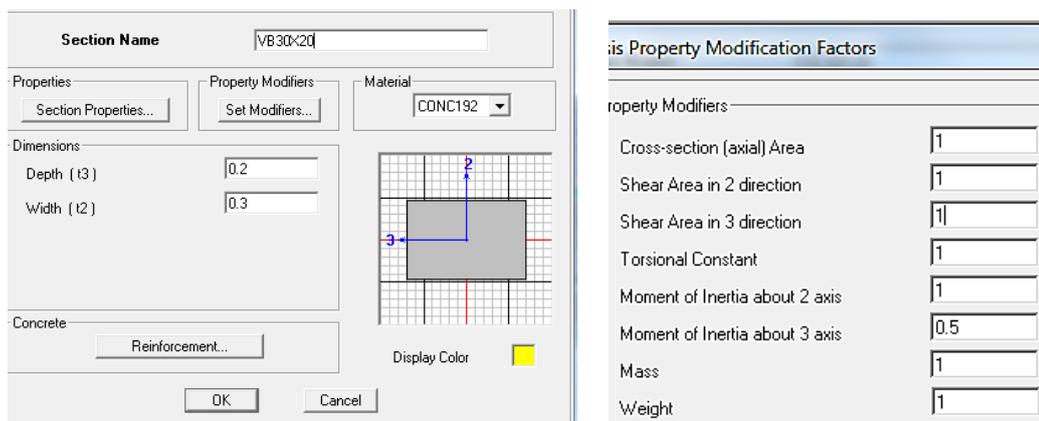
Sección de las columnas: con dimensiones de 30x30 cm y por la ruta “Set Modifiers” insertamos el factor de inercia agrietada 0.8.

**Tabla 14:** Sección e inercia agrietada de columna



Sección de vigas: con dimensiones de 30x20 cm, Y por la ruta “Set Modifiers” insertamos el factor de inercia agrietada 0.5.

**Tabla 15:** Sección e inercia agrietada de viga



Sección de nervios: con dimensiones de 20x10 cm, y por la ruta “Set Modifiers” insertamos el factor de inercia agrietada 0.25.

**Tabla 16:** Sección e inercia agrietada de nervios

Property Modification Factors	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	0.25
Mass	1
Weight	1

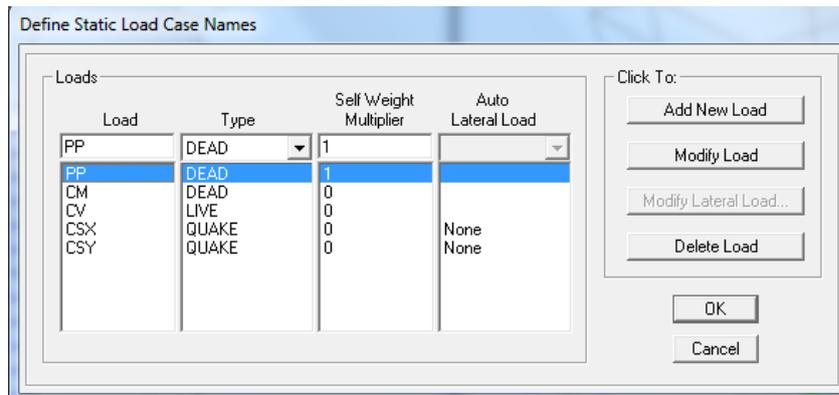
Sección de la loseta: con dimensiones en su espesor de 0.05 m

**Tabla 17:** Dimensión de loseta

- **Definición de casos de cargas.**

Se ha tomado en consideración para el diseño las siguientes cargas: Peso propio que será el valor considerado por el programa, la carga muerta la asignación de carga calculada, la carga viva según su ocupación y la carga sísmica en las direcciones X e Y.

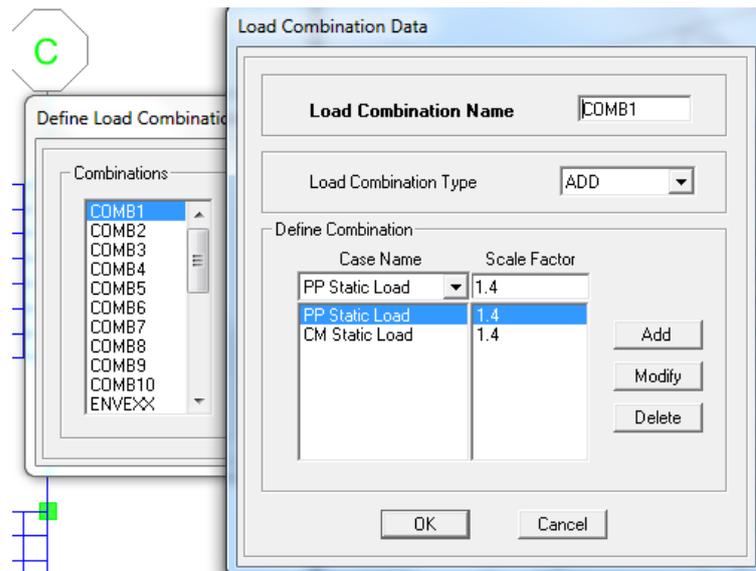
**Tabla 18:** Casos de carga



- **Combinaciones de cargas.**

Se realiza cada una de las combinaciones con sus factores de carga mayorada estipulados en la NEC 15.

**Tabla 19:** Combinaciones de carga.



De manera consecuente se procede a realizar el dibujo con las herramientas del ETABS, por lo que para el mallado de nervios se toma las siguientes características.

1. Seleccionamos el siguiente icono de creación de vigas secundarias.

**Tabla 20:** Icono de trazado vigas secundarias



- Tendremos el cuadro de las propiedades del objeto lo cual será llenado como se muestra en la captura para su dimensión.

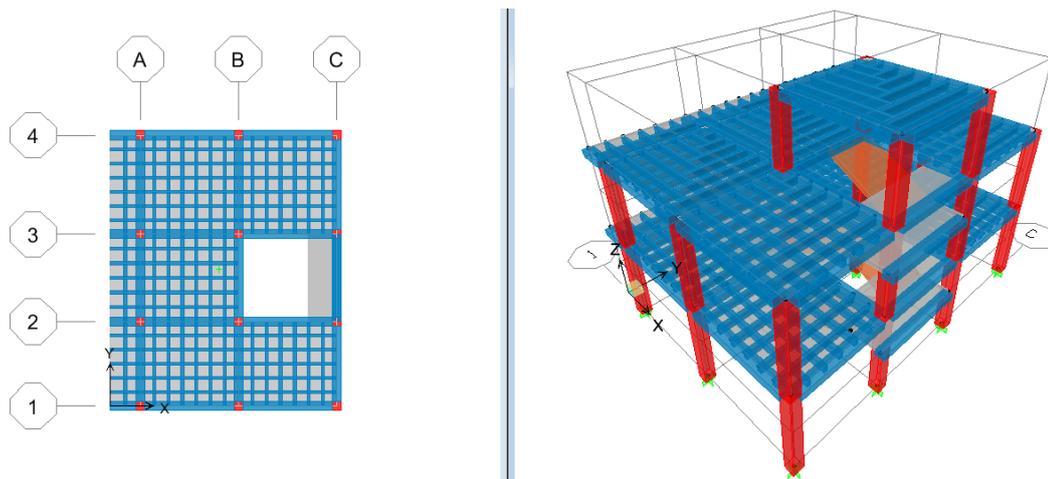
**Tabla 21:** Propiedades de vigas secundarias

Properties of Object	
Property	NERVIO
Moment Releases	Pinned
Spacing	Max Spacing
Max Spacing	0.5
Approx. Orientation	Parallel to Y or R

- Trazado del modelo**

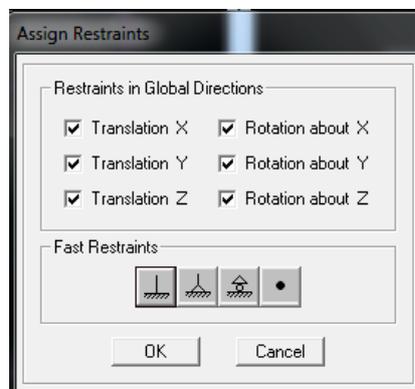
Por lo que la vivienda modelada con todos sus elementos estructurales mencionados anteriormente queda de la siguiente manera.

**Tabla 22:** Modelación de vivienda C 007



- Asignación de restricciones.**

Restricciones en sus desplazamientos y giros en sus bases



**Tabla 23:** Restricciones

- **Peso de los elementos estructurales vigas, columnas y nervios de la estructura.**

Para la obtención del peso propio se realiza una ejecución previa del software y por la ruta Display , Show tables , support reactions y solo para definición de carga PP se obtiene el valor total.

**Tabla 24:** Valor de PP de vigas y columnas

	Story	Point	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
▶	STORY3	23	PP	0.00	0.00	0.28	0.004	0.013	0.000
	STORY2	22	PP	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	STORY1	22	PP	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	BASE	1	PP	-0.12	0.02	2.08	-0.026	-0.277	0.000
	BASE	2	PP	-0.12	0.01	2.49	-0.017	-0.281	0.000
	BASE	3	PP	-0.12	0.01	2.56	-0.019	-0.279	0.000
	BASE	4	PP	-0.12	-0.01	2.13	0.003	-0.273	0.000
	BASE	5	PP	-0.15	0.02	2.44	-0.025	-0.305	0.000
	BASE	6	PP	1.04	0.58	6.38	-0.035	-0.302	-0.051
	BASE	7	PP	-0.15	-0.04	6.69	0.023	-0.303	0.000
	BASE	8	PP	-0.15	-0.02	2.49	0.007	-0.300	0.000
	BASE	9	PP	-0.15	0.02	2.12	-0.024	-0.303	0.000
	BASE	10	PP	-0.54	-0.02	4.27	0.033	-0.551	-0.084
	BASE	11	PP	-0.07	-0.33	4.32	0.158	-0.256	0.052
	BASE	12	PP	-0.15	-0.02	2.15	0.012	-0.299	0.000
	BASE	19	PP	0.81	-0.22	0.78	-0.068	0.000	0.126
	Summation	0, 0, Base	PP	0.00	0.00	41.18	180.289	-190.873	0.000

- **Asignación de cargas.**

Los valores de carga que actúan son:

1. Carga viva 0.2 T/m<sup>2</sup>.

**Tabla 25:** Asignación de carga viva

2. Carga muerta 0.60 T/m<sup>2</sup> piso 1, 0.42 T/m<sup>2</sup> piso 2, 0.33 T/m<sup>2</sup> tapa grada.

**Tabla 26:** Asignación de carga muerta

**3. Carga sísmica.**

La aplicación de las cargas sísmica se la aplicara en el centro de masas de cada una de las plantas de la vivienda y estas varían según el piso como se lo realizo en el cálculo del (Qi).

**Tabla 27:** Asignación de carga sísmica

Terminado y asignado todos los parámetros estipulados por la Norma NEC-15, procedemos a la corrida del modelo y obtenemos los resultados.

**8.8.ANEXO 8: Verificación de la deriva de piso casa C019**

**Tabla 28:** Deriva elástica sentido X-X

STORY2	0.029913	-0.000155	0.007753	0.000266
STORY1	0.010529	0.000509	0.004212	0.000204

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 3 * 0.0077$$

$$\Delta_M = 0.017 * 100\%$$

$$\Delta_M = 1.73\%$$

Verificación

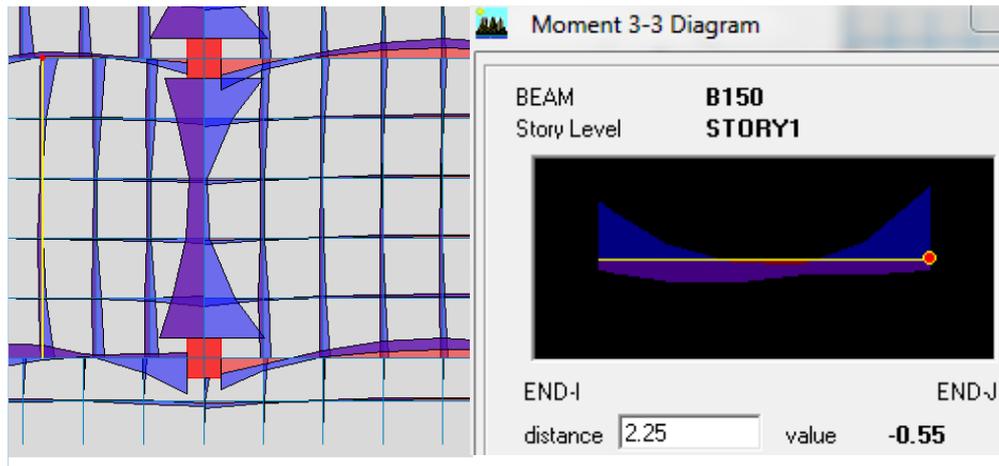
$$\Delta_M < 2\%$$

$$1.73\% < 2\% \therefore \text{CUMPLE}$$

## 8.8. ANEXO 8: Chequeo a flexión de nervios en losa casa C013

### Momento requerido negativo

Tabla 29: Momento requerido obtenido del programa

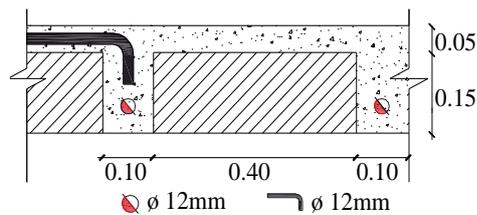


El momento requerido obtenido del programa

$$M_u = -0.55 \text{ Ton}$$

Sección de acero en zona traccionada

Tabla 30: Detalle de refuerzo positivo y negativo de los nervios casa C013



$$A_s = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_s = \frac{\pi * 1.2^2}{4}$$

$$A_s = 1.13 \text{ cm}^2$$

Momento flector nominal

$$M_n = A_s * F_y * \left( d - \frac{A_s * F_y}{1.7 * f'c * b} \right)$$

$$Mn = 1.13cm^2 * 4200 \frac{kg}{cm^2} * (17.4cm - \frac{1.13cm^2 * 4200 \frac{kg}{cm^2}}{1.7 * 200.6 \frac{kg}{cm^2}} * 10cm)$$

$$Mn = 75975.36 kg * cm$$

$$Mn = 0.76 Ton * m$$

Momento último

$$\phi Mn; \phi = 0.9$$

$$\phi Mn = 0.9 * 0.75 Ton * m$$

$$\phi Mn = 0.68 Ton * m$$

Verificación

$$\phi Mn \geq Mu$$

$$0.68Ton * m \geq 0.55Ton * m \therefore CUMPLE$$

## 8.9. ANEXO 9: Verificación a flexión de la viga casa C014

### Momento requerido negativo

Figura 29: Momento requerido en la viga

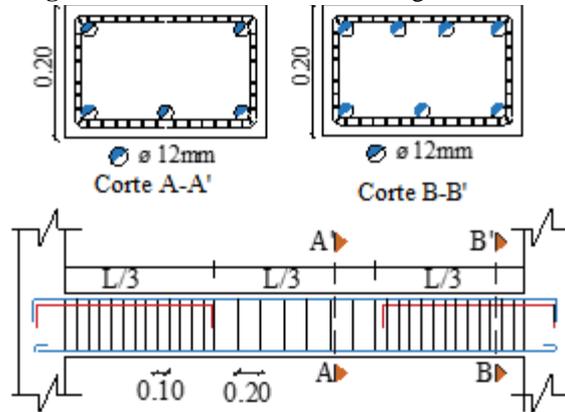


El momento negativo requerido obtenido del software sentido X-X

$$Mu = -4.35Ton$$

Sección de acero en zona traccionada.

Figura 30: Detalle del armado de viga banda casa C014



Para el momento negativo el acero traccionado es el superior en los extremos de Vigas donde el valor es más alto.

$$As = 4 \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$As = 4 \frac{\pi * 1.2^2}{4}$$

$$As = 4.52 \text{ cm}^2$$

Ancho colaborante en la capacidad a flexión de la losa a la viga banda

$$\text{Ancho } C = b_2 + 1.5h_{inq} + 1.5h_{der}$$

$$\text{Ancho } C = 30\text{cm} + 1.5(20\text{cm}) + 1.5(20\text{cm})$$

$$\text{Ancho } C = 90\text{cm} \therefore \text{corresponde a dos nervios}$$

Sección de acero neta a flexión de la viga

$$As_{\text{neto}} = 2 \frac{\pi * 1.2^2}{4} + 4.52$$

$$As_{\text{neto}} = 6.785 \text{ cm}^2$$

Momento flector nominal

$$Mn = As * Fy * \left( d - \frac{As * Fy}{1.7 * f'c * b} \right)$$

$$Mn = 6.785 * 4200 * \left( 18.4 - \frac{6.785 * 4200}{1.7 * 182 * 50} \right)$$

$$Mn = 471851 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$Mn = 4.72 \text{ Ton} * \text{m}$$

Momento último

$$\phi Mn; \phi = 0.9$$

$$\phi Mn = 0.9 * 4.72 \text{ Ton} * m$$

$$\phi Mn = 4.24 \text{ Ton} * m$$

Verificación

$$\phi Mn \geq Mu$$

$$4.24 \text{ Ton} * m \leq 4.35 \text{ Ton} * m \therefore \text{NO CUMPLE}$$

**Momento requerido positivo obtenido del software sentido X-X**

$$Mu = 2.31 \text{ Ton} * m$$

Sección de acero en zona traccionada.

$$As = 3 \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$As = 3 \frac{\pi * 1.2^2}{4}$$

$$As = 3.39 \text{ cm}^2$$

Ancho colaborante en la capacidad a flexión de la losa a la viga banda

$$\text{Ancho } C = b = \frac{L_2}{3}$$

$$L_2 = \frac{3.40 + 3.5}{2}$$

$$L_2 = 3.45$$

$$\text{Ancho } C = b = 1.15 \text{ cm} \therefore \text{corresponde a dos nervios}$$

Sección de acero neta a flexión de la viga

$$As_{\text{neto}} = 2 \frac{\pi * 1.2^2}{4} + 3.39$$

$$As_{\text{neto}} = 5.65 \text{ cm}^2$$

Momento flector nominal

$$Mn = As * Fy * \left( d - \frac{As * Fy}{1.7 * f'c * b} \right)$$

$$Mn = 5.65 * 4200 * \left( 18.4 - \frac{5.65 * 4200}{1.7 * 182 * 1.15} \right)$$

$$Mn = 420805.77 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$Mn = 4.2 \text{ Ton} * m$$

Momento último

$$\phi Mn; \phi = 0.9$$

$$\phi Mn = 0.9 * 3.78 \text{ Ton} * m$$

$$\phi Mn = 3.78 \text{ Ton} * m$$

Verificación

$$\phi Mn \geq Mu$$

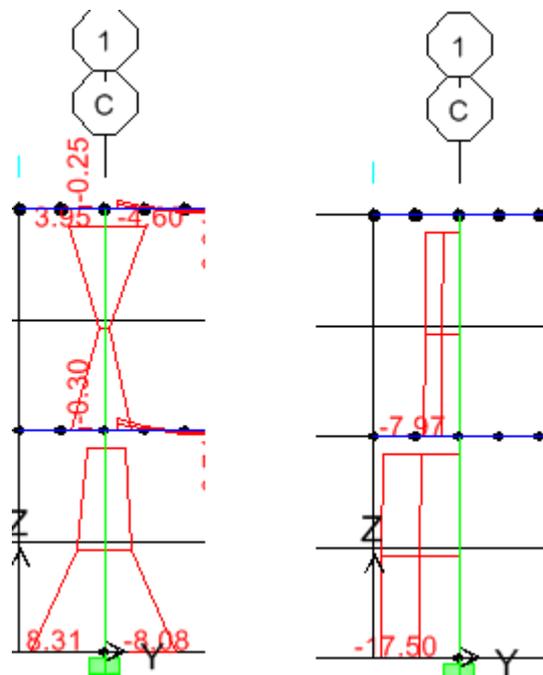
$$3.78 \text{ Ton} * m \geq 2.31 \text{ Ton} * m \therefore \text{CUMPLE}$$

### 8.10. ANEXO 10: Verificación de columna casa C015

Los valores obtenidos del software son:

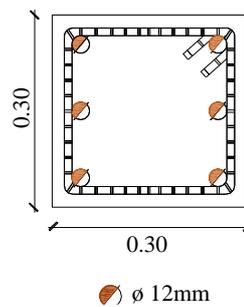
$$Mu = 8.31 \text{ Ton} * m, Pu = 17.50 \text{ Ton}$$

**Figura 31:** Valores de carga y momento requerido sentido 3-3 obtenidos del programa



### Diagrama de interacción sentido x-x

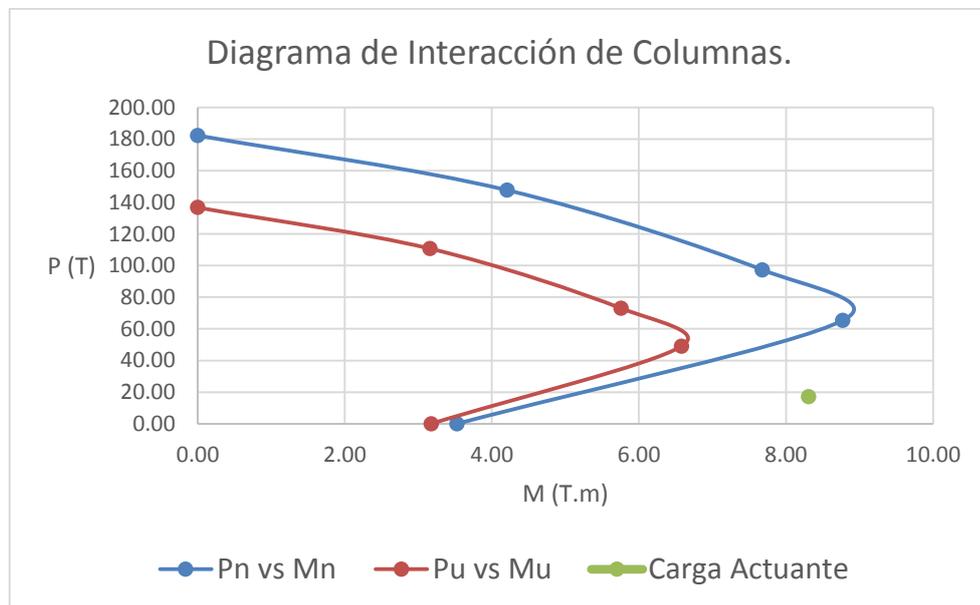
**Figura 32:** Detalle del armado de columna casa C015



CUADRO DE CARGAS Y MOMENTOS NOMINAES						
PUNTO	Pn	Mn	ø Pn	ø Mn	Pu	Mu
1	182.27	0.00	136.70	0.00	17.05	8.31
2	147.66	4.21	110.75	3.16		
3	97.31	7.68	72.98	5.76		
4	65.35	8.77	49.01	6.58		
5	0.01	3.53	0.01	3.17		

**Tabla 31:** Valore de carga y momento de la columna sentido X-X

**Figura 33:** Diagrama de Interacción de Columna sentido X-X



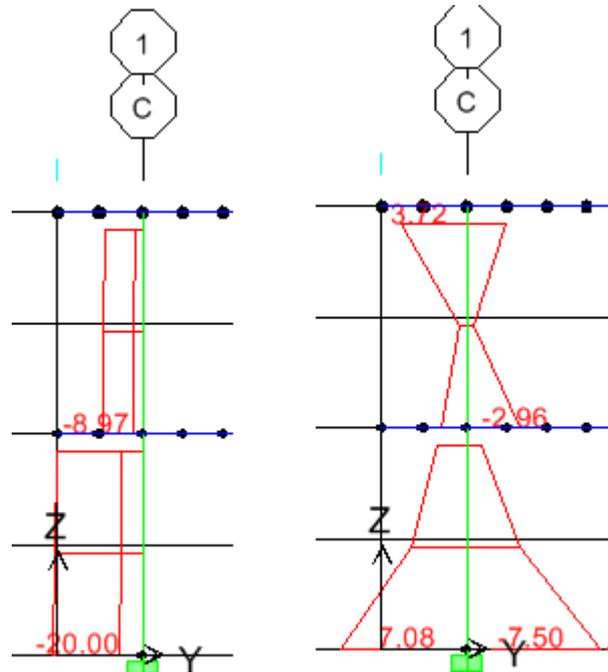
Verificación

$$\phi Mn \geq Mu$$

$$6.58 \text{ Ton} * m \leq 8.31 \text{ Ton} * m \therefore \text{NO CUMPLE}$$

## Análisis sentido Y-Y

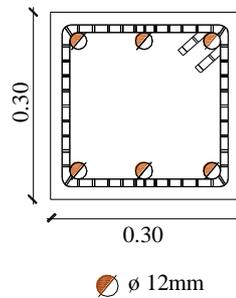
Figura 34: Valores de carga y momento requerido obtenidos del software sentido 2-2



Los valores obtenidos del software son:

$$M_u = 7.50 \text{ Ton} * m, P_u = 20 \text{ Ton}$$

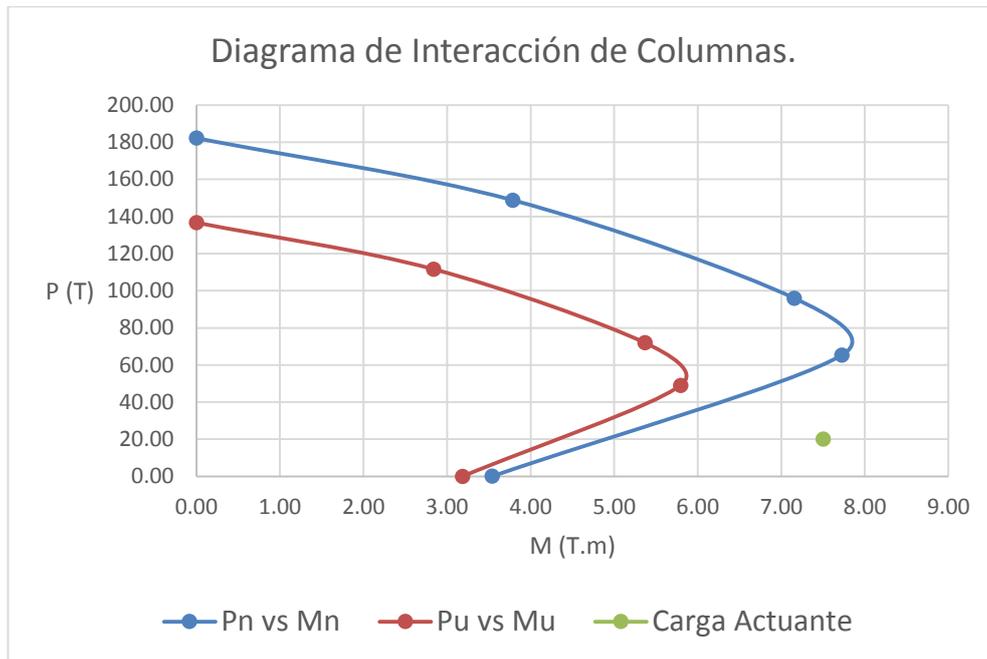
Figura 35: Detalle del armado de columna sentido Y-Y casa C015



CUADRO DE CARGAS Y MOMENTOS NOMINAES						
PUNTO	P <sub>n</sub>	M <sub>n</sub>	ø P <sub>n</sub>	ø M <sub>n</sub>	P <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>
1	182.26	0	136.70	0.00	20	7.5
2	148.79	3.78	111.60	2.84		
3	95.95	7.15	71.97	5.37		
4	65.35	7.72	49.01	5.79		
5	0.00	3.54	0.00	3.19		

Tabla 32: Valores de carga y momento requerido sentido Y-Y

**Figura 36:** Diagrama de Interacción de Columna sentido Y-Y.



Verificación

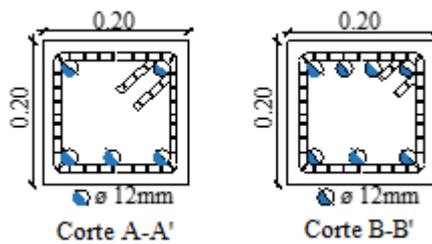
$$\phi Mn \geq Mu$$

$$5.37 \text{ Ton} * m \leq 7.50 \text{ Ton} * m \therefore \text{NO CUMPLE}$$

### 8.11.ANEXO 11: Diseño a corte en vigas Casa C016

#### Diseño por capacidad

**Figura 37:** Detalle armado de viga en los extremos y el centro casa C016



Momento probable superior

$$Mn \text{ sup} = As * \alpha Fy * \left( d - \frac{As * \alpha Fy}{1.7 * f'c * b} \right)$$

$$Mn \text{ sup} = 6.78 * 1.25 * 4200 * \left( 18.4 - \frac{6.78 * 1.25 * 4200}{1.7 * 187.80 * 40} \right)$$

$$Mn \text{ sup} = 555733 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$Mn \text{ sup} = 5.6 \text{ Ton} * m$$

Donde:

$$\alpha = 1.25$$

$As = As$  superior de la viga banda +  $As$  colaborante de la losa

$b =$  base da la viga + ancho de los nervios colaborantes

Momento probable inferior

$$Mn\ inf = As * \alpha Fy * (d - \frac{As * \alpha Fy}{1.7 * f'c * b})$$

$$Mn\ inf = 5.65 * 1.25 * 4200 * (18.4 - \frac{5.65 * 1.25 * 4200}{1.7 * 187.80 * 111})$$

$$Mn\ inf = 520961.64\ kg * cm$$

$$Mn\ inf = 5.21\ Ton * m$$

Donde:

$$\alpha = 1.25$$

$As = As$  inferior de la viga banda +  $As$  colaborante de la losa

$b =$  base da la viga + ancho superior de loseta colaborantes

Cortante sísmico

$$V\ sísmo = \frac{Mp\ sup + Mp\ inf}{Ln}$$

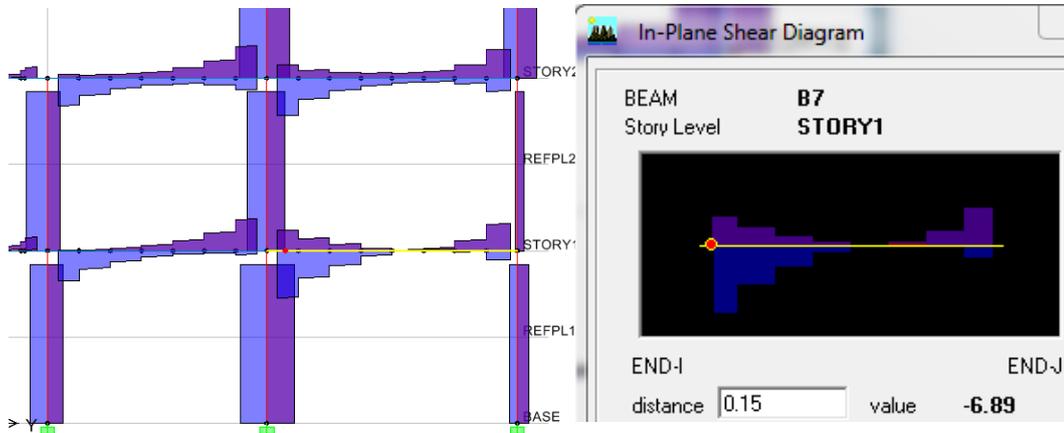
$$V\ sísmo(derecho) = \frac{5.6 + 5.21}{3.4 - 0.2}$$

$$V\ sísmo(izquierdo) = \frac{5.6 + 5.21}{3.6 - 0.2}$$

$$V\ sísmo = 3.17$$

Cortante vertical

**Figura 38:** Cortante vertical obtenido del programa



Este cortante es obtenido del programa

$$V \text{ vertical} = 6.89 \text{ Ton}$$

Cortante último

$$V_u = \frac{V_{\text{sismo}} + V_{\text{vertical}}}{\phi}$$

$$V_u = \frac{3.17 + 6.89}{0.75}$$

$$V_u = 13.41 T$$

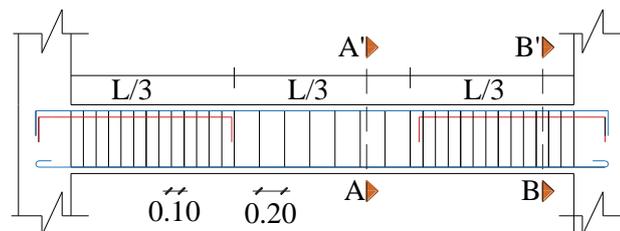
$$V_u \leq (V_s + V_c)$$

$$V_c = 0 \quad \text{NEC-SE-HE (5.2.3)}$$

$$V_s = 13.41 T$$

Área transversal necesario con espaciamiento de en sitio

**Figura 39:** Detalle transversal de la viga casa C016



$$A_{v \text{ nec}} = \frac{V_s + S}{F_y * d}$$

$$A_{v \text{ nec}} = \frac{13410 \text{ kg} * 10 \text{ cm}}{4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 18.4 \text{ cm}}$$

$$A_{v \text{ nec}} = 1.735 \text{ cm}^2$$

Área transversal utilizada

2 ramales de  $\varnothing 8 \text{ mm}$

$$A_v = 2 \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_v = 2 \frac{\pi * 0.8^2}{4}$$

$$A_v = 1.01 \text{ cm}^2$$

Verificación

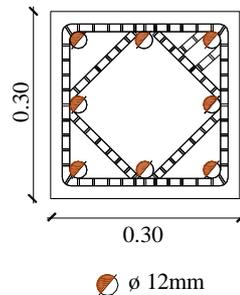
$$A_{v \text{ nec}} \leq A_v \text{ utilizado}$$

$$1.735 \text{ cm}^2 \geq 1.01 \text{ cm}^2 \therefore \text{NO CUMPLE}$$

## 8.12. ANEXO 12: Diseño a punzonamiento casa C018

Perímetro del área punzonada

**Figura 40:** Detalle del armado de columna de casa C018



$$B_o = 2(a) + 2(b)$$

$$B_o = 2(c_1 + d) + 2(c_2 + d)$$

$$B_o = 2(30 + 18.4) + 2(30 + 18.4)$$

$$B_o = 193.6 \text{ cm}$$

Área comprimida a punzonamiento

$$A_c = B_o * d$$

$$A_c = 193.6 * 18.4$$

$$A_c = 3562.24 \text{ cm}^2$$

Módulo resistente de sección crítica

$$\frac{J}{C} = \frac{J}{C} = \frac{[a * d(a + 3b) + d^3]}{3}$$

$$\frac{J}{C} = \frac{J}{C} = \frac{[48.4 * 18.4(48.4 + 3(48.4)) + 18.4^3]}{3}$$

$$\frac{J}{C} = \frac{J}{C} = 59547.31 \text{ cm}^3$$

Factor de momento desbalanceado transmitido por flexión a la losa.

$$\gamma_f = \frac{1}{\left(1 + \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{a}{b}}\right)}$$

$$\gamma_f = \frac{1}{\left(1 + \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{48.4}{48.4}}\right)}$$

$$\gamma_f = 0.6$$

Factor de transferencia por corte excéntrico hacia la conexión losa-columna.

$$\gamma_v = 1 - \gamma_f$$

$$\gamma_v = 1 - 0.6$$

$$\gamma_v = 0.4$$

Esfuerzo cortante con sismo por capacidad debido a momento desbalanceado y carga vertical mayorada.

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + M_{db} * \frac{\gamma_v}{J/C}$$

Carga vertical mayorada en el área de aportación de columna

$$\text{Á aport} = 4\text{m} * 2.85\text{m}$$

$$\text{Á aport} = 11.4 \text{ cm}^2$$

$$V_u = [1.2(PP + CM) + 1.6(CV)]$$

$$V_u = [1.2(0.28 + 0.6) + 1.6(0.2)] * 11.4 * 1000$$

$$V_u = 15686.40 \text{ kg}$$

Momento desbalanceado sísmico

$$M_{db} = M_{pr}(-) + M_{pr}(+)$$

$$M_{db} = (7.07 + 5.26) * 100000$$

$$M_{db} = 1233174.36 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$v_u = \frac{15686.40}{3562.24} + 1233174.36 * \frac{0.4}{59547.31}$$

$$v_u = 12.68 \frac{kg}{cm^2}$$

Esfuerzo a corte del hormigón

$$v_c = 0.53 * \sqrt{f'_c}$$

$$v_c = 0.53 * \sqrt{200.6 \frac{kg}{cm^2}}$$

$$v_c = 7.507 \frac{kg}{cm^2}$$

Refuerzo transversal necesario para punzonamiento.

$$V_s = \frac{v_u * B_o * d - 0.75 * v_c * B_o * d}{0.75}$$

$$V_s = \frac{12.68 * 193.6 * 18.4 - 0.75 * 7.507 * 193.6 * 18.4}{0.75}$$

$$V_s = 33483.86 Kg$$

Área transversal necesario con espaciamiento de en sitio

$$A_v nec = \frac{V_s + S}{F_y * d}$$

$$A_v nec = \frac{33483.86 kg * 10cm}{4200 \frac{kg}{cm^2} * 18.4cm}$$

$$A_v nec = 4.33cm^2$$

Área de acero transversal utilizada

8 ramales de  $\emptyset 8mm$ , ya que 4 estribos están colaborando en el área comprimida a punzonamiento, un estribo a cada lado de la columna.

$$A_v = 8 \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_v = 8 \frac{\pi * 0.8^2}{4}$$

$$A_v = 4.02 cm^2$$

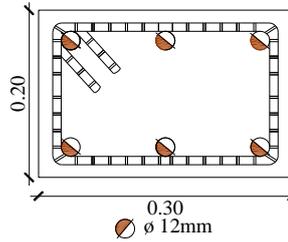
Verificación

$$A_v nec \leq A_v utilizado$$

$$4.33cm^2 \geq 4.02cm^2 \therefore NO CUMPLE$$

### 8.13. ANEXO 13: Diseño a confinamiento de columnas casa C020

Figura 41: Detalle del armado de columna casa C020



$$Ash1 = 0.3 * \frac{10 * 15.6 * 199.3}{4200} * \left( \frac{30 * 20}{25.6 * 15.6} - 1 \right)$$

$$Ash1 = 1.12 \text{ cm}^2$$

$$Ash2 = 0.09 * \frac{s * hc * f'c}{fy}$$

$$Ash2 = 0.09 * \frac{10 * 15.6 * 199.3}{4200}$$

$$Ash2 = 0.66 \text{ cm}^2$$

$$Av \text{ max} = 1.12 \text{ cm}^2$$

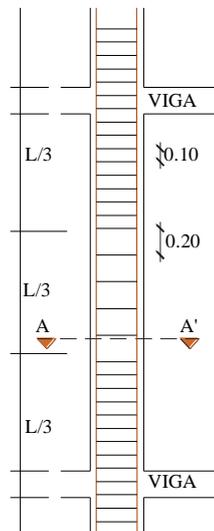
Área de acero transversal utilizada

$$Av = 2 \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$Av = 2 \frac{\pi * 0.8^2}{4}$$

$$Av = 1.01 \text{ cm}^2$$

Figura 42: Detalle de distribución de acero transversal en columna de casa C020



Verificación

$$Av_{nec} \leq Av_{utilizado}$$

$$1.12cm^2 \geq 1.01cm^2 \therefore NO CUMPLE$$

#### 8.14. ANEXO 14: Verificación de columna fuerte- viga débil casa C022

$$\sum M_{nc} > \sum M_{nv}$$

$$M_{nv} = A_s * \alpha F_y * \left( d - \frac{A_s * \alpha F_y}{1.7 * f'_c * b} \right); \alpha = 1$$

$$M_{nv \text{ inf}} = 5.65 * 4200 * \left( 18.4 - \frac{5.65 * 4200}{1.7 * 214 * 107} \right)$$

$$M_{nv \text{ inf}} = 422165.98 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$M_{nv \text{ inf}} = 4.22 \text{ Ton} * \text{m}$$

$$M_{nv \text{ sup}} = 7.60 * 4200 * \left( 18.4 - \frac{7.60 * 4200}{1.7 * 214 * 45} \right)$$

$$M_{nv \text{ sup}} = 525090.73 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$M_{nv \text{ sup}} = 5.25 \text{ Ton} * \text{m}$$

$$M_c = \frac{A_{sc}}{2} * f_y * (d - d')$$

$$M_c = \frac{6.79}{2} * 4200 * (27.4 - 2.6)$$

$$M_c = 353623.20 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$M_c = 3.53 \text{ Ton} * \text{m}$$

$$\sum M_{nv} = 4.22 + 5.25 = 9.47 \text{ Ton} * \text{m}$$

$$\sum M_{nc} = 3.53 + 3.53 = 7.06 \text{ Ton} * \text{m}$$

$$7.06 \text{ Ton} * \text{m} < 9.47 \text{ Ton} * \text{m} \therefore NO CUMPLE$$