



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**COMPORTAMIENTO A TRACCIÓN DE BARRAS DE ACERO DE REFUERZO EN  
HORMIGÓN COMERCIALIZADAS EN QUITO Y SU INFLUENCIA EN EL MOMENTO  
PROBABLE EN VIGAS Y NODOS PARA EL DISEÑO POR CORTANTE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingenieros Civiles

AUTOR: Christopher Ricardo Cumbajin Cruz  
Dennys Omar Romero Andrade

TUTOR: Francisco Roberto Ortiz Navas

Quito - Ecuador  
2023

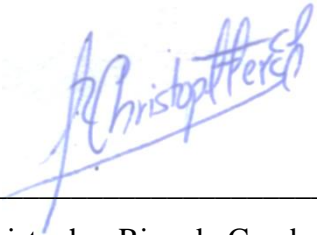
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Christopher Ricardo Cumbajin Cruz con documento de identificación N° 1723543789 y el estudiante Dennys Omar Romero Andrade con documento de identificación N° 1723745863; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 23 de junio del 2023

Atentamente,



---

Christopher Ricardo Cumbajin Cruz

1723543789



---

Dennys Omar Romero Andrade

1723745863

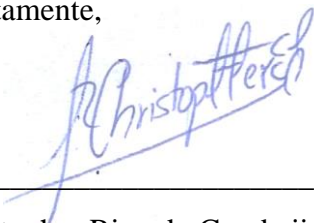
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Christopher Ricardo Cumbajin Cruz con documento de identificación N° 1723543789 y Dennys Omar Romero Andrade con documento de identificación N° 1723745863; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Comportamiento a tracción de Barras de Acero de refuerzo en Hormigón comercializadas en Quito y su influencia en el momento probable en Vigas y Nodos para el diseño por cortante”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de junio del 2023

Atentamente,



Christopher Ricardo Cumbajin Cruz

1723543789



Dennys Omar Romero Andrade

1723745863

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Francisco Roberto Ortiz Navas con documento de identificación N° 1717631244, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **COMPORTAMIENTO A TRACCIÓN DE BARRAS DE ACERO DE REFUERZO EN HORMIGÓN COMERCIALIZADAS EN QUITO Y SU INFLUENCIA EN EL MOMENTO PROBABLE EN VIGAS Y NODOS PARA EL DISEÑO POR CORTANTE**, Christopher Ricardo Cumbajin Cruz, con documento de identificación N° 1723543789 y al estudiante Dennys Omar Romero Andrade con documento de identificación N 1723745863, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de junio del 2023

Atentamente,



---

Ing. Francisco Roberto Ortiz Navas, PhD

1717631244

# COMPORTAMIENTO A TRACCIÓN DE BARRAS DE ACERO DE REFUERZO EN HORMIGÓN COMERCIALIZADAS EN QUITO Y SU INFLUENCIA EN EL MOMENTO PROBABLE EN VIGAS Y NODOS PARA EL DISEÑO POR CORTANTE

## TENSILE BEHAVIOR OF STEEL BARS

### CONCRETE REINFORCEMENT SOLD IN QUITO AND ITS

### INFLUENCE ON THE PROBABLE MOMENT IN BEAMS AND NODES FOR THE DESIGN BY SHEAR

Christopher Cumbajín - Cruz<sup>1</sup>, Dennys Romero - Andrade<sup>2</sup>, Francisco Ortiz - Navas<sup>3</sup>

#### Resumen

En el diseño a cortante de elementos horizontales resistentes a momento, es de suma importancia el cálculo del momento probable aplicando la filosofía de diseño por capacidad, ya que en el procedimiento se considera el acero de refuerzo colocado. Por lo que es imperativo la investigación de las propiedades mecánicas y la experimentación en el laboratorio realizando ensayos a tracción con el material utilizado como acero de refuerzo. La normativa ACI 318-19, recomienda utilizar un factor de endurecimiento por tracción  $\alpha=1.25$ . La presente investigación intenta verificar si en nuestro medio usar Alpha igual a 1.25 resulta conservador o poco conservador durante el diseño. Para esto, se ha planteado una campaña de ensayos para analizar el factor Alpha de varillas comerciales en nuestro medio. Este factor es introducido en el diseño de 20 edificios de hormigón armado a fin de estudiar su efecto. Los resultados arrojan que la mayoría de diámetros proporcionan un valor Alpha menor al recomendado. Sin embargo, no se evidencia una variación considerable para el cálculo del refuerzo transversal requerido en una viga.

**Palabras Clave:** acero de refuerzo, comportamiento a tracción, diseño a cortante, momento probable

#### Abstract

In the shear design of horizontal elements resistant to moment, it is of utmost importance the calculation of the probable moment applying the design philosophy by capacity since in the procedure the reinforcing steel placed is considered. This is why it is imperative to research mechanical properties and laboratory experimentation by tensile testing the material used as reinforcing steel. The ACI 318-19 standard recommends the use of a tensile hardening factor  $\alpha=1.25$ . The present research try to verify if in our environment using alpha equal to 1.25 is conservative or not very conservative during the design. For this, a campaign of tests in the laboratory has been proposed to analyze the Alpha factor of commercial rods in our environment. This factor is introduced in the design of 20 reinforced concrete buildings in order to study its effect. The results show that most diameters provide a lower than recommended Alpha value. However, there is no evidence of a considerable variation for the calculation of the transverse reinforcement required in a beam.

**Keywords:** reinforcing steel, tensile behavior, shear design, probable moment

---

<sup>1</sup> Estudiante Carrera Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Estudiante Carrera Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Docente - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: [ccumbajinc@est.ups.edu.ec](mailto:ccumbajinc@est.ups.edu.ec)<sup>1</sup>, [dromeroan@est.ups.edu.ec](mailto:dromeroan@est.ups.edu.ec)<sup>2</sup>, [fortizn@ups.edu.ec](mailto:fortizn@ups.edu.ec)<sup>3</sup>

## 1. Introducción

En el Ecuador para el ámbito de la construcción civil en diseños estructurales de proyectos de edificaciones se considera el factor sismo con importancia, ya que por la ubicación del país puede ser afectado por movimientos telúricos. Al diseñar considerando el aspecto sísmico se garantiza la capacidad de la estructura salvaguardar la integridad de la misma.

Esto se logra aplicando la filosofía del diseño sismorresistente de edificaciones, la cual supone la disipación de energía sísmica a través del comportamiento inelástico de las estructuras. Esta consideración permite obtener un diseño económico de la estructura, sin reducir su seguridad [1]. La misma dependerá realmente de que los mecanismos que se formen como resultado del comportamiento inelástico.

Para el diseño sismorresistente, el significado de "capacidad" prevalecerá en cada etapa, las fuerzas en nudo o rótula dependen del refuerzo presente en dichas áreas, aplicando refuerzo en los lugares necesarios [2].

Considerando que las estructuras están constituidas por un sistema aporticado, es decir con vigas y columnas, en el caso que sean afectadas por un sismo severo, es importante que la rótula inelástica tenga lugar en las vigas y no en las columnas [3].

Se considera la metodología de diseño por capacidad, que aplica la jerarquización en la resistencia de los componentes que conforman el sistema estructural para permitir la formación de un adecuado mecanismo de deformación plástica, evitando la aparición de roturas frágiles [2].

En estos sistemas esperan incursiones inelásticas significativas a través de la cedencia por flexión de vigas (Rótulas Plásticas) y una cedencia controlada de la zona de panel de columnas [4].

Al producirse en el sistema rótulas plásticas, se consigue la rotación de la deformación plástica de la conexión de la columna, de manera rígida [4].

En general se debe aplicar en el diseño el criterio columna fuerte viga débil a fin de prevenir un entrepiso débil. Se destaca que se permite la cedencia en la base de las columnas. Para estos

sistemas se utilizan secciones de gran ductilidad en vigas contralando el pandeo local [5].

En el diseño a cortante de elementos resistentes a momento, se debe considerar los factores recomendados por la norma vigente, cuando un nudo es sometido a grandes rotaciones es posible que ocurra un endurecimiento por deformación del refuerzo.

Para el refuerzo corrugado, resulta razonable suponer que el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria para esfuerzos menores que la resistencia de fluencia especificada. Se produce el aumento en la resistencia debido al efecto de endurecimiento por deformación del refuerzo [6].

El requisito de una resistencia de tracción mayor que la resistencia a la fluencia del refuerzo se basa en la suposición que la capacidad de un miembro estructural para desarrollar la capacidad de rotación inelástica es una función de la longitud de la región de fluencia a lo largo del eje del miembro [6].

Al interpretar los resultados experimentales, la longitud de la región de fluencia se ha relacionado con las magnitudes relativas del momento nominal y de fluencia [7].

Según esta interpretación, en la medida en que la relación entre el momento nominal y el de fluencia sea mayor, la región de fluencia es más larga, se especifica que la relación entre la resistencia real a la tracción y la resistencia real de fluencia sea al menos de un valor de 1.25 [7].

El refuerzo corrugado no preesforzado que resista momentos, fuerza axial, o ambos, inducidos por el sismo en pórticos resistentes a momentos especiales, deben cumplir con:

El valor de  $\alpha = 1,25$  tiene por objeto el límite elástico real de una barra de refuerzo típica que suele ser entre un 10 % y un 25 % superior al valor nominal [7].

En el análisis de una viga, se considera que la resistencia de fluencia real del refuerzo longitudinal puede ser superior a la resistencia de fluencia descrita en la norma vigente [8].

También la norma manifiesta que puede ocurrir un endurecimiento por deformación del refuerzo en un nudo, por lo cual la resistencia a cortante se determina usando un esfuerzo de  $1.25 f_y$  para el refuerzo longitudinal [8].

Para la obtención del factor Alpha ( $\alpha$ ) de la gráfica esfuerzo – deformación del acero de refuerzo (Figura 1), se lo realiza mediante la relación para el  $\alpha_1$  de la fluencia real del ensayo a tracción  $R_{yr}$  y la fluencia especificada en norma  $R_{ye}$  como se muestra en la ecuación 1. Y para el  $\alpha_2$  la ecuación 2 se considera la fluencia última  $R_u$  con el  $R_{ye}$  de la gráfica.

$$\alpha_1 = \frac{R_{yr}}{R_{ye}} \quad (1) \quad \alpha_2 = \frac{R_u}{R_{ye}} \quad (2)$$

Estos valores para encontrar el factor  $\alpha$  lo obtenemos realizando el ensayo a tracción de varillas corrugadas, el mismo nos refleja el diagrama de esfuerzo-deformación unitaria de un acero como se especifica en la figura 1.

En la figura 1 se muestra el comportamiento a tracción del acero, en donde se observa una zona inicial en la que los esfuerzos y deformaciones se relacionan entre sí linealmente, seguida por la denominada región plástica [9].

En la región de endurecimiento por deformación, se produce un incremento en deformación que es nuevamente acompañado por un aumento de esfuerzo, hasta alcanzar finalmente la ruptura.

En la figura 1 se detalla los valores obtenidos de Alpha ( $\alpha_1$ ), un valor de  $\alpha_{norma} = 1.25$ , tomando en cuenta la fluencia ( $f_y = 411.879$  MPa) de la curva teórica y un valor de  $\alpha_1 = 1.20$  considerando la fluencia real ( $f_y = 497$  MPa) de la curva experimental del acero de refuerzo estudiado.

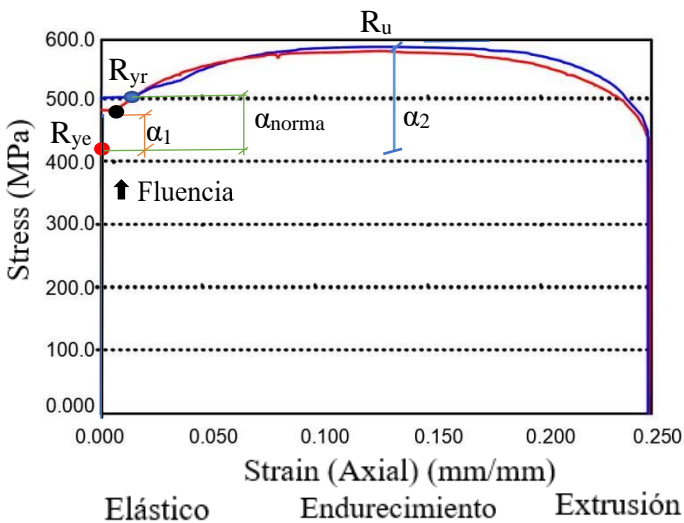


Figura 1. Gráfica Esfuerzo – Deformación (Experimental y teórica) del acero Ø 12 mm

En la figura 1, se detalla los factores Alpha ( $\alpha$ ) estimados para el diseño sin considerar la formación de rótulas plásticas, por lo cual el valor  $\alpha_1 < 1.25$ . También el factor Alpha podría tomarse como  $\alpha_2 > 1.25$ , si en el cálculo se evidencia la formación de rótulas plásticas.

La fuerza cortante de diseño  $V_u$ , se determinará como la suma del corte producido por cargas estáticas más el cortante correspondiente a la máxima resistencia probable en los extremos  $M_{pr}$  basados en el esfuerzo de tracción del refuerzo.

Momento Probable en vigas ( $M_{pr}$ ) es la máxima resistencia a la flexión que se puede calcular para una sección crítica de un elemento estructural, sometido a flexión en una dirección dada como lo indica en la ecuación 3.

$$M_{pr} = A_s \times \alpha \times f_y \times (d - a/2) \quad (3)$$

Para conocer el comportamiento del acero de refuerzo utilizado en la zona y la afectación en el diseño en vigas. Se analizó los factores  $\alpha$  sugeridos para el diseño a cortante que contiene la normativa ACI, comprobando si al aplicar esos factores recomendados y los obtenidos de manera experimental, afectaría en el diseño por capacidad del pórtico.

De manera experimental se procedió a la obtención de factores de sobre endurecimiento por deformación obtenidos de la gráfica esfuerzo-deformación resultado del ensayo a tracción de varillas corrugadas.

Así verificamos la influencia de los resultados obtenidos experimentalmente del factor  $\alpha$  en el diseño de los elementos a cortante.

Para esto se ha procedido a analizar 20 pórticos con diferentes dimensiones de los cuales se ha desarrollado del pórtico, la viga más crítica cambiando los factores de endurecimiento por tracción obtenidos experimentalmente con los factores recomendados por la norma ACI. Para comprobar si hay una afectación en los resultados del diseño del elemento.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Campaña Experimental

Para el estudio se utilizó se consideró 3 fabricantes de acero de refuerzo, de marcas comercializadas en Quito. Los mismo que aplican diferentes tipos de tratamiento para mejorar el comportamiento de acero, en el caso de un fabricante, es una varilla laminada en caliente microaleada.

En su laminación alcanza las propiedades mecánicas requeridas mediante su composición química con elementos de aleación como el cobre, níquel, cromo, etc. en pequeñas cantidades [15].

Otros fabricantes distribuyen varilla laminadas en caliente termotradas. Su tratamiento consiste en generar deformaciones plásticas con el ciclo de tratamiento térmico logrando mejoras en la resistencia de fluencia se puede obtener mediante laminado por si solos o con el laminado seguido de un tratamiento térmico separado [16].

Para el desarrollo del estudio se consideró una simbología para nombrar las marcas de acero de refuerzo utilizadas.

Para los ensayos a tracción respectivos se consideró varillas corrugadas de los diámetros: 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 [mm] de una longitud aproximada a 1.50 m, como lo indica la tabla 1.

Tabla 1: Diámetros determinados para ensayos de tracción

| Ø Varilla nominal (mm) | Ø Varilla medido promedio (mm) |
|------------------------|--------------------------------|
| 8                      | 7.68                           |
| 10                     | 9.56                           |
| 12                     | 11.52                          |
| 14                     | 13.44                          |
| 16                     | 15.23                          |
| 18                     | 17.28                          |
| 20                     | 19.26                          |

De cada diámetro se procedió a preparar 3 probetas de dimensiones de 20.00 cm y 50.00 cm, como se puede observar un ejemplo de probetas en la figura 2.

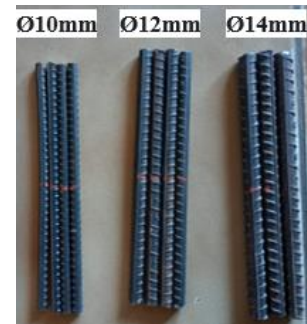


Figura 2. Probetas de varillas corrugadas para ensayo.

### 2.2 Especímenes de ensayo

Para realizar el ensayo de tracción de varillas corrugadas se seguirá los lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 109:2009 (Ensayo de Tracción Para Materiales Metálicos a Temperatura Ambiente (10 a 35°C), esto a pesar que en la norma NTE INEN 127 e INEN 102 establece que las probetas de varillas corrugadas se realizarán sin reducción de área, el proceso y procedimientos seguirán bajo la norma mencionada [20].

En primer lugar, se comprobó las medidas reales de las probetas que serán sometidas a este ensayo. Posterior se procedió a colocar la probeta en la máquina para ensayo a tracción, al finalizar el ensayo obtuvimos la gráfica esfuerzo deformación y los valores de límite de fluencia.

### 2.3 Configuración del ensayo

Para el desarrollo de la investigación se manejó. Los siguientes equipos:

- Máquina de ensayo de materiales del laboratorio de la UPS (figura 4), capacidad 150.00 kN.
- Máquina del laboratorio del INEN (figura 3) capacidad 220.00 kN.
- Velocidad de ensayo 10 mm/min.
- Temperatura de ambiente 22.30 °C.

En la tabla 2 se indica las especificaciones respectivas para el ensayo analítico que se utilizó en el estudio.



**Tabla 2:** Especificaciones mecánicas de ensayos para varillas corrugadas para hormigón armado de acuerdo a la norma NTE INEN 2167.PP 8

| Ensayo   | Propiedad                         | Acero grado A42 |
|----------|-----------------------------------|-----------------|
| Tracción | Límite de fluencia, mínimo        | 420 MPa         |
|          | Límite de fluencia, máximo        | 540 MPa         |
|          | Resistencia a la tracción, mínima | 620 MPa         |

**Nota:** Se presenta detalles técnicos del ensayo a tracción para varillas corrugadas.

En la figura 3 se muestra la máquina utilizada, ubicada en las instalaciones del INEN.



**Figura 3.** Máquina de Ensayo a tracción del laboratorio del INEN.

En la figura 4 se detalla los pasos previos a la ejecución del ensayo a tracción, específicamente la comprobación de la sujeción de la probeta en las mordazas ya que es importante que se encuentren correctamente colocadas para evitar errores en los resultados.



**Figura 4.** Máquina de Ensayo a tracción del laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana.

En la figura 5 se observa la finalización del ensayo a tracción de la varilla, llegando a la ruptura de la misma.

Existe una reducción de sección en la probeta ensayada debido a la fuerza de tracción ejercida por la máquina de ensayo.

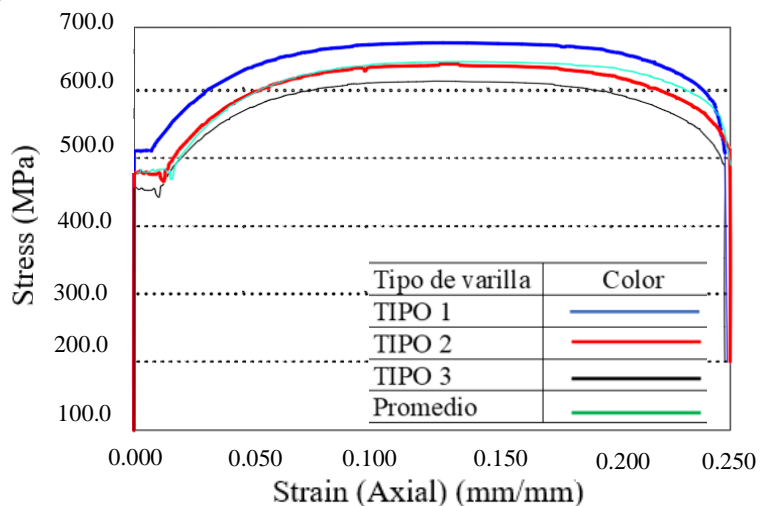


**Figura 5.** Rotura de probeta en el ensayo a tracción.

## 2.4 Resultados de los ensayos

Se obtuvo las gráficas esfuerzo – deformación de los diámetros de las varillas corrugadas de los tres tipos mencionados anteriormente.

Se promedió los resultados obtenidos de la probeta de Ø 10 mm de los tres tipos de fabricantes estudiados, en una gráfica general, como lo muestra la figura 6.



**Figura 6.** Gráficas Promedio Esfuerzo – deformaciones obtenidas del ensayo a tracción de los 3 tipos de varillas corrugadas de Ø 10 mm ensayadas.

Se presenta en la tabla 4 los resultados del factor Alpha de las probetas ensayadas de los tres tipos de varillas utilizadas. Y se muestra a continuación la variación promedio de los 3 tipos de varillas con respecto al factor  $\alpha_{norma}=1.25$ .

Se observa que el mayor valor en promedio del factor  $\alpha_1$  es de 1.23 en la varilla corrugada N°10 y el menor valor en la varilla corrugada N°16, siendo de 1.12. Esto pudo ser por la elección de las probetas de los 3 tipos de marcas, ya que cada marca cuenta con sus propiedades físicas y mecánicas.

**Tabla 4:** Factores Alpha ( $\alpha$ ) obtenidos de los ensayos de tracción de varillas corrugadas

| N°<br>Ø(mm) | FACTOR $\alpha_1$ |        |        |          |
|-------------|-------------------|--------|--------|----------|
|             | TIPO 1            | TIPO 2 | TIPO 3 | Promedio |
| 8           | 1.14              | 1.15   | 1.17   | 1.16     |
| 10          | 1.21              | 1.24   | 1.22   | 1.23     |
| 12          | 1.20              | 1.21   | 1.23   | 1.21     |
| 14          | 1.22              | 1.17   | 1.19   | 1.19     |
| 16          | 1.09              | 1.11   | 1.15   | 1.12     |
| 18          | 1.19              | 1.20   | 1.21   | 1.20     |
| 20          | 1.12              | 1.14   | 1.13   | 1.13     |

## 2.5 Influencia del factor Alpha

Se diseño pórticos generados aleatoriamente considerando diferentes condiciones de armado, diámetros de varillas y geometrías utilizando la normativa ACI 318-19, empleando el factor 1.25 recomendado por el ACI y el factor obtenido en los ensayos experimentalmente que lo nombraremos como Alpha ( $\alpha$ ).

Datos generales de la estructura

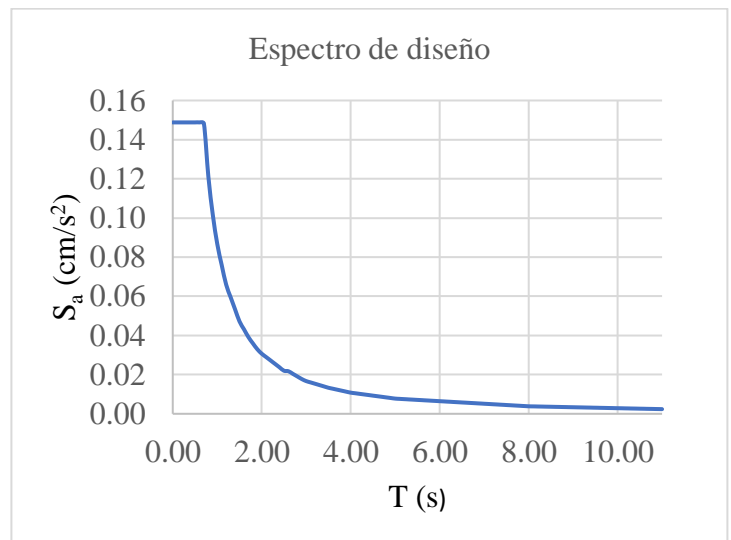
La estructura se analizó con los siguientes datos:

- Los apoyos se encuentran empotrados
- Los factores para el cálculo de cortante basal se tomaron teniendo en cuenta la zona de estudio detallados en la tabla 5.
- Para el diseño de pórticos se tomaron en cuenta los siguientes rangos:
  - Número de vanos (2 a 6)
  - Altura de piso (2.10 a 3.50) m

- Separación entre vanos (3.00 a 5.50) m.
- Recubrimiento para vigas: 4.00 cm
- Peso específico del hormigón armado: 2400.00 kgf/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia característica del hormigón: 210.00 kg/cm<sup>2</sup>

**Tabla 5:** Factores considerados para la evaluación sísmica

|               |      |
|---------------|------|
| I             | 1    |
| Z. sismo      | V    |
| Z             | 0.4  |
| $\eta$        | 2.48 |
| r             | 1    |
| $h_n$         | 7.5  |
| $C_t$         | 0.06 |
| $\alpha$      | 0.75 |
| T             | 0.25 |
| Tipo de suelo | D    |
| $F_a$         | 1.2  |
| $F_d$         | 1.19 |
| $F_s$         | 1.28 |
| $T_c$         | 0.7  |
| $T_L$         | 2.86 |
| $T_o$         | 0.13 |
| $\Phi_p$      | 1    |
| $\Phi_E$      | 1    |
| R             | 8    |
| $S_a$         | 1.19 |
| $\Delta_c$    | 0    |
| V             | 14.9 |



**Figura 7.** Espectro de diseño. Fuente: Autores

En la figura 8 se puede apreciar la vista en planta de la primera estructura estudiada, la cual consta de 4 vanos con una separación entre columnas de 4.00 m, siendo simétrica en los ejes “X”, “Y”, respectivamente.

Para el predimensionamiento de vigas, se consideró una estimación de la altura de la viga como menciona la ecuación 4:

$$h = L/10 \quad (4)$$

Dónde:

h: Altura de la viga.

L: Luz de la viga (distancia entre un apoyo al otro apoyo).

Para la base podemos recurrir a las normas, en este caso usaremos como referencia el ACI 318-2019.

Para dimensionar columnas, se considera que la dimensión de la sección transversal no debe ser menor de 30.00 cm.

En el capítulo 18 diseño sismorresistente establece que la base mínima debe ser de 30.00 cm (zona sísmica),

Consideramos unas dimensiones de columnas de 30.00 x 30.00 cm y vigas de 30.00 x 35.00 cm. De acuerdo con la combinación más crítica de cargas se detalla la elección de la viga a estudiar la cual se encuentra en los ejes “AB” en el sentido “X”, y el eje “4” en el sentido “Y”, en el primer piso de la estructura.

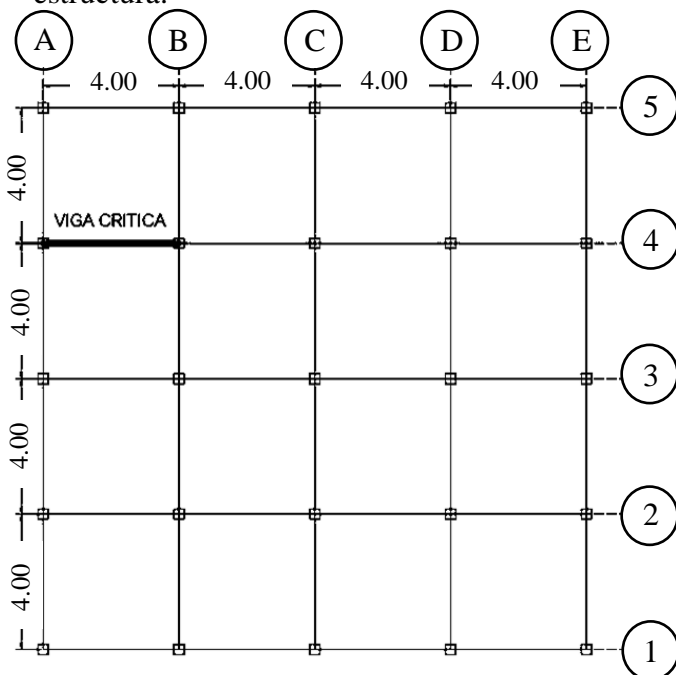


Figura 8. Esquema visto en planta de estructura, y viga crítica (Viga Eje AB-4) unidad (m). Escala 1:250. Fuente: Autores

En la figura 9 se observa la estructura desde una vista frontal, los 3 pisos con una altura de entrepiso de 2.50 m para los 4 vanos existentes.

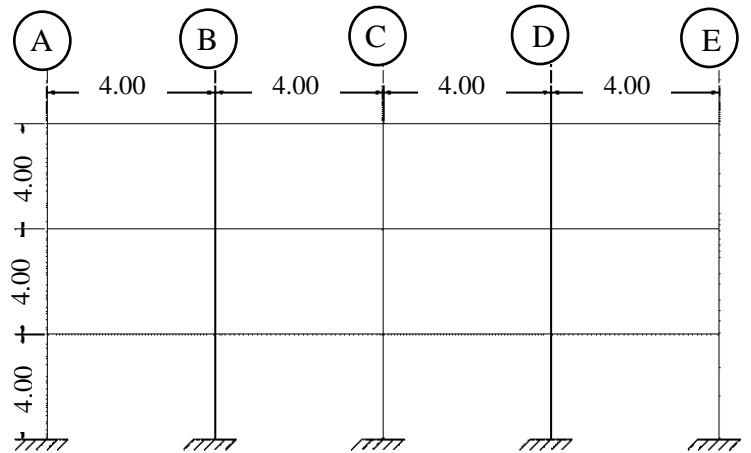


Figura 9. Esquema visto en elevación de la estructura unidad (m). Escala 1:250. Fuente Autores

### 2.5.1 Prediseño de losa

Al ser las separaciones entre vanos simétricas en toda la estructura, se toma un ancho de columna de 30.00 cm y una longitud efectiva entre columnas de 370.00 cm, para el cálculo del espesor de la loseta de compresión, se calculó la distancia del centro a centro de cada nervio ( $L_1$ ), que comprende 40.00 cm del bloque, 5.00 cm de la parte izquierda de nervio y 5.00 cm de la parte derecha del nervio, que dan como resultado 50.00 cm.

Luego se aplicó la siguiente relación  $t = L_1/12$ , y se obtuvo como resultado que la carpeta tiene un valor de 4.16 cm, pero para el procedimiento se aplicara una dimensión constructiva de 5.00 cm. Todo esto nos arroja un resultado de 20.00 cm para el espesor de la losa.

### 2.5.2 Cálculo del peso propio de los materiales

Para el proyecto se utilizarán bloques de alivianamiento con unas dimensiones de (15x20x40) cm, para los nervios se tomará en cuenta un distanciamiento de 10.00 cm entre bloques, una altura de la loseta de compresión de 5.00 cm.

Un espesor de enlucido de 2.00 cm, espesor de masillado de 3.00 cm, recubrimiento de piso de 3.00 cm, vigas con dimensiones b: 30.00 cm; h: 25.00

cm, columnas con dimensiones b: 30.00 cm, h: 30.00 cm, detallados en la tabla 6 a continuación.

**Tabla 6:** Cálculo de carga muerta.

| MATERIAL             | PESO   | UNIDAD            |
|----------------------|--------|-------------------|
| Bloques              | 48.82  | kg/m <sup>2</sup> |
| Nervios              | 129.60 | kg/m <sup>2</sup> |
| Enlucido             | 44.00  | kg/m <sup>2</sup> |
| Masillado            | 66.00  | kg/m <sup>2</sup> |
| Recubrimiento piso   | 54.00  | kg/m <sup>2</sup> |
| Mampostería          | 150.00 | kg/m <sup>2</sup> |
| Instalaciones        | 20.00  | kg/m <sup>2</sup> |
| Columnas             | 60.00  | kg/m <sup>2</sup> |
| Vigas                | 104.00 | kg/m <sup>2</sup> |
| Loseta de compresión | 120.00 | kg/m <sup>2</sup> |
| Losa                 | 298.42 | kg/m <sup>2</sup> |
| CM total piso        | 789.21 | kg/m <sup>2</sup> |
| CM total techo       | 409.42 | kg/m <sup>2</sup> |

### 2.5.2.1 Combinación de cargas

Para determinar la carga ultima con la que se van a realizar los procedimientos de cálculo, se utilizaron los criterios de selección de cargas actuantes para una vivienda, que en este caso tiene un valor de carga viva de 2.00 kN/ m<sup>2</sup> las siguientes combinaciones de carga optadas de la norma ecuatoriana NEC-SE-CG Cargas no sísmicas:

**Tabla 7:** Combinaciones de carga.

|   |
|---|
| 1) 1.4 D  |
| 2) 1.2 D + 1.6 L + 0.5max [Lr ; S ; R]          |
| 3) 1.2 D + 1.6 máx. [Lr; S; R]+ máx. [L ; 0.5W] |
| 4) 1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max [Lr ; S ; R]     |
| 5) 1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S                    |
| 6) 0.9 D + 1.0 W                                |
| 7) 0.9 D + 1.0 E                                |
| 8) 0.9 D + 1.0 S <sub>X</sub>                   |
| 9) 0.9 D + 1.0 S <sub>Y</sub>                   |

De estas combinaciones se tomó la que brindaba el mayor valor, en este caso fue la combinación 2) siendo de 13.17 kN/m<sup>2</sup> para la carga de piso y para la carga de cubierta un valor de 7.43 kN/m<sup>2</sup>.

Considerando la combinación de carga más crítica se desarrolló la resolución del pórtico.

### 2.6 Diseño a flexión de vigas

Considerando la normativa ACI 318-19, para el desarrollo del diseño se procede al cálculo del acero máximo  $A_{s \max}$  y posterior el cálculo del momento máximo  $M_{\max}$  de la viga seleccionada más crítica.

La viga, a partir del concepto de cuantía balanceada que dice que la falla de la viga debe ser dúctil, por lo tanto, la sección de viga b\*h solo puede tener una cantidad máxima de acero que garantice este tipo de falla. Si la viga se refuerza más allá del acero máximo, la falla se produciría en el sector de compresión del hormigón, y esto no es bueno.

Se calcula el acero mínimo que tendría la viga considerando la fórmula pertinente de la norma de referencia, se deben comparar el acero calculado con el acero mínimo impuesto por la norma y si  $A_s$  fuera menor a  $A_{s \min}$ , se utilizará  $A_{s \min}$ .

Posterior se calcula el acero máximo a tracción que puede tener la viga y el momento máximo  $\phi M_{\max}$  que puede aguantar.

Verificado que el momento máximo  $M_{\max}$  no sea mayor a ninguno de los momentos solicitantes de la viga, se puede proceder al cálculo de acero. El procedimiento continúa con las superficies de acero, se deben buscar combinaciones de barras de acero que igualen o sobrepasen ligeramente las secciones  $A_s$ .

**Tabla 8:** Momentos considerados para diseño a flexión

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| Momento max. positivo (Ton x m) | 1.60      |
| Momento max. negativo (Ton x m) | 3.19      |
| Momento de diseño (Ton x m)     | 3.19      |
| Momento de diseño (kg x cm)     | 319000.00 |
| b (cm)                          | 30.00     |
| d (cm)                          | 29.30     |
| h (cm)                          | 35.00     |

En la tabla 9 se detalla los factores generales para el desarrollo del diseño a flexión de la viga más crítica.

**Tabla 9:** Resumen de cálculo de diseño a flexión de la viga AB-4

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 210.00  |
| $f_y$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 4200.00 |
| $\beta$                     | 0.85    |
| $\rho_b$                    | 0.02    |
| $\rho$                      | 0.01    |

Para el cálculo del acero mínimo a flexión se utilizará las siguientes expresiones detalladas en la ecuación (5).

$$A_{s_{min}} = \frac{0.80 \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} * b * d \geq \frac{14 * b * d}{f_y} \quad (5)$$

En la tabla 10 se observa los cálculos respectivos del acero mínimo mediante las fórmulas expresadas en la ecuación 4, tomando en cuenta que se debe calcular con las 2 fórmulas y el resultado que sea mayor se tomará con el acero mínimo que necesita la viga crítica estudiada.

También se detalla el acero máximo que se podría colocar en la viga, posterior el acero requerido tanto superior como inferior para que la viga tenga un rendimiento adecuado y no se produzca falla de diseño.

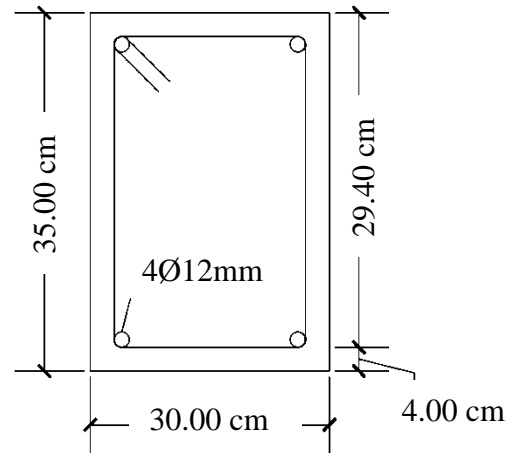
**Tabla 10:** Acero calculado para la viga AB-4. Unidad (cm<sup>2</sup>).

|                  |       |                |            |              |                   |
|------------------|-------|----------------|------------|--------------|-------------------|
| $A_{s_{min1}}$   | 2.93  |                |            |              |                   |
| $A_{s_{min2}}$   | 2.40  |                |            |              |                   |
| $A_{s_{max}}$    | 21.98 | $\phi$<br>(mm) | No.<br>Var | $A_s$<br>col | Increment.<br>(%) |
| $A_{s_{req(-)}}$ | 3.00  | 14.00          | 2          | 3.08         | 2.60              |
| $A_{s_{req(+)}}$ | 1.47  | 12.00          | 2          | 2.26         | 53.49             |

En la figura 10 se representa el corte de la viga más crítica, observando el acero colocado tanto superior como inferior considerando el acero mínimo, máximo y requerido calculado previamente.

Colocando para el refuerzo un acero que cumpla con los requerimientos de esta viga, se tomó la varilla corrugada N°12 mm distribuida de manera homogénea dos varillas de 12.00 mm de diámetro

para la parte superior como para la parte inferior de la misma.



**Figura 10.** Esquema de acero en viga crítica. Fuente Autores

Se procede al desarrollo del diseño a cortante de la viga crítica. En primer lugar, se toma el dato respectivo de la combinación de carga más crítica de acuerdo con la normativa mencionada anteriormente. Se analiza la resistencia de la viga el cortante máximo admisible, se considera el sector de la viga que no genera estribos, a diferencia de la franja de estribo mínimo que se debe calcular.

Se encuentra la cantidad de acero que cumpla el acero mínimo considerando el cortante resistido por hormigón y acero.

Para el diseño de estribos se considera que en ambos extremos de la viga deben colocarse estribos en una longitud  $2h$  medida desde la cara del miembro del apoyo hacia el centro de la luz. El primer estribo debe ser situado a una distancia menor de 50.00 mm de la cara del miembro de apoyo.

El diámetro mínimo de varillas de refuerzo para estribos es de 10.00 mm.

El espaciamiento que se debe tomar debe cumplir las siguientes especificaciones:

- $d/4$  ( $d$  peralte efectivo)
- 8 ( $\Phi$  de la varilla longitudinal de estribo)
- 24 veces ( $\Phi$  de la varilla de estribo)
- 300.00 mm

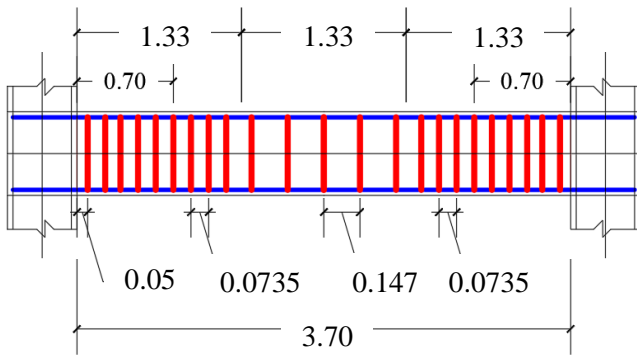
En la tabla 11 se detalla los cálculos respectivos para obtener los espaciamientos en la viga crítica de acuerdo a la norma, de acuerdo a las dimensiones de la viga diseñada.

Y la longitud efectiva es decir sin contar las dimensiones de la columna de ambos lados

**Tabla 11:** Separaciones calculadas para la viga AB-4

| 2·h<br>confina. | $L_n/3$ | So   |       |      | S    |      |
|-----------------|---------|------|-------|------|------|------|
|                 |         | d/4  | 24·de | 8·Db | d/2  | d/4  |
| 0.70            | 1.23    | 0.07 | 0.30  | 0.12 | 0.14 | 0.07 |

En la figura 11 se muestra la colocación de los estribos considerando las separaciones calculadas de acuerdo a la longitud efectiva de la viga crítica, tanto en los extremos como en el centro de la misma.



**Figura 11.** Esquema de viga crítica, separaciones entre estribos. Unidad (m). Fuente Autores.

## 2.7 Diseño por capacidad

Se procede a la verificación de corte de la viga seleccionada considerando el sentido horario y antihorario de ambos extremos izquierdo y derecho de la viga. Previamente se obtuvo la cantidad de acero requerido, considerando el diámetro de varilla necesario para el cumplimiento de las solicitaciones.

Posterior se considera la longitud real de separación de columnas, tomando en cuenta las dimensiones de la viga para el cálculo del momento probable considerando el factor  $\alpha: 1.25$  (ACI).

Ya obtenidos los  $M_{pr1}$  y  $M_{pr2}$  se procede al cálculo del corte hiperestático  $V_{p1}$  y  $V_{p2}$ , es así que se escoge el  $V_{p \max}$ .

$$a = \frac{A_s \times \alpha \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \quad (6)$$

$$M_{pr} = A_s \times \alpha \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (7)$$

$$V_p = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} \quad (8)$$

Se considera que el límite de las derivas permitido para estructuras de hormigón armado es  $\Delta_M = 0.02$ . Para el cálculo de límites de la deriva se calculó con la siguiente fórmula

$$\Delta_M = 0.75 \Delta_E \quad (9)$$

## 2.8 Análisis del nodo viga – columna

Consideraciones:

Dimensiones tanto de vigas como columnas.

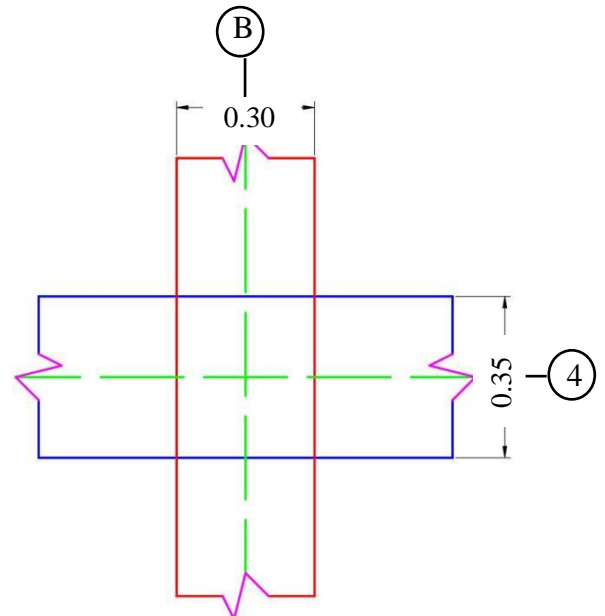
El acero obtenido del cálculo realizado de la viga tanto por flexión y corte, es decir el acero longitudinal como transversal.

Fluencia del acero y la resistencia del hormigón empleado.

Verificación del confinamiento

Considerando el ancho de la columna y de la viga:

| Viga        | Columna     |
|-------------|-------------|
| b: 30.00 cm | b: 30.00 cm |
| h: 35.00 cm | h: 30.00 cm |



**Figura 12.** Esquema de conexión viga, columna Eje B-4. Unidad (m). Fuente Autores.

Ancho de confinamiento de viga izquierda: 30.00 cm y ancho de confinamiento de viga derecha: 30.00 cm. Es decir, el 100 %.

Se comprueba si el porcentaje de confinamiento es menor a 0.75 en este caso la viga es confinante ya que  $1 > 0.75$ .

Se calcula la resistencia al corte del hormigón del nodo en el plano de análisis.

Donde  $b_j$  y  $h_j$  es 30 cm, el valor mínimo del ancho de confinamiento, posterior se calculó un área  $A_j = 30.00 \times 30.00 \text{ cm} = 900.00 \text{ cm}$ .

Se obtiene un valor de corte  $V_c$  utilizando la ecuación 10.

$$V_c = 5.3 \times A_j \times \sqrt{f'_c} \quad (10)$$

Donde el valor de 5.3 es debido a que el nodo es totalmente confinado.

$$V_c = 69124 \text{ kgf}$$

$$\text{Así como un } V_c \text{ diseño} = 0.85 \times V_c$$

$$V_c \text{ diseño} = 58755 \text{ kgf}$$

Se diseño las ligaduras tomando en cuenta el cortante de diseño previamente calculado.

$$V_u = 5850 \text{ kgf}$$

Se realiza una comprobación mediante esta relación expresada en la ecuación 11.

$$\theta V_c > V_u > 0.5 \times \theta V_c \quad (11)$$

### 3. Resultados y Discusión

En la tabla 12 nos muestra el resumen de los resultados del diseño realizado, en los que se puede visualizar el número de pórticos desarrollados con un valor aleatorio de vano, separación entre luces, número de pisos y altura de entrepiso.

Se consideró una carga viva de residencia recomendada por la norma NEC ( $2.00 \text{ kN/m}^2$ ) para entrepiso y ( $1.00 \text{ kN/m}^2$ ) para techo.

Para el dimensionamiento de vigas que resistan las solicitaciones de carga consideradas para el proyecto. con su respectiva cantidad de acero requerido en la viga más crítica de cada estructura.

El criterio que se utilizó en la colocación del acero de refuerzo a flexión, luego de los cálculos, es el de tomar en cuenta los diámetros de varillas de 12.00 mm y 14.00 mm, que son los que se ajustan de mejor manera con los valores de los momentos de diseño que se determinaron en operaciones preliminares, brindando continuidad en la colocación del acero de refuerzo en la estructura.

En el análisis del comportamiento sísmico general de la estructura se comprobó que las derivas inelásticas cumplan con los límites mencionados en la norma NEC-SE-CG, Peligro Sísmico.

$$(\Delta_M < 0.02) \quad (12)$$

**Tabla 12:** Resumen de cálculos obtenidos con respecto al acero de refuerzo a flexión requerido y colocado, junto a las derivas de cada pórtico.

| Pórtico | Vanos | Separ. (cm) | Pisos | Altura (cm) | Vigas bxh (cm) | $A_{s \text{ min}}$ (cm <sup>2</sup> ) | Acero sup (cm <sup>2</sup> )           |  | Acero inf (cm <sup>2</sup> )           |  | Deriva max |
|---------|-------|-------------|-------|-------------|----------------|--|--|--|--|--|------------|
|         |       |             |       |             |                |  | $A_{s \text{ req}}$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_{s \text{ col}}$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_{s \text{ req}}$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_{s \text{ col}}$ (cm <sup>2</sup> ) |            |
| 1       | 4     | 400.00      | 3     | 250.00      | 30X35          | 2.97                                   | 3.00                                   | 3.07                                   | 1.47                                   | 2.26                                   | 0.0080     |
| 2       | 3     | 400.00      | 3     | 260.00      | 30X35          | 2.94                                   | 1.83                                   | 2.26                                   | 0.95                                   | 2.26                                   | 0.0079     |
| 3       | 2     | 400.00      | 2     | 250.00      | 30X25          | 1.93                                   | 0.75                                   | 2.26                                   | 0.38                                   | 2.26                                   | 0.0050     |
| 4       | 3     | 410.00      | 4     | 250.00      | 35X40          | 3.32                                   | 2.77                                   | 3.07                                   | 1.38                                   | 2.26                                   | 0.0158     |
| 5       | 4     | 350.00      | 2     | 250.00      | 35X25          | 2.26                                   | 0.67                                   | 2.26                                   | 0.34                                   | 2.26                                   | 0.0160     |
| 6       | 3     | 300.00      | 2     | 300.00      | 30X35          | 2.94                                   | 1.19                                   | 2.26                                   | 0.59                                   | 2.26                                   | 0.0143     |
| 7       | 3     | 320.00      | 3     | 290.00      | 30X35          | 2.93                                   | 2.27                                   | 3.07                                   | 1.14                                   | 2.26                                   | 0.0166     |
| 8       | 5     | 330.00      | 3     | 270.00      | 30X35          | 2.93                                   | 2.22                                   | 2.26                                   | 1.12                                   | 2.26                                   | 0.0172     |
| 9       | 4     | 300.00      | 4     | 280.00      | 30X35          | 2.94                                   | 2.42                                   | 3.07                                   | 1.30                                   | 2.26                                   | 0.0160     |
| 10      | 4     | 400.00      | 4     | 290.00      | 30X35          | 2.94                                   | 3.39                                   | 4.20                                   | 1.67                                   | 2.26                                   | 0.0088     |
| 11      | 2     | 350.00      | 2     | 300.00      | 30X35          | 2.94                                   | 1.09                                   | 2.26                                   | 0.95                                   | 2.26                                   | 0.0045     |
| 12      | 4     | 425.00      | 2     | 265.00      | 30X35          | 2.94                                   | 3.32                                   | 3.39                                   | 1.64                                   | 2.26                                   | 0.0061     |
| 13      | 3     | 310.00      | 4     | 280.00      | 35X35          | 3.91                                   | 1.71                                   | 2.26                                   | 0.86                                   | 2.26                                   | 0.0046     |
| 14      | 2     | 400.00      | 2     | 225.00      | 30X35          | 2.94                                   | 2.44                                   | 3.07                                   | 1.22                                   | 2.26                                   | 0.0023     |
| 15      | 3     | 465.00      | 4     | 230.00      | 35X40          | 4.60                                   | 4.90                                   | 5.34                                   | 2.73                                   | 3.07                                   | 0.0086     |
| 16      | 5     | 475.00      | 3     | 280.00      | 35X40          | 4.60                                   | 5.34                                   | 5.74                                   | 2.63                                   | 3.07                                   | 0.0091     |
| 17      | 4     | 365.00      | 3     | 225.00      | 30X40          | 3.44                                   | 0.86                                   | 2.26                                   | 0.44                                   | 2.26                                   | 0.0026     |
| 18      | 2     | 395.00      | 4     | 215.00      | 30X40          | 3.44                                   | 2.78                                   | 3.07                                   | 1.40                                   | 2.26                                   | 0.0045     |
| 19      | 4     | 480.00      | 4     | 280.00      | 35X40          | 4.60                                   | 5.95                                   | 6.15                                   | 2.92                                   | 3.07                                   | 0.0103     |
| 20      | 3     | 435.00      | 3     | 225.00      | 30X35          | 2.94                                   | 3.56                                   | 4.20                                   | 1.76                                   | 2.26                                   | 0.0074     |

**Tabla 13:** Resumen del acero colocado en la viga crítica, dimensiones de columnas.

| Acero de la viga |                  |          |          |         |                  |             |          |
|------------------|------------------|----------|----------|---------|------------------|-------------|----------|
| Pórtico          | Columna bxh (cm) | Superior | Inferior | Pórtico | Columna bxh (cm) | Superior    | Inferior |
| 1                | 30x30            | 2Φ14     | 2Φ12     | 11      | 30x30            | 2Φ12        | 2Φ12     |
| 2                | 30x30            | 2Φ12     | 2Φ12     | 12      | 30x30            | 3Φ12        | 2Φ12     |
| 3                | 30x30            | 2Φ12     | 2Φ12     | 13      | 30x35            | 2Φ12        | 2Φ12     |
| 4                | 35x40            | 2Φ14     | 2Φ12     | 14      | 35x35            | 2Φ14        | 2Φ12     |
| 5                | 30x30            | 2Φ12     | 2Φ12     | 15      | 40x40            | 2Φ14 y 2Φ12 | 2Φ14     |
| 6                | 30x30            | 2Φ12     | 2Φ12     | 16      | 35x35            | 3Φ14 y 1Φ12 | 2Φ14     |
| 7                | 35x35            | 2Φ14     | 2Φ12     | 17      | 45x45            | 2Φ12        | 2Φ12     |
| 8                | 30x30            | 2Φ12     | 2Φ12     | 18      | 40x40            | 2Φ14        | 2Φ12     |
| 9                | 35x35            | 2Φ14     | 2Φ12     | 19      | 40x40            | 4Φ14        | 2Φ14     |
| 10               | 40x40            | 2Φ12     | 2Φ12     | 20      | 30x30            | 2Φ14 y 1Φ12 | 2Φ12     |



También se presentan más características fundamentales de cada pódico, como las dimensiones de las vigas diseñadas junto al acero colocado en su parte superior e inferior, dimensiones de columnas, que nos permite el cumplimiento de los límites con respecto a los valores las derivas de piso.

Es importante realizar el diseño por capacidad ya que se debe considerar que, al diseñar la viga con el acero de refuerzo longitudinal, se genera momentos en los extremos de la viga y que provocan fuerzas de corte hiperestáticas

Se cálculo la variación del corte probable  $V_p$  considerando el uso del factor  $\alpha$  recomendado por la norma ACI y el factor obtenido en ensayos. Como lo indica la tabla 14.

**Tabla 14:** Resumen de resultados de diseño a cortante. Unidad (T-m)

| Pódico | Factor ACI | Factor exp | V. diseño (ton) | Diseño por capacidad             |                                  |
|--------|------------|------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|
|        |            |            |                 | Corte probable $V_p$ (ACI) (ton) | Corte probable $V_p$ (exp) (ton) |
| 1      | 1.25       | 1.20       | 5.85            | 2.43                             | 2.34                             |
| 2      | 1.25       | 1.20       | 3.91            | 1.81                             | 1.74                             |
| 3      | 1.25       | 1.20       | 2.01            | 1.81                             | 1.76                             |
| 4      | 1.25       | 1.20       | 6.54            | 2.38                             | 2.19                             |
| 5      | 1.25       | 1.20       | 2.33            | 2.10                             | 2.02                             |
| 6      | 1.25       | 1.20       | 4.40            | 2.48                             | 2.37                             |
| 7      | 1.25       | 1.20       | 5.21            | 3.16                             | 3.03                             |
| 8      | 1.25       | 1.20       | 5.22            | 2.24                             | 2.14                             |
| 9      | 1.25       | 1.20       | 4.88            | 3.39                             | 3.24                             |
| 10     | 1.25       | 1.20       | 5.99            | 3.34                             | 3.20                             |
| 11     | 1.25       | 1.20       | 5.40            | 2.10                             | 2.01                             |
| 12     | 1.25       | 1.20       | 6.37            | 2.50                             | 2.39                             |
| 13     | 1.25       | 1.20       | 5.41            | 2.35                             | 2.75                             |
| 14     | 1.25       | 1.20       | 5.84            | 2.46                             | 2.33                             |
| 15     | 1.25       | 1.20       | 9.18            | 3.67                             | 3.53                             |
| 16     | 1.25       | 1.20       | 9.36            | 3.70                             | 3.56                             |
| 17     | 1.25       | 1.20       | 5.71            | 2.10                             | 2.02                             |
| 18     | 1.25       | 1.20       | 7.27            | 2.53                             | 2.41                             |
| 19     | 1.25       | 1.20       | 9.55            | 3.94                             | 3.79                             |
| 20     | 1.25       | 1.20       | 6.29            | 2.98                             | 2.86                             |

En la tabla 15, 16 y 17 se ha sugerido el acero de refuerzo a colocar, luego de realizado el diseño a cortante de las vigas.

El criterio que se empleó para adoptar el diámetro de acero de refuerzo se basó en optimizar al máximo el área de acero colocado; luego de comparar los resultados obtenidos del área de acero requerido.

No existe una gran diferencia entre estos valores, como se puede visualizar en la tabla, es así que los resultados reflejan una utilización y distribución del acero de refuerzo adecuada.

**Tabla 15:** Resumen de resultados de acero de refuerzo con cortante de diseño.

| <b>Pórtico</b> | <b>Diámetro (cm)</b> | <b>No. estribos extremos</b> | <b>Separación (cm)</b> | <b>No. estribos centrales</b> | <b>Separación (cm)</b> | <b>Area total (cm<sup>2</sup>)</b> |
|----------------|----------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| 1              | 1.40                 | 34                           | 7.35                   | 9                             | 14.70                  | 66.19                              |
| 2              | 1.20                 | 34                           | 7.35                   | 9                             | 14.70                  | 48.63                              |
| 3              | 1.20                 | 50                           | 4.85                   | 9                             | 9.70                   | 66.73                              |
| 4              | 1.40                 | 30                           | 8.60                   | 9                             | 17.20                  | 60.04                              |
| 5              | 1.20                 | 42                           | 4.85                   | 8                             | 9.70                   | 56.55                              |
| 6              | 1.20                 | 24                           | 7.35                   | 7                             | 14.70                  | 35.06                              |
| 7              | 1.20                 | 26                           | 7.35                   | 7                             | 14.70                  | 37.32                              |
| 8              | 1.40                 | 26                           | 7.35                   | 7                             | 14.70                  | 50.80                              |
| 9              | 1.20                 | 24                           | 7.35                   | 7                             | 14.70                  | 35.06                              |
| 10             | 1.40                 | 32                           | 7.35                   | 9                             | 14.70                  | 63.11                              |
| 11             | 1.20                 | 28                           | 7.35                   | 8                             | 14.70                  | 40.72                              |
| 12             | 1.40                 | 36                           | 7.35                   | 9                             | 14.70                  | 69.27                              |
| 13             | 1.40                 | 18                           | 9.85                   | 7                             | 19.70                  | 38.48                              |
| 14             | 1.40                 | 32                           | 7.35                   | 9                             | 14.70                  | 63.11                              |
| 15             | 1.40                 | 32                           | 8.60                   | 10                            | 17.20                  | 64.65                              |
| 16             | 1.40                 | 34                           | 8.60                   | 10                            | 17.20                  | 67.73                              |
| 17             | 1.40                 | 24                           | 8.60                   | 8                             | 17.20                  | 49.26                              |
| 18             | 1.40                 | 28                           | 8.60                   | 9                             | 17.20                  | 56.96                              |
| 19             | 1.40                 | 34                           | 8.60                   | 10                            | 17.20                  | 67.73                              |
| 20             | 1.20                 | 36                           | 7.35                   | 10                            | 14.70                  | 52.02                              |

En la tabla 16 se muestra la cantidad de estribos que se colocó en la viga más crítica considerando las separaciones normativas sugeridas por la norma tanto en los extremos como en la parte central de la misma, con un diámetro de varilla corrugada de Ø 12 y Ø 14 mm.

Se consideró el factor  $\alpha=1.20$  obtenido experimentalmente en los ensayos a tracción para el cálculo de los momentos probables de la viga positivos y negativos para el respectivo cortante hiperestático.

El criterio permite visualizar una diferencia al momento del cálculo, ya que el factor  $\alpha$  experimental es menor al recomendado por la norma ACI. Se consideró para el acero colocado los diámetros de 12.00 mm y 14.00 mm.

**Tabla 16:** Resumen de resultados de acero de refuerzo con cortante por capacidad según factor  $\alpha=1.25$ .

| Pórtico | Diámetro (cm) | No. estribos extremos | Separación (cm) | No. estribos centrales | Separación (cm) | Area total (cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------|-----------------------|-----------------|------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 1       | 1.20          | 34.00                 | 7.35            | 9.00                   | 14.70           | 48.63                         |
| 2       | 1.20          | 34.00                 | 7.35            | 9.00                   | 14.70           | 48.63                         |
| 3       | 1.20          | 50.00                 | 4.85            | 9.00                   | 9.70            | 66.73                         |
| 4       | 1.20          | 30.00                 | 8.60            | 9.00                   | 17.20           | 44.11                         |
| 5       | 1.20          | 42.00                 | 4.85            | 8.00                   | 9.70            | 56.55                         |
| 6       | 1.20          | 24.00                 | 7.35            | 7.00                   | 14.70           | 35.06                         |
| 7       | 1.20          | 26.00                 | 7.35            | 7.00                   | 14.70           | 37.32                         |
| 8       | 1.20          | 26.00                 | 7.35            | 7.00                   | 14.70           | 37.32                         |
| 9       | 1.20          | 24.00                 | 7.35            | 7.00                   | 14.70           | 35.06                         |
| 10      | 1.40          | 32.00                 | 7.35            | 9.00                   | 14.70           | 63.11                         |
| 11      | 1.20          | 28.00                 | 7.35            | 8.00                   | 14.70           | 40.72                         |
| 12      | 1.40          | 36.00                 | 7.35            | 9.00                   | 14.70           | 69.27                         |
| 13      | 1.20          | 20.00                 | 9.00            | 7.00                   | 19.70           | 30.54                         |
| 14      | 1.40          | 32.00                 | 7.35            | 9.00                   | 14.70           | 63.11                         |
| 15      | 1.40          | 32.00                 | 8.60            | 10.00                  | 17.20           | 64.65                         |
| 16      | 1.40          | 34.00                 | 8.60            | 10.00                  | 17.20           | 67.73                         |
| 17      | 1.40          | 24.00                 | 8.60            | 8.00                   | 17.20           | 49.26                         |
| 18      | 1.40          | 28.00                 | 8.60            | 9.00                   | 17.20           | 71.27                         |
| 19      | 1.40          | 34.00                 | 8.60            | 10.00                  | 17.20           | 67.73                         |
| 20      | 1.20          | 36.00                 | 7.35            | 10.00                  | 14.70           | 52.02                         |

En el diseño a capacidad de la viga se procedió a utilizar el factor de endurecimiento por tracción recomendado por la norma ACI. Y con los resultados obtenidos se calculó la cantidad de acero que necesita a cortante para una adecuada eficiencia del elemento.

En la tabla 17 refleja la cantidad de estribos que se colocó en la viga más crítica considerando las con un diámetro de varilla corrugada de Ø 12 y Ø 14 mm. Tomando en cuenta el valor de cortante por capacidad obtenido con la ayuda de los momentos probables en ambos lados de la viga diseñada.

**Tabla 17:** Resumen de resultados de acero de refuerzo con cortante por capacidad según factor  $\alpha=1.20$  experimental.

| Pórtico | Diámetro (cm) | No. estribos extremos | Separación (cm) | No. estribos centrales | Separación (cm) | Area total (cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------|-----------------------|-----------------|------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 1       | 1.20          | 34.00                 | 7.35            | 9.00                   | 14.70           | 48.63                         |
| 2       | 1.20          | 34.00                 | 7.35            | 9.00                   | 14.70           | 48.63                         |
| 3       | 1.20          | 50.00                 | 4.85            | 9.00                   | 9.70            | 66.73                         |
| 4       | 1.20          | 30.00                 | 8.60            | 9.00                   | 17.20           | 44.11                         |
| 5       | 1.20          | 42.00                 | 4.85            | 8.00                   | 9.70            | 56.55                         |
| 6       | 1.20          | 24.00                 | 7.35            | 7.00                   | 14.70           | 35.06                         |
| 7       | 1.20          | 26.00                 | 7.35            | 7.00                   | 14.70           | 37.32                         |
| 8       | 1.20          | 26.00                 | 7.35            | 7.00                   | 14.70           | 37.32                         |
| 9       | 1.20          | 24.00                 | 7.35            | 7.00                   | 14.70           | 35.06                         |
| 10      | 1.40          | 32.00                 | 7.35            | 9.00                   | 14.70           | 63.11                         |
| 11      | 1.20          | 28.00                 | 7.35            | 8.00                   | 14.70           | 40.72                         |
| 12      | 1.40          | 36.00                 | 7.35            | 9.00                   | 14.70           | 69.27                         |
| 13      | 1.20          | 20.00                 | 9.00            | 7.00                   | 19.70           | 30.54                         |
| 14      | 1.40          | 32.00                 | 7.35            | 9.00                   | 14.70           | 63.11                         |
| 15      | 1.40          | 32.00                 | 8.60            | 10.00                  | 17.20           | 64.65                         |
| 16      | 1.40          | 34.00                 | 8.60            | 10.00                  | 17.20           | 67.73                         |
| 17      | 1.40          | 24.00                 | 8.60            | 8.00                   | 17.20           | 49.26                         |
| 18      | 1.40          | 28.00                 | 8.60            | 9.00                   | 17.20           | 71.27                         |
| 19      | 1.40          | 34.00                 | 8.60            | 10.00                  | 17.20           | 67.73                         |
| 20      | 1.20          | 36.00                 | 7.35            | 10.00                  | 14.70           | 52.02                         |

## 4. Conclusiones

Después de ensayar a tracción 63 probetas de varilla corrugada de diferentes diámetros a fin de determinar su factor de endurecimiento y la influencia en el diseño a cortante por capacidad de vigas se puede concluir:

En el ensayo a tracción de las varillas corrugadas se evidenció una diferencia del valor del factor  $\alpha$  de acuerdo con el tipo de acero de refuerzo ensayado, termotratado o microaleado.

En el desarrollo del ensayo a tracción el factor Alpha ( $\alpha_1$ ) obtenido experimentalmente, resultó ser menor al factor recomendado por la norma ACI ( $\alpha_{norma}=1.25$ ). En las varillas de diámetro  $\varnothing=8.00$  mm es  $\alpha_{prom}=1.16$ , en el  $\varnothing=14.00$  mm es  $\alpha_{prom}=1.23$ , en el  $\varnothing=16.00$  mm es  $\alpha_{prom}=1.21$ ,  $\varnothing=18.00$  mm es  $\alpha_{prom}=1.20$ , en el  $\varnothing=20.00$  mm es  $\alpha_{prom}=1.13$ .

El acero de refuerzo que se comercializa en la ciudad ha demostrado tener propiedades que pueden solventar las sollicitaciones de las estructuras a diseñar y que cumplen con normativa ASTM A706 y NTE INEN 2167.

Al finalizar el análisis de los pórticos generados aleatoriamente, se pudo notar que, considerando el valor de Alpha experimental nos refleja un cortante hiperestático menor al que se obtendría con el factor recomendado por la norma ACI. Lo cual produce una reducción del valor del cortante de diseño de la viga estudiada.

En el pórtico tomando como referencia, se analizó los nodos de la conexión de la viga más crítica y la columna, justificando que no se necesita acero de refuerzo a cortante adicional en la conexión. Por lo tanto, se coloca el mismo acero de la columna. Este procedimiento se lo aplico en todos los pórticos.

Se puede ampliar como futuras líneas de investigación el estudio del efecto del factor de endurecimiento por tracción en el diseño a cortante en vigas en edificios con irregularidades en planta y altura, para de esta manera abarcar todas las tipologías estructurales.

Para un estudio complementario del factor Alpha realizando se podría realizar una campaña experimental similar a la implementada en esta

investigación con varillas corrugadas importadas al país.

## Referencias

- [1] T. Flores, “Estudio del control de rotulas plásticas en pórticos de concreto armado.” Tesis de posgrado, Pontifica Universidad Católica del Perú, 2003.
- [2] N. Salas, “Diseño por capacidad”, 2013, Guía de estudio, Obtenido de UDocz: <https://www.udocz.com/apuntes/71066/disenopor-capacidad>.
- [3] E. Hernández, “Guia de aplicación porticos resistentes a momento”, web, <http://www.inesa-adiestramiento.com/>
- [4] P. Perles “Tema de estructuras especiales”, Buenos Aires, Argentina, 2012, pp 115.
- [5] J. Barros, H. Santa María, “Criterio columna fuerte viga débil en edificios de baja altura”, Artículo de investigación, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Ecuador, Universidad Católica de Chile. Chile, 2015
- [6] Comité ACI 352R-02, “Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures” (ACI-ASCE Committee 352), American Concrete Institute, Farmington Hills, ASTM West Conshohocken
- [7] Comité ACI 318, “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318R-19), (Versión en español y en unidades usuales en USA)”, 1a impresión., 2019, capítulo 20, pp 345
- [8] Comité ACI 318, “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318R-19), (Versión en español y en unidades usuales en USA)”, 1a impresión., 2019, capítulo 18, pp 280.

- [9] Comité ACI 352R-02, “Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures” (ACI-ASCE Committee 352), American Concrete Institute, Farmington Hills, ASTM West Conshohocken.
- [10] J. Ortega, “Diseño de Estructuras de Concreto Armado Tomo I”, 1a ed., vol.1, Ed. Macro EIRL, Perú, 2014, pp. 31.
- [11] Harmsem, “Diseño de estructuras de concreto armado”, Quinta edición, Ed Fondo, Perú, 2018.
- [12] F. Lamus, “Concreto Reforzado Fundamentos”, 1a ed., Ed. ECOE, Bogotá, 2015, pp. 42.
- [13] P. Roldós, B, “Implementación de conexiones calificadas viga-columna en pórticos no arriostrados especiales de acero resistentes a momento en el Ecuador.” Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. 2012. pp.19.
- [14] A. Latacunga, “Tipos de aceros (varillas) que existen y se comercializan en el Ecuador”, Investigación académica, Universidad Nacional de Chimborazo, 2019, Ecuador, web Universidad Nacional DE Chimborazo - TIPOS DE ACERO (VARILLAS) QUE EXISTEN Y SE COMERCIALIZAN EN EL - Studocu
- [15] J. Saquina, D, “Caracterización y comprobación de las propiedades mecánicas y químicas de las varillas de acero corrugadas al ser empalmadas mediante soldadura para los diámetros 20,25 y 32 mm.” Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Quito, Ecuador. 2015. pp.38,39
- [16] C. Naranjo, H. Ojeda, D. Saquina, “Evaluación de la condición de sismoresistencia y soldabilidad de varillas de refuerzo de concreto enteras y al ser empalmadas mediante soldadura” Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador, 2015.
- [17] C. Nieto, H. Pérez, “Uso de las varillas de alta resistencia (Grado 80) en la construcción de edificios mediante sistemas estructurales duales” Proyecto de pregrado, Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 2015.
- [18] Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), “Ensayo de Tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente”, 1a ed., NTE INEN 109:2009, Ed. INEN, Ecuador, 2009, pp. 19.
- [19] Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), “Cargas Sísmicas, Diseño sismorresistente”, 1a ed., NEC-SE-DS, Ecuador.
- [20] Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), “Varillas corrugadas y lisas de acero al carbono laminadas en caliente, soldables, microaleadas o termotratadas, para hormigón armado. requisitos”, 1a ed., NTE INEN 2167, Ed. INEN, Ecuador, 2017. pp 8.
- [21] Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), “Varillas corrugadas y lisas de acero al carbono laminadas en caliente para hormigón armado requisitos”, NTE INEN 102, Ed. INEN, Ecuador, 2017, pp. 4.
- [22] C. Villavicencio, A, “Diseño y optimización del sistema de producción: proceso de fabricación de la varilla de acero de la empresa ANDEC S.A.” Tesis de grado, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2014.
- [23] Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), “Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015”, Ecuador, 2016, pp. 33.

## Simbología

$f'_c$ : Resistencia especificada a la compresión del hormigón ( $\text{kgf/cm}^2$ ).

$f_y$ : Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo no preesforzado ( $\text{kgf/cm}^2$ ).

$f_u$ : Modulo de resistencia ultima a la fluencia del hormigón.

$f_r$ : Módulo de ruptura del hormigón.

$R_{yr}$ : Punto que representa la fluencia real en la gráfica esfuerzo deformación del acero.

$R_{ye}$ : Punto que representa la fluencia especificada en norma, en la gráfica esfuerzo deformación del acero.

$\epsilon_y$ : Deformación en la zona elástica.

$\epsilon_r$ : Ultima deformación en la zona de extrusión.

$\epsilon_u$ : Última deformación en la zona de endurecimiento.

$M_{pr}$ : Momento Probable por cortante en las caras externas de la viga.

$A_s$ : Es el acero a tracción real colocado en la viga.

$\alpha$ : Nomenclatura utilizada para expresar el factor de endurecimiento por tracción.

$d$ : Distancia desde la fibra comprimida al centroide de la varilla.

$a$ : Área rectangular limitada por los bordes de la sección y recta paralela al eje neutro.

$\emptyset$ : Diámetro de la varilla de acero corrugada.

$Z$ : Factor de zona.

$I$ : Coeficiente de importancia.

$R$ : Factor de reducción de resistencia sísmica.

$r$ : Factor de ubicación geografía del proyecto

$\eta$ : Relación de amplificación espectral.

$C$ : Coeficiente de acuerdo con el tipo de estructura.

$F_a$ : Amplificación de suelo en zona de periodo corto.

$F_d$ : Amplificación ordenadas espectro elástico respuesta desplazamiento.

$F_s$ : Comportamiento no lineal de los suelos.

$T$ : Periodo fundamental de vibración de la estructura (s).

$T_c$ : Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño (s).

$T_L$ : Espectro de respuesta en desplazamientos (s).

$T_O$ : Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa sismo diseño (s).

$q_p$ : Factor de irregularidad en planta.

$q_E$ : Factor de irregularidad en elevación.

$S_a$ : Aceleración espectral.

$\Delta_e$ : Deriva elástica máxima.

$V$ : Cortante basal total de diseño.

$V_u$ : Cortante último.

$b$ : Base de la viga (cm).

$h$ : Altura de la viga (cm).

$CM$ : Carga muerta total.

$D$ : Carga muerta.

$L$ : Carga viva.

$S$ : Carga de granizo.

$R$ : Carga de lluvia.

$S_X$ : Sismo en dirección "X".

$S_Y$ : Sismo en dirección "Y".

$M_u$ : Momento ultimo.

$A_{s \text{ req}}$ : Área de acero requerido.

$A_{s \text{ min}}$ : Área de acero mínima.

$A_{s \text{ max}}$ : Área de acero máxima.

$A_{s \text{ col}}$ : Área de acero colocada.

$\beta$ : factor que relaciona la profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro.

$\rho$ : Cuantía del refuerzo  $A_s$  evaluada sobre el área

$\rho_b$ : Cuantía balanceada del refuerzo.

$\Delta_M$ : Deriva máxima inelástica.

$\Delta_E$ : Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales.

$V_p$ : Cortante hiperestático.

$V_{p1}$ : Cortante hiperestático 1.

$V_{p2}$ : Cortante hiperestático 2.

$L_n$ : Longitud efectiva del elemento.

$h_n$ : Altura máxima de la edificación.

$M_{\text{max}}$ : Momento máximo en el diseño a flexión.

$A_j$ : Área de acero efectiva del nodo

$\alpha_{\text{exp}}$ : Factor Alpha obtenido experimentalmente.

$\alpha_{\text{norma}}$ : Factor Alpha recomendado por noma ACI.

$\alpha_1$ : Factor Alpha para el diseño normal sin rótula plásticas.

$\alpha_2$ : Factor Alpha para el diseño considerando rótula plástica.