

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

## **Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñadas con la norma ACI 318 – 14 empleando redes neuronales artificiales**

Por:

Yino Waldir Chata Llatasi

Asesor:

Ing. Juana Beatriz Aquise Pari

**Juliaca, marzo de 2019**

## DECLARACION JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS


Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "PREDICCIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE A CORTANTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA DISEÑADAS CON LA NORMA ACI 318 – 14 EMPLEANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES" constituye la memoria que presenta el bachiller Yino Waldir Chata Llatasi para aspirar al título Profesional de Ingeniero Civil ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los veinte días del mes de noviembre del año dos mil dieciocho.



---

Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari

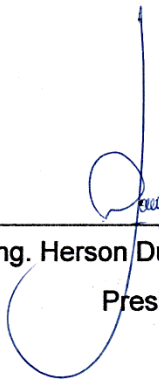
Asesora

Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñadas con la norma ACI 318 – 14 empleando redes neuronales artificiales

# TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

## JURADO CALIFICADOR



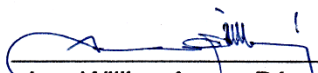
---

Ing. Herson Duberly Pari Cusi  
Presidente



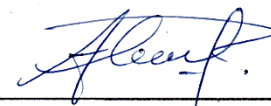
---

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona  
Secretaria



---

Ing. Willian Apaza Pérez  
Vocal



---

Ing. Percy Armando Cota Mayorga  
Vocal



---

Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari  
Asesora

Juliaca, 21 de marzo de 2019

## **DEDICATORIA**

*A mis padres y hermanas por ser autores de mi formación con sus constantes consejos y motivaciones hacia mi persona.*

*A mis amigos y amigas que me motivaron a terminar este trabajo de investigación*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Primer lugar doy gracias a Dios por haberme dado el tiempo necesario para realizar este trabajo, por haberme permitido conocer a muchas personas que colaboraron conmigo para hacer de uno de mis sueños una realidad y porque en todo momento estuvo conmigo.*

*A mis padres y hermanas por ser el soporte económico y emocional de mi persona.*

*A la Universidad Peruana Unión por la formación profesional brindada.*

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
NOTACIONES.....	xiv
RESUMEN.....	xv
<b>CAPITULO I: EL PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES RESISTENTES .....	23
2.2.1. MATERIAL DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	24
2.2.2. ESFUERZO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	24
2.2.3. RIGIDEZ DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	25
2.3 VIGAS .....	25
2.4 VIGAS DE GRAN ALTURA .....	25
2.5 COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE GRAN ALTURA .....	29
2.6 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA AL CORTE DE VIGAS.....	30
2.7 RESISTENCIA AL CORTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA .....	37
2.8 ECUACIONES DE CORTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA.....	38
2.9 ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGAS DE GRAN ALTURA SEGÚN ACI 318-14 ....	41
2.10 REDES NEURONALES ARTIFICIALES: ASPECTOS GENERALES .....	44

2.11	REDES NEURONALES ARTIFICIALES.....	45
2.12	ESTRUCTURA DE LA REDES NEUROLOGICAS ARTIFICIALES .....	46
2.13	FUNCIONES DE ACTIVACIÓN Y SALIDA.....	49
2.14	HERRAMIENTA DE APLICACIÓN .....	51
2.15	PARÁMETROS DE LA RED.....	51
	<b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>53</b>
3.1	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	53
3.1.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.1.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	53
3.1.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	54
3.2	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	55
3.2.1	HIPÓTESIS GENERAL .....	55
3.2.2	HIPÓTESIS ESPECIFICAS.....	55
3.3	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....	55
3.3.1	VARIABLES INDEPENDIENTES .....	55
3.3.2	VARIABLES DEPENDIENTES.....	55
3.4	OPERALIZACIÓN DE VARIABLES.....	56
3.5	ETAPAS Y DESARROLLO DEL DISEÑO DE EXPERIMENTO .....	57
3.6	RECURSOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	59
3.7	LUGAR DE EJECUCIÓN .....	59
3.8	UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA .....	59
3.9	PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS: .....	60
3.10	METODOLOGIA DE DISEÑO DE LA RED NEURONAL.....	65
3.11	DISEÑO DE UNA RED NEURONAL.....	66
3.12	VALIDACIÓN DEL MODELO DE LA RED NEURONAL: .....	70
	<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>73</b>
4.1	RESULTADOS DEL ENSAYO DE LAS VIGAS DE GRAN ALTURA .....	73
4.1.1	MODELO DE VIGA 01 (SIN REFUERZO A CORTE) .....	73

4.1.2	MODELO DE VIGA 02 (CON REFUERZO A CORTE) .....	74
4.2	PREDICCIÓN DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES: .....	76
4.2.1	EVALUACIÓN DE LAS VIGAS PROPUESTAS.....	77
4.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS .....	79
4.4	METODOLOGIA DE DISEÑO CON RNA EN VIGAS DE GRAN ALTURA .....	83
4.5	PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	84
4.6	PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	84
4.6.1	PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECIFICA DE INVESTIGACIÓN .....	85
4.6.2	PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	89
4.6.3	PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECIFICA DE INVESTIGACIÓN .....	91
	<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>95</b>
5.1	CONCLUSIONES.....	95
5.2	RECOMENDACIONES .....	97
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>103</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de resultados y objetivos en diferentes estructuras de red. ....	21
Tabla 2. vigas de gran altura vs vigas ordinarias .....	29
Tabla 3. Red neuronal biológica vs red neuronal artificial .....	46
Tabla 4. Variables de estudio.....	56
Tabla 5. Operacionalización de Variables de estudio.....	57
Tabla 6. Estadística descriptiva de la base de datos recopilada .....	62
Tabla 7. Correlaciones de acuerdo a las redes Neuronales Propuestas .....	68
Tabla 8. Detalles geométricos y de material de la viga sin refuerzo a cortante .....	73
Tabla 9. Resultados de los ensayos de las vigas sin refuerzo a cortante.....	74
Tabla 10. Detalles geométricos y de material de la viga con refuerzo a cortante .....	75
Tabla 11. Resultados de los ensayos de las vigas con refuerzo a cortante.....	76
Tabla 13. Resultados obtenidos de las predicciones de las redes neuronales.....	79
Tabla 14. Resultados de las vigas de gran altura sin refuerzo a cortante.....	79
Tabla 15. Resultados de las vigas de gran altura con refuerzo a cortante .....	80
Tabla 16. Análisis de las fuerzas pronosticadas.....	86
Tabla 17. Análisis estadístico de las fuerzas pronosticadas.....	88
Tabla 18. Análisis estadístico de las correlaciones de redes neuronales .....	90
Tabla 18. Relación fuerzas por las ecuaciones y las redes neuronales .....	92
Tabla 19. Análisis estadístico de relación fuerzas para la validación de la hipótesis ...	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Detalle de vigas de gran altura y/o transferencia en una edificación .....	17
Figura 2. Porcentaje de fallas según el tipo de elemento estructural.....	17
Figura 3. Entrenamiento de la red neuronal con una correlación al 0.90 (90%) .....	22
Figura 4. Comparación de la resistencia al corte predicha .....	23
Figura 5. Esfuerzos ocurridos en elementos estructurales .....	24
Figura 6. Detalles de una viga .....	25
Figura 7. Viga de gran altura simplemente apoyada donde la relación. ....	26
Figura 8. Viga de gran altura continua cuya relación $L_n / H$ es menor que 2.5.....	26
Figura 9. Criterios de la normativa ACI 318-14 .....	27
Figura 10. Criterios de la normativa ACI 318-14 con vigas de gran altura.....	28
Figura 11. Viga de gran altura según los criterios de Niranján & Patil (2012).....	29
Figura 12. Diferencia entre (a) Viga de gran altura y (b) Viga Ordinaria .....	30
<i>Figura 13. Variación del esfuerzo cortante con relación <math>a / d</math>.....</i>	<i>31</i>
Figura 14. Viga de gran altura con fuerzas de momento con la relación $a/d$ .....	32
Figura 15. Efecto de la relación entre el intervalo de corte y la altura ( $a/d$ ) .....	32
Figura 16. Efecto de la relación entre el intervalo de corte y la altura ( $a/d$ ) .....	33
Figura 17. Efecto de la resistencia a la compresión del concreto .....	34
Figura 18. Efecto del peralte del miembro en la resistencia al corte.....	35
Figura 19. Efecto del peralte del miembro en la resistencia al corte.....	35
Figura 20. Patrón típico de grietas de vigas de gran altura con dos puntos de carga..	37
Figura 21. Efecto del refuerzo de flexión sobre la resistencia al corte.....	37
Figura 22. Falla por Corte y Flexión de una viga de gran altura .....	38
Figura 23. El significado de los símbolos en la fórmula propuesta .....	39
Figura 24. Forma general de una neurona.....	45
Figura 25. Comparación de una Red Neuronal Biológica y una RNA.....	47
Figura 26. Esquema de funcionamiento de una RNA.....	48
Figura 27. Función de Transferencia Escalón .....	49
Figura 28. Función de Transferencia Escalón Simétrica .....	50
Figura 29. Función de Transferencia Lineal .....	50
Figura 30. Función de Transferencia Logarítmica Sigmoidal.....	51
Figura 31. Herramienta de aplicación para el diseño de la red neuronal .....	51
Figura 32. Esquema De Una Red Neuronal Multi Layer Perceptron (MLP).....	52
Figura 33. Proceso de trabajo de un trabajo con enfoque Cuantitativo .....	53
Figura 34. Nivel de Investigación según el enfoque cuantitativo .....	54

Figura 35. Tipo de Investigación descriptiva-comparativa .....	54
Figura 36. Primera Etapa del diseño del experimento.....	57
Figura 37. Segunda etapa del diseño del experimento .....	58
Figura 38. Tercera etapa del diseño del experimento .....	58
Figura 39. Detalle del universo, población y muestra.....	60
Figura 40. Detalle de las vigas de gran altura de en la base de datos .....	61
Figura 41. Criterio de selección de la datos para las redes neuronales .....	61
Figura 42. Frecuencia de valores de h(mm) de la base de datos.....	62
Figura 43. Frecuencia de valores de d(mm) de la base de datos.....	63
Figura 44. Frecuencia de valores de b(mm) de la base de datos.....	63
Figura 45. Frecuencia de valores de a/d de la base de datos .....	64
Figura 46. Frecuencia de valores de f'c (Mpa) de la base de datos .....	64
Figura 47. Filosofía del entrenamiento de redes neuronales artificiales .....	65
Figura 48. Diagrama de flujo del proceso de entrenamiento de la red neuronal.....	66
Figura 49. Esquema de datos y capas de la red neuronal artificial.....	66
Figura 50. Datos de entrada de la red neuronal artificial para vigas de gran altura .....	67
Figura 51. Datos de Salida de la red Neuronal para vigas de gran altura.....	67
Figura 52. Porcentaje de utilización de datos de entrada en una red neuronal .....	68
Figura 53. Parametros de Entrenamiento establecidos por Flores (2014).....	69
Figura 54. Correlación de la Red neuronal de arquitectura (12 x 12 x 1 x 1).....	70
Figura 55. Validación del modelo de red neuronal con validación cruzada. ....	71
Figura 56. Validación de la red Neuronal con una correlación al 97.74%.....	72
Figura 57. Detalle de la viga de gran altura del modelo 01 sin refuerzo a corte .....	73
Figura 58. Detalle del modelo de ensayo aplicado a las vigas de gran altura .....	74
Figura 59. Detalle de la viga de gran altura del modelo 02 con refuerzo a corte .....	75
Figura 60. Red neuronal "network1" exportada al workspace .....	76
Figura 61. Predicciones de las vigas (Viga 01, 02 y 03).....	77
Figura 62. Predicciones de las vigas (Viga 04 y 05).....	78
Figura 63. Predicciones de las vigas (V1, V2 Y V3 de Londhe,2010).....	78
Figura 64. Comportamiento de las predicciones de la resistencia al corte .....	81
Figura 65. Comportamiento de la relación a/d con la capacidad de corte de la viga ...	81
Figura 66. Contribución del concreto a la resistencia de la cortante en vigas .....	82
Figura 67. Contribución de la cuantía (Área de acero Longitudinal).....	82
Figura 68. Contribución de la cuantía vertical (estribos).....	83
Figura 69. Propuesta de una metodología de diseño de vigas de gran altura .....	84
Figura 70. Intervalo de confianza del 95%, para la validación de la hipótesis .....	87

Figura 71. Intervalo de confianza del 95%, para la validación de la hipótesis .....	88
Figura 72. Intervalo de confianza del 95, para la validación de la hipótesis .....	90
Figura 73. Intervalo de confianza del 95%, para la validación de la hipótesis .....	93
Figura 74. Intervalo de confianza del 95%, para la validación de la hipótesis .....	94

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Entrenamiento de red neuronal artificial .....	103
Anexo B. Ensayo de vigas de gran altura .....	113
Anexo C. Código Fuente de la Red Neuronal .....	120
Anexo D. Base de Datos de Vigas .....	122
Anexo E. Estudio de Cantera Unocolla .....	127
Anexo F. Diseño de Vigas de gran Altura .....	134
Anexo G. Protocolos de Seguridad en el proceso de armado de las vigas .....	145
Anexo H. Planos de la viga de gran altura .....	151
Anexo I. Pruebas de Esclerometría.....	153

## NOTACIONES

$a$	: Distancia de corte (mm)
$a_v$	: Distancia de una sección del soporte (mm)
$A_s$	: Área de acero longitudinal principal (mm <sup>2</sup> )
$A_v$	: Área de acero vertical (mm <sup>2</sup> )
$A_h$	: Área de acero horizontal (mm <sup>2</sup> )
$b_w$	: Base de la viga (mm)
$d$	: Peralte de la viga (mm)
$M_u$	: Momento de flexión
$V_u$	: Resistencia al corte ultima (KN)
$V_c = V_n$	: Resistencia nominal de corte calculada del concreto (KN)
$V_s$	: Contribución a la resistencia del corte del acero (KN)
$V$	: Resistencia al corte total (KN)
$s_h$	: Distancia de las barras de acero horizontal (mm)
$s_v$	: Distancia de las barras de acero vertical (mm)
$p_t$	: Cuantía horizontal del acero (%)
$\rho_v$	: Cuantía vertical del acero (%) ( $A_v / (bs_v)$ )
$\rho_l$	: Cuantía longitudinal del acero (%) ( $100A_s / (bd)$ )
$f_c'$	: Resistencia a compresión cilíndrica del concreto (MPa)
$f_y$	: Resistencia a fluencia del acero (MPa)
$h$	: Altura de la viga (mm)
$l_n$	: Distancia de cara a cara de los soportes (mm)
$f_{ck}$	: Características de resistencia a la compresión del concreto
$f_{cu}$	: Resistencia a compresión cubica del concreto (MPa)

## RESUMEN

El problema de la falla por corte en vigas de gran altura se ha estudiado ampliamente y muestran que no existe un procedimiento racional para predecir la resistencia al corte, además de varias ecuaciones ninguna de ellas produce un resultado exacto. Con el avance de la tecnología y la inteligencia artificial, tales como las redes neuronales artificiales se puede predecir la resistencia al corte de las vigas de gran altura a través de los parámetros más influyentes en la resistencia al corte, para proveer mayor confiabilidad para futuros diseños. La red neuronal artificial estuvo compuesta por una capa de entrada de datos, una capa de procesamiento de información, una capa de activación y una capa de salida que representa la resistencia al corte de la viga. Se recolectó 519 resultados experimentales de vigas de varias investigaciones, las cuales sirvieron para el entrenamiento, validación y prueba de la red neuronal. La red neuronal entrenada, se utilizó para el contraste de la predicción de la red neuronal y por la norma ACI 318 -14 y para evaluar el efecto de los parámetros de entrada. Los estudios demuestran que la relación promedio entre la resistencia al corte experimental y el estimado por las redes neuronales fue de 1.09%, mientras que la relación promedio de la resistencia al corte experimental y el estimado por la norma ACI fue de 1.38%, mostrando así que la predicción de las redes neuronales tiene mayor semejanza a los valores reales de ensayo.

**Palabras clave:** Red neuronal; resistencia al corte; vigas de gran altura; predicción

## ABSTRACT

The problem of shear failure in deep beams has been studied extensively and show that there is no rational procedure to predict the resistance to the cut, in addition to several equations none of them produces an exact result. With the advancement of technology and artificial intelligence, such as artificial neural networks, the shear strength of high-beams can be predicted through the most influential parameters in shear strength, to provide greater reliability for future designs. The artificial neural network was composed of a data entry layer, an information processing layer, an activation layer and an output layer that represents the beam's cut resistance. We collected 519 experimental results of beams from several investigations, which were used for the training, validation and testing of the neural network. The trained neural network was used to contrast the prediction of the neural network and by the ACI 318-14 standard and to evaluate the effect of the input parameters. Studies show that the average relationship between experimental cut resistance and that estimated by neural networks was 1.09%, while the average ratio of experimental cut resistance and that estimated by the ACI standard was 1.38%, thus showing that the prediction of neural networks has greater similarity to the real test values.

**Keywords:** Neural network; resistance to shear; deep beam; prediction.

## CAPITULO I: EL PROBLEMA

### 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Dentro de los elementos estructurales de los grandes proyectos de ingeniería como la construcción de edificios se encuentran las vigas de transferencia y/o vigas de gran altura. Se emplean cuando la arquitectura no te deja proyectar elementos verticales (columnas o muros). Pero este elemento estructural es muy susceptible a sufrir fallas por corte producidas por el sismo y por las sobrecargas no establecidas en el diseño.

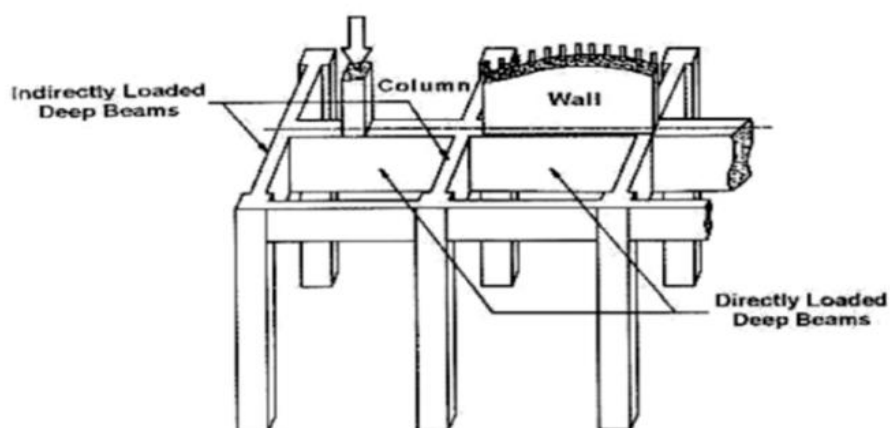


Figura 1. Detalle de vigas de gran altura y/o transferencia en una edificación (Lafta & Ye, 2016).

Según el Grupo Especial del Hormigón (1992), mencionan que los elementos estructurales más susceptibles a fallar frente a un evento sísmico y sobrecargas son las vigas. Una de las fallas que afectan a las vigas es la falla por corte más conocida como falla a tensión diagonal.

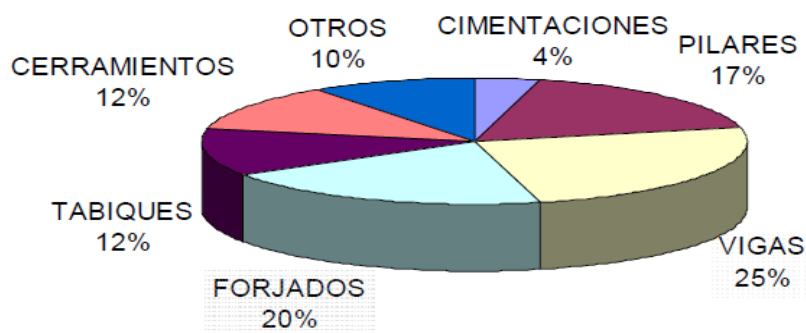


Figura 2. Porcentaje de fallas según el tipo de elemento estructural en un evento sísmico (GEHO, 1992).

Según Regan (1993), menciona que el problema de la corte en el concreto armado se ha estudiado extensamente durante aproximadamente un siglo. Y, sin embargo, no existe un procedimiento racional para predecir la resistencia al corte. Además de varias ecuaciones existentes, ninguna de ellas produce un resultado preciso.

La falla por corte en una viga es muy peligrosa frente a eventos sísmicos y sobrecargas, ya que su comportamiento frente a fuerzas mayores, su rotura es inmediata y muy brusca poniendo en peligro la integridad de las personas. Los diversos parámetros que afectan la resistencia al corte en vigas, nos llevan a una intuición limitada de su estimación de la fuerza.

Las vigas por lo general deben tener un margen de seguridad adecuado contra los diferentes modos de fallas. Para mejorar la resistencia al corte, en ocasiones se sobredimensiona la viga y el área del acero, lo que trae incremento en el costo y grandes elementos estructurales que pueden ocasionar fallas frágiles.

Ashour, et al (2003) mencionó que las comparaciones entre los resultados experimentales y las predicciones de otros códigos, como el ACI, muestran una desviación en la predicción de la resistencia máxima al corte. Por lo tanto, el autor cree que todavía existe una gran necesidad de introducir la capacidad de predecir la resistencia máxima al corte de las vigas profundas de otros modelos.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La gran cantidad de investigaciones llevadas a cabo en el estudio de vigas de gran altura demuestran que no hay un procedimiento racional para investigar la fuerza de cortante en vigas de concreto armado. Esto se debe principalmente al comportamiento altamente no lineal asociado con la falla del concreto en las vigas de gran altura.

Las estructuras que en sus componentes tienen vigas de gran altura, necesitan una metodología de diseño donde se pueda estimar la resistencia al corte con gran exactitud, para tener estructuras más seguras y más resistentes a eventos catastróficos (e.g. sismos, huracanes, etc.). Es así que el uso de las Redes Neuronales Artificiales a través de parámetros influyentes en la falla por cortante puede predecir la resistencia máxima por cortante, mostrándonos valores más exactos y a su vez proveen mayor confiabilidad para futuros diseños.

Con el avance de las computadoras personales y la difusión de las Tecnologías de Inteligencia Artificial (TIAs) tal como las Redes Neuronales Artificiales (RNAs), es posible

predecir la respuesta de estructuras sometidas a cargas, modelar su comportamiento. Además, en años recientes se ha demostrado que la utilización de Redes Neuronales Artificiales puede ayudar a predecir mejor la respuesta de estas estructuras que los métodos convencionales. (Jara, 2013)

Las redes neuronales artificiales son uno de los métodos de inteligencia artificial, se utilizan ampliamente para aproximar sistemas complejos que son difíciles de modelar utilizando técnicas de modelado convencionales, como el modelado matemático. Se aplican en varios problemas de ingeniería civil, como estructurales, geotécnicos, de gestión, etc.

Con el fin de predecir y mitigar los efectos del problema de cortante y administrar eficazmente los esfuerzos de mantenimiento, se tiene como una prioridad, por tanto, diseñar e implementar una metodología que permita extender la vida útil de la estructura a estudiar con las Redes Neuronales Artificiales.

Se estudiará y determinará el comportamiento de la viga y la contribución de las Redes Neuronales Artificiales en el análisis de las estructuras, por ello se analizarán secciones de vigas de concreto armado sometidas a cargas según normativa ASTM. Se presentarán modelaciones de vigas con la finalidad de realizar análisis comparativos y determinar ventajas y desventajas del uso de las Redes Neurológicas Artificiales dentro de la Ingeniería Civil.

### **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **A. OBJETIVO PRINCIPAL**

- Desarrollar una metodología para determinar la fuerza de corte de las vigas de gran altura utilizando las Redes Neurológicas Artificiales.

#### **B. OBJETIVO ESPECIFICOS**

- Identificar y analizar los parámetros que son influyentes en la falla por corte en una viga de gran altura.
- Desarrollar un modelo de una red neuronal artificial con una base de datos de ensayos realizados en vigas de gran altura diseñados con la norma ACI 318, que pueda predecir la resistencia al corte de vigas de gran altura.

- Contrastar y analizar la fuerza pronosticada de las vigas de gran altura usando Redes Neuronales Artificiales y los calculados a partir de las ecuaciones ACI 318-14 con el valor obtenido en los ensayos.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Hyeok Yang, Ashraf F. , & Song (2007) en su investigación “Shear capacity of reinforced concrete beams using neural network” , menciona que las predicciones obtenidas de las redes neuronales artificiales desarrollados concuerdan mucho mejor con los resultados de los ensayos de las vigas de gran altura, independientemente del corte propuesto por las normativas ACI 318. La media y la desviación estándar de la relación entre el uso previsto de la Redes Neuronales Artificiales y la resistencia de corte medidas son 1,02 y 0,18 como se muestra en la *Tabla 1*, respectivamente, para vigas de gran altura.

Además, se estableció una extensa base de datos de 631 vigas de gran altura y 549 vigas normales y/o ordinarios y luego se seleccionaron el 50%, el 25% y el 25% de todos los especímenes en la base de datos para entrenamiento, validación y ensayos de subconjuntos, respectivamente.

Tabla 1

*Comparación estadística de resultados y objetivos en diferentes estructuras de red*

Network structures*		Mean ( $\gamma_{cs,m}$ )	Standard deviation ( $\gamma_{cs,s}$ )	Coefficient of determination ( $R^2$ )
Deep beams	7×7×1	1.034	0.266	0.926
	7×14×1	1.028	0.252	0.939
	7×21×1	1.019	0.251	0.94
	7×14×7×1	1.033	0.227	0.942
	7×21×7×1	1.044	0.253	0.921
	7×14×7×7×1	1.042	0.229	0.931
Slender beams	6×6×1	1.045	0.219	0.905
	6×12×1	1.037	0.23	0.911
	6×18×1	1.036	0.222	0.923
	6×12×6×1	1.05	0.188	0.929
	6×18×6×1	1.076	0.24	0.897
	6×12×6×6×1	1.057	0.198	0.918

Fuente: Hyeok Yang, Ashraf F. , & Song (2007).

An-Najjar ( 2005) en su investigación “Prediction of ultimate shear strength of reinforced concrete deep beams using artificial neural networks” menciona que el estudio ha agregado otro éxito para las redes neuronales artificiales para predecir la resistencia máxima al corte de vigas de gran altura tanto para alta resistencia a la compresión del hormigón, como demostraron los investigadores anteriores. Las redes neuronales son herramientas poderosas y tienen un gran potencial en aprendiendo la relación entre los parámetros de entrada y salida y, por lo tanto, predecir salidas de nuevas entradas como se puede observar en el proceso de entrenamiento de la red neuronal propuesta en la *Figura 03*.

Además, menciona que la relación promedio entre la resistencia al corte experimental y la resistencia al corte pronosticado usando  $\frac{(V_u)_{experimental}}{(V_u)_{RNA}}$  es 1.04 para el concreto con resistencia normal, mientras que la relación promedio entre la resistencia al corte experimental y la resistencia al corte predicha de ACI 318-02  $\frac{(V_u)_{experimental}}{(V_u)_{ACI}}$  es 2.78.

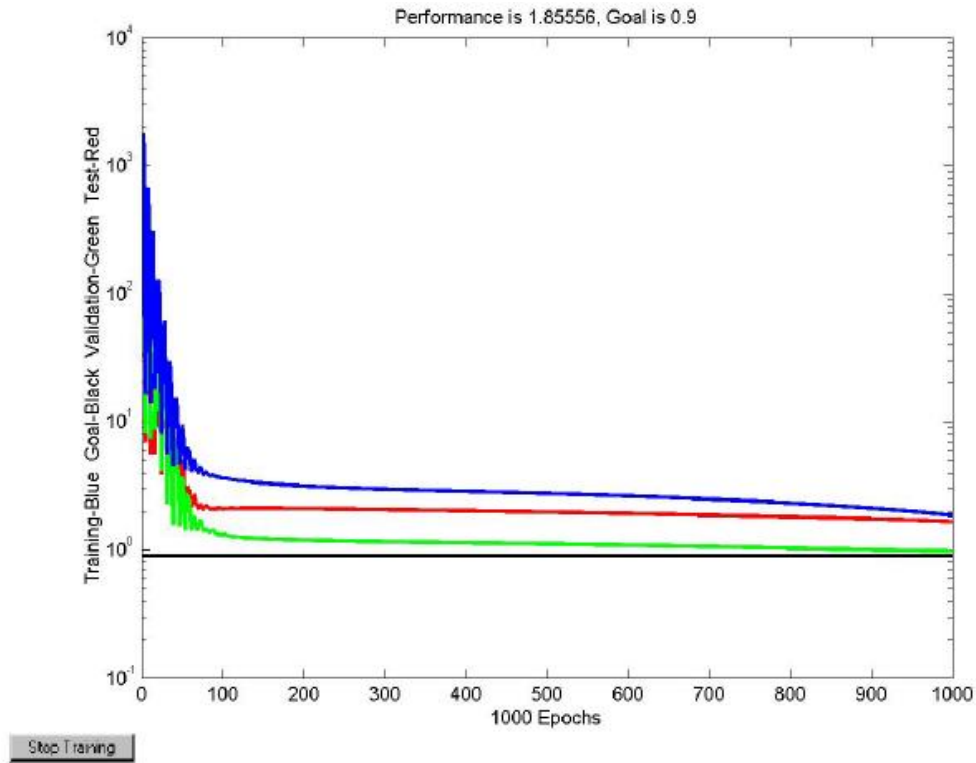


Figura 3. Entrenamiento de la red neuronal con una correlación al 0.90 (90%) (An-Najjar, 2005).

Naderpour (2018) menciona que las predicciones obtenidas de las Redes Neuronales Artificiales desarrollados muestran que el método propuesto tiene un excelente acuerdo con la base de datos experimental. El error medio para el modelo RNA para predecir los resultados experimentales fue igual a 9.72%, mientras que el error medio para los otros modelos, incluyendo ACI 318-02, ISIS-M03-07, BISE, JSCE, CNR DT 203 y Kara et al. fueron (aproximadamente) iguales a 46%, 29%, 18%, 26%, 29%, 17% respectivamente.

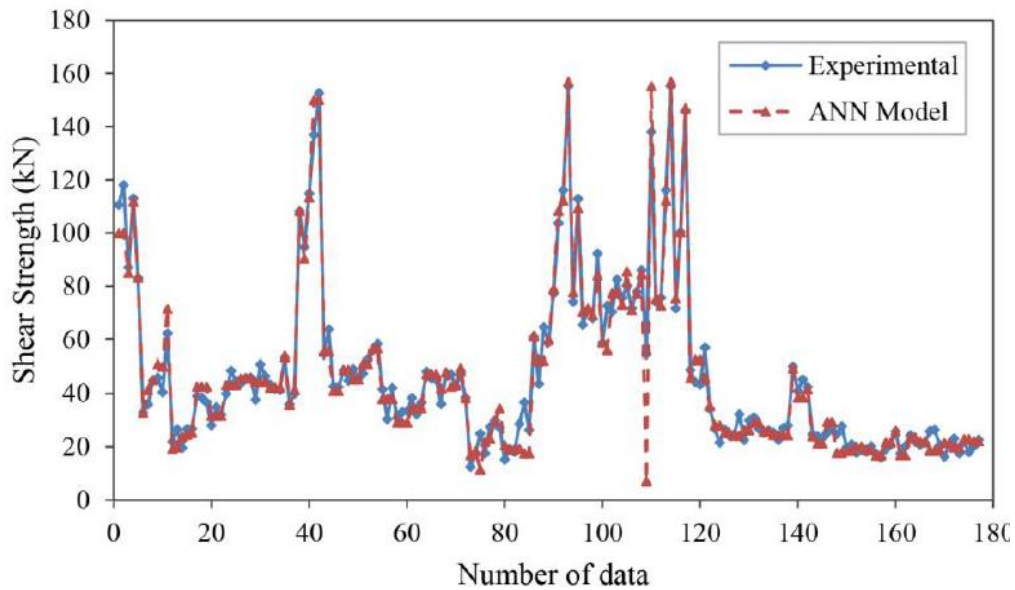


Figura 4. Comparación de la resistencia al corte predicha con la resistencia al corte experimental (Naderpour, H., 2018).

A & A (2004) mencionan que con las redes neuronales artificiales se proponen nuevas expresiones simples para el diseño de vigas de hormigón armado de alta resistencia y resistencia normal sin refuerzo de cizallamiento. Las nuevas expresiones se correlacionan con las pruebas empíricas mejor que cualquier código de práctica actual.

## 2.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES RESISTENTES

Los elementos estructurales son partes que constituyen en si a una estructura y que cada elemento posee una función especial dentro de ella. Algunas de estas funciones pueden ser:

- a. Resistir su mismo peso
- b. Soportar el peso de los objetos que contiene
- c. Resistir cargas o fuerzas externas (viento, nieve, lluvia, etc.)

En ingeniería mencionamos que una estructura es resistente cuando esta soporta las cargas externas sometidas, pero esto dependerá de varios factores que se consideran en la ingeniería de materiales, como:

- a. Material que está constituido la estructura
- b. Los esfuerzos principales a la que va a ser expuesta

- c. La rigidez de cada elemento estructural

### 2.2.1. MATERIAL DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

La elección del material dependerá de varios factores como la economía, las condiciones de trabajo del material, aspectos arquitectónicos, pero sobre todo se tendrá que buscar un equilibrio entre el mínimo consumo de material (economía) y resistencia a esfuerzos de la estructura que requiera.

### 2.2.2. ESFUERZO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Los esfuerzos ocurridos en elementos estructurales son los siguientes:

- a. Cuando un elemento estructural esta con fuerzas externas sobre él y estas la compriman, ocurre el esfuerzo a compresión.
- b. Cuando un elemento estructural esta con fuerzas externas sobre él y estas la estiren, ocurre el esfuerzo a tracción.
- c. Cuando un elemento estructural esta con fuerzas externas sobre él y estas traten de doblarlo, ocurre el esfuerzo a flexión.
- d. Cuando un elemento estructural esta con fuerzas externas sobre él y estas traten de torcerlo, ocurre el esfuerzo a torsión.
- e. Cuando un elemento estructural esta con fuerzas externas sobre él y estas tienden a córtalo, ocurre el esfuerzo de corte.

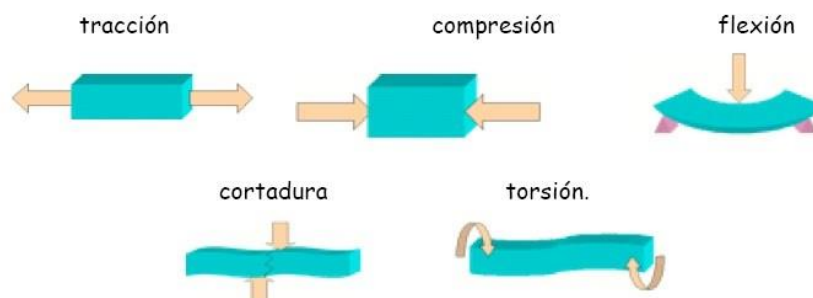


Figura 5. Esfuerzos ocurridos en elementos estructurales frente a diversas formas de carga.

### 2.2.3. RIGIDEZ DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

La rigidez es la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes desplazamientos y deformaciones.

### 2.3 VIGAS

Las vigas son elementos estructurales que trabajan principalmente a flexión. Las vigas normalmente suelen ser horizontales. Cumplen con La hipótesis de Navier-Euler-Bernoulli. En ella las secciones transversales al eje baricéntrico se consideran en primera aproximación indeformables y se mantienen perpendiculares al mismo tras la deformación.



Figura 6. Detalles de una viga donde se aprecia que la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones.

### 2.4 VIGAS DE GRAN ALTURA

Las vigas de gran altura son elementos estructurales, que su principal comportamiento frente a cargas es de corte. Las vigas de gran altura las encontramos en las vigas de transferencia utilizadas en edificios de varios pisos para permitir el desplazamiento de ejes de columnas, muros de tanques rectangulares, muros de cimentación, etc.

Hay varias definiciones para vigas de gran altura dadas por varios autores y normativas estándares. Kong ( 2002) y Niranján & Patil (2012) definieron que para definir una viga de gran altura se toma la relación de la longitud y la altura. Para una viga simplemente apoyada, se clasifica como viga de gran altura cuando la relación de la longitud efectiva  $L_n$  con la altura general  $H$  es menor que 2. Las vigas continuas se consideran de gran altura cuando la relación  $L_n / H$  es menor que 2.5.

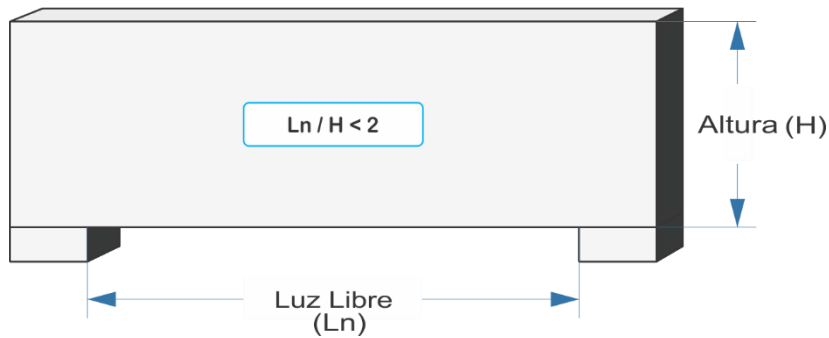


Figura 7. Viga de gran altura simplemente apoyada donde la relación  $Ln / H$  es menor que 2.

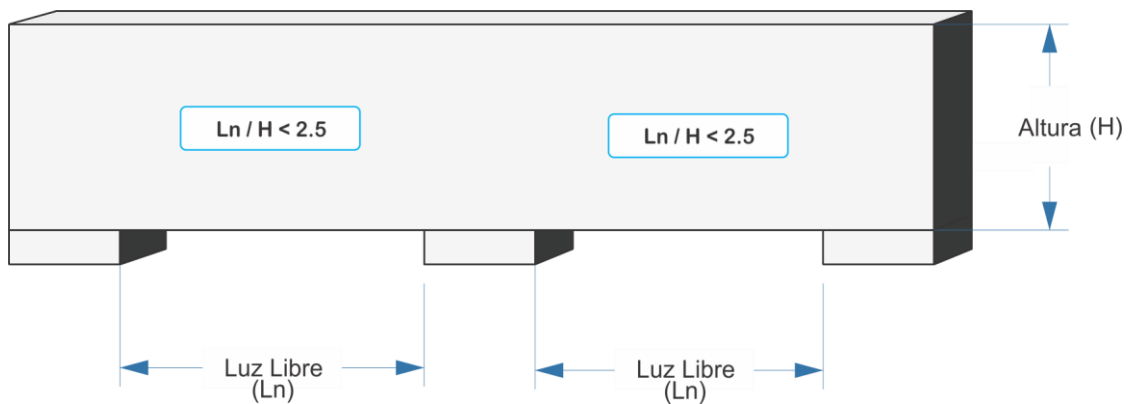


Figura 8. Viga de gran altura continua cuya relación  $Ln / H$  es menor que 2.5.

La longitud efectiva ( $L_n$ ) se define como la distancia libre entre los apoyos. El código canadiense CSA A23.3-04 (2004) establece que el miembro de flexión con una relación de longitud efectiva ( $L_n$ ) y la altura total ( $h$ ) inferior a 2 debe designarse como miembro de flexión de una viga de gran altura y la distribución no lineal de las tensiones debe ser tomado en cuenta.

Según Seo et al. (2004), una viga de gran altura de concreto armado se define como un elemento estructural con una separación de la distancia efectiva igual o menor a cuatro veces la altura total del miembro. También se considera viga de gran altura si se cargan cargas concentradas en la cara superior dentro del doble de la altura del miembro desde el apoyo, para que se puedan desarrollar cargas puntales de compresión entre las cargas y los apoyos. El ACI 318 -14 (2014) define que las vigas de gran altura son miembros que están cargados en una cara y apoyados en la cara opuesta de tal manera que elementos a compresión similares a puntales puedan desarrollar resistencia entre las cargas y los apoyos y cumplen con (a) o (b):

- a. La luz libre ( $L_n$ ) no excede cuatro veces la altura total del miembro, ( $H$ ).
- b. Existen cargas concentradas dentro de una distancia igual a  $2H$  de la cara del apoyo.

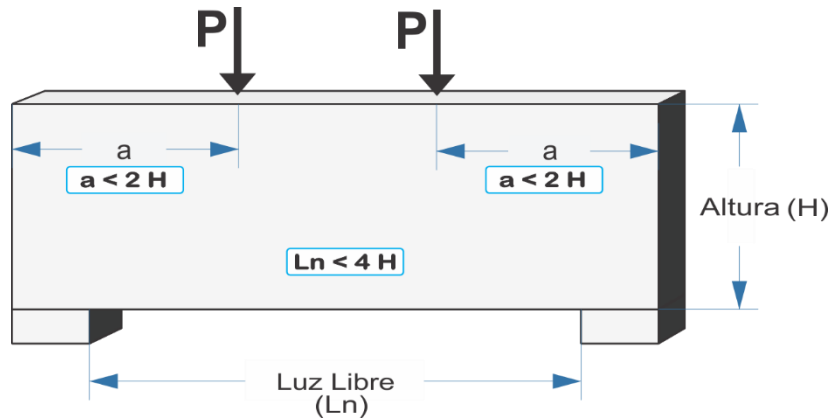


Figura 9. Criterios de la normativa ACI 318-14, para que un elemento estructural sea considerada viga de gran altura.

Londhe (2010) clasifica las vigas de gran altura como vigas de transferencia y las define como miembros horizontales que tienen  $a/d$  menos de 2, los cuales transfieren cargas de gravedad pesada predominantemente a través de la acción de corte formando una grieta diagonal. Rogowsky et al, (1986) definió una viga de gran altura como una viga cargada directamente con  $a/d$  entre 0.5 y 2.5. Los escritores también definen vigas normales como vigas con  $a/d$  mayor que 2.5, mientras que las vigas con  $a/d$  menor que 0.5 entran en la categoría de ménsulas y soportes.

Además, caracterizan las vigas de gran altura como vigas que pueden desarrollar un comportamiento de arco atado después de la formación de corte inclinado que permite que la viga obtenga una considerable capacidad de corte de reserva. Por otro lado, las vigas normales son vigas que pueden no desarrollar un comportamiento de arqueo significativo y generalmente fallan poco después de la formación de agrietamiento diagonal, a menos que se proporcione un refuerzo de corte.

Según los autores mencionados, las vigas con una relación  $a/d$  por debajo de 0,5, que entran en la categoría de soportes y ménsulas, pueden incluso no desarrollar grietas inclinadas o diagonales y pueden fallar a través de un mecanismo de tipo deslizamiento o fricción de corte. Consideran que las vigas profundas son una transición entre vigas delgadas y soportes o ménsulas.

De las definiciones anteriores, hay dos conceptos principales para definir las vigas de gran altura: la definición basada en el ACI 318 -14 (2014) y Niranjan & Patil (2012). La definición basada en ACI clasifica una viga de gran altura basándose en dos parámetros alternativos: geometría o condición de carga.

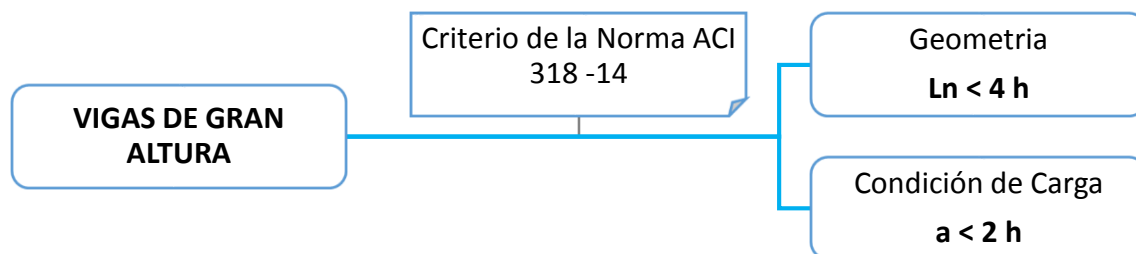


Figura 10. Criterios de la normativa ACI 318-14, la relación de la geometría y condición de carga para ser considerado viga de gran altura.

En términos de geometría, la definición de ACI-318-14 clasifica una viga de gran altura la relación de su longitud efectiva a la altura total es menor que 4. En términos de condición de carga, el código ACI clasifica cualquier viga como una viga de gran altura cuando toda la viga o una parte de ella se carga con una carga concentrada dentro del doble de la altura del miembro. Esto puede explicarse por la presencia de regiones D en la viga debido a las discontinuidades de carga independientemente de la relación entre el alcance y la altura de la viga (Shuraim, 2013). Una región D se define como una porción de un miembro dentro de una distancia  $h$ , desde una discontinuidad de fuerza o una discontinuidad geométrica (ACI-318, 2014).

Para el otro aspecto de la definición ACI 318 de una viga de gran altura, está el énfasis en el modo de carga independientemente de la longitud de la viga. La carga debe ser una carga puntual y la distancia entre la carga y al menos una reacción de soporte debe estar dentro del doble de la altura efectiva ( $2d$ ), lo que implica que el intervalo de corte debe ser menor que el doble de la altura de la viga ( $h$ ). Esto implica, además, que al menos debería haber una región D en la viga para calificar como una viga de gran altura.

Por otro lado, la definición basada en (Niranjan & Patil, 2012) clasifica una viga de concreto armado como de gran altura solo en términos de geometría. Es decir, cuando la relación de su distancia efectiva ( $L_n$ ) a la altura total  $h$  es menor que 2.

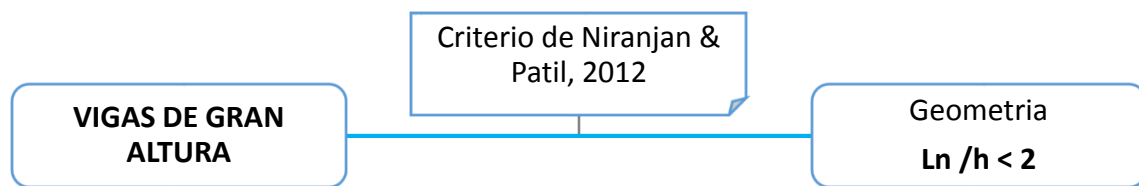


Figura 11. Viga de gran altura según los criterios de Niranján & Patil (2012).

Incluso en términos de geometría, la relación entre la distancia efectiva y la altura total de 2 implica que solo hay dos alturas de viga que se interconectan para definir la longitud de la viga. Ahora, cuando una viga de este tipo transporta una carga de punto central, implicará que habrá 2 regiones D definidas por la altura de la viga entre la carga y los apoyos, lo que implica un tramo de corte de longitud  $h$ . Por otro lado, si la viga lleva dos cargas puntuales simétricas, entonces las regiones D se definirán por una distancia menor que la altura de la viga entre las cargas y los apoyos, lo que implica un tramo de corte de menos de una profundidad de viga.

## 2.5 COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE GRAN ALTURA

En las vigas de gran altura, la distribución de esfuerzos normales debidos a flexión difiere mucho de una distribución lineal, inclusive cuando las vigas son de material lineal, homogéneo y elástico; en otras palabras, no es válida la hipótesis de distribución lineal de las deformaciones originadas por la flexión.

Una comparación entre vigas de gran altura y vigas ordinarias se muestra en la tabla:

Tabla 2  
*Comparación entre vigas de gran altura y vigas ordinarias*

N°	Vigas de Gran altura	Vigas Ordinarias
1	No Recupera su forma inicial después de aplicarse las cargas por la gran altura mantenido.	Recupera su forma inicial después de aplicarse las cargas
2	Las deformaciones de corte se vuelven significativo en comparación con la flexión pura.	La deformación del cortante está descuidada.
3	El bloque de tensión no es lineal, incluso en la etapa elástica.	El bloque de tensión se puede considerar lineal en la etapa elástica.
4	Está sujeto a dos dimensiones del estado de tensión	Está sujeto a una dimensión del estado de tensión
5	La tensión resultante no es lineal	La tensión resultante es lineal

Un modo de falla predominante en las vigas de gran altura es la falla de corte que puede llevar a consecuencias catastróficas. La hipótesis de Bernoulli-Navier para vigas ordinarias dice que la distribución de la tensión a través de la altura de la viga es linealmente proporcional a la distancia desde el eje neutral. Su hipótesis se basaba en el supuesto de que la deformación por corte en una viga ordinaria es despreciable en comparación con la deformación por flexión. Sin embargo, esto no es aplicable en el caso de vigas de gran altura. La distribución de la deformación a lo largo de la altura de una sección en una viga de gran altura se vuelve no lineal con la disminución de la relación entre el corte y la altura de corte (Collins & Mitchell, 1991). Por lo tanto, su teoría no puede predecir con precisión el comportamiento de las vigas de gran altura, ya que la suposición de que "las secciones planas permanecen en el plano" no se aplica y, por lo tanto, la teoría subestimaré la resistencia al corte que es inaceptable. Muchos investigadores investigaron este fenómeno en vigas de gran altura y concluyeron que el enfoque en sección no podía predecir el comportamiento preciso en caso de que una viga tenga  $a/d$  menos de 2.5 (Collins & Mitchell, 1991).

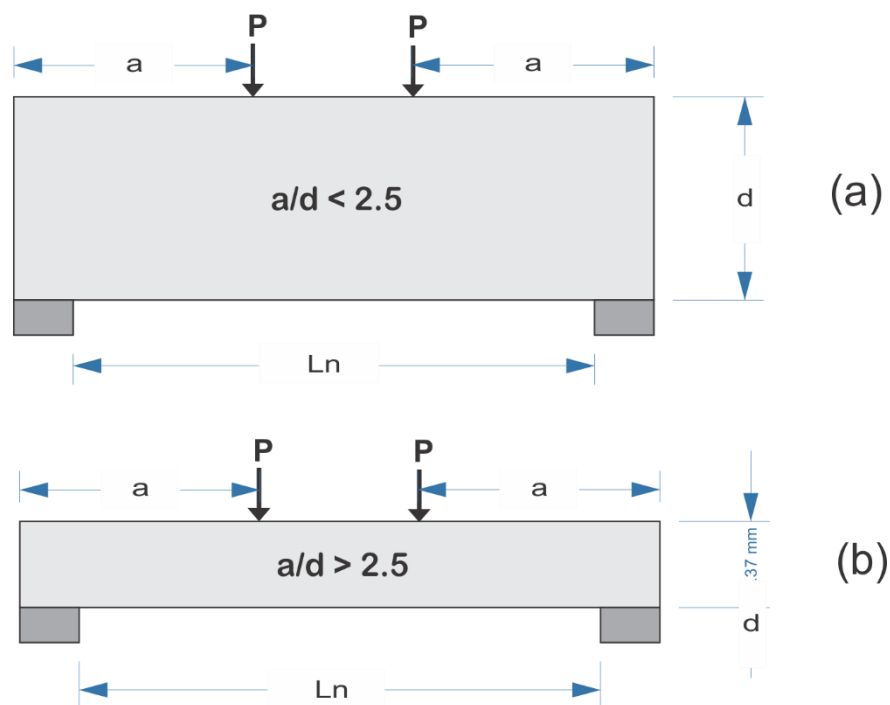


Figura 12. Diferencia entre (a) Viga de gran altura y (b) Viga Ordinaria.

## 2.6 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA AL CORTE DE VIGAS

Varios factores afectan la resistencia al corte de las vigas de gran altura. Los factores importantes que afectan la capacidad de corte de las vigas de gran altura incluyen

la relación entre el intervalo de corte y la altura ( $a/d$ ), la resistencia a la compresión del concreto ( $f'_c$ ), el refuerzo por flexión ( $f_y$ ), el refuerzo vertical y horizontal por corte (Smith & Vantsiotis, 1982). La contribución de cada factor en la capacidad de corte de las vigas profundas se describe a continuación.

### 2.6.1 RELACIÓN ENTRE EL INTERVALO DE CORTE Y LA ALTURA ( $a/d$ )

La resistencia al corte de una viga de gran altura depende en gran medida de su relación  $a/d$ . Varias investigaciones experimentales han probado que la relación  $a/d$  es el parámetro más dominante que afecta la resistencia al corte de una viga de gran altura, ya que aumenta con una disminución en la relación  $a/d$  (Collins & Mitchell, 1991) y (Smith & Vantsiotis, 1982).

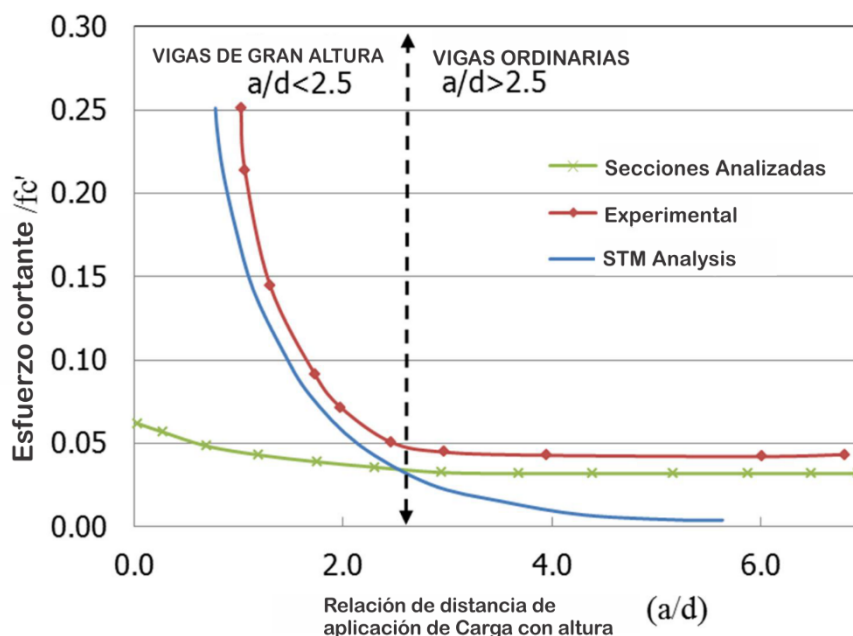


Figura 13. Variación del esfuerzo cortante con relación  $a/d$  (Collins & Mitchell, 1991).

Ahmad et al. (2014) ensayaron 3 vigas de gran altura con una relación  $a/d$  de 0.94, 0.76 y 0.64 bajo dos puntos de carga. Los resultados mostraron que a medida que disminuía la relación  $a/d$ , los valores promedio de la primera carga de corte aumentaron de 60.0, 69.5 a 78.5 KN respectivamente. De manera similar, las cargas de falla finales aumentaron de 140.5, 144.4 a 149.1 KN respectivamente, lo que implica que a medida que  $a/d$  disminuye en las vigas de gran altura, aumenta la resistencia al corte.

Kani (1967), menciona que cuando se produce una falla de corte, en algunos casos, la viga de gran altura no está desarrollando su capacidad de flexión completa, y esto se controla mediante la relación  $a/d$ , como se muestra en la figura 11.

Esto fue confirmado por otros investigadores como Tan et al. (1995) y Oh y Shin (2001). La Figura 12 muestra el efecto de la relación entre el corte y la altura de corte en la capacidad de corte de las vigas concreto armado.

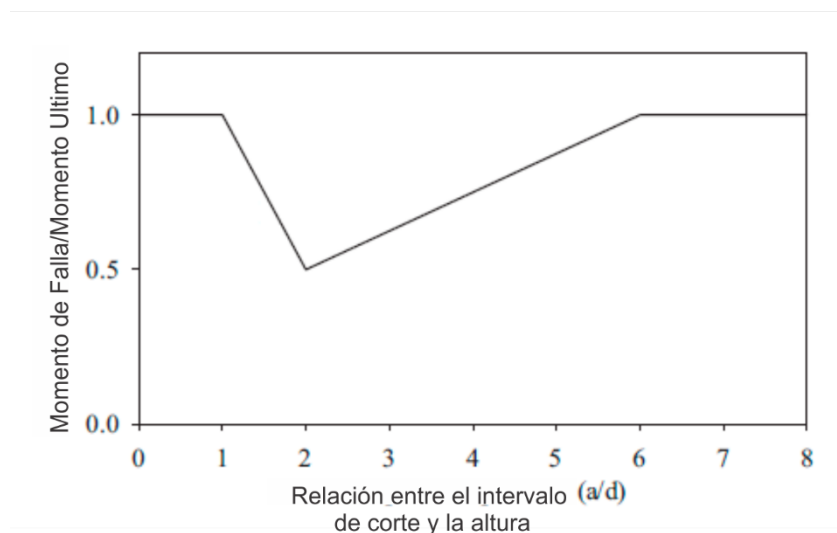


Figura 14. Viga de gran altura trabajando a Momento con respecto a la relación  $a/d$  (Kani, 1967).

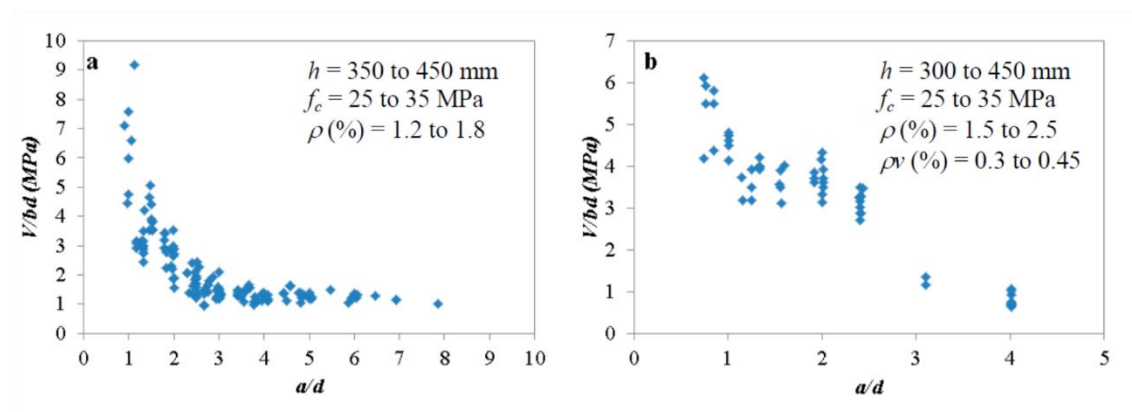


Figura 15. Efecto de la relación entre el intervalo de corte y la altura ( $a/d$ ) a) Vigas de Concreto Armado sin refuerzo a Cortante y b) Vigas de Concreto Armado con refuerzo a Cortante (Kani, 1967).

Sulaiman (2016) menciona que con los resultados experimentales de Leonhardt & Walther(2005), Kani (1967) y Kim & Park (1994) el efecto de la relación entre la distancia y la altura de corte ( $a/d$ ) es despreciable en la resistencia al corte de las vigas concreto armado cuando la relación  $a/d$  es mayor que tres, pero tiene una gran influencia en la capacidad de corte para valores menores que  $a/d < 3$ , como se muestra en la Figura 16.

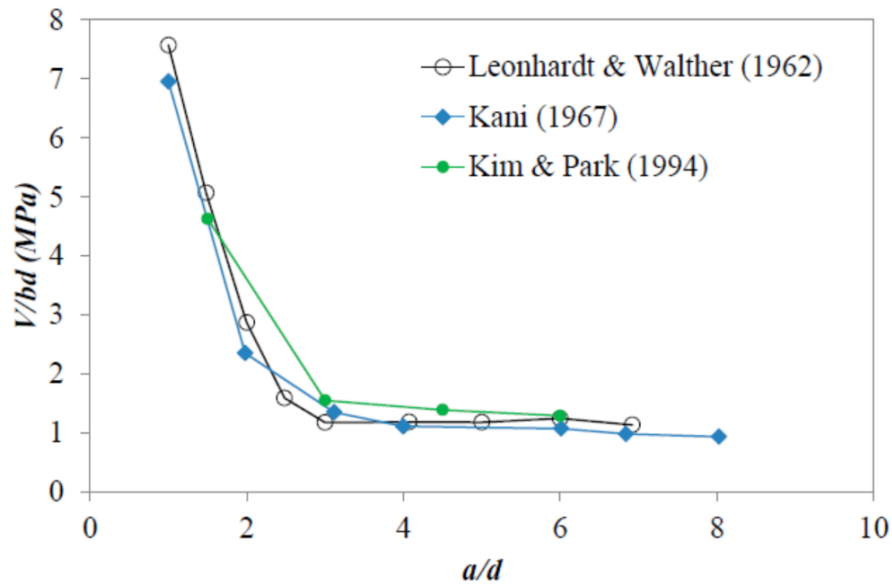


Figura 16. Efecto de la relación entre el intervalo de corte y la altura ( $a/d$ ) (Sulaiman, 2016).

### 2.6.2 RELACIÓN ENTRE LA LONGITUD Y LA ALTURA EFECTIVA ( $l_n / d$ )

Manuel et al. (1971) realizó 12 experimentos en vigas profundas con diferentes relaciones de intervalo a profundidad y concluyó que, de manera similar a la relación  $a/d$ , la relación  $l_n/d$  tiene una influencia significativa en la resistencia al corte de una viga profunda, siendo la resistencia al corte inversamente proporcional a Relación  $l_n/d$ .

### 2.6.3 RESISTENCIA DEL CONCRETO ( $f'_c$ )

Sulaiman (2016) menciona que la resistencia a la compresión del concreto es el parámetro más importante que influye en el comportamiento de corte de los miembros sin refuerzo de corte.

La resistencia al corte es una función de la resistencia a la compresión,  $f'_c$ . Ahmed & El-Sayed (2006) mostró que la resistencia al corte se incrementó en un 10% cuando  $f'_c$  aumentó en un 45%. Este aumento no es proporcional, ya que en el caso del concreto de alta resistencia ( $> 60$  MPa), los agregados fracturados en la carga final generarán menos fricción en comparación con el concreto de resistencia normal.

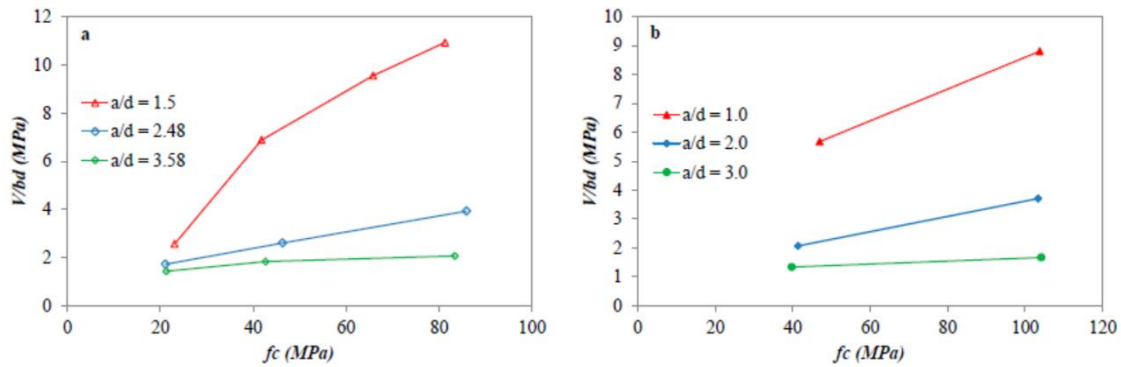


Figura 17. Efecto de la resistencia a la compresión del concreto sobre la resistencia al corte de a) vigas CA sin refuerzo de corte b) Vigas CA con refuerzo de corte (Sulaiman, 2016).

#### 2.6.4 TIPO DE AGREGADO

Yang y Ashour (2010) estudiaron la capacidad de agregado de concreto liviano con diferentes tamaños de agregados en vigas de gran altura continuas. Encontraron que a pesar de que la formación del plano de falla de las vigas probadas apenas fue influenciada por el tamaño máximo de agregados y el tipo de concreto, el ancho de la grieta diagonal a lo largo del plano de falla disminuyó con el aumento del tamaño máximo de agregado. Los autores también encontraron que la reducción gradual de la rigidez después de la aparición de grietas diagonales fue más pronunciada en las vigas de gran altura de concreto liviano que en las vigas de gran altura de concreto de peso normal y aumentó con la disminución del tamaño máximo del agregado.

#### 2.6.5 PERALTE DE LA VIGA (d)

Yang & Ashour (2011), Aggregate interlock in lightweight concrete continuous deep beams, probaron 12 muestras de vigas para investigar las características de corte con diferentes variables de peralte de la viga. Se encontró que un aumento del peralte de la viga produce una falla más quebradiza con grietas diagonales anchas y una tasa de liberación de alta energía relacionada con el efecto del tamaño. Además, las vigas de gran altura con concreto de alta resistencia, mostraron efectos de tamaño más notables con un comportamiento frágil.

Rao & Sundaresan (2012) también observaron que las vigas con concretos de alta resistencia exhiben un efecto de tamaño fuerte en el corte que el concreto de resistencia normal.

El efecto del peralte en viga de gran altura, ha demostrado que, al aumentar el peralte de las vigas, la resistencia al corte disminuye. La Figura 16 muestra los resultados

experimentales de las vigas probadas por Taylor (1972), Bazant & Kim (1984) y Kawano & Watanabe (1997), que se puede observar que al aumentar el peralte de la viga, se reduce la resistencia al corte.

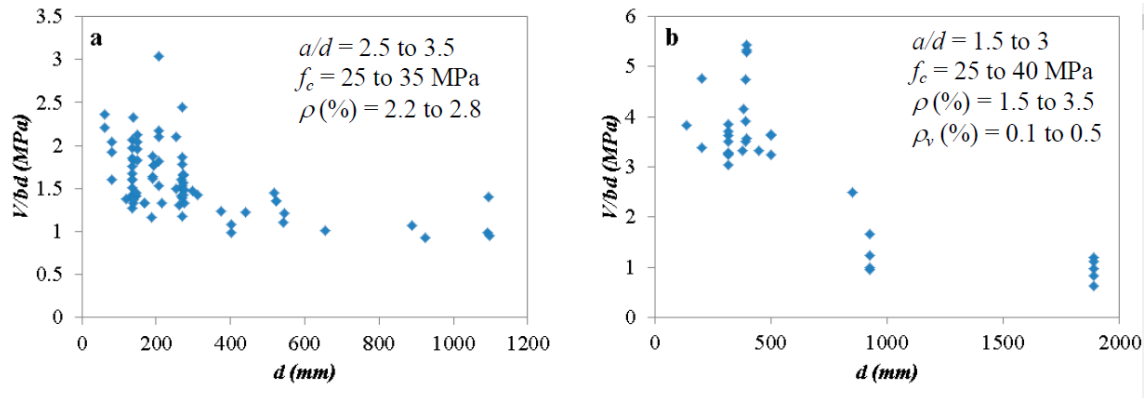


Figura 18. Efecto del peralte del miembro en la resistencia al corte de a) vigas sin refuerzo de corte y b) vigas con refuerzo de corte (Sulaiman, 2016).

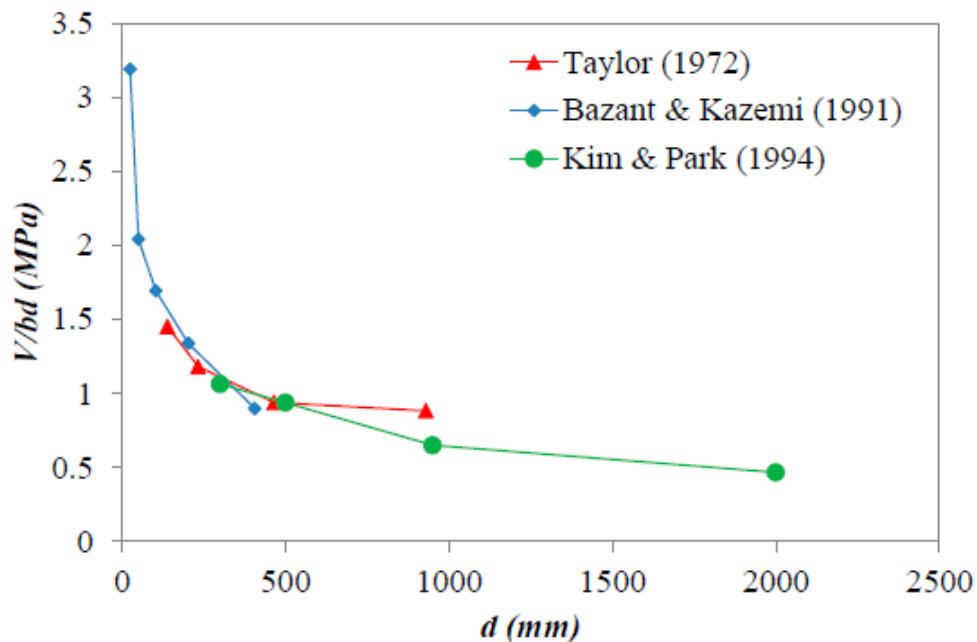


Figura 19. Efecto del peralte del miembro en la resistencia al corte de a) vigas sin refuerzo de corte y b) vigas con refuerzo de corte (Sulaiman, 2016).

### 2.6.6 REFUERZO DE VIGA ( $\rho_h$ y $\rho_v$ )

El refuerzo vertical (estribos) es uno de los principales parámetros que afectan significativamente la resistencia al corte de las vigas de gran altura, aparte de la relación  $a/d$ . El propósito principal del refuerzo vertical es proporcionar confinamiento al concreto que ayuda a mejorar la capacidad de corte de las vigas de gran altura. Además de esto, es más eficaz para mejorar la resistencia al corte en comparación con el refuerzo horizontal,

y en el caso de falla de corte hace que la viga falle de una manera más dúctil (Londhe, 2010). Varios estudios han demostrado que la resistencia al corte de una viga de gran altura aumenta linealmente con el aumento del refuerzo de corte vertical.

Sin embargo, Smith y Vantsiotis (1982) encontraron que la contribución del refuerzo de corte vertical disminuye a medida que disminuye el  $a/d$  ( $a/d < 1$ ). Estudio similar realizado por (Ashour, Alvarez, & Toropov, 2003) confirmaron que cuanto mayor es la relación  $a/d$  ( $a/d > 0,75$ ), mayor es la contribución del refuerzo de la banda vertical. Por el contrario, (Londhe, 2010) encontró que el aumento en la resistencia al corte se observó hasta una relación de refuerzo de corte vertical del 1.25%.

Kong et al. (1970), menciona que el refuerzo de corte horizontal no tiene efecto en la resistencia al corte de las vigas de gran altura. Sin embargo, otros investigadores han encontrado que existe un pequeño aumento en la resistencia al corte con el aumento en el refuerzo de corte horizontal. Este es específicamente el caso cuando hay bajo refuerzo de corte vertical. En tal caso, un aumento en la relación de refuerzo de corte horizontal no tendrá una contribución apreciable en su resistencia al corte (Smith & Vantsiotis, 1982).

#### **2.6.7 REFUERZO LONGITUDINAL ( $\rho$ )**

El refuerzo longitudinal aumenta la resistencia al corte de las vigas de gran altura al reducir las grietas producidas por las cargas aplicadas. Mau y Hsu (1989) realizaron 64 experimentos en vigas profundas y encontraron que, con el aumento del refuerzo longitudinal, la resistencia al corte de la viga de gran altura aumentó significativamente. Estudios similares de Ashour et al. (2003) y Londhe (2010) encontraron que el refuerzo longitudinal tiene una correlación lineal con la resistencia al corte hasta un cierto límite para vigas de gran altura sin refuerzo de corte y más allá de eso no tiene ningún efecto. El refuerzo longitudinal aumenta la resistencia al corte de las vigas de gran altura al reducir el ancho de la grieta, mejorar el mecanismo de transferencia de corte de la interfaz y aumentar la acción de conexión (Londhe 2011). Shahnewaz (2013) ha demostrado que la resistencia al corte promedio aumenta linealmente a medida que la relación de refuerzo longitudinal aumenta hasta un 1,5%

Mohammadhassani et al (2011) también demostraron que el fallo de las vigas profundas con refuerzo longitudinal menor al sugerido por ACI 318-05 es por flexión y está acompañado de grandes deflexiones sin grietas inclinadas. Los investigadores observaron además que a medida que aumenta el refuerzo de acero a flexión, el fallo debido al agrietamiento del concreto en las zonas nodales se hace evidente.

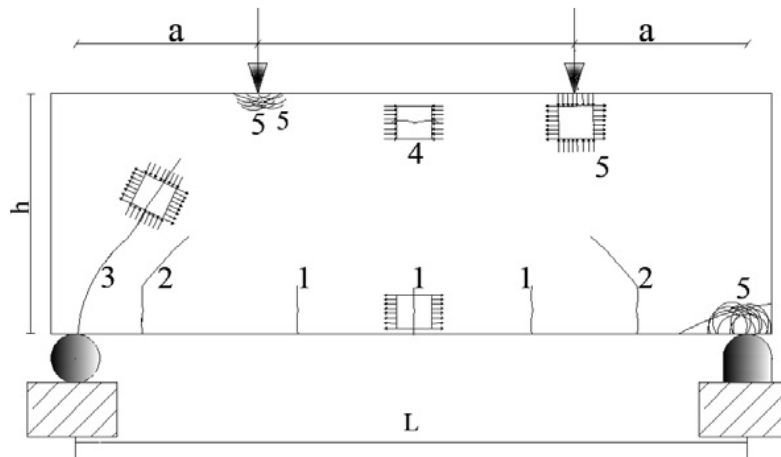


Figura 20. Patrón típico de grietas de vigas de gran altura con dos puntos de carga (Mohammadhassani , Jumaat, Ashour, & Jameel, 2011).

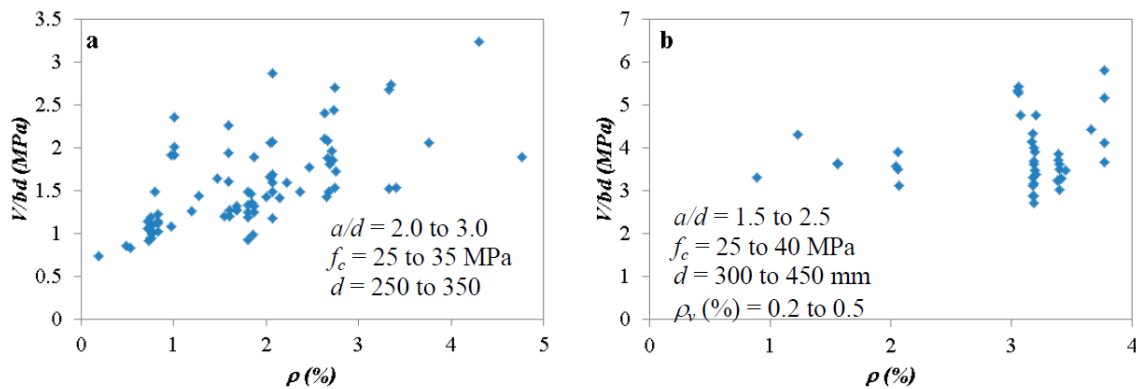


Figura 21. Efecto del refuerzo de flexión sobre la resistencia al corte de a) vigas de gran altura sin refuerzo de corte y b) vigas de gran altura con refuerzo de corte (Sulaiman, 2016).

## 2.7 RESISTENCIA AL CORTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA

La falla de las vigas de gran altura generalmente se debe al aplastamiento del concreto en la zona reducida de la zona de compresión en la punta de las grietas inclinadas o por la fractura del concreto a lo largo de la grieta (Bayrak & Brown, 2006). En vigas de gran altura con una relación de extensión a profundidad de corte de menos de 2.5, existe una resistencia de reserva en la región posterior al corte, lo que resulta en una falla relativamente menos frágil (Rahal & Al-Shaleh, 2004).

Londhe (2010) menciona que la falla de las vigas de gran altura se manifiesta en cuatro modos identificados como falla de división diagonal (corte), falla de compresión de corte, falla de flexión de corte y flexión. La falla de división diagonal, caracterizada como falla de corte, es frágil, repentina y por lo tanto traicionera. Se desarrolla una grieta diagonal crítica que une el punto de carga en la parte superior y el punto de soporte en la parte inferior a través del cual se produce el fallo.

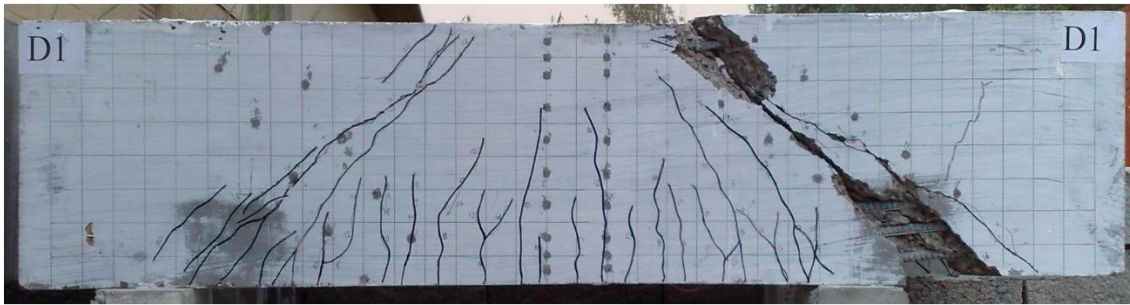


Figura 22. Falla por Corte y Flexión de una viga de gran altura (Sulaiman, 2016).

En el modo de falla de compresión de corte, después de la aparición de la grieta inclinada, la porción de concreto entre el punto de carga y el soporte experimenta una compresión alta y finalmente falla. Este modo de falla es igualmente un modo de falla frágil. El modo de falla de corte y flexión es la falla combinada en corte y flexión. Se forman grietas por flexión seguidas por la grieta parcialmente diagonal. Este es un modo de falla dúctil en el que el haz se desvía hacia el centro y no se escucha ningún sonido explosivo en el momento de la falla.

## 2.8 ECUACIONES DE RESISTENCIA AL CORTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA

Varios modelos han sido propuestos por varios Investigadores y varias normativas internacionales la han validado. El rendimiento de cada modelo fue evaluado para averiguar sus poderes predictivos en comparación con los resultados experimentales de la literatura.

### 2.8.1 ECUACIÓN DE LA NORMA INDIAN STANDARD: IS456: 2000

La magnitud de la resistencia al corte del diseño  $\tau_c$  depende de varios factores que están relacionados con el grado de concreto ( $f_{ck}$ ) y el porcentaje de tensión de acero  $p_t = 100A_{st} / (bd)$ . La norma Propone la siguiente fórmula empírica

$$\tau_c = \frac{0.85\sqrt{(0.85f_{ck})}}{6\beta} (\sqrt{(1+5\beta)} - 1)$$

*Ecuación 1.* Ecuación propuesta por Indian Standard (IS 456, 2000)

Donde:

$$-\beta = (0.8f_{ck}) / (6.89p_t) \text{ o } 1 \text{ (Elegir el mayor)}$$

## 2.8.2 ECUACIÓN DE LONDHE 2010

Es una fórmula de cuatro términos que fue propuesta para la estimación de la capacidad de corte de las vigas de transferencia es la siguiente:

$$V_u = V_c + V_{ms} + V_{wh} + V_{wv}$$

*Ecuación 2.* Ecuación propuesta por Londhe (Londhe, 2010)

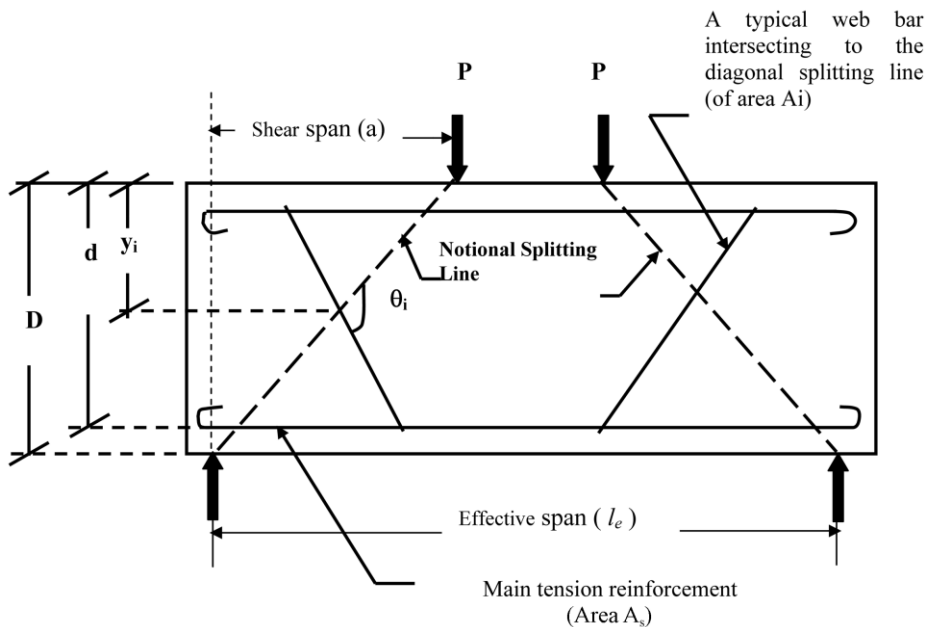
El análisis de resistencia al corte y la estimación de la resistencia al corte de las vigas de transferencia de concreto armado en edificios de gran altura, se toma de la siguiente manera.

$$V_c = \alpha_1 \left[ \left( 1 - 0.30 \frac{a}{d} \right) \sqrt{0.80 f_{ck}} b d \right] \quad V_{ms} = \alpha_2 \left( \frac{100 A_s d \sin^2 \theta_i}{D} \right)$$

$$V_{wh} = \alpha_2 \left( \sum_{i=1}^n \frac{100 A_{iwh} y_i \sin^2 \theta_i}{D} \right) \quad V_{wv} = \alpha_2 \left( \sum_{i=1}^n \frac{100 A_{iww} y_i \sin^2 \theta_i}{D} \right)$$

$$\alpha_1 = \left( \frac{0.75 \times 0.50 \times C_1}{\gamma_{mc}} \right) \quad \alpha_2 = \left[ \frac{0.75 \times C_2}{\gamma_{ms}} \right] \frac{1}{100}$$

*Ecuación 3.* Ecuaciones para el cálculo de  $V_u$  por Londhe (Londhe, 2010)



*Figura 23.* El significado de los símbolos en la fórmula propuesta (Londhe, 2010).

## 2.8.3 ECUACIÓN DE BRITISH ESTANDAR: BS 8110-1997

El valor de la resistencia al corte de diseño del concreto dado en el código británico se basa en la siguiente formula empírica:

$$V_c = \left[ \frac{0.79}{\gamma_m} \left( \frac{100A_s}{b_v d} \right)^{1/3} \left( \frac{400}{d} \right)^{1/4} \left( \frac{f_{cu}}{25} \right)^{1/3} \right]$$

*Ecuación 4.* Ecuación empírica del reglamento británico (BS 8110, 1997)

$K = \left( \frac{400}{d} \right)^{1/4}$  factores de efecto de tamaño y no deben ser menores que la unidad y el% de pata no debe ser mayor que 3.0. Esta fórmula da valores de  $V_c$  para resistencias de concreto 25 Mpa. Para grados de concreto más altos, los valores deben ser multiplicados por  $(f_{cu} / 25)^{1/3}$ . El valor de  $f_{cu}$  no debe ser superior a 40.

#### 2.8.4 CIRIA GUIDE - 2 - “SUPPLEMENTARY RULES” DESIGN MODEL

El método de la predicción del corte, propuesta por CIRIA Guide- 2 se establecen en estas dos ecuaciones. Donde establecen que la resistencia máxima al corte de la viga de gran altura se compone de dos partes: Contribución del concreto y la aportación del refuerzo de acero.

$$V_n = V_n + V_s$$

$$V_n = \lambda_{11} \left( 1 - 0.35 \frac{x_e}{h_a} \right) \sqrt{f_{cu}} b h_a + \lambda_2 \sum_n \frac{100 A_{s_i} \sin^2 a_i}{h_a}$$

*Ecuación 5.* Ecuación empírica del reglamento británico (BS 8110, 1997)

Donde:

- $\lambda_1 = (0.75 \times 0.52 \times C1) / \gamma_{mc} = 0.44$  para agregado normal
- $= (0.75 \times 0.52 \times C1) / \gamma_{mc} = 0.32$  para agregado ligero
- $\lambda_2 = [(0.75 \times 0.52 \times C2) / \gamma_{ms}] / 100 = 1.95$  MPa para barras deformadas
- $= [(0.75 \times 0.52 \times C2) / \gamma_{ms}] / 100 = 0.85$  MPa para barras planas
- $C1 =$  coeficiente empírico del concreto = 1.40
- $C2 =$  Coeficiente empírico de la deformación del acero = 415 MPa.

En la expresión de los coeficientes empíricos para  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ , CIRIA utilizó un factor estadístico de 0.75 solo para convertir los valores medios de prueba en valores característicos consistentes con los códigos de diseño británicos.

## 2.9 ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGAS DE GRAN ALTURA SEGÚN ACI 318-14

La resistencia de diseño de un elemento debe ser igual o mayor a la resistencia requerida calculada a partir de las combinaciones de carga factorizadas especificadas en las normativas de diseño. En general el criterio básico para el diseño según ACI 318-14 se expresa:

### Resistencia de Diseño $\geq$ Resistencia Requerida

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

*Ecuación 6.* Ecuación de resistencia de diseño y requerida (American Concrete Institute, 2014)

Las siguientes razones fundamentan la utilización de factores de reducción de resistencia y factores de carga en el método de diseño por resistencia:

### 2.7.1 RESISTENCIA AL CORTE EN VIGAS DE GRAN ALTURA

El diseño por cortante está basado en la siguiente expresión:

$$\phi V_n \geq V_u$$

*Ecuación 7.* Ecuación de diseño por cortante (American Concrete Institute, 2014)

Donde:

$V_u$  = fuerza cortante factorizada en la sección considerada

$\phi$  = factor de reducción de resistencia, igual a 0.75

$V_n$  = resistencia nominal al cortante

La resistencia nominal a cortante  $V_n$  en una dirección se debe calcular como:

$$V_n = V_c + V_s$$

*Ecuación 8.* Ecuación de diseño por cortante (American Concrete Institute, 2014)

Donde  $V_c$  es la resistencia nominal a cortante proporcionada por el concreto y  $V_s$  es la resistencia nominal a cortante proporcionada por el refuerzo.

La fuerza de resistencia al corte normal ( $V_c$ ) del concreto simple se puede tomar como:

$$V_c = \left(3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d}\right) \left(1.9\sqrt{f_c} + 25000 \rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) b_w d \leq 6\sqrt{f_c} b_w d$$

*Ecuación 9.* Corte absorbido por el concreto (American Concrete Institute, 2014)

Seguidamente se analiza el momento último con la cortante última, para determinar el diseño correcto:

$$1.0 < 3.5 - 2.5 \left(\frac{M_u}{V_u d}\right) \leq 2.5$$

*Ecuación 10.* Parámetros mínimos de relación momento ultimo y corte ultimo (American Concrete Institute, 2014)

Este factor es un multiplicador de la ecuación para  $V_c$  en vigas de gran altura para tener en cuenta la mayor capacidad de resistencia de corte. Si no se tolera un poco de agrietamiento antiestético, el diseñador puede utilizar:

$$V_c = 2\sqrt{f_c} b_w d$$

*Ecuación 11.* Corte absorbido por el concreto (American Concrete Institute, 2014)

Cuando el cortante factorizado  $V_u$  excede  $\phi V_c$ , se debe proporcionar refuerzo de corte, tal que  $V_u \leq \phi(V_c + V_s)$ , donde  $V_s$  es la fuerza resistida por el cortante del acero:

$$V_s = \left[ \frac{A_v}{S_v} \left( \frac{1 + \frac{l_n}{d}}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{S_h} \left( \frac{11 - \frac{l_n}{d}}{12} \right) \right] f_y d$$

*Ecuación 12.* Corte absorbido por el acero de diseño (American Concrete Institute, 2014)

dónde:

- $A_v$  = Área total de refuerzo vertical espaciado en ( $S_v$ ) en la dirección horizontal en ambas caras de la viga
- $A_{vh}$  = Área total de la armadura horizontal espaciada a ( $S_h$ ) en la dirección vertical en ambas caras de la viga.

## 2.7.2 LIMITES DIMENSIONALES DE VIGAS DE GRAN ALTURA

Se impone un límite dimensional para controlar la fisuración bajo cargas de servicio y para resguardo contra fallas diagonales por compresión en las vigas de gran altura.

Las dimensiones de las vigas de gran altura deben seleccionarse de tal manera que cumplan con:

$$V_u \leq \phi 0.83 \sqrt{f_c} b_w d$$

*Ecuación 13.* Límite dimensional de una viga de gran altura (American Concrete Institute, 2014)

### **2.7.3 LÍMITES DE REFUERZO DE VIGAS DE GRAN ALTURA**

El American Concrete Institute (2014) menciona que se deben usar los requisitos para los refuerzos mínimos de esta sección independientemente de la metodología de diseño, ya que tienen la intención de controlar el ancho y la propagación de las fisuras inclinadas. Ensayos de (Rogowski & MacGregor, 1986), han demostrado que el refuerzo vertical para cortante, perpendicular al eje longitudinal del elemento, es más efectivo para la resistencia a cortante que el refuerzo para cortante horizontal, paralelo al eje longitudinal del elemento, en una viga de gran altura, pero el refuerzo mínimo especificado es el mismo en ambas direcciones para controlar el crecimiento y ancho de fisuras diagonales.

El refuerzo distribuido a lo largo de las caras laterales de vigas de gran altura debe ser al menos el que requiere (a) y (b):

(a) El área de refuerzo distribuido perpendicular al eje longitudinal de la viga,  $A_v$  debe ser al menos  $0.0025b_w s$ , donde  $s$  es el espaciamiento del refuerzo distribuido transversal.

(b) El área de refuerzo distribuido paralelo al eje longitudinal de la viga,  $A_{vh}$ , debe ser al menos  $0.0025b_w s_2$ , donde  $s_2$  es el espaciamiento del refuerzo longitudinal distribuido.

### **2.7.4 DISEÑO POR FLEXIÓN EN VIGAS DE GRAN ALTURA**

Las vigas de gran altura trabajan más a cortante que a flexión es por eso que la normativa ACI 318-14 recomienda que el área mínima de refuerzo a flexión en tracción,  $A_s(\min)$ , debe determinarse de acuerdo con la siguiente expresión:

$A_s(\min)$  debe ser mayor que (a) y (b), para una viga estáticamente determinada

$$(a) \frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$$

$$(b) \frac{1.4}{f_y} b_w d$$

*Ecuación 14. Áreas de Aceros mínimos a flexión según ACI – 318-14 (American Concrete Institute, 2014).*

## **2.10 REDES NEURONALES ARTIFICIALES: ASPECTOS GENERALES**

### **2.8.5 RED NEURONAL BIOLÓGICA**

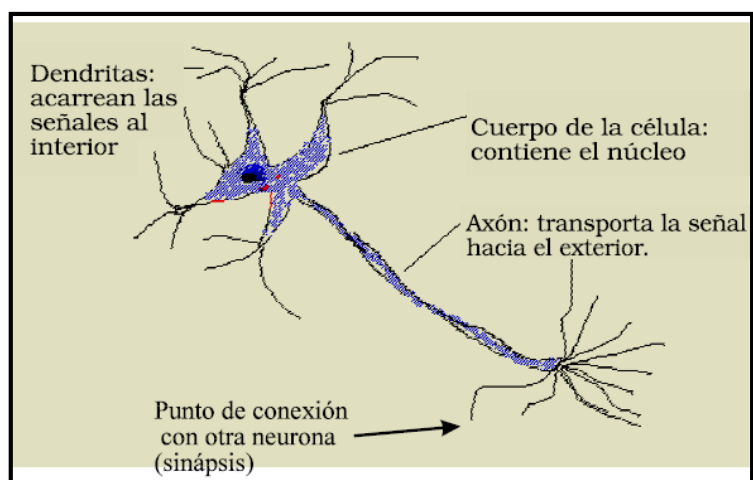
Red de neuronas físicamente interconectadas cuya actividad ayuda a definir un circuito reconocible en el sistema nervioso. Está compuesta por un conjunto de neuronas de entrada (sensores) conectados a una compleja red de neuronas que procesan la información y dan una respuesta de acción, las cuales están conectadas a las acciones que realizamos.

La neurona está considerada como la unidad nerviosa básica, tanto funcional como estructural del sistema nervioso. La neurona no se divide, ni se reproduce. Su número permanece fijo desde el nacimiento, y a partir de una determinada edad se van perdiendo gran número de ellas. (Miranda, 2017)

### **2.8.6 ESTRUCTURA DE LA NEURONA**

Existen neuronas de diferentes formas, tamaños y longitudes. Estos atributos son importantes para determinar la función y utilidad de la neurona. La clasificación de estas células en tipos estándar ha sido realizada por muchos neuroanatomistas. (R. Hilera & Martinez Hernando, 1995)

Las neuronas son las células más características y estudiadas del sistema nervioso. Se componen de tres partes: las dendritas, situadas en torno al citoplasma; el cuerpo celular o soma, y el axón.



*Figura 24.* Forma general de una neurona (R. Hilera & Martínez Hernando, 1995)

Una de las características que diferencian a las neuronas del resto de las células vivas es su capacidad de comunicarse. En términos generales, las dendritas y el cuerpo celular reciben señales de entrada; el cuerpo celular las combina e integra y emite señales de salida. El axón transporta esas señales a los terminales axónicos que se encargan de distribuir información a un nuevo conjunto de neuronas. Por lo general, una neurona recibe información de miles de otras neuronas y, a su vez, envía información a miles de neuronas más. Se calcula que en el cerebro humano existen del orden de 10<sup>15</sup> conexiones. (R. Hilera & Martínez Hernando, 1995).

## 2.11 REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Las Redes Neuronales Artificiales (denominadas habitualmente en castellano como RNA o en inglés como ANN, por Artificial Neural Networks) son modelos matemáticos compuesto por un gran número de elementos procesales organizados en niveles.

Las redes neuronales artificiales son, como su nombre indica, redes computacionales que intentan simular, de manera burda, las redes de células nerviosas (neuronas) del sistema nervioso central biológico. Esta simulación es una simulación bruta célula por célula (Graupe, 1997).

Surgieron como un intento de conseguir formalizaciones matemáticas acerca de la estructura del cerebro. Imitan la estructura hardware del sistema nervioso, centrándose en el funcionamiento del cerebro humano, basado en el aprendizaje a través de la experiencia, con la consiguiente extracción de conocimiento a partir de la misma. (Flórez López & Fernández Fernández, 2008).

Tabla 3

*Cuadro Comparativo entre Red neuronal Biológica Vs Red neuronal Artificial*

<b>RED NEURONAL BIOLÓGICA</b>	<b>RED NEURONAL ARTIFICIAL</b>
Neurona	Unidades de Proceso
Conexiones Sinápticas	Conexiones Ponderadas
Efectividad de Sinapsis	Peso de las Conexiones
Efecto de Estimulación	Signo del Peso de una Conexión
Efecto de combinación de Sinapsis	Función de Propagación de la Red
Activación	Función de Activación

La potencia de cálculo de una RNA radica en su gran capacidad para abstraer relaciones ocultas de comportamiento entre los parámetros implicados. Es precisamente esta característica la que le convierte en una herramienta idónea para el análisis de los resultados obtenidos experimentalmente en ensayos a cortante e inferir modelos de estimación de la capacidad resistente.

Jaramillo (2005), menciona que las características fundamentales de las Redes neuronales artificiales (RNA) son:

- A. Aprenden de la Experiencia
- B. Predicen datos nuevos a partir de datos anteriores
- C. Abstracción de la esencia de las entradas

## **2.12 ESTRUCTURA DE LA REDES NEUROLOGICAS ARTIFICIALES**

Una RNA consta de una serie de nodos interconectados entre sí, denominados neuronas, como se observa en la figura adjunta, donde las líneas que los unen representan las conexiones entre las neuronas. Estas neuronas se agrupan en capas, de manera que entre las neuronas de una misma capa no existe interconexión.

Según Hilera & Martinez Hernando (1995) una RNA es un modelo matemático constituido por un conjunto de unidades de procesamiento llamados Neuronas, células o nodos, interconectados entre sí por varias ligaduras de comunicación directa llamadas conexiones, con la finalidad de recibir señales de entrada, procesarlas y emitir señales de salida.

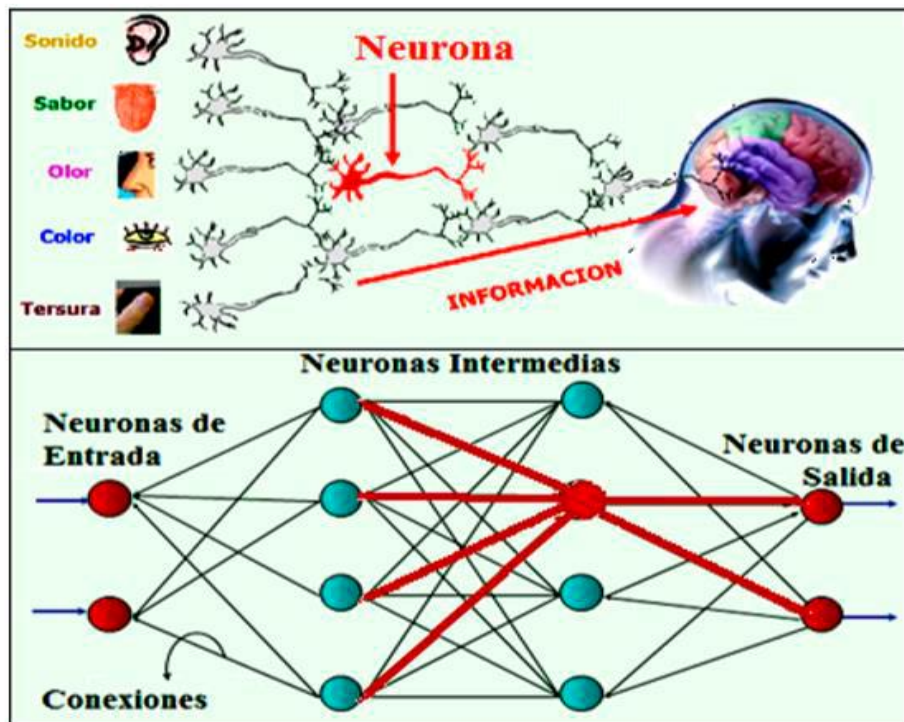


Figura 25. Comparación de una Red Neuronal Biológica y una RNA (Caudill & Butler, 1992).

En la Figura 25 se compara una neurona biológica con una neurona artificial. En la misma se pueden observar las similitudes y diferencias entre ambas (tienen entradas, utilizan pesos y generan salidas).

Las capas de neuronas interpuestas entre la entrada y la salida reciben el nombre de neuronas ocultas. Cada neurona posee un estado de activación interno que puede ser modificado por las señales que entran en ella.

El estado de una neurona se determina por su estado de activación, que es una función  $f$  que opera con las señales de entrada. La señal de cada neurona constituye una de las entradas de la siguiente neurona a la que se conecta (o bien, a la capa de salida final).

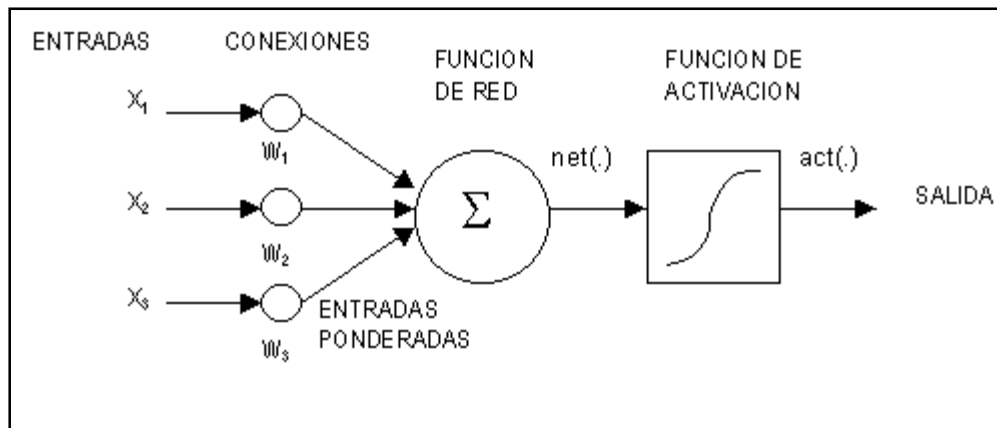


Figura 26. Esquema de funcionamiento de una RNA. (Ortí del Toro & Guinot Martínez, 2013).

El esquema que se muestra en la figura 26, tiene las siguientes características según (Martin del Brio & Sanz Molina, 2006):

Cada elemento de procesado puede tener varias entradas asociadas a propiedades diferentes.

- La entrada de tendencia es opcional (valor constante).
- Las entradas pueden ser: Excitadoras, inhibitoras, de ganancia, de disparo fortuito o de amortiguamiento.
- Las entradas están ponderadas por un factor multiplicativo de peso o intensidad de conexión que resaltan de forma diferente la importancia de cada entrada.
- Cada elemento de procesado tiene un valor de activación calculado en función del valor de entrada neto (calculado a partir de las entradas y los pesos asociados a ellas). En algunos casos, el valor de activación, depende además de la entrada neta del valor anterior de activación.

Como podemos ver en la Figura 26, las salidas de una neurona vienen a ser las entradas para cada neurona de la capa siguiente, de la misma forma para la capa subsiguiente hasta llegar a la capa de salida que ofrece los resultados finales de la red. Es decir, las neuronas de la capa de entrada responden simplemente a una expresión de paso (lo que entra, sale)

Según Garson (1991) existen dos aspectos fundamentales para asegurar el correcto funcionamiento de la RNA:

La configuración de la red: parámetros de entrada, de salida y capas de neuronas ocultas y número de estas. Depende del problema a resolver e interviene la experiencia previa, así como un proceso de prueba y error hasta encontrar la más adecuada.

Proceso de entrenamiento o aprendizaje de la red: es un proceso iterativo que tiene como misión determinar los pesos en las conexiones neuronales que dan el mejor ajuste con los resultados experimentales. Para ello se muestra a la red un conjunto de datos, denominados de entrenamiento, cuya respuesta se conoce por vía teórica o experimental.

## 2.13 FUNCIONES DE ACTIVACIÓN Y SALIDA

La caja de herramientas MATLAB ahora tiene cuatro algoritmos de entrenamiento que aplican peso y reglas de aprendizaje establecidas, como las siguientes funciones: función de entrenamiento por lotes “trainb”, función de entrenamiento incremental “trainc”, función de entrenamiento gradual de orden aleatoria “trainr”, y la función de entrenamiento incremental de orden secuencial “trains”.

La función de activación calcula la activación de la unidad en función de la entrada total y la activación previa, aunque en la mayor parte de los casos es simplemente una función no decreciente de la entrada total. Los tipos de función más empleados son: la función escalón, función lineal y la función sigmoideal. (Freeman, 1993)

### 2.11.1 FUNCIÓN ESCALÓN

La Figura 27, muestra como esta función de transferencia acerca la salida de la red a cero, si el argumento de la función es menor que cero y la lleva a uno si este argumento es mayor que uno. Esta función crea neuronas que clasifican las entradas en dos categorías diferentes, característica que le permite ser empleada en la red tipo Perceptrón.

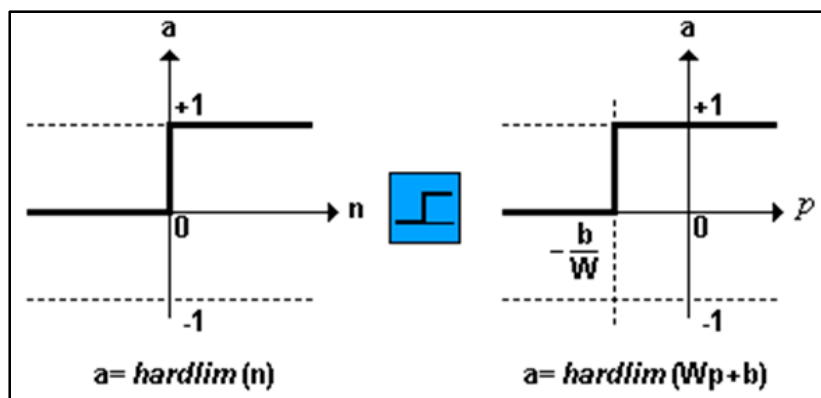


Figura 27. Función de Transferencia Escalón (Freeman, 1993).

Una modificación de esta función puede verse en la Figura 28, la que representa la función de transferencia Escalón Simétrica (Hardlims) que restringe el espacio de salida a valores entre 1 y  $-1$ . (Freeman, 1993)

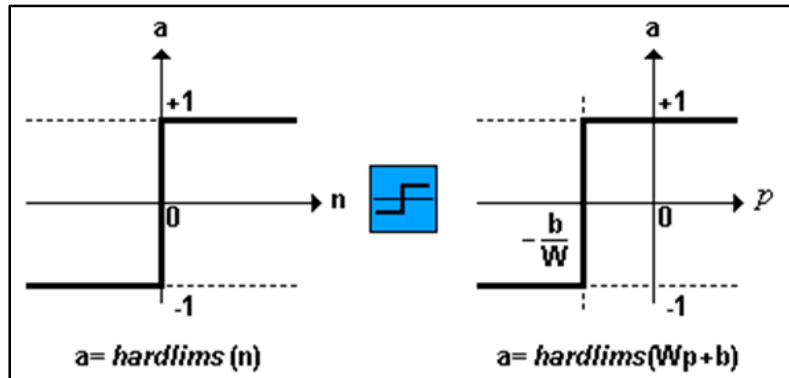


Figura 28. Función de Transferencia Escalón Simétrica (Freeman, 1993).

### 2.11.2 FUNCIÓN LINEAL

La salida de una función de transferencia lineal es igual a su entrada, la cual se representa en la Figura 29.

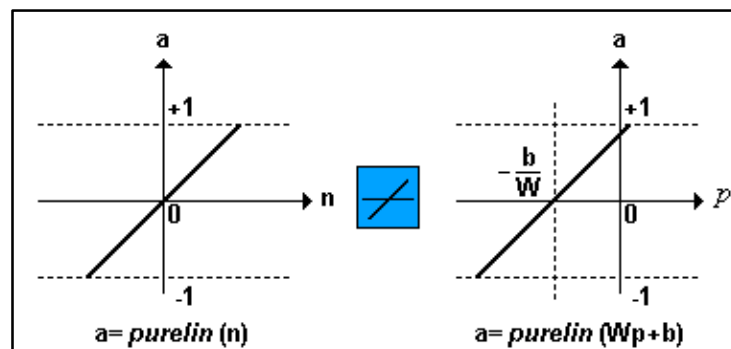


Figura 29. Función de Transferencia Lineal (Freeman, 1993).

### 2.11.3 FUNCIÓN SIGMOIDAL

Según Freeman (1991) esta función toma los valores de entrada, los cuales pueden oscilar entre más y menos infinito, y restringe la salida a valores entre cero y uno, de acuerdo a la expresión:

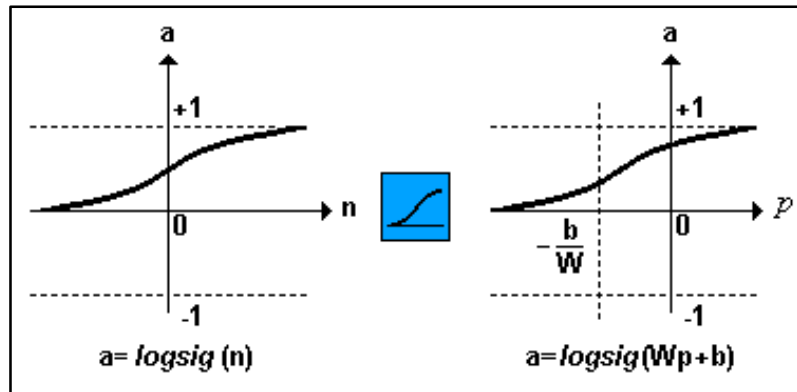


Figura 30. Función de Transferencia Logarítmica Sigmoidal (Freeman, 1993).

## 2.14 HERRAMIENTA DE APLICACIÓN

MATLAB es un lenguaje técnico para aplicaciones computacionales que permite integrar computación, visualización y programación en un ambiente fácil de usar y en donde las soluciones son expresadas en notación matemática.

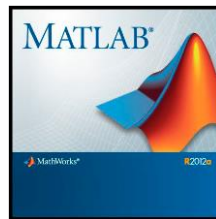


Figura 31. Herramienta de aplicación para el diseño de la red neuronal. (Beale, 2010).

Toolboxes, es una caja de herramientas que trae incorporado el MATLAB. Este presenta numerosos modelos matemáticos, con demos incluidos. Dentro de esta herramienta se encuentra el NEURAL NETWORK, que es un administrador de tipos de redes neuronales, este contiene demos y un panel de administración de nuevas redes con sus parámetros respectivos la cual es muy útil para el trabajo con redes neuronales artificiales.

## 2.15 PARÁMETROS DE LA RED

Según Garson (1991), menciona que las dos características más relevantes de una red neuronal, y que determinarán su eficacia, son:

- A. Topología de red: es decir la correcta interconexión entre capas neuronales y el número de neuronas presentes en cada capa.

B. El algoritmo de aprendizaje empleado para que la redes neuronales artificiales extraiga correctamente los patrones existentes.

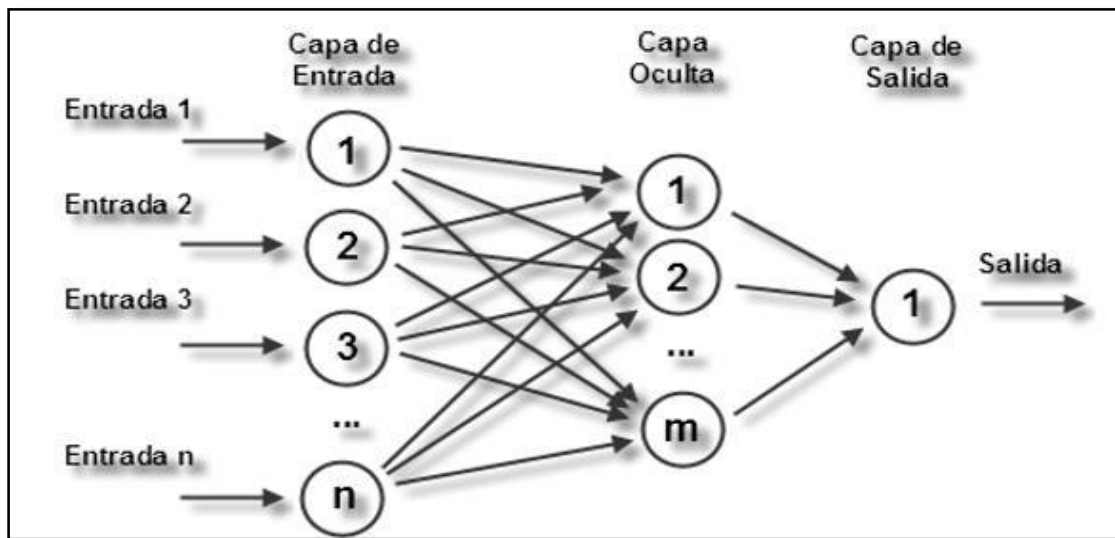


Figura 32. Esquema De Una Red Neuronal Multi Layer Perceptron (MLP) (Freeman, 1993).

## CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Jiménez (1998) conceptualiza que, la metodología de la investigación científica constituye por su parte un conjunto de métodos, categorías, leyes y procedimientos que orientan los esfuerzos de la investigación hacia la solución de los problemas científicos con un máximo de eficiencia. Se trata pues, de las formas de aplicación consciente del método científico en la solución de problemas del conocimiento.

A continuación, se presenta las diferentes clasificaciones de investigación adoptada para la presente tesis:

#### 3.1.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo. Según Hernández et al. (2014), mencionan que el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

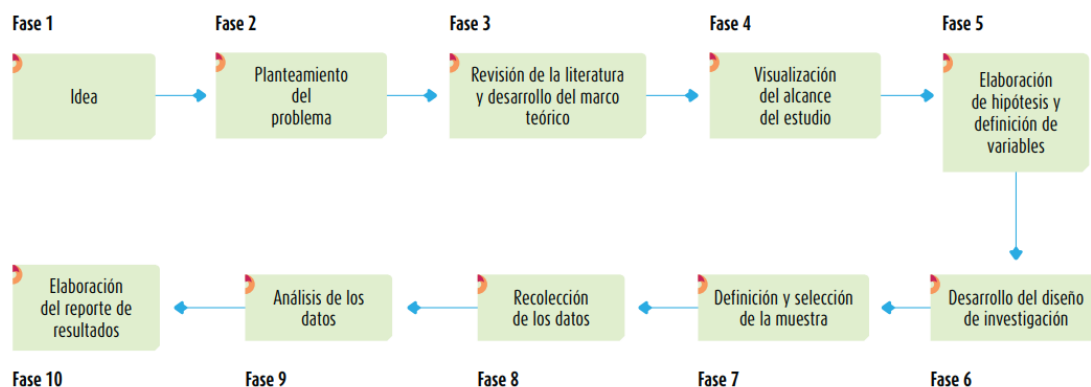


Figura 33. Proceso de trabajo de un trabajo con enfoque Cuantitativo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

#### 3.1.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Según Hernández et al. (2014), el presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo y un nivel descriptivo comparativo.

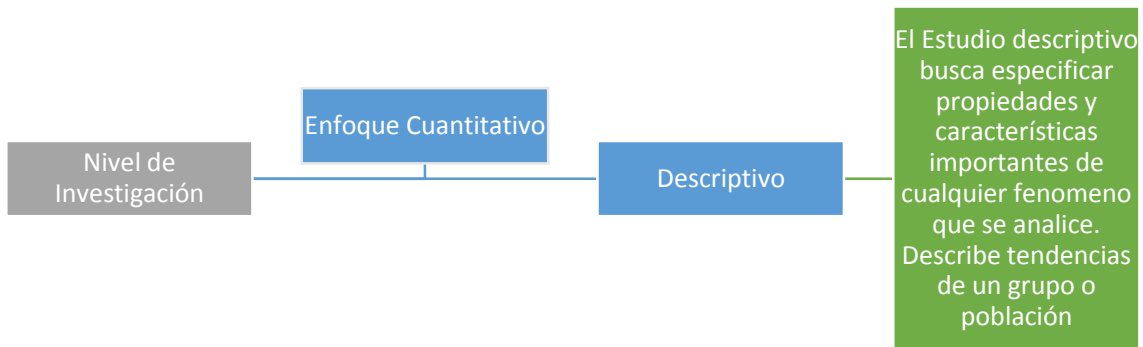


Figura 34. Nivel de Investigación según el enfoque cuantitativo.

### 3.1.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es tipo descriptiva comparativa, La investigación descriptiva comparativa consiste en recolectar en dos o más muestras con el propósito de observar el comportamiento de una variable, tratando de “controlar” estadísticamente otras variables que se considera pueden afectar la variable estudiada (variable dependiente).

Estudio en el cual existen dos o más poblaciones y donde se quieren comparar algunas variables para contrastar una o varias hipótesis centrales.

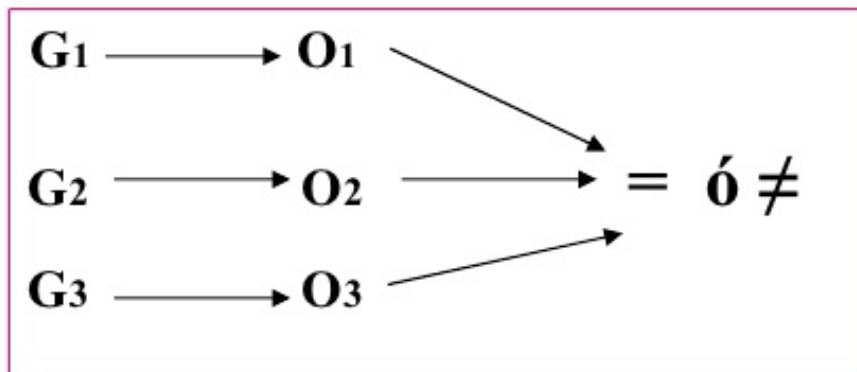


Figura 35. Tipo de Investigación descriptiva-comparativa.

En esta investigación para describir las diferencias entre la predicción de la capacidad de corte de las vigas de gran altura, se seleccionó tres muestras; la primera de los resultados experimentales ( $V_{\text{experimental}}$ ), la segunda de los resultados predichos por la norma ACI 318-14 ( $V_{\text{ACI}}$ ) y el tercero de los resultados predichos por las redes neuronales artificiales ( $V_{\text{RNA}}$ ).

## **3.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1 HIPÓTESIS GENERAL**

- a. Es posible establecer una metodología de diseño de vigas de gran altura con las redes neuronales artificiales y mejorar el análisis de las vigas.

### **3.2.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- a. Es posible mediante redes neuronales artificiales, pronosticar la respuesta a cortante de vigas de gran altura teniendo en consideración como variables de entrada la calidad del concreto, la geometría de la viga y el diseño de este con la norma ACI 318-14.
- b. Es posible entrenar una red neuronal donde las correlaciones de los datos (entrenamiento, validación y prueba) tenga una analogía mayor del 95%.
- c. Es posible demostrar que las capacidades a cortante predichas por las redes neuronales y las ecuaciones de la norma ACI 318 – 14 tengan una correlación con los resultados de la viga mayor al 95%.

## **3.3 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

. Hernández et al. (2014) menciona que los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominamos variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control:

### **3.3.1 VARIABLES INDEPENDIENTES**

- Calidad Del Concreto (210 kg/cm<sup>2</sup>).
- Parámetros Geométricos De La Viga (Altura, base, Peralte, longitud y distancia de aplicación de carga).
- Parámetros De Diseño ACI 318 -14 (Acero longitudinal, acero vertical y acero horizontal).

### **3.3.2 VARIABLES DEPENDIENTES**

- Resistencia A Cortante (KN).

### 3.4 OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

Conforme a lo que se ha planteado anteriormente, se cuenta con variables independientes y dependientes. Y en lo que respecta a su operacionalización, el diseño que se tuvo en consideración es expresada por la siguiente ecuación:

$$Y = f(X)$$

Donde:

X = Variable Independiente.

Y = Variable Dependiente.

Z = Variable Interviniente.

Hernández et al. (2014) menciona que las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman parte de una hipótesis o una teoría. En este caso, se les suele denominar constructos o construcciones hipotéticas.

Tabla 4  
*Variables de estudio*

Variable		Indicadores	Dimensiones	Escala	
Variable Independiente:	<b>U1</b>	f'c	kg/cm2	A	
Calidad del Concreto		f'y	kg/cm2		
Variable Independiente:	<b>U2</b>	Longitud	m	B	
Parámetros Geométricos de la Viga de gran altura		Dimensiones b	cm		Modelo de viga de gran altura
		Dimensiones h	cm		
		Distancia de a (aplicación de carga)	cm		
Variable dependiente	<b>U3</b>	Acero vertical	cm2	C	
Parámetros ACI 318 -14		Cuantía	%		De acuerdo a primer modelo de viga
	Peralte	cm	De acuerdo a diseño del segundo modelo de viga		
	Acero Horizontal	cm2			
Variable Dependiente	<b>Y</b>	Deformación	mm	De acuerdo a Diseño	
Predicción de la Capacidad Resistente		Resistencia a cortante	kg	De acuerdo a Diseño	

Hernández et al. (2014) menciona que las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman

parte de una hipótesis o una teoría. En este caso, se les suele denominar constructos o construcciones hipotéticas”

Tabla 5  
Operacionalización de Variables de estudio

Objeto de Estudio	Estimulo 1	Estimulo 2	Estimulo 3	Medición 1
Resistencia al corte de una viga de gran altura	U1 (A)	U2 (C)	U3 (C')	U1 X U2⊙
		U2 (D)	U3 (D')	U1 X U2⊙
				U1 X U2⊙
				U1 X U2(D)
				U1 X U2(D)
				U1 X U2(D)
				<b>6 vigas</b>

### 3.5 ETAPAS Y DESARROLLO DEL DISEÑO DE EXPERIMENTO

El presente trabajo tuvo tres etapas primordiales en el diseño de la investigación. La primera es el diseño de las vigas de gran altura con la norma ACI 318 - 14, la segunda es la elaboración de las muestras de vigas de gran altura y la tercera es el ensayo de las vigas de gran altura y su posterior análisis.

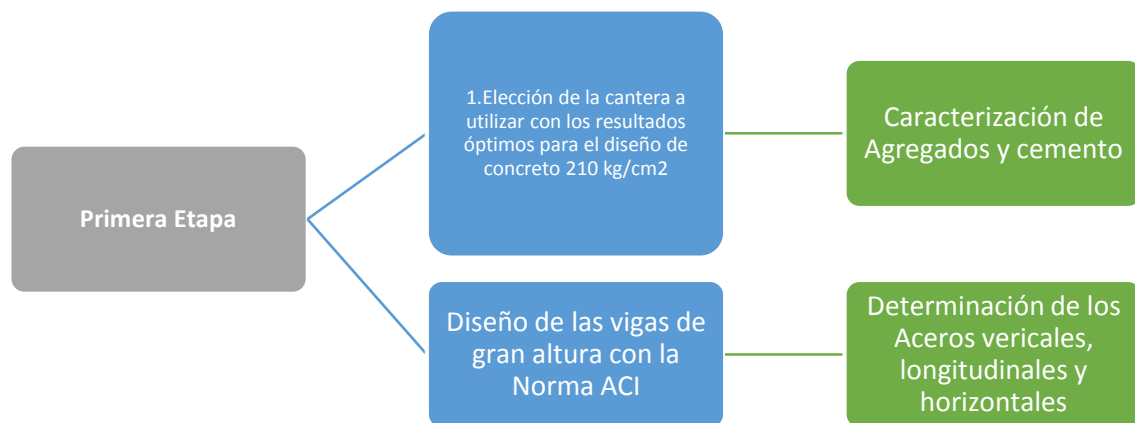


Figura 36. Primera Etapa del diseño del experimento

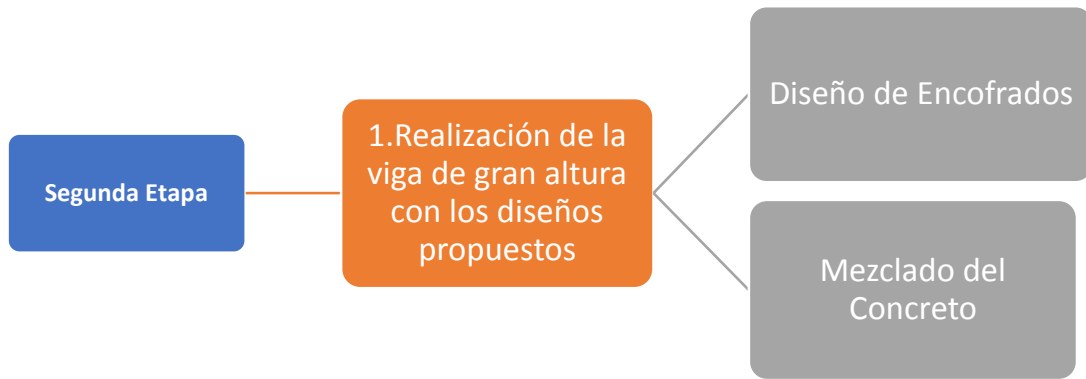


Figura 37. Segunda etapa del diseño del experimento.

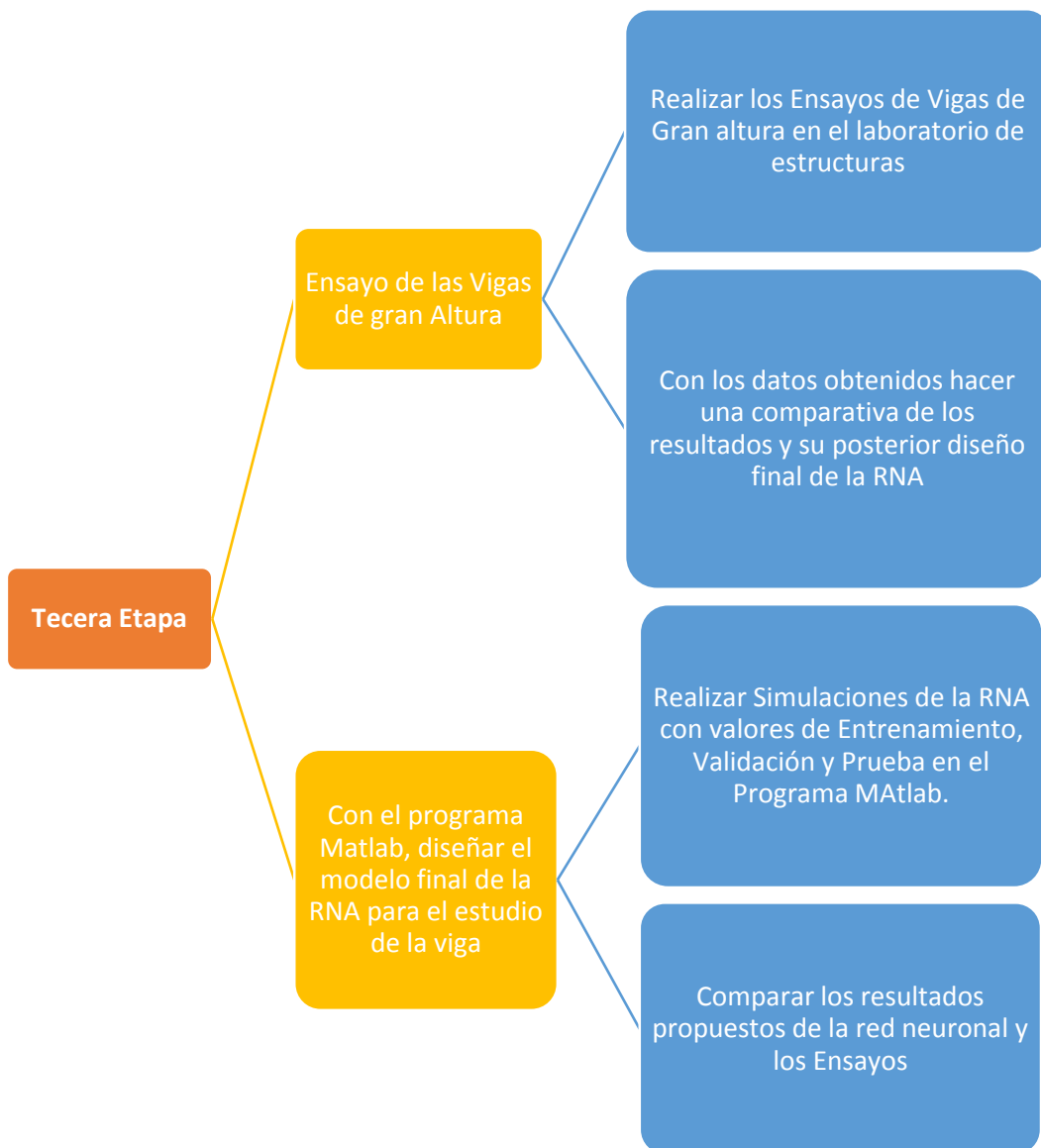


Figura 38. Tercera etapa del diseño del experimento.

### **3.6 RECURSOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

A continuación, se da a conocer el listado de los recursos tomados en cuenta para la recolección de datos.

- Bibliografía (libros físicos y digitales).
- Datos obtenidos directamente de laboratorio.
- Trabajos de investigación (tesis, artículos, monografías, etc.).
- Información de Internet en general.

### **3.7 LUGAR DE EJECUCIÓN**

Para el análisis de la resistencia a corte de vigas de gran altura se realizaron vigas de gran altura, tomando modelos de trabajos de investigación antecesores al presente trabajo. Para la elaboración de las vigas en primer lugar se realiza ensayos de caracterización de los agregados que se realizó en los laboratorios de tecnología de materiales de la EP Ingeniería Civil UPeU-J. Seguidamente la elaboración de los encofrados, doblado de acero, Mezclado del concreto y su posterior vaciado de las vigas se realizó en un ámbito privado establecido por el investigador. El ensayo de resistencia del concreto se realizó con pruebas no destructivas a los 28 días y finalmente, el ensayo de los modelos de las vigas de gran altura se realizó en el laboratorio de estructuras de la EP Ingeniería Civil UPeU-J.

### **3.8 UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA**

Según Hernández et al. (2014) menciona que toda investigación debe ser transparente, así como estar sujeta a crítica y réplica, y este ejercicio solamente es posible si el investigador delimita con claridad la población estudiada y hace explícito el proceso de selección de su muestra.

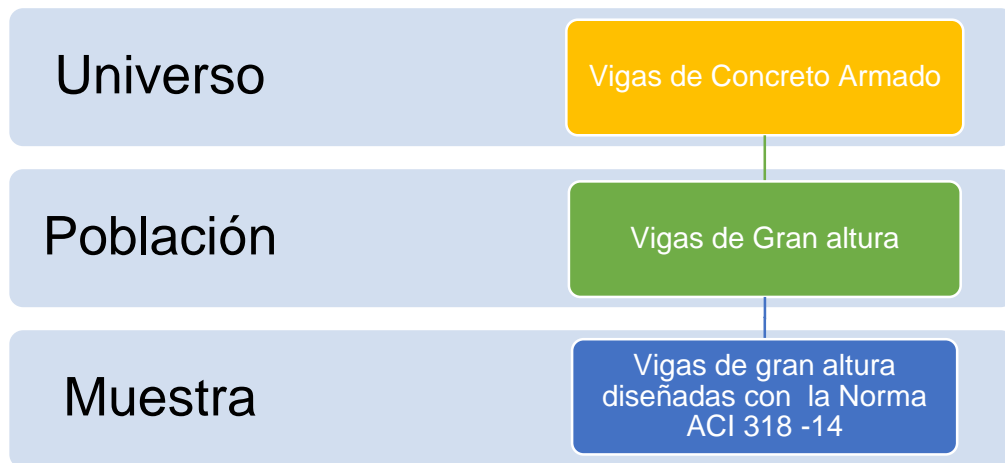


Figura 39. Detalle del universo, población y muestra.

### 3.9 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

El desarrollo de modelos de redes neuronales necesita tantos datos de capacitación confiables como sea posible. Los datos de entrenamiento consisten en aquellos parámetros de entrada que afectan el sistema y los parámetros de salida correspondientes. Estos datos pueden ser datos de pruebas experimentales, datos empíricos confiables o resultados teóricos. La investigación actual utilizó resultados de pruebas experimentales obtenidos de estudios previos.

Debe mencionarse que todos los experimentos previos utilizados en este estudio tienen una configuración de prueba idéntica. El estudio de los resultados experimentales indicó que las vigas experimentadas mostraron diferentes tipos de fallas. En este estudio, las vigas que fallaron bajo corte se guardan para su posterior procesamiento. Las vigas que fallaron en otros tipos de fallas se excluyeron de este estudio.

Las vigas experimentadas fueron sometidas a carga de dos puntos. Este caso proporciona una mayor cantidad de datos que otros casos, lo cual es esencial para un mejor entrenamiento de la red neuronal.

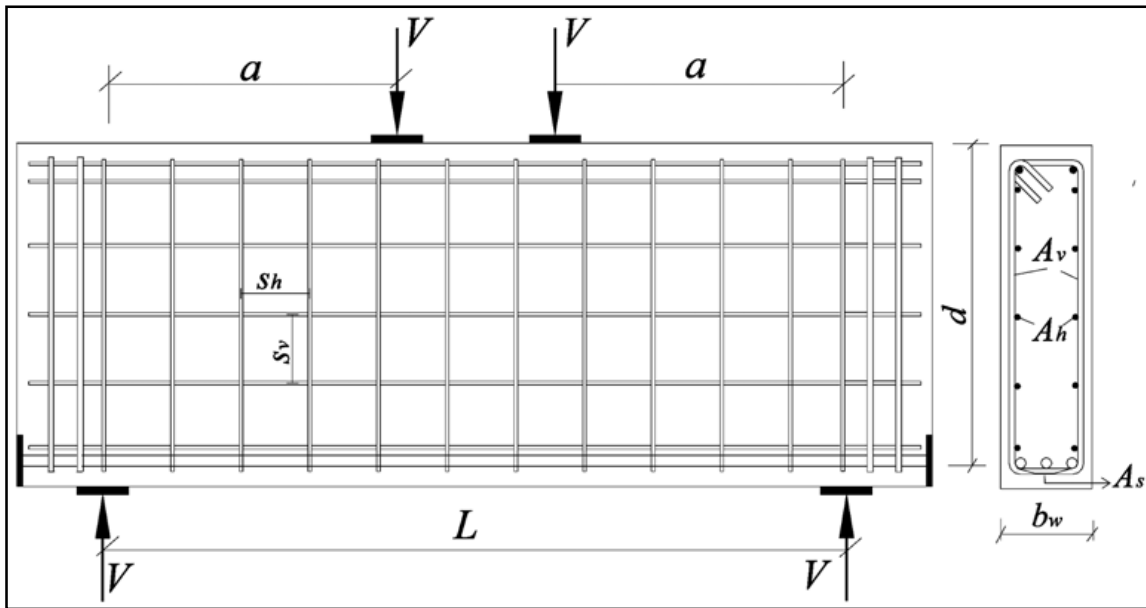


Figura 40. Detalle de las vigas de gran altura de concreto armado en la base de datos (An-Najjar, 2005).

Aplicando los mencionados criterios de selección y procesamiento, se recolecto 519 datos de ensayos experimentales de vigas de gran altura teniendo como criterio de selección:

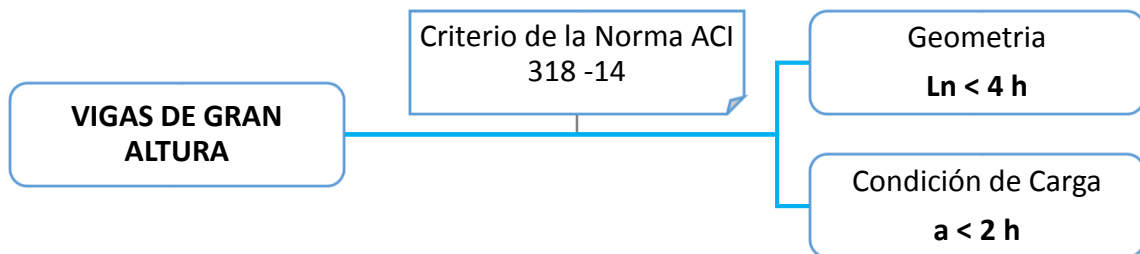


Figura 41. Criterio de selección de la recopilación de datos para las redes neuronales

El conjunto de datos de entrenamiento, validación y prueba de las redes neuronales se muestran en el

### Anexo D. Base de Datos de Vigas.

A continuación, en la *Tabla 6* se muestra un análisis estadístico de los datos obtenidos de los ensayos de las vigas de gran altura, que nos ayudaran a limitar el uso de la predicción de las redes neuronales artificiales.

Tabla 6  
Estadística descriptiva de la base de datos recopilada - Vigas de gran altura

	<i>h</i> (mm)	<i>d</i> (mm)	<i>b</i> (mm)	<i>a</i> (mm)	<i>a/d</i>	<i>f<sub>c</sub></i> (Mpa)	$\rho$	<i>f<sub>y</sub></i> (Mpa)	$\rho_v$	$\rho_h$
Media	486.908	429.906	155.040	500.570	1.232	35.624	0.020	454.578	0.002	0.002
Mediana	406	368	140	414	1.25	28.3	0.0186	431	0	0
Moda	381	305	178	610	2	49.1	0.0193	483	0	0
Desviación estándar	248.707	230.456	60.810	309.729	0.468	18.679	0.011	111.369	0.004	0.004
Rango	1598	1427	409	2545	1.75	79.7	0.0648	759	0.0245	0.0317
Mínimo	152	132	51	80	0.25	11.3	0.0016	267	0	0
Máximo	1750	1559	460	2625	2	91	0.0664	1026	0.0245	0.0317
Cuenta	519	519	519	519	519	519	519	519	519	519

Shi (2002) menciona que un modelo de red neuronal podría funcionar bien en un espacio completo cuando los datos de entrenamiento se distribuyen uniformemente en el espacio. Se examina la distribución de cada parámetro en su rango en la base de datos.

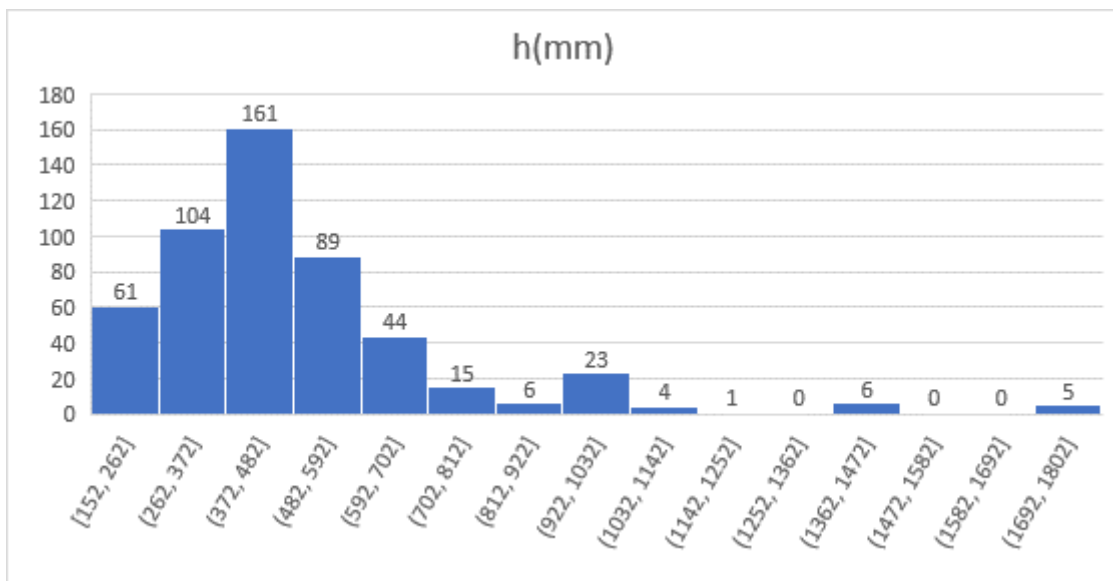


Figura 42. Frecuencia de valores de *h*(mm) de la base de datos.

La distribución de frecuencia que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que 31.02% de las vigas probadas tenían una altura que oscilaba entre 372 y 482 mm y que tienen una alta probabilidad de dar predicciones correctas a través de las redes neuronales.

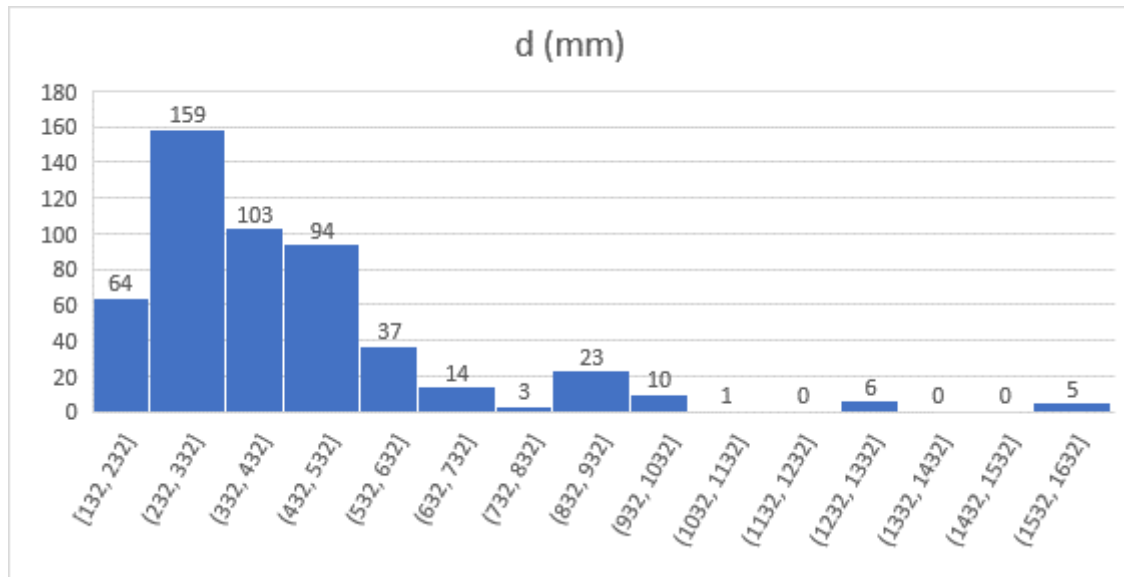


Figura 43. Frecuencia de valores de d(mm) de la base de datos.

La distribución de frecuencia que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que 80.92% de las vigas probadas tenían un peralte que oscilaba entre 132 y 532 mm.

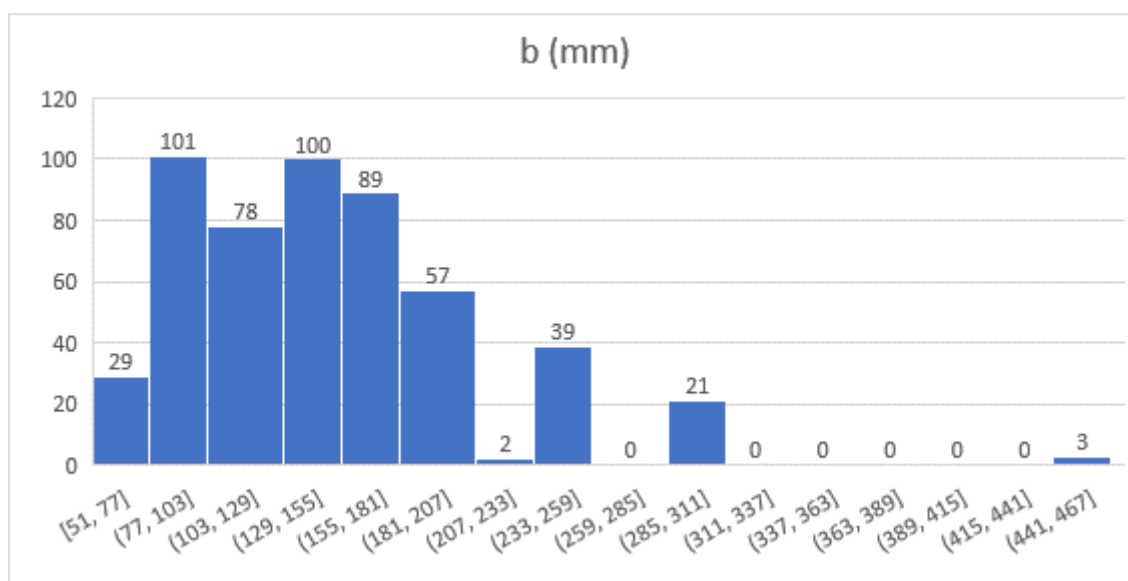


Figura 44. Frecuencia de valores de b(mm) de la base de datos.

La distribución de frecuencia que se ve en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que la base de datos tiene vigas que fueron ensayadas con unas bases de 77 mm a 103 mm y vigas de 129mm a 155mm que representan el 19.46% y 19.26 % respectivamente.

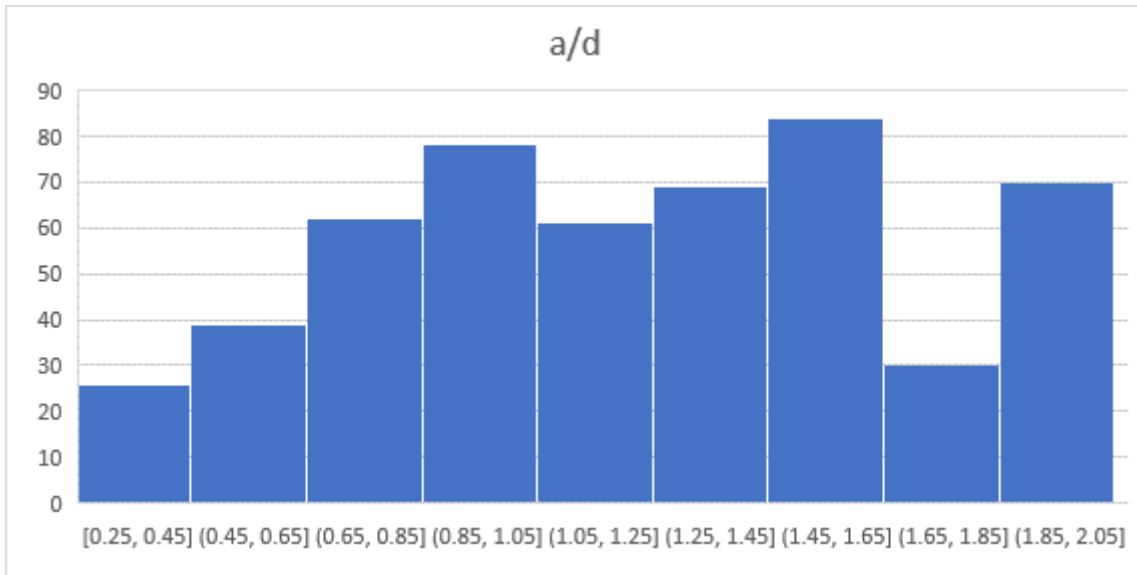


Figura 45. Frecuencia de valores de  $a/d$  de la base de datos.

La distribución de frecuencia que se ve en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que la relación  $a/d$  oscila entre 0 y 2, que según la teoría de (Kani, 1967) y (Kim & Park, 1994) nos menciona que las vigas de gran altura tiene una relación menor de  $a/d < 2.5$ .

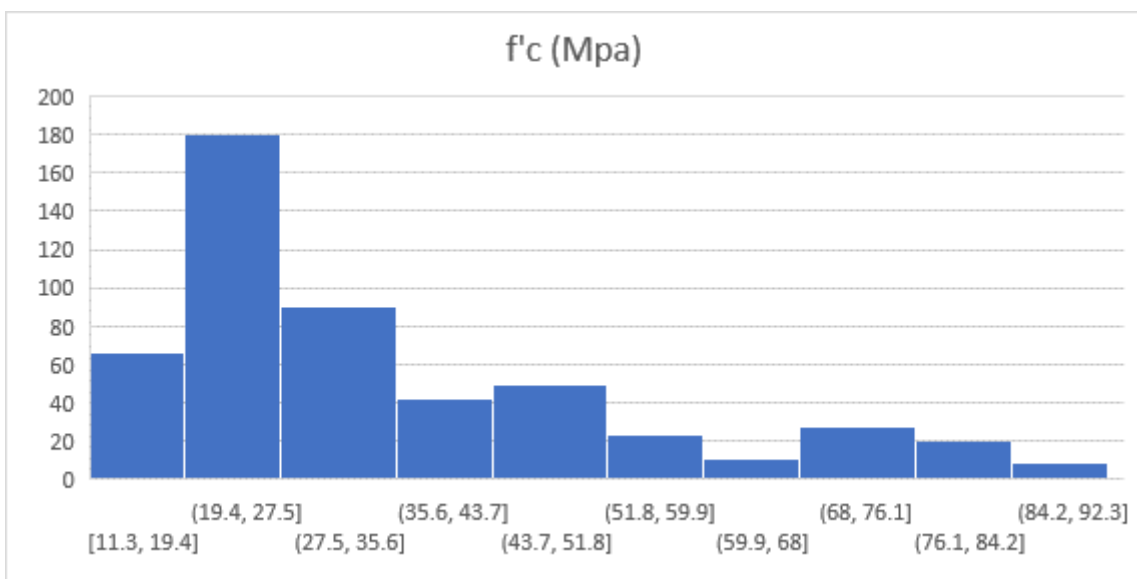
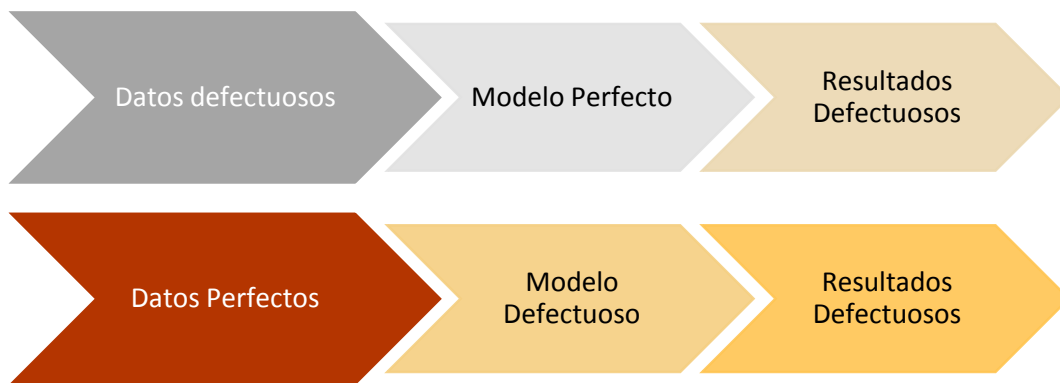


Figura 46. Frecuencia de valores de  $f'c$  (Mpa) de la base de datos.

La distribución de frecuencia que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que 34.68% de las vigas probadas tenían una resistencia del concreto que oscilaba entre 19.4 y 27.5 Mpa.

### 3.10 METODOLOGIA DE DISEÑO DE LA RED NEURONAL

La metodología del diseño de la red neuronal estará basada en un principio de informática que menciona "Garbage in, garbage out" (Basura entra y Basura sale), que describe el concepto de que los datos de entrada defectuosos o sin sentido producen una salida sin sentido o "basura".



*Figura 47.* Filosofía del entrenamiento de redes neuronales artificiales.

Las siguientes secciones explican los detalles del proceso de entrenamiento que se siguió en esta investigación para la validación del modelo de red neuronal. La Figura 48 muestra el proceso por el cual cada arquitectura de una red neuronal propuesta inicialmente es evaluada tomando en consideración la correlación de datos que obtenga cada arquitectura y siendo este el factor importante para determinar el buen funcionamiento de la red neuronal.

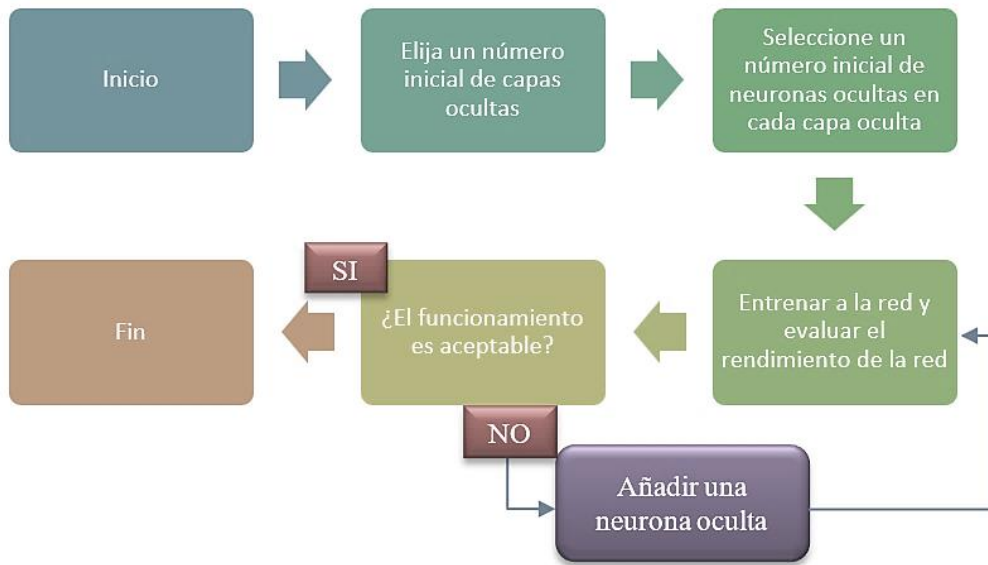


Figura 48. Diagrama de flujo que muestra el proceso de entrenamiento de la red neuronal.

### 3.11 DISEÑO DE UNA RED NEURONAL

Para diseñar una red neuronal se deben tener claro que necesitamos datos de entrada, capas ocultas de neuronas y datos de salida.

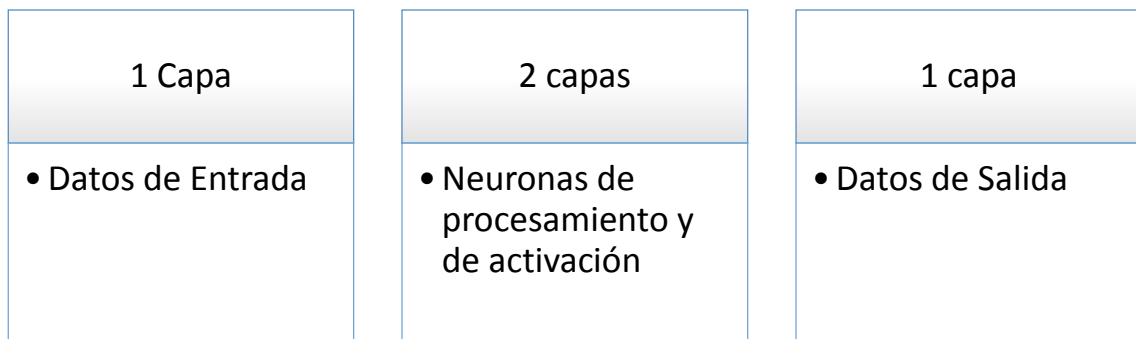


Figura 49. Esquema de datos y capas de la red neuronal artificial.

Los datos de entrada se establecen con los parámetros que afectan la resistencia al corte en las vigas de gran altura. Las Capas ocultas de neuronas se establece durante el proceso de tratamiento de datos y los datos de Salida sería la resistencia al corte de las vigas de gran altura.



Figura 50. Datos de entrada de la red neuronal artificial para vigas de gran altura.

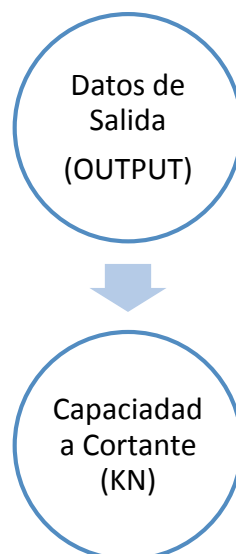


Figura 51. Datos de Salida de la red Neuronal para vigas de gran altura.

Para el diseño de las redes neuronales el programa Matlab de los 519 datos de entrada se tomará un 70% para el entrenamiento de la red neuronal, 15% se tomará para la validación y un 15% para la Pruebas. Estos Datos lo tomará de forma aleatoria,



Figura 52. Porcentaje de utilización de datos de entrada en una red neuronal.

Bhanuprakash et al (2017) menciona que el 70% de las muestras se entregarán para capacitar a la red (es decir, es 6 muestras de cada 10), el 15% de las muestras se entregarán para validación (es decir, son 2 muestras) y otro 15% de las muestras. Se dará a prueba (es decir, también es con 2 muestras). Este enfoque evaluará el nivel de rendimiento al dar su resultado en forma de:

- Red neuronal de reconocimiento de patrones: (vista de arquitectura).
- Curva de rendimiento con número de iteraciones.
- Estado de entrenamiento.
- Histograma de error.

Los ajustes y predicciones en el entrenamiento y los resultados de las redes neuronales son comúnmente influenciado por el número de capas ocultas y neuronas. en cada capa oculta (Yang, Ashour, & Song, 2007). Por lo tanto, el enfoque de prueba y error fue realizado para elegir un número adecuado de capas ocultas y número de neuronas en cada capa oculta como se indica en la **Tabla 7**.

Tabla 7

*Correlaciones Obtenidas de acuerdo a las redes Neuronales Propuestas*

N°	Detalles de las Redes Neuronales				Correlaciones Obtenidas			Correlación General de la Red Neuronal
	Arquitectura de la Red Neuronal	Datos de Entrada	Datos de Salida	Neuronas Artificiales Utilizadas	Entrenamiento	Validación	Prueba	
1	12 x 12 x 1 x 1	12	1	12	0.98072	0.96269	0.97503	0.97745
2	12 x 10 x 1 x 1	12	1	10	-0.01	-0.10477	0.1388	-0.006202
3	12 x 8 x 1 x 1	12	1	8	0.95052	0.94976	0.88149	0.94009
4	12 x 6 x 1 x 1	12	1	6	0.95335	0.88404	0.94662	0.94525

Después de varios entrenamientos e iteraciones utilizando herramientas MATLAB, se puede obtener la siguiente topología para las vigas de gran altura:

La topología de la red es:

- Tipo de arquitectura: avance de varias capas hacia adelante (Multi-layer feed forward)
- Número de capas (ocultas + salida): 3
- Algoritmo de entrenamiento utilizado: Back probation algorithm
- Número de iteraciones requeridas para el entrenamiento: 5000
- Objetivo (Suma Squared Error SSE): 0.9

El progreso de la capacitación se examinó trazando el entrenamiento, la validación y los errores de suma de prueba, SSE, versus el número de iteraciones realizadas, tal como se presenta en la Figura 54.

Para el correcto entrenamiento de la red Neuronal se establecio los parametros de entrenamiento. Para la presente investigación se utilizo parametros propuesto por Flores (2014).

```
Function Parameters for 'trainlm'  
  
Show Training Window Feedback showWindow: true  
Show Command Line Feedback showCommandLine: false  
Command Line Frequency show: 500  
Maximum Epochs epochs: 5000  
Maximum Training Time time: Inf  
Performance Goal goal: 0.9  
Minimum Gradient min_grad: 1e-07  
Maximum Validation Checks max_fail: 1000  
Mu mu: 0.005  
Mu Decrease Ratio mu_dec: 0.02  
Mu Increase Ratio mu_inc: 2  
Maximum mu mu_max: 1e+30
```

Figura 53. Parametros de Entrenamiento establecidos por Flores (2014)

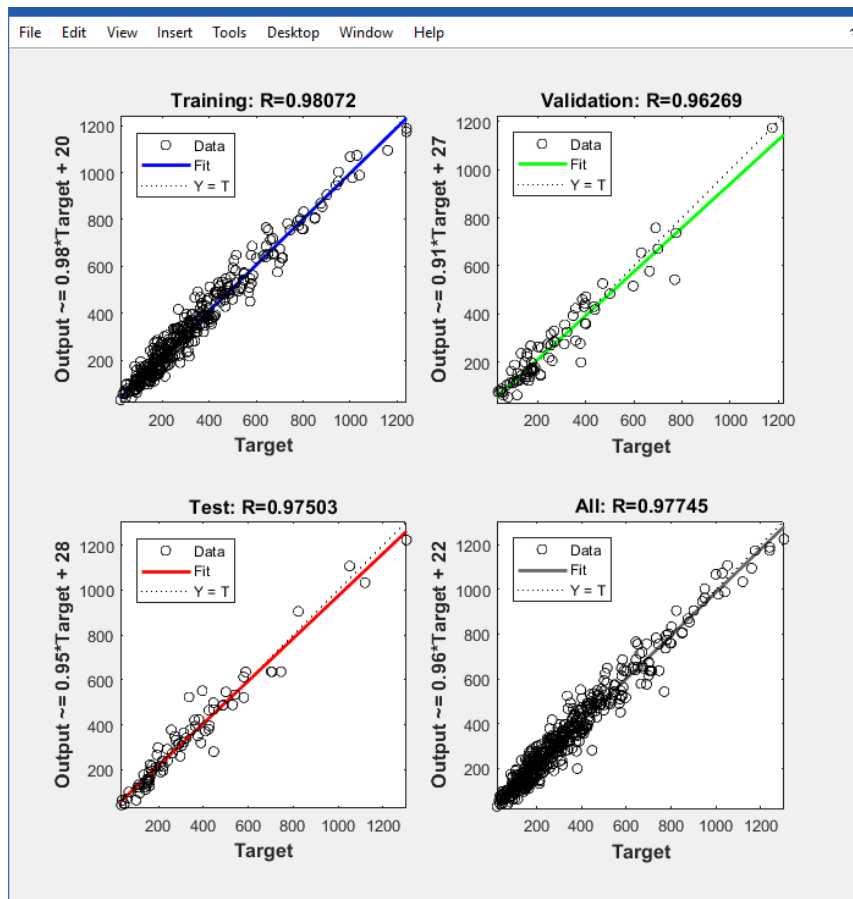


Figura 54. Correlación de la Red neuronal de arquitectura (12 x 12 x 1 x 1) que tiene una analogía muy alta y que se estableció para el análisis de datos.

Estas comparaciones muestran que la resistencia al corte, utilizando la RNA entrenada está correlacionado con los resultados experimentales como se aprecia en la Figura 54. En general, se puede concluir que las redes neuronales capacitadas tuvieron éxito en el aprendizaje de la relación entre los datos de entrada y salida.

### 3.12 VALIDACIÓN DEL MODELO DE LA RED NEURONAL:

Para la validación del modelo de la red neuronal artificial se aplicó el criterio de validación cruzada que el mismo programa Matlab contiene dentro de sus funciones de entrenamiento de las redes neuronales.

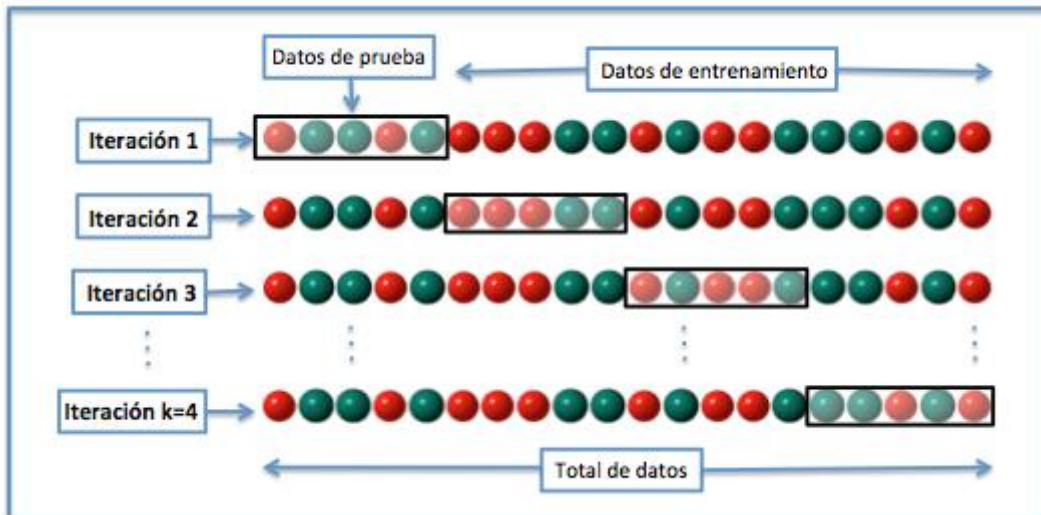


Figura 55. Validación del modelo de red neuronal con validación cruzada.

La validación cruzada o cross-validation es una técnica utilizada para evaluar los resultados de un análisis estadístico y garantizar que son independientes de la partición entre datos de entrenamiento y prueba.

Según Shi (2002) menciona que las redes neuronales tienden a tener una mejor predicción cuando los datos ingresados en la red están dentro de los parámetros de los datos de ingreso (entrenamiento).

El presente modelo de red Neuronal tiene una correlación del 97.74% que es muy alta, y que según el autor Shi (2002) menciona que este valor es el parámetro más influyente dentro de una predicción.

La validación cruzada nos permite realizar análisis de confianza de una red neuronal establecidos en este caso por la correlacion de los datos. En la Figura 56 nos muestra la comparación de los resultados de la capacidad de corte pronosticados por las redes neuronales artificiales y los resultados experimentales.

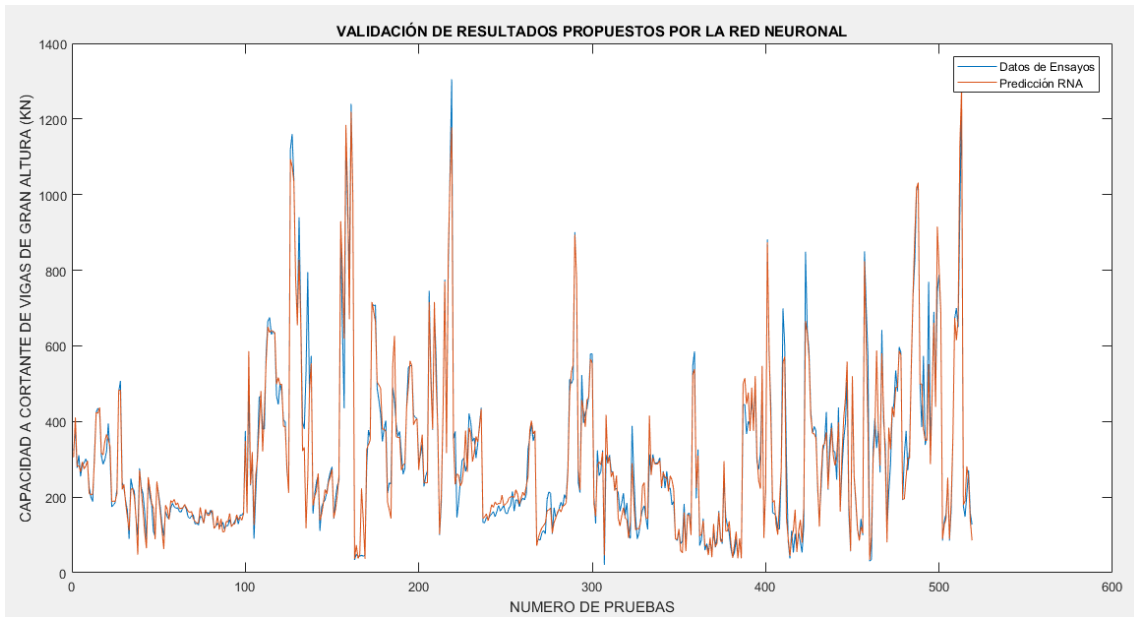


Figura 56. Validación de la red Neuronal con una correlación al 97.74%.

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE LAS VIGAS DE GRAN ALTURA

Para el contraste de la metodología de diseño de vigas de gran altura utilizando redes neuronales artificiales, se elaboró muestras de vigas de gran altura teniendo en consideración la normativa ACI 318-14, la cual según la literatura y la base de datos se estableció dos modelos de vigas que dichos diseños se muestran en el **Anexo F** y el **Anexo H**. Los controles de calidad que se realizaron en las vigas de gran altura se muestran en el **Anexo G**.

#### 4.1.1 MODELO DE VIGA 01 (SIN REFUERZO A CORTE)

El modelo de viga se diseñó considerando solo el refuerzo por flexión establecido por la norma ACI 318 – 14.

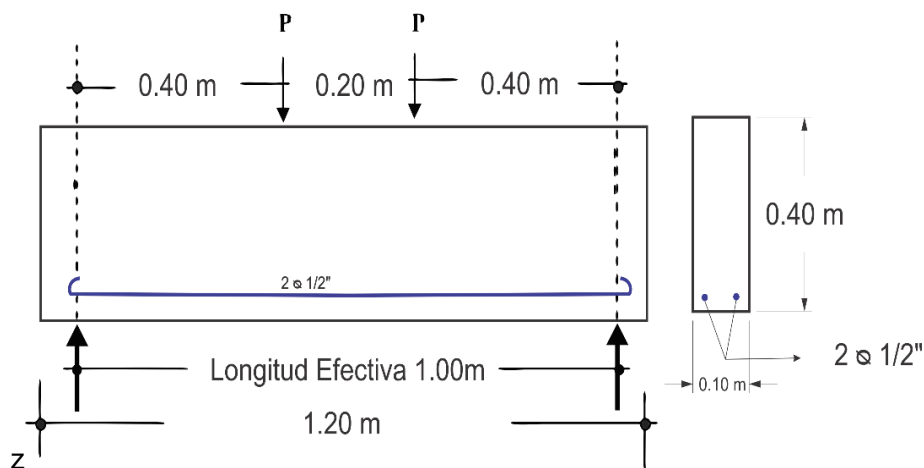


Figura 57. Detalle de la viga de gran altura del modelo 01 sin refuerzo a corte.

De acuerdo a nuestro diseño de experimento de este modelo de viga se realizaron tres especímenes.

Tabla 8

Detalles geométricos y de material de la viga de gran altura sin refuerzo a cortante

	Modelos de vigas sin refuerzo a corte		
	Viga 01	Viga 02	Viga 03
<b>h (mm)</b>	400	400	400
<b>d (mm)</b>	340	340	340
<b>b (mm)</b>	120	120	120
<b>a (mm)</b>	400	400	400
<b>a/d</b>	1.18	1.18	1.18
<b>fc (Mpa)</b>	21.2	21.2	20.74

$\rho$	0.0054	0.0054	0.0054
$f_y$ (Mpa)	411.9	411.9	411.9
$\rho_v$	0	0	0
$f_{yv}$ (Mpa)	0	0	0
$\rho_h$	0	0	0
$f_{yh}$ (Mpa)	0	0	0

Se aplicaron cargas puntuales en el equipo Magnus como se detalla a continuación, teniendo una carga constante.

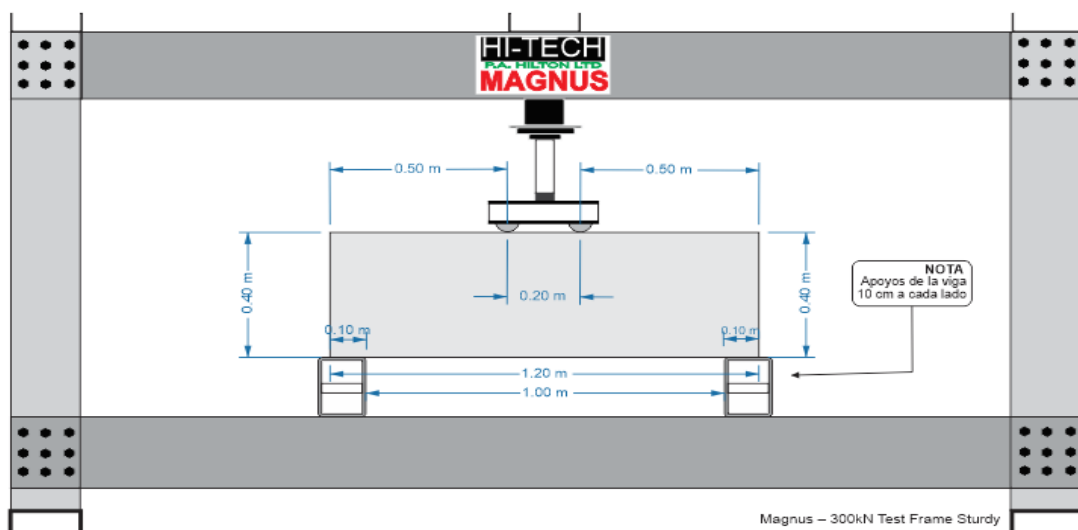


Figura 58. Detalle del modelo de ensayo aplicado a las vigas de gran altura.

Las vigas de gran altura fueron ensayadas con un proceso de curado de 28 días y tuvieron los siguientes resultados que cada uno tiene una forma diferente de falla.

Tabla 9

Resultados obtenidos de los ensayos de las vigas sin refuerzo a cortante

Modelos de vigas sin refuerzo a corte			
	Viga 01	Viga 02	Viga 03
KN (TEST)	44.81	50.86	47.76
FALLA	CORTE	CORTE	CORTE - FLEX

#### 4.1.2 MODELO DE VIGA 02 (CON REFUERZO A CORTE)

El modelo de viga se diseñó considerando el refuerzo por flexión y el refuerzo por cortante establecido por la norma ACI 318 – 14.

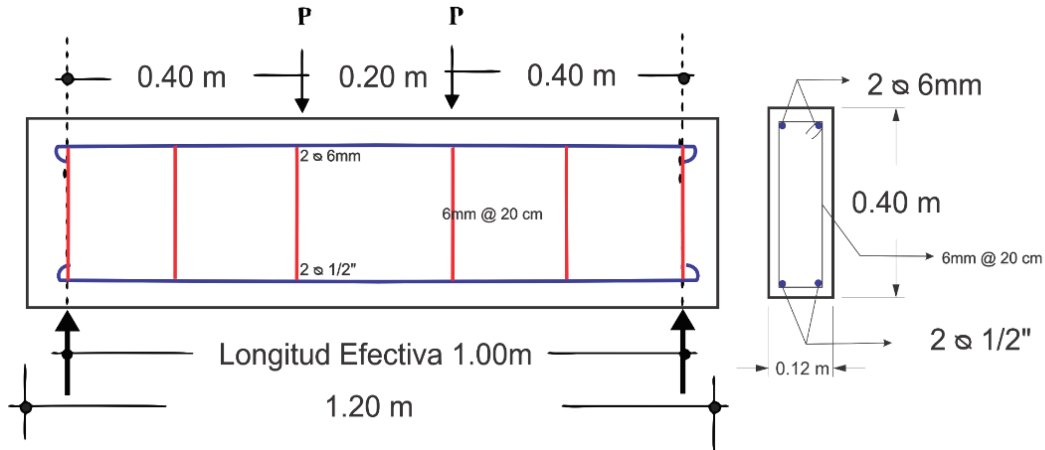


Figura 59. Detalle de la viga de gran altura del modelo 02 con refuerzo a corte

De acuerdo a nuestro diseño de experimento de este modelo de viga se realizaron tres especímenes de vigas de gran altura con refuerzo a cortante de acuerdo a la normativa ACI.

Tabla 10

Detalles geométricos y de material de la viga de gran altura con refuerzo a cortante

	Viga 04	Viga 05
h (mm)	400	400
d (mm)	360	360
b (mm)	120	120
a (mm)	400	400
a/d	1.11	1.11
fc (Mpa)	18.14	18.32
$\rho$	0.0042	0.0042
fy (Mpa)	411.0	411.9
$\rho_v$	0.0024	0.0024
fyv (Mpa)	411	411.88
$\rho_h$	0.0015	0.002
fyh (Mpa)	411.000	411.88

Los Resultados obtenidos de los ensayos de las vigas de gran altura con refuerzo a cortante, no se tomó en consideración la viga 06 por problemas de calidad del material (concreto).

Tabla 11

Resultados obtenidos de los ensayos de las vigas con refuerzo a cortante

Modelos de vigas sin refuerzo a corte			
	Viga 04	Viga 05	Viga 06
KN (TEST)	78.08	80.72	D
FALLA	CORTE-FLEXIÓN	CORTE-FLEXIÓN	N/A

\*D = Descartado por Daños durante transporte

#### 4.2 PREDICCIÓN DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES:

De acuerdo a los datos del entrenamiento de la red neuronal, se elige a la red denomina “network1” que tiene una correlación (R=97%), que es muy alta a comparación de las demás arquitecturas de redes neuronales propuestas.

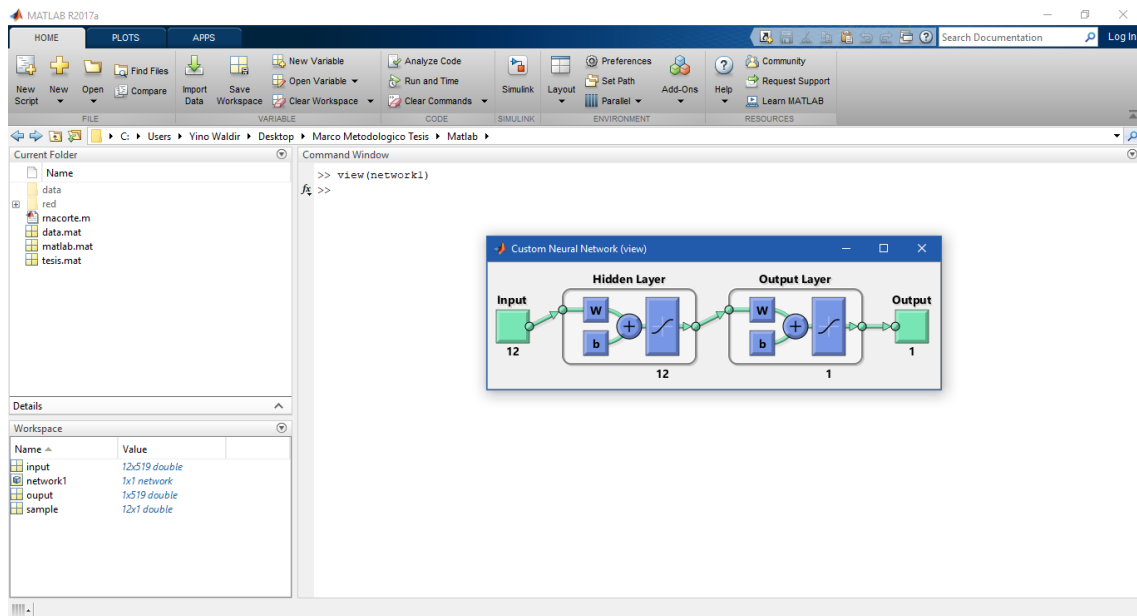


Figura 60. Red neuronal “network1” exportada al workspace para tener una simulación directa de datos

Para evaluar los datos de las vigas ensayadas tiene la siguiente información de datos de ingreso de las redes neuronales.

Tabla 12

Resultados obtenidos de los ensayos de las vigas con refuerzo a cortante

Input	Investigación Reciente					Lonhde, 2010		
	Modelos de vigas sin refuerzo a corte			Modelos de vigas con refuerzo a corte		Modelos de vigas con refuerzo a Cortante		
	Viga 01	Viga 02	Viga 03	Viga 04	Viga 05	V1	V2	V3
h (mm)	400	400	400	400	400	400	400	400
d (mm)	340	340	340	360	360	375	375	375
b (mm)	120	120	120	120	120	100	100	100

a (mm)	400	400	400	400	400	400	400	400
a/d	1.18	1.18	1.18	1.11	1.11	1.1	1.1	1.1
fc (Mpa)	21.2	21.2	20.74	18.14	18.32	32.19	32.14	32.16
$\rho$	0.0054	0.0054	0.0054	0.0042	0.0042	0.006	0.006	0.006
fy (Mpa)	411.9	411.9	411.9	411.0	411.9	444.98	445.98	448.98
$\rho v$	0	0	0	0.0024	0.0024	0.005	0.0075	0
fyv (Mpa)	0	0	0	411	411.88	445.98	445.98	0
$\rho h$	0	0	0	0.0015	0.002	0	0	0
fyh (Mpa)	0	0	0	411.000	411.88	0	0	0
KN(Test)	44.81	50.86	47.76	78.08	80.72	105	125	90

#### 4.2.1 EVALUACIÓN DE LAS VIGAS PROPUESTAS

Se tiene los datos de entrada de la red neuronal de la viga como se mencionan en la tabla **Tabla 12**, y se ejecuta el comando de la siguiente manera.

Se coloca el nombre de la red neuronal seguidamente acompañamos con unos parentesis y creamos unos corchetes que nos indican que ingresamos una matriz.

*network1 ([Matriz de entrada 1 x 12] )*

De esta manera ejecutamos el modelo de red y nos mostrada un resultado "ans", que representara el resultado señalado por la red neuronal artificial entrenada.

```

>> network1([400
340
120
400
1.18
18.14
0.0054
411.9
0
0
0
0
])

ans =

69.3673

>> network1([400
340
120
400
1.18
18.32
0.0054
411.9
0
0
0
0
])

ans =

69.6675

>> network1([400
340
120
400
1.18
18.32
0.0054
411.9
0
0
0
0
])

ans =

69.6675

```

Figura 61. Predicciones de las vigas (Viga 01, 02 y 03) en las redes neuronales artificiales.

<pre>&gt;&gt; network1([400 360 120 400 1.11 21.2 0.0042 411.0 0.0024 411 0.0015 411.000 ])  ans =  77.8558</pre>	<pre>&gt;&gt; network1([400 360 120 400 1.11 20.74 0.0042 411.9 0.0024 411.88 0.002 411.88 ])  ans =  75.7785</pre>
---	---

Figura 62. Predicciones de las vigas (Viga 04 y 05) en las redes neuronales artificiales.

<pre>&gt;&gt; network1([400 375 100 400 1.1 32.19 0.006 444.98 0.005 445.98 0 0 ])  ans =  112.7142</pre>	<pre>&gt;&gt; network1([400 375 100 400 1.1 32.14 0.006 444.98 0.0075 445.98 0 0 ])  ans =  181.8467</pre>	<pre>&gt;&gt; network1([400 375 100 400 1.1 32.19 0.006 444.98 0 0 0 0 ])  ans =  89.0497</pre>
---	--	---

Figura 63. Predicciones de las vigas (V1, V2 Y V3 de Londhe, 2010) en las redes neuronales artificiales.

Tabla 13

Resultados obtenidos de las predicciones de las redes neuronales

Detalle	SERIE	V <sub>TEST</sub> (KN)	a/d	fc (Mpa)	V <sub>RNA</sub> (KN)
Investigación Reciente	Viga 01	44.81	1.18	18.14	69.367
	Viga 02	50.86	1.18	18.32	69.668
	Viga 03	47.76	1.18	18.32	69.668
	Viga 04	78.08	1.11	21.2	77.856
	Viga 05	80.72	1.11	20.74	75.779
Lonhde, 2010	V1	105	1.1	32.19	112.714
	V2	125	1.1	32.14	181.847
	V3	90	1.1	32.19	89.050

En la Tabla 13 se puede apreciar un resumen de las predicciones de las redes neuronales artificiales respecto a los diferentes parámetros geométricos y de diseño de la viga.

#### 4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS

Se utilizan dos métodos de diseño, el Código ACI 318-14 y las redes neuronales artificiales, para estimar la capacidad resistente de corte final de las vigas de gran altura.

Tabla 14

Resultados de las vigas de gran altura sin refuerzo a cortante

Designación de vigas ensayadas	Evaluación de Vigas de gran altura sin Refuerzo a Corte				
	V <sub>Test</sub> (KN)	V <sub>RNA</sub> (KN)	V <sub>ACI</sub> (KN)	V <sub>RNA</sub> (KN)	V <sub>ACI</sub> (KN)
				V <sub>Test</sub> (KN)	V <sub>Test</sub> (KN)
<b>Viga 01</b>	44.81	69.367	108.17282	1.55	2.41
<b>Viga 02</b>	50.86	69.668	108.70819	1.37	2.14
<b>Viga 03</b>	47.76	69.668	108.70819	1.46	2.28
Promedio				1.46	2.28
Error en Predicción				45.9%	127.6%

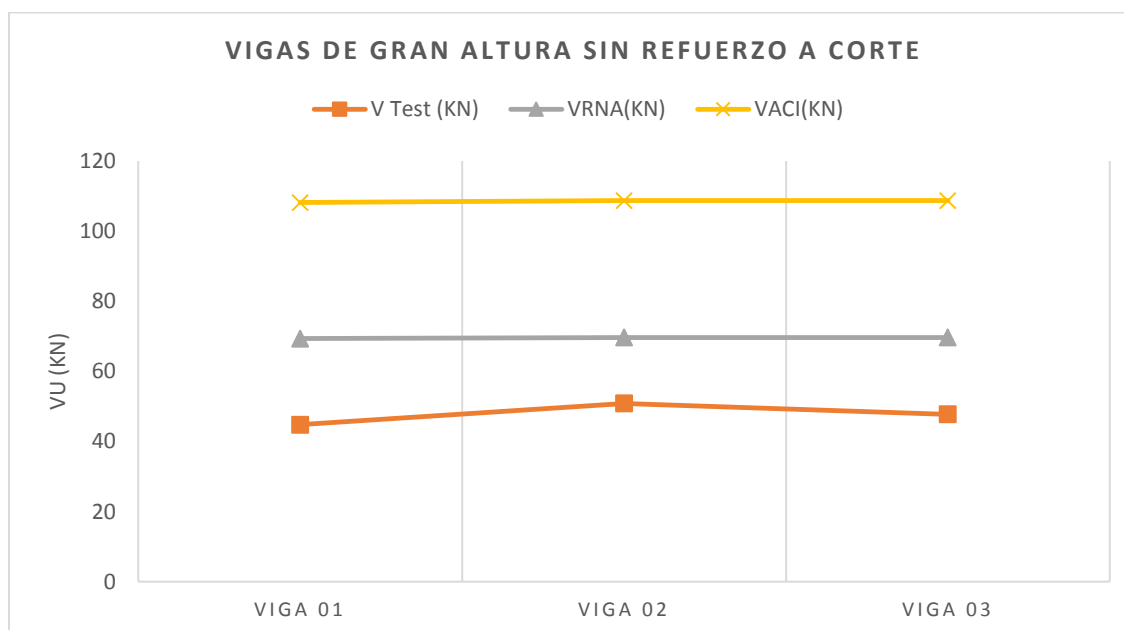
Como se puede apreciar en la Tabla 14 las predicciones de las redes neuronales tienen un error de 45.9% mientras que lo estimado con la normativa ACI 318-14 tiene un error de 127.6%, que representa un margen muy grande de error, que puede traer fallas de las vigas de gran altura, cuando la viga de gran altura no llegue a resistir de acuerdo a lo establecido por la norma ACI 318-14

Tabla 15

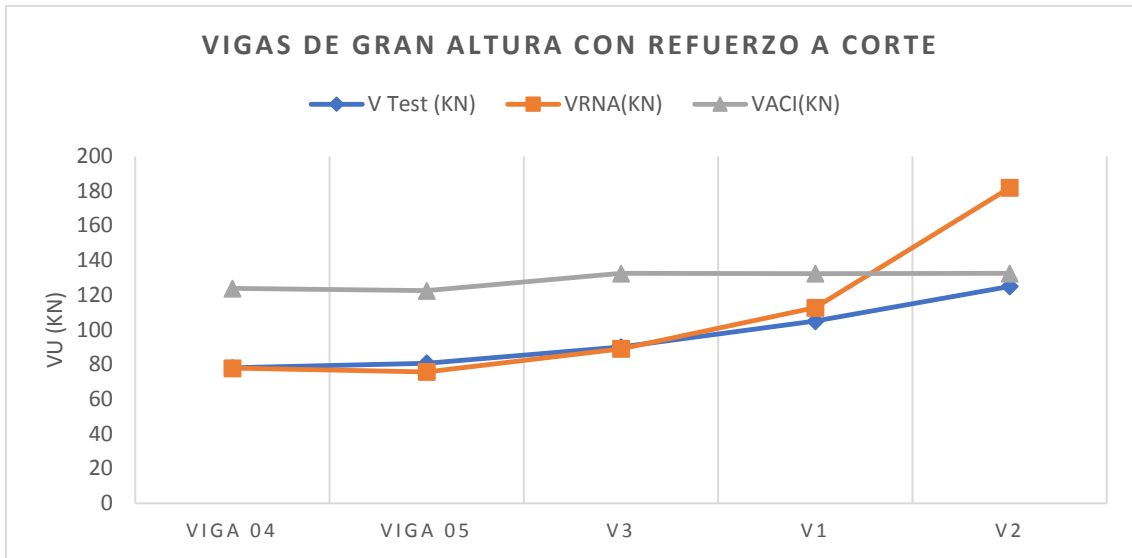
Resultados de las vigas de gran altura con refuerzo a cortante

Designación de vigas ensayadas	Evaluación de Vigas de gran altura con Refuerzo a Corte				
	$V_{Test}$ (KN)	$V_{RNA}$ (KN)	$V_{ACI}$ (KN)	$V_{RNA}$ (KN)	$V_{ACI}$ (KN)
				$V_{Test}$ (KN)	$V_{Test}$ (KN)
Viga 04	78.08	77.856	123.82007	1.00	1.59
Viga 05	80.72	75.779	122.46937	0.94	1.52
V3	90	89.050	132.44364	0.99	1.47
V1	105	112.714	132.34074	1.07	1.26
V2	125	181.847	132.44364	1.45	1.06
Promedio				1.09	1.38
Error en Predicción				9.07%	37.89%

Como se puede apreciar en la Figura 64, los resultados de las redes neuronales artificiales tienen una mejor aproximación de los datos a la realidad a comparación de los valores estimados por la norma ACI 318-14, esto se debe básicamente a que las redes neuronales predicen en función de resultados anteriores y la norma ACI, trabaja con conceptos teóricos.



(a)



(b)

Figura 64. Comportamiento de las predicciones de la resistencia al corte en las vigas de gran altura.

Sulaiman (2016) menciona que el efecto de la relación entre la distancia y la altura de corte ( $a/d$ ) es despreciable en la resistencia al corte de las vigas concreto armado cuando la relación  $a/d$  es mayor que tres, pero tiene una gran influencia en la capacidad de corte para valores menores que  $a/d < 3$ , como se muestra en la

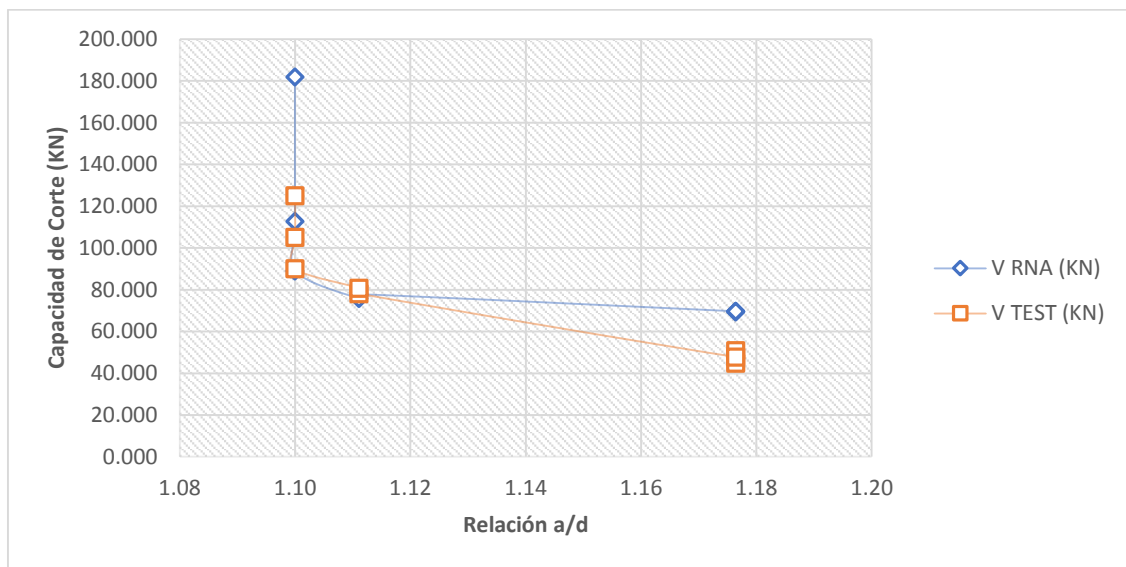


Figura 65. Comportamiento de la relación  $a/d$  con la capacidad de corte de la viga

En el Figura 65 se aprecia que la relación  $a/d$ , influye directamente en la relación de la capacidad de la cortante en las vigas de gran altura, mientras ese valor más se acerca a 0, la resistencia a la cortante aumentara.

Sulaiman (2016) menciona que la resistencia a la compresión del concreto es el parámetro más importante que influye en el comportamiento de corte.

Como se puede apreciar en la Figura 66, se tiene una tendencia a que, si el concreto aumenta la resistencia a compresión, la contribución de este a la cortante será mucho mejor.

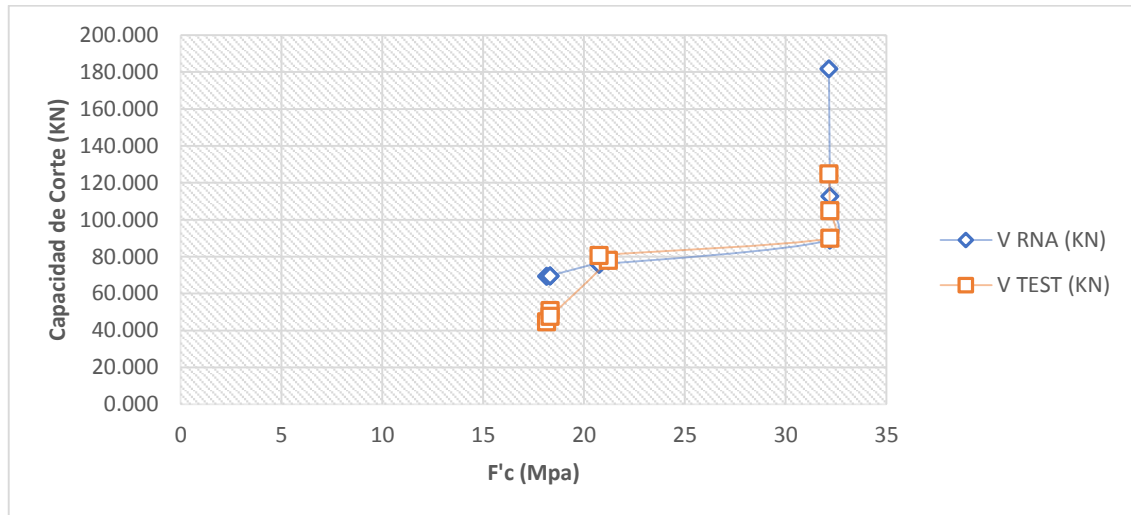


Figura 66. Contribución del concreto a la resistencia de la cortante en vigas de gran altura.

El refuerzo longitudinal aumenta la resistencia al corte de las vigas de gran altura al reducir las grietas producidas por las cargas aplicadas (Mau y Hsu, 1989).

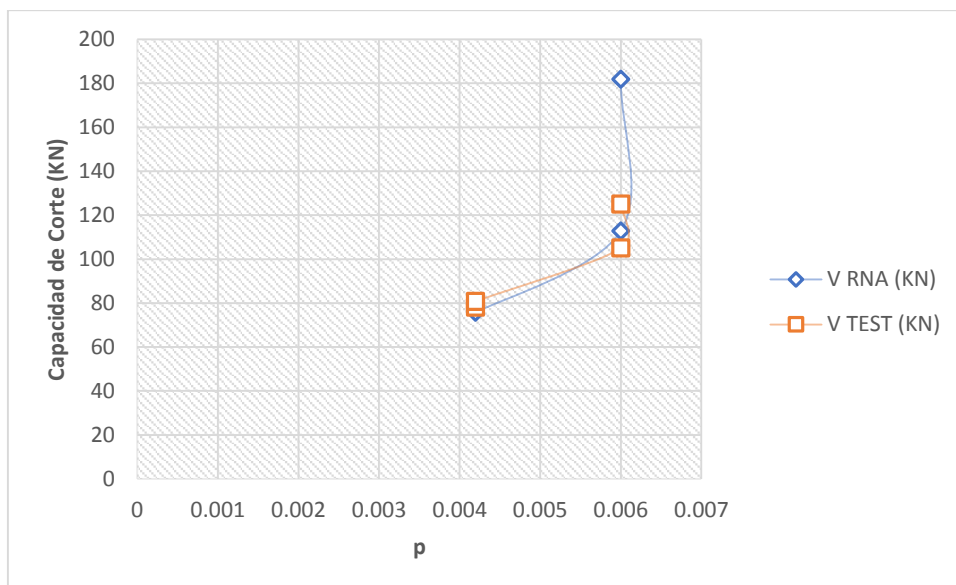


Figura 67. Contribución de la cuantía (Área de acero Longitudinal) en la cortante de las vigas de gran altura.

En la Figura 67 se puede apreciar la contribución del acero longitudinal en la capacidad a cortante de la viga, y que tiene una tendencia a que aumente y este valor estará siempre sujeto a la relación  $a/d$ .

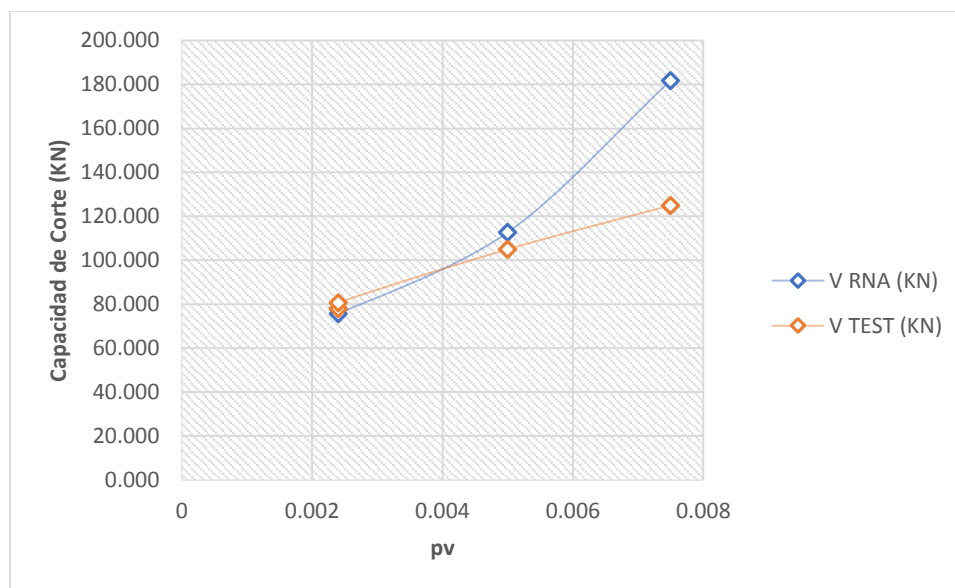


Figura 68. Contribución de la cuantía vertical (estribos) en la cortante de las vigas de gran altura

El refuerzo vertical (estribos) es uno de los principales parámetros que afectan significativamente la resistencia al corte de las vigas de gran altura, aparte de la relación  $a/d$ . En la Figura 68 se puede apreciar el comportamiento de este factor frente a la capacidad de corte de las vigas.

#### 4.4 METODOLOGIA DE DISEÑO CON RNA EN VIGAS DE GRAN ALTURA

Las estructuras que en sus componentes tienen vigas de gran altura, necesitan una metodología de diseño donde se pueda estimar la resistencia al corte con gran exactitud, para tener estructuras más seguras y más resistentes a eventos catastróficos (e.g. sismos, huracanes, etc.). Es así que el uso de las Redes Neuronales Artificiales a través de parámetros influyentes en la falla por cortante puede predecir la resistencia máxima por cortante.

Para que una red neuronal pueda predecir de manera óptima Shi (2002) menciona que los datos deben estar dentro de los márgenes de nuestra base de datos. Para que pueda ver una confiabilidad mayor en la predicción.

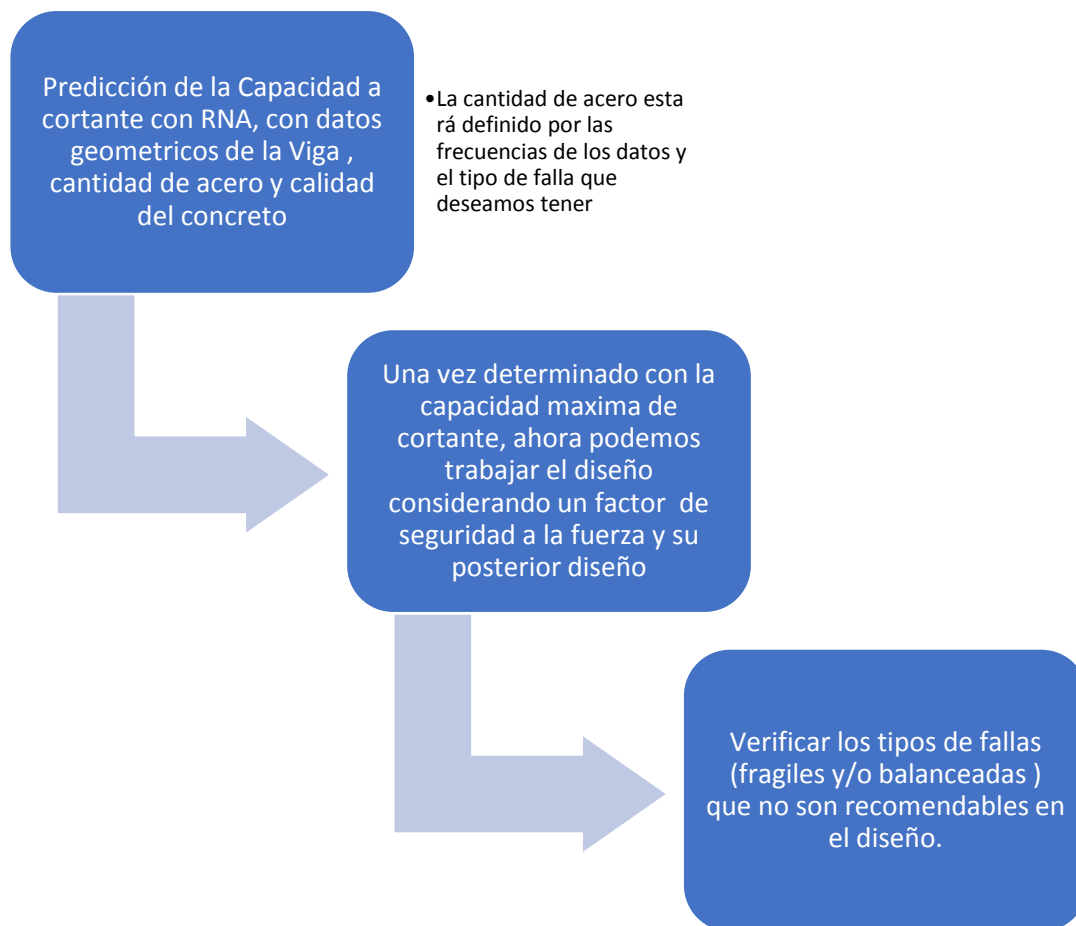


Figura 69. Propuesta de una metodología de diseño de vigas de gran altura.

#### 4.5 PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Hernández et al. (2014) definen que las hipótesis, en el enfoque cuantitativo, se someten a prueba en la ‘realidad’ cuando se implementa un diseño de investigación, se recolectan datos con uno o varios instrumentos de medición, y se analizan e interpretan esos mismos datos.

Las hipótesis son proposiciones tentativas para responder a las preguntas de investigación, acerca de la relación entre dos o más variables, las cuales tienen que ser probadas con el fin de determinar si son apoyadas o refutadas, esto aplicado a una muestra de datos que a la vez tiene que ser válida para toda la población, la propia que es posible realizarlo mediante una prueba estadística.

#### 4.6 PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis general de la presente investigación está planteada de la siguiente manera:

“Es posible establecer una metodología de diseño de vigas de gran altura con las redes neuronales artificiales, y mejorar el análisis de las vigas.”.

De acuerdo a la hipótesis general, se desea conocer si es factible establecer una metodología alternativa para el diseño de las vigas de gran altura en función a las características geométricas de arenas limpias y su conformación de esta ( $f'y$ ,  $f'c$ ,  $As$  vertical, horizontal y longitudinal). Finalmente, medir la confiabilidad o validez de los resultados proporcionados por la metodología planteada respecto a las metodologías.

Para realizar la prueba de hipótesis general, se logrará desarrollarlo por medio de las hipótesis específicas, dado que cada una de ellas obedece lo planteado por esta. A continuación, se sustentan las pruebas de hipótesis específicas para el pronóstico de las redes neuronales, la validación del entrenamiento de las redes neuronales y finalmente medir su confiabilidad.

#### **4.6.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECIFICA DE INVESTIGACIÓN (Pronosticar la fuerza de corte con redes Neuronales)**

La hipótesis de la presente investigación para el pronóstico de la fuerza por corte de vigas de gran altura, está planteado de la siguiente manera:

“Es posible mediante redes neuronales artificiales, pronosticar la respuesta a cortante de vigas de gran altura teniendo en consideración como variables de entrada la calidad del concreto, la geometría de la viga y el diseño de la viga con la norma ACI 318-14”

##### **A. Caso 1**

- **Paso 1: Formulación de hipótesis**

H0: “El pronóstico de la red neuronal es válido al estimar  $V_u=89.50$  KN de fuerza de corte de una viga de gran altura”. O puede ser formulado H0 como: “NO existe una red neuronal que estime la resistencia al corte”.

H1: “El pronóstico de la red neuronal **NO** es válido al estimar  $V_u=89.50$  KN de fuerza de corte de una viga de gran altura”. O puede ser formulado H0 como: “Existe una red neuronal que estime la resistencia al corte”.

- **Paso 2: Establecer en nivel de significancia**

El nivel de significancia queda establecido en .05 (5%)

Para la investigación el nivel de confianza será de  $Z = 95\%$

- **Paso 3: Elección del estadístico de prueba**

Tabla 16

*Análisis estadístico de fuerzas pronosticadas por las ecuaciones y las redes neuronales*

<b>MODELO DE VIGA</b>	
Media	99.60994
Desviación estándar	25.1005395
Rango	66
Mínimo	74
Máximo	140
Suma	498.0497
Cuenta	5

**Cálculo del estadístico de prueba:**

$$\mu = 89.050 \text{ KN}$$

Fórmulas de Cálculo

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$x = 99.60994$$

$$\sigma = 25.1005$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma_x}$$

$$n = 5$$

$$\sigma_x = 11.225$$

$$z = 0.9407$$

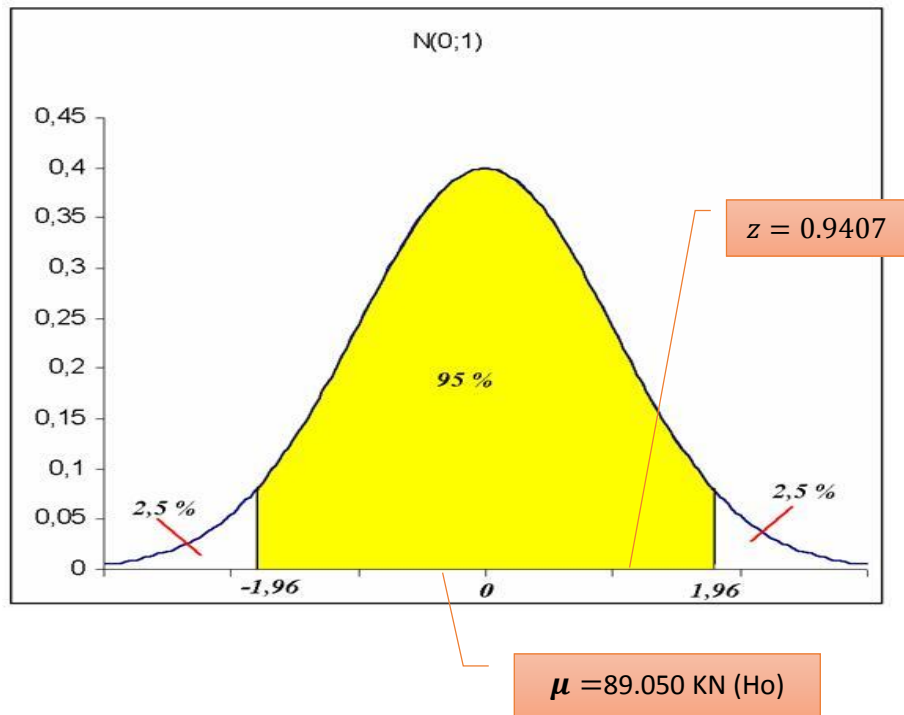


Figura 70. Intervalo de confianza del 95%, para la validación de la hipótesis.

En ambos casos, tanto  $Z_{\min}$  como  $Z_{\max}$ ,  $z$  está dentro del parámetro, de esta manera se acepta  $H_0$  y no se acepta  $H_1$ ; es decir, se rechaza la hipótesis alternativa al afirmar que NO existe una red neuronal que estime la resistencia al corte”. Y se acepta la hipótesis  $H_0$ , al afirmar que: “El pronóstico de la red neuronal es válido al estimar  $V_u=89.50$  KN de fuerza de corte de una viga de gran altura”.

## B. Caso 2

- **Paso 1: Formulación de hipótesis**

$H_0$ : “El pronóstico de la red neuronal es válido al estimar  $V_u = 112.714$  KN de fuerza de corte de una viga de gran altura”. O puede ser formulado  $H_0$  como: “NO existe una red neuronal que estime la resistencia al corte”.

$H_1$ : “El pronóstico de la red neuronal **NO** es válido al estimar  $V_u=112.714$  KN de fuerza de corte de una viga de gran altura”. O puede ser formulado  $H_0$  como: “Existe una red neuronal que estime la resistencia al corte”.

- **Paso 2: Establecer en nivel de significancia**

El nivel de significancia queda establecido en .05 (5%)

Para la investigación el nivel de confianza será de  $Z = 95\%$

- **Paso 3: Elección del estadístico de prueba**

Tabla 17

*Análisis estadístico de fuerzas pronosticadas por las ecuaciones y las redes neuronales*

<b>MODELO DE VIGA</b>	
Media	109.74284
Desviación estándar	21.0537183
Rango	59
Mínimo	81
Máximo	140
Suma	548.7142
Cuenta	5

**Cálculo del estadístico de prueba:**

$$\mu = 112.714 \text{ KN}$$

Fórmulas de Cálculo

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$x = 109.74284$$

$$\sigma = 21.0537$$

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma_x}$$

$$n = 5$$

$$\sigma_x = 9.4155$$

$$z = -0.3155$$

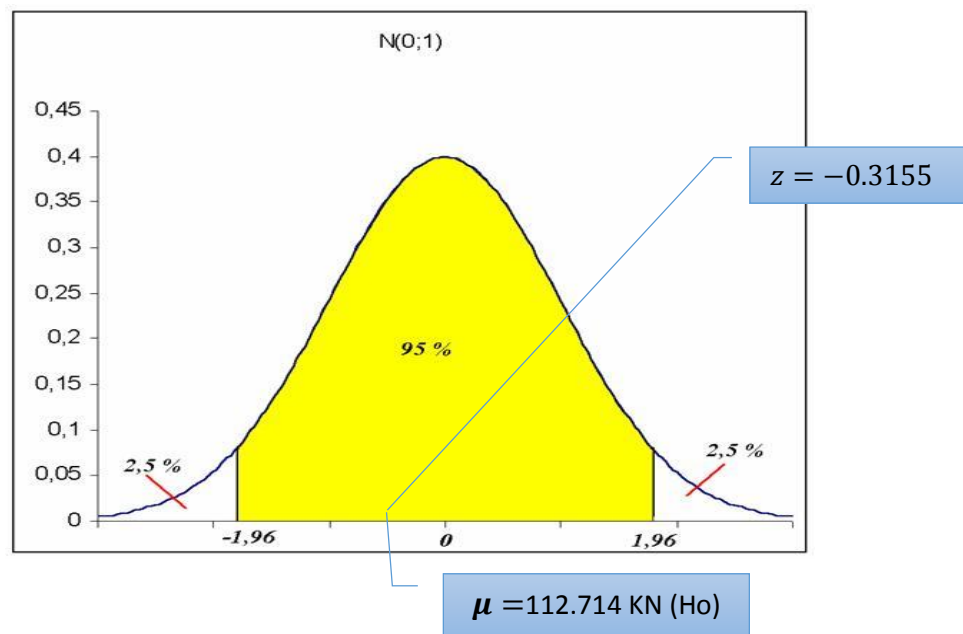


Figura 71. Intervalo de confianza del 95%, para la validación de la hipótesis.

- **Paso 5: Toma de Decisión**

Tanto por el lado  $Z_{mín}$  como  $Z_{máx}$ , el valor de  $z$  está dentro del parámetro, de esta manera se acepta  $H_0$  y no se acepta  $H_1$ ; es decir, se rechaza la hipótesis alternativa al afirmar que NO existe una red neuronal que estime la resistencia al corte”. Y se acepta la hipótesis  $H_0$ , al afirmar que: “El pronóstico de la red neuronal es válido al estimar  $V_u=89.50$  KN de fuerza de corte de una viga de gran altura”.

#### **4.6.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN (Éxito del entrenamiento de las redes Neuronales)**

La presente hipótesis del éxito del entrenamiento de las redes neuronales está planteada de la siguiente manera:

“Es posible entrenar una red neuronal donde las correlaciones de los datos (entrenamiento, validación y prueba) tenga una analogía mayor del 95%.”

- **Paso 1: Formulación de hipótesis**

Tenemos dos posibles respuestas a la hipótesis planteada. Las cuales se basan únicamente en la correlación de los datos.

$H_0$ : “NO es posible entrenar una red neuronal donde las correlaciones de los datos (entrenamiento, validación y prueba) tenga una analogía mayor del 95%.”

$H_1$ : “Es posible entrenar una red neuronal donde las correlaciones de los datos (entrenamiento, validación y prueba) tenga una analogía mayor del 95% (0.95)”

- **Paso 2: Establecer en nivel de significancia**

El nivel de significancia queda establecido en .05 (5%).

Para la investigación el nivel de confianza será de  $Z = 95\%$ .

- Paso 3: Elección del estadístico de prueba

Tabla 18

Análisis estadístico de las correlaciones de redes neuronales

<b>Correlación General de la Red Neuronal</b>	
Media	0.95426333
Mediana	0.94525
Desviación estándar	0.02024531
Rango	0.03736
Mínimo	0.94009
Máximo	0.97745
Cuenta	3

**Calculo del estadístico de prueba:**

$$\mu = 0.95$$

Fórmulas de Cálculo

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$x = 0.9542$$

$$\sigma = 0.0202$$

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma_x}$$

$$n = 3$$

$$\sigma_x = 0.01166$$

$$z = 0.3602$$

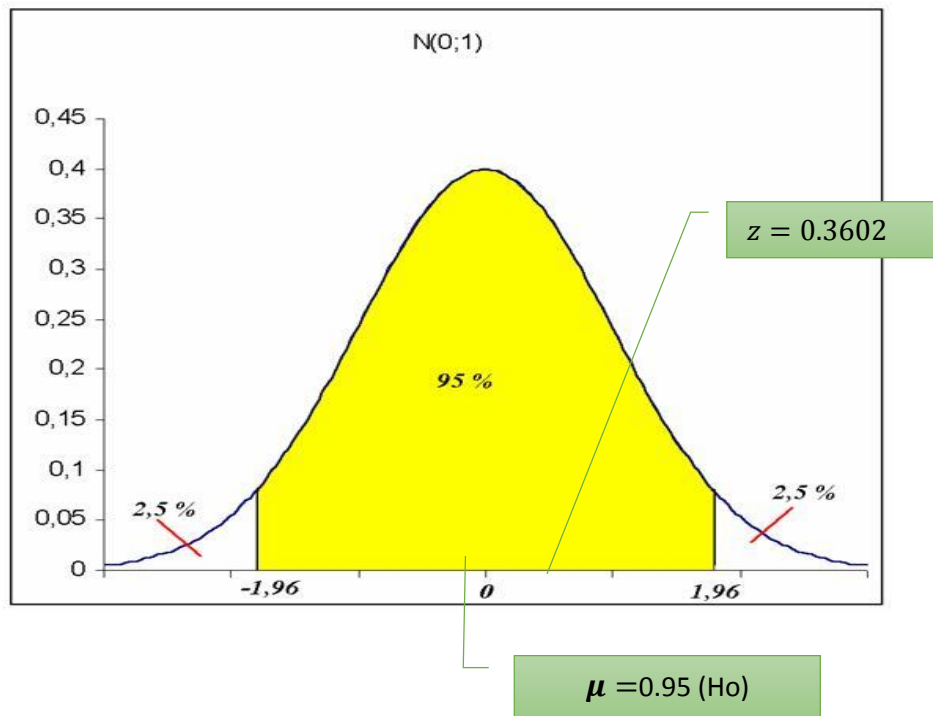


Figura 72. Intervalo de confianza del 95, para la validación de la hipótesis.

- **Paso 5: Toma de Decisión**

De acuerdo a los parámetros establecidos por el nivel de confiabilidad, se establece que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Se acepta la hipótesis “Es posible entrenar una red neuronal donde las correlaciones de los datos (entrenamiento, validación y prueba) tenga una analogía mayor del 95%.”

#### **4.6.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECIFICA DE INVESTIGACIÓN (Validación de los datos propuestos por la red Neuronal.)**

La hipótesis de la presente investigación para el pronóstico de la fuerza por corte de vigas de gran altura, está planteado de la siguiente manera:

“Es posible demostrar que las capacidades a cortante predichas por las redes neuronales y las ecuaciones de la norma ACI 318 – 14 tengan una correlación con los resultados de la viga mayor al 95%.”

- **Paso 1: Formulación de hipótesis**

H0: “Es posible demostrar que las capacidades a cortante predichas por las redes neuronales y las ecuaciones de la norma ACI 318 – 14 tengan una correlación con los resultados de la viga mayor al 95%.”

H1: “NO es posible demostrar que las capacidades a cortante predichas por las redes neuronales y las ecuaciones de la norma ACI 318 – 14 tengan una correlación con los resultados de la viga mayor al 95%.”

- **Paso 2: Establecer en nivel de significancia**

El nivel de significancia queda establecido en .05 (5%)

Para la investigación el nivel de confianza será de Z = 95%

- **Paso 3: Elección del estadístico de prueba**

Tabla 19

*Relación fuerzas pronosticadas por las ecuaciones y las redes neuronales*

Serie de Vigas	$V_{RNA}(KN)$	$V_{ACI}(KN)$	$V_{CIRIA}(KN)$	$V_{Londhe}(KN)$
	$V_{Test}(KN)$	$V_{Test}(KN)$	$V_{Test}(KN)$	$V_{Test}(KN)$
<b>V3</b>	0.99	1.56	1.17	0.82
<b>V1</b>	1.07	1.33	1.05	0.77

Tabla 20

*Análisis estadístico de Relación fuerzas para la validación de la hipótesis*

	<b>V3</b>	<b>V1</b>
Media	1.13347139	1.05646238
Mediana	1.07805389	1.06054381
Desviación estándar	0.31457788	0.22968762
Rango	0.73333333	0.56190476
Mínimo	0.82222222	0.77142857
Máximo	1.55555556	1.33333333
Suma	4.53388556	4.22584952
Cuenta	4	4

**Calculo del estadístico de prueba**

$\mu = 0.95$

Fórmulas de Cálculo

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$x = 1.133471$

$\sigma = 0.31457$

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma_x}$$

$n = 4$

$\sigma_x = 0.15729$

$z =$

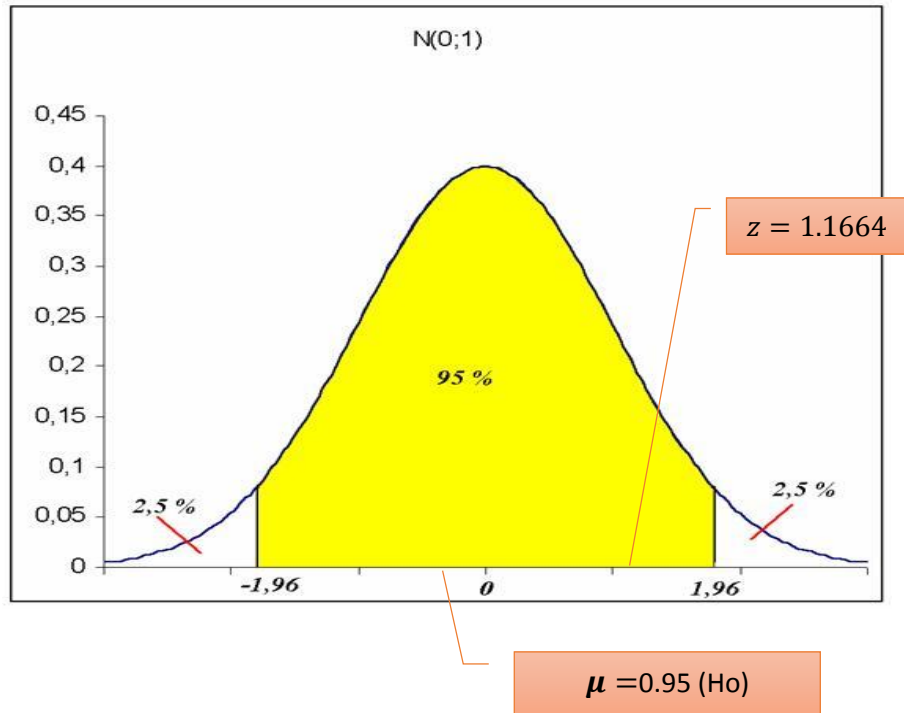


Figura 73. Intervalo de confianza del 95%, para la validación de la hipótesis.

**Calculo del estadístico de prueba:**

$\mu = 0.95$

Fórmulas de Cálculo

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$x = 1.0564$

$\sigma = 0.2296$

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma_x}$$

$n = 4$

$\sigma_x = 0.1148$

$z = 0.9268$

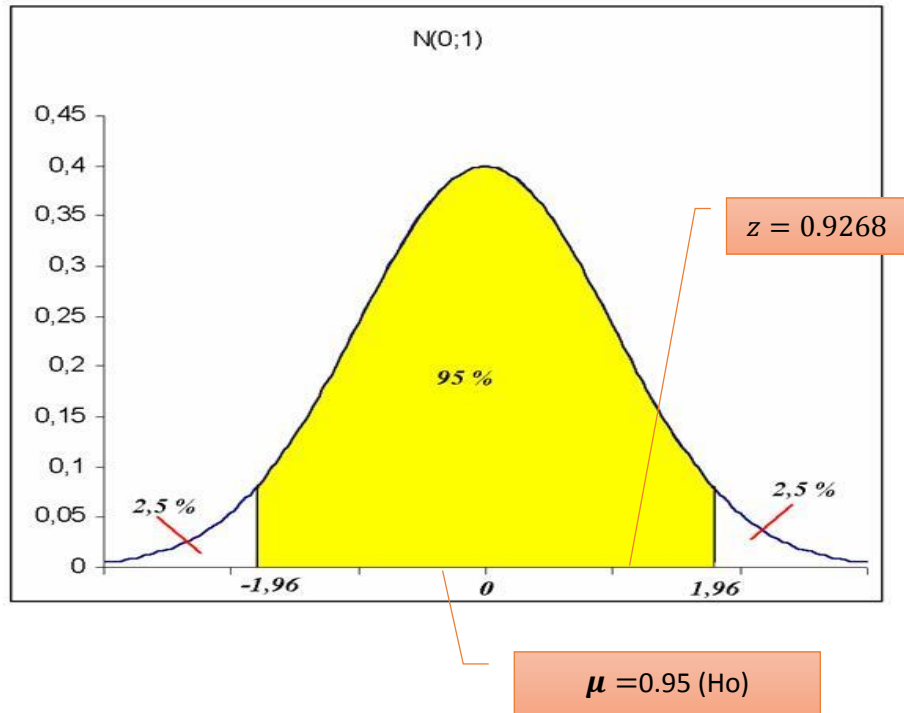


Figura 74. Intervalo de confianza del 95%, para la validación de la hipótesis.

- **Paso 5: Toma de Decisión**

En ambos análisis se determina que el valor del estadístico de prueba  $z$  está dentro del parámetro de  $Z_{\min}$  como  $Z_{\max}$ , de esta manera se acepta  $H_0$  y no se rechaza  $H_1$ ; es decir, se rechaza la hipótesis alternativa al afirmar que "NO es posible demostrar que las capacidades a cortante predichas por las redes neuronales y las ecuaciones de la norma ACI 318 – 14 tengan una correlación con los resultados de la viga mayor al 95%.". Y se acepta la hipótesis  $H_0$ , al afirmar que: "Es posible demostrar que las capacidades a cortante predichas por las redes neuronales y las ecuaciones de la norma ACI 318 – 14 tengan una correlación con los resultados de la viga mayor al 95%.".

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología de diseño para determinar las fuerzas de corte de una viga de gran altura utilizando redes neuronales artificiales, demostrando su eficacia y su proximidad a la realidad de los resultados.

La relación promedio en vigas con refuerzo a corte, entre la resistencia al corte experimental y el estimado por las RNA ( $V_{Test} / V_{RNA}$ ) fue de 1.09% mientras que la relación promedio de la resistencia al corte experimental y el calculado por la norma ACI ( $V_{Test} / V_{ACI}$ ) fue de 1.38%, y en vigas sin refuerzo a corte, la relación entre la resistencia al corte experimental y el estimado por las RNA ( $V_{Test} / V_{RNA}$ ) fue de 1.46% mientras que la relación promedio de la resistencia al corte experimental y el calculado por la norma ACI ( $V_{Test} / V_{ACI}$ ) fue de 2.28%, mostrando así que la predicción de las redes neuronales tiene mayor semejanza a los valores reales de ensayo en ambos casos de estudio.

Se determinó que los factores críticos que influyen en la resistencia de corte de una viga de gran altura son la resistencia del concreto, la geometría de la viga y el refuerzo de acero en la viga.

Basado en los resultados de las pruebas realizadas en vigas de gran altura de concreto armado se concluye:

- El modo de falla a lo largo de la viga, fue las grietas diagonales que se extienden desde los apoyos hacia los puntos de carga.
- Para las vigas de gran altura con inclusión de refuerzo horizontal, se reduce el ancho de rotura y la desviación en todas las etapas de carga.
- La adición de acero longitudinal más allá del 1.80% y acero vertical más allá del 1.25% mejora la respuesta al corte de las vigas de gran altura, al tener mayor respuesta dúctil.
- Es evidente que la relación entre la distancia de aplicación de carga y el peralte de la viga ( $a/d$ -ratio) tiene una influencia significativa en la resistencia al corte de vigas de gran altura.
- La máxima resistencia al corte aumenta en las vigas cuando la relación ( $a/d$ ) tiene una disminución como se puede apreciar en la *Figura 13*.

Sobre la base del estudio de diferentes códigos de diseño de vigas de gran altura (vigas de transferencia), se concluye que:

- Que ningún código de diseño ha proporcionado pautas completas para el diseño de la viga de transferencia, excepto el código del ACI.
- La Guía-2 de CIRIA ofrece algunas pautas útiles para los procedimientos de diseño, pero advierte que no existe evidencia experimental para fundamentar estos procedimientos.

Se desarrolló una red neuronal que tuvo una arquitectura de la red neuronal "Multi-layer feed forward", donde tuvo cuatro capas donde se usó la capa de entrada que contiene 12 neuronas, la primera capa de procesamiento y la segunda capa de activación que se establecieron contienen 12 neuronas y 1 neurona respectivamente, mientras que en la capa de salida se estableció 1 neurona, se realizó varias pruebas con diferentes arquitecturas recomendadas por autores en la literatura, estableciendo así la arquitectura demostrada en la *Tabla 7*, siguiendo la secuencia lógica mostrada en la *Figura 48*.

La arquitectura presente fue la que tuvo mayor correlación de datos ( $R=97.74\%$ ) con los parámetros establecidos por (Flórez, 2008) y que puede ser utilizado para pronósticos futuros.

Utilizando las redes neuronales artificiales fue posible estudiar el efecto de cada uno de los parámetros que influyen en la resistencia al corte de las vigas de gran altura utilizando todos los resultados de las pruebas disponibles en la literatura al mismo tiempo. Esto puede eliminar la inconsistencia y las conclusiones conflictivas extraídas por diferentes investigaciones.

## 5.2 RECOMENDACIONES

El estudio actual mostró resultados muy prometedores en la predicción de la resistencia máxima al corte de las vigas de gran altura. Sin embargo, se recomienda los siguientes puntos para futuros estudios que respalden los hallazgos de este estudio:

- Llevar a cabo el modelado de redes neuronales utilizando diferentes tipos de redes neuronales artificiales como redes recurrentes con varios algoritmos de entrenamiento.
- Utilizar otras técnicas de inteligencia artificial tales como como lógica difusa o programación genética.
- Comparar los resultados predichos por las redes neuronales artificiales con otros códigos, normativas. Que nos da a conocer acerca de las vigas de gran altura y así comparar la efectividad de la predicción frente a otros métodos de estimación.
- Obtener más resultados de ensayos de laboratorio para tener una base de datos más amplia, que nos permita tener un entrenamiento de las redes neuronales artificiales que tenga una correlación de datos muy óptima. Esto mejorará el proceso de formación y la predicción de la red neuronal.
- Llevar investigaciones con redes neuronales artificiales en otros ámbitos de la ingeniería estructural, tales como la predicción de modos de falla en vigas, columnas, etc.
- Establecer nuevas arquitecturas de las redes neuronales artificiales con más capas ocultas (procesamiento), para comparar las correlaciones de datos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Yang, K.-H., & Ashour, A. (2011). Aggregate interlock in lightweight concrete continuous deep beams. *Engineering Structures*, 136 - 145.
- A, C., & A, M. (2004). Shear design procedure for reinforced normal and high-strength concrete beams using artificial neural networks. *Engineering Structures*, 917-926. doi:10.1016/j.engstruct.2004.02.010
- Ahmad , S., Fareed, S., & Rafeeqi, S. (2014). Shear Strength of Normal and Light Weight Reinforced Concrete Slender Beams without Web Reinforcement. *Civil Engineering and Architecture*, 33 - 41.
- Ahmed , K., & El-Sayed, K. (2006). *Concrete contribution to the shear resistance of FRP-reinforced concrete beams*. Quebec, Canada.: University of Sherbrooke, Sherbrooke.
- American Concrete Institute. (2014). *ACI 318-14 - Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural* . Michigan: ACI.
- An-Najjar, H. M. (2005). Prediction of Ultimate Shear Strength of Reinforced Concrete Deep Beams Using Artificial Neural Networks. *Prediction of Ultimate Shear Strength of Reinforced Concrete Deep Beams Using Artificial Neural Networks*. Islamic University-Gaza, Islamic: Islamic University-Gaza.
- Ashour, A., Alvarez, L., & Toropov, V. (2003). Empirical modeling of shear strength of RC deep beams by genetic programming. *Computers and Structures*, 81(5), 331-338.
- Bayrak , O., & Brown, M. (2006). Minimum transverse reinforcement for bottle-shaped. *ACI Structural Journal*, 813-822.
- Bazant, Z., & Kim, J.-K. (1984). Size Effect in Shear Failure of Longitudinally Reinforced Beams. *ACI Journal*, 456-468.
- Beale, M. H. (2010). *Neural Network Toolbox™ 7*. Apple Hill Drive: MathWorks.
- Bhanuprakash, C., Nijagunarya, Y., & Jayaram, M. (2017). Clustering of Faculty by Evaluating their Appraisal Performance by using Feed Forward Neural Network Approach. *I.J. Intelligent Systems and Applications*, 34-40.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.
- BS 8110. (1997). *Structural use of concrete. Code of practice for design and construction*. Milton Keynes, London.: British Standard Institution.

- Caudill , M., & Butler, C. (1992). *UNDERSTANDING NEURAL NETWORKS. COMPUTER EXPLORATIONS*. Press Cambridge, MA, USA: Cambridge.
- Collins, M. P., & Mitchell, D. (1991). *Prestressed concrete structures*. Canada: Prentice-Hall.
- CSA A23.3-04. (2004). *Design of Concrete Structures*. Canadian: The Canadian Standards Association (CSA).
- Flores, L. (2014). *Matlab Aplicado a la Ingeniería Civil*. Lima: Instituto de la construcción y gerencia.
- Flórez López, R., & Fernández Fernández , J. M. (2008). *Las Redes Neuronales Artificiales*. España: Netbiblo, S. L.
- Freeman, S. (1993). *Redes Neuronales - Algoritmos, aplicaciones y técnicas de programación*. WILMINGTON: Addison-Wesley.
- Garson, G. (1991). Interpreting neural network connection weights. *AI Expert Vol 6*. AI Expert.
- GEHO. (1992). *Encuesta sobre patología de estructuras de hormigón*. España: Grupo Español de hormigón.
- Graupe, D. (1997). *Principles of Artificial Neural Networks*. Danvers, USA: Clearance Center.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Hilera, J., & Martinez Hernando, V. (1995). *Redes neuronales artificiales : Fundamentos, Modelos y Aplicaciones*. Madrid: RA-MA Editorial.
- Hyeok Yang, k., Ashraf F. , A., & Song, J.-K. (2007). Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Using Neural Network. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. SpringerOpen. Obtenido de <https://www.springer.com/>
- IS 456. (2000). *Indian standard code of practice for plain and reinforced concrete for general building*. New Delhi, India: Bureau of Indian Standards.
- Jara, M. D. (2013). *Predicción de la respuesta sísmica de muros de albañilería confinada empleando redes neuronales artificiales*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Kani, G. N. (1967). How Safe Are Our Large Reinforced Concrete Beams? *ACI Structural Journal*, 128-141.

- Kawano, H., & Watanabe, H. (1997). Shear strength of reinforced concrete columns—Effect of specimen size and load reversal. *Proceedings of the Second Italy-Japan Workshop on Seismic Design and Retrofit of Bridges*, 141-154.
- Kim, J.-K., & Park, Y.-D. (1994). Shear strength of reinforced high strength concrete beam without web reinforcement. *Magazine of Concrete Research*, 7-16.
- Kong, F. K. (2002). *Reinforced concrete deep beams*. London: University of Newcastle-upon-Tyne.
- Lafta, J., & Ye, K. (2016). Specification of Deep Beams Affect the Shear Strength Capacity. *Civil and Environmental Research*, 2224-5790.
- Leonhardt, F., & Walther, R. (2005). The Stuttgart Shear Tests. *C&CA Translation*, 134.
- Londhe, R. S. (2010). Shear strength analysis and prediction of reinforced concrete transfer beams in high-rise buildings. *Structural Engineering and Mechanics*, 39-59.
- Manuel, R. F., & Slight, B. W. (1971). Deep beam behavior affected by length. *ACI Structural Journal*, 954-958.
- Martin del Brio, B., & Sanz Molina, A. (2006). *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos*. Madrid: RA-MA.
- Miranda, F. (26 de 07 de 2017). *Miranda Fisioterapia*. Obtenido de Miranda Fisioterapia: <https://www.mirandafisioterapia.com/single-post/2017/07/24/GENERALIDADES-Sistema-Nervioso>
- Mohammadhassani , M., Jumaat, M. Z., Ashour, A., & Jameel, M. (2011). Failure modes and serviceability of high strength self compacting concrete deep beams. *Engineering Failure Analysis*, 18 (2011) 2272–2281.
- Naderpour, H. (2018). Shear resistance prediction of concrete beams reinforced by FRP bars using artificial neural networks. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. doi:<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.051>
- Niranjan, B. R., & Patil, S. S. (2012). Analysis of R.C Deep Beam by Finite Element Method. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2, 4664-4667.
- Oh , J., & Shin, S. W. (2001). Shear Strength of Reinforced High-Strength Concrete Deep Beams. *ACI Structural Journal*, 164-173.

- Ortí del Toro, M. H., & Guinot Martínez, P. A. (2013). *Introducción a las Redes Neuronales Aplicadas al control Industrial*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- R. Hilera, J., & Martinez Hernando, V. (1995). *Redes neuronales artificiales : fundamentos, modelos y aplicaciones*. Madrid: RA-MA Editorial.
- Rahal, K., & Al-Shaleh, K. (2004). Minimum Transverse Reinforcement in 65 Mpa Concrete Beams. *ACI Structural Journal*, 872 - 878.
- Rao, G., & Sundaresan, R. (2012). Evaluation of size effect on shear strength of reinforced. *Indian Academy of Sciences*, 89 - 105.
- Regan, P. (1993). Research on Shear: a Benefit to Humanity or a Waste of Time. *Research on Shear: a Benefit to Humanity or a Waste of Time*. London, Reino Unido: The Structural Engineer.
- Rogowski, D. M., & MacGregor, J. G. (1986). Design of Reinforced Concrete Deep Beams. *Concrete International V8*.
- Rogowsky, D. M., MacGregor, J. G., & Ong, S. Y. (1986). Tests of Reinforced Concrete Deep Beams. *International Concrete Abstracts Portal*, 614-623.
- Seo, S. Y., Yoon, S. J., & Lee, W. J. (2004). Structural behavior of r/c deep beam with headed longitudinal reinforcements. *13th World Conference on Earthquake Engineering* (pág. 58). Vancouver, B.C., Canada: 13 WCEE.
- Shahnewaz, M. (2013). *Shear behavior of reinforced concrete deep beams under static and dynamic loads*. Okanagan: University of British Columbia.
- Shi, J. (2002). Clustering Technique for Evaluating and Validating Neural Network Performance. *TECHNICAL NOTES*, 152-155.
- Shuraim, A. B. (2013). Behavior and shear design provisions of reinforced concrete D-region beams. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 65-74.
- Smith, K. N., & Vantsiotis, A. S. (1982). Shear Strength of Deep Beams. *International Concrete Abstracts Portal*, 201-213.
- Sulaiman, K. (2016). *Shear Behaviour of Reinforced Concrete Deep Beams*. Sheffield: Department of Civil and Structural Engineering.
- Tan, K. H., Kong, F. K., Teng, S., & Guan, L. (1995). High-strength concrete deep beams with effective span and shear span variations. *ACI Structural Journal*, 395-405.

- Taylor, H. (1972). Shear strength of large beams. *Journal of the Structural Division*, 2473-2490.
- Yang, K.-H., Ashour, A., & Song, J.-K. (2007). Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Using Neural Network. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 63-73.

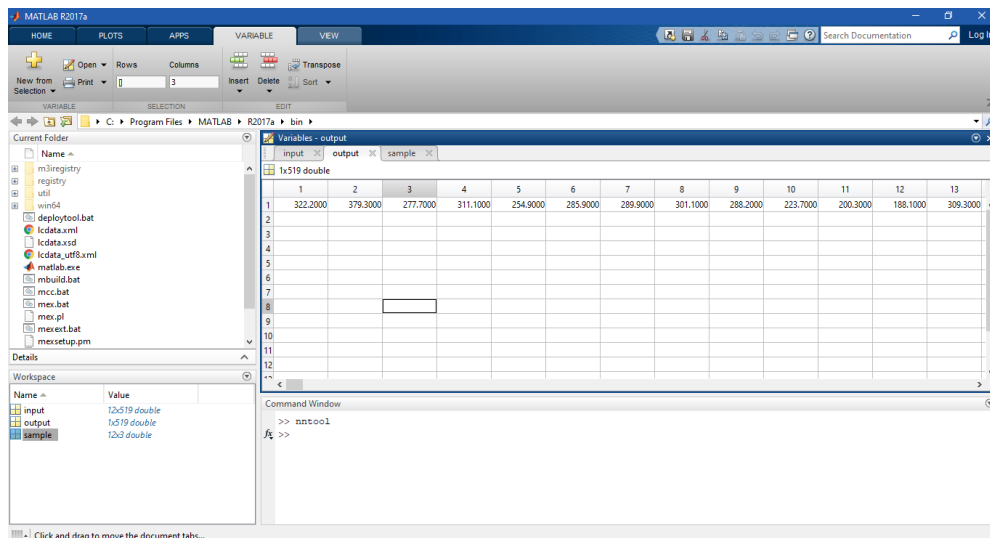
## ANEXOS

### Anexo A. Entrenamiento de red neuronal artificial

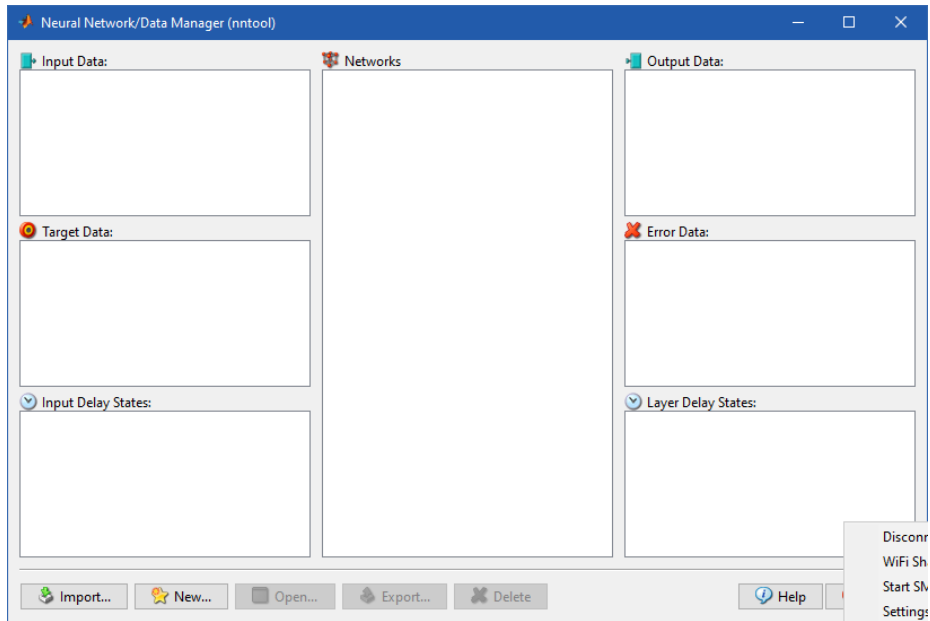
Una vez definido las variables de entrada (input), las variables de salida (output) y las variables de prueba (sample), en el programa Matlab procedemos a crear nuevas matrices de trabajo en la ventana de Workspace. Las dimensiones de las matrices variarán de acuerdo a nuestra base de datos obtenida.



Dimensiones de matrices a crear en el programa Matlab en el espacio “Workspace”

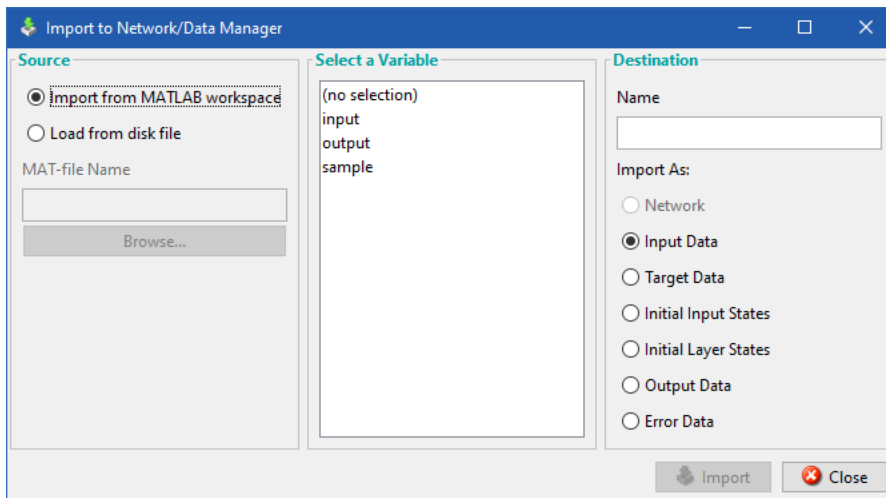


Matrices Creadas en el programa Matlab input, output y sample. Con las Matrices de entrada definidas, ejecutamos el comando “nntool” donde Matlab nos dará acceso a todas las propiedades y creaciones de redes neuronales, independientemente del tipo que esta sea, de manera que utilizando esta propiedad podremos modificar las entradas, capas, conexiones, pesos, etc. De esta manera una vez configurada la red neuronal según nuestras necesidades invocaremos las funciones de manipulación de redes neuronales disponibles en Matlab, (simulación, entrenamiento, inicialización, etc.), pasándole como parámetro la estructura de la red neuronal.

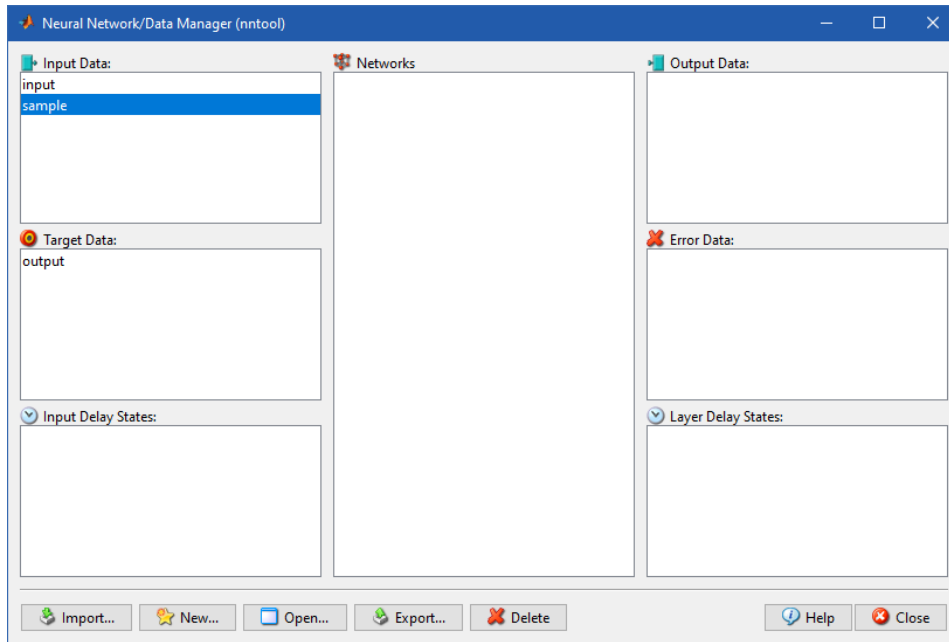


Interfaz del comando “nntool” que nos da acceso a las redes neuronales artificiales

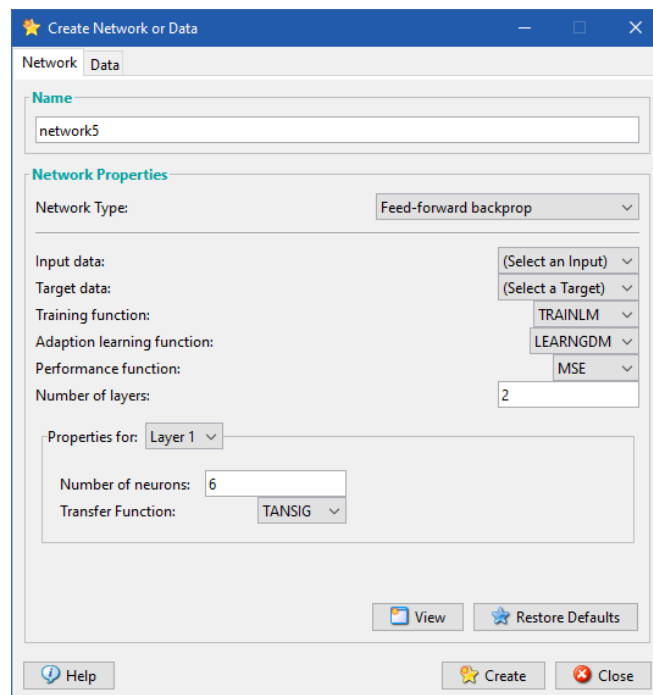
Para tener un mayor ordenamiento de las variables de ingreso y de salida, el programa Matlab nos da la opción de mostrar ordenar las matrices creadas en el workspace.

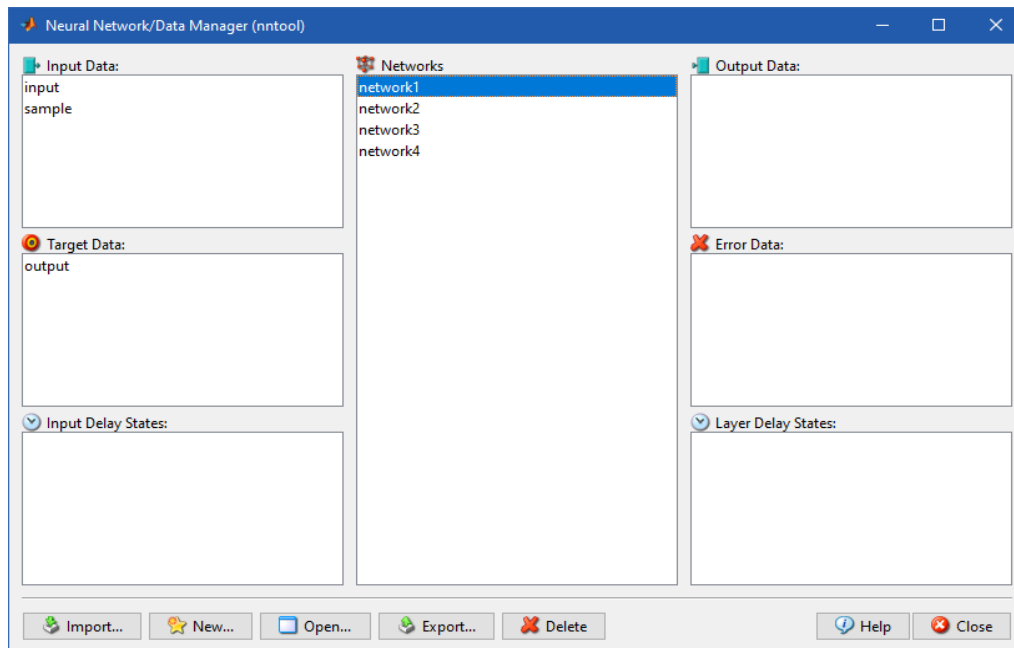


Interfaz que nos ofrece el comando “nntool” para importar las matrices creadas en el workspace (input, output, sample)



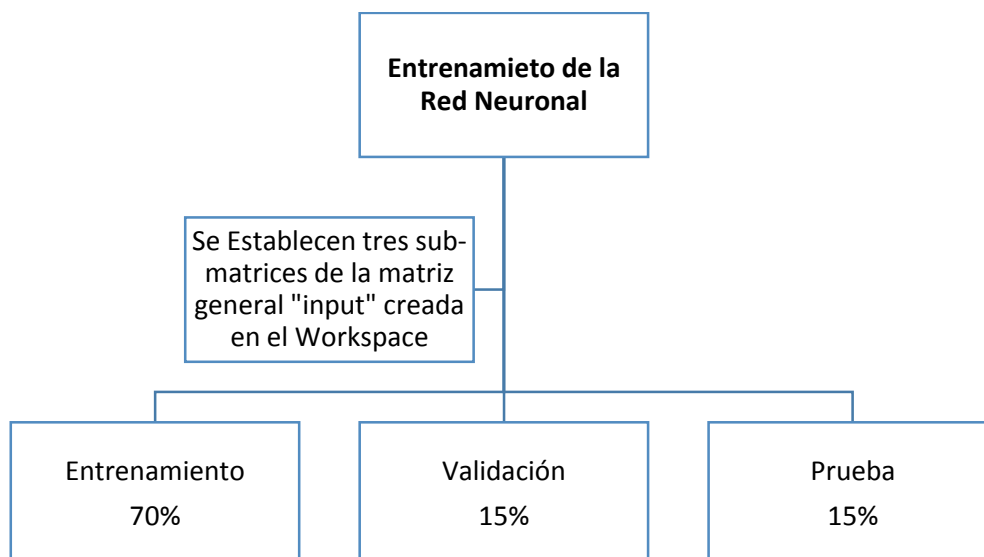
Seguidamente ejecutamos el comando “New Neural Network” donde establecemos los parámetros de la red neuronal y las matrices de entrada y salida.



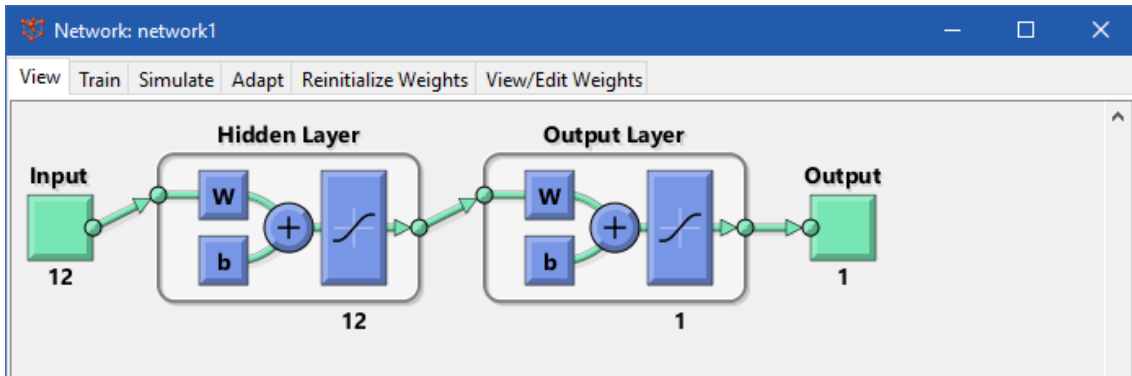


Interfaz del comando “nntool” con las matrices (input, output, sample) y las 4 redes neuronales creadas.

Para el proceso de Entrenamiento de la Red Neuronal el programa Matlab define tres sub-matrices para el entrenamiento, que estas a su vez nos servirán para la verificación de la red neuronal. Estas tres sub-matrices son creadas a partir de la matriz de entrada de “input” creada en el “Workspace”. La elección de datos a pertenecer en la cada sub-matriz se hace de forma aleatoria.

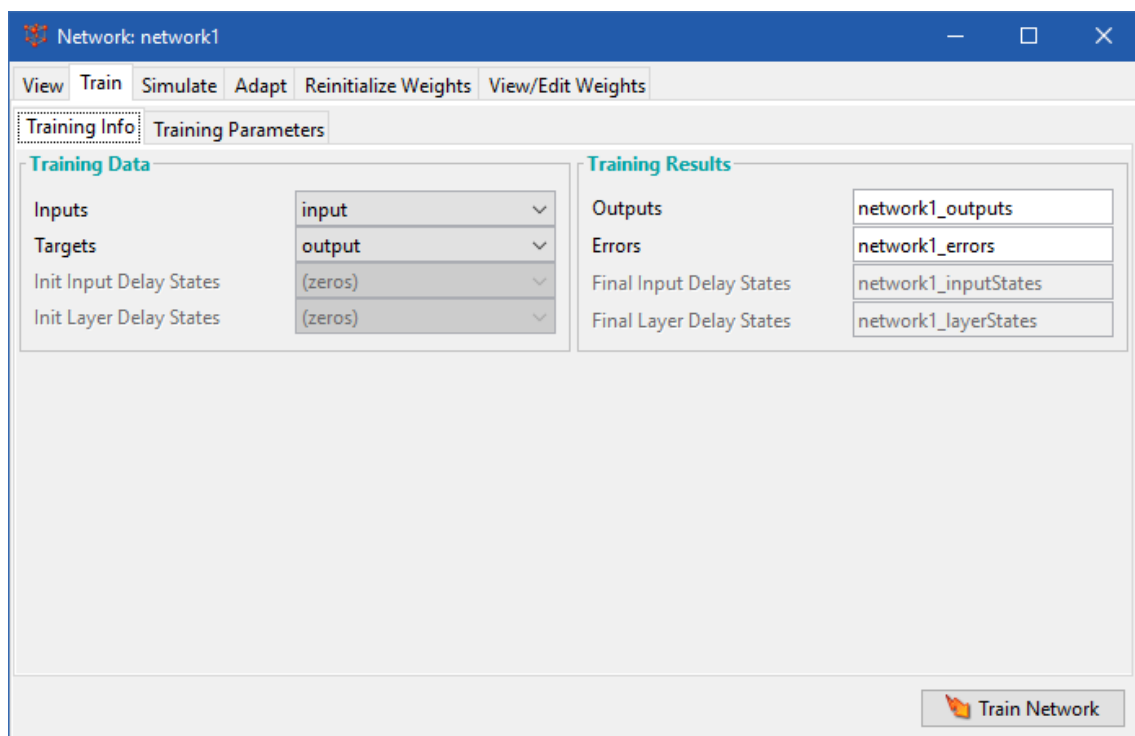


A continuación, se muestra el esquema de la red neurona “network1” y la interfaz del entrenamiento de la red neuronal, con los datos de entrada (12), Neuronas artificiales (12) y un valor de salida (1).



Esquema de la red Neuronal “network1” creada en la interfaz de “nntool”

Para el entrenamiento de la red neuronal se procede a elegir los datos de entrada y los datos de salida (input y output), creadas en la ventana de workspace.



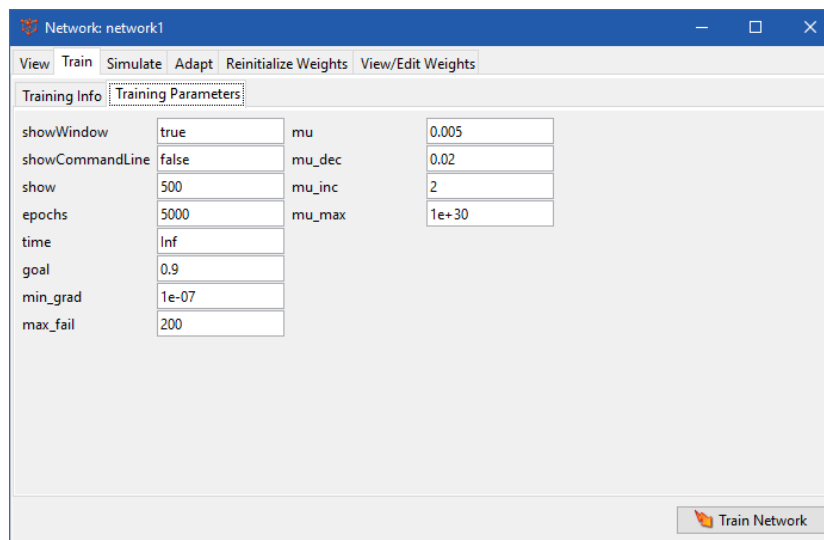
Selección de matrices para el entrenamiento de la red neuronal

Para el correcto entrenamiento de la red Neuronal se deben establecer los parametros de entrenamiento. Para la presente investigación se utilizo parametros propuesto por Flores (2014).

### Function Parameters for 'trainlm'

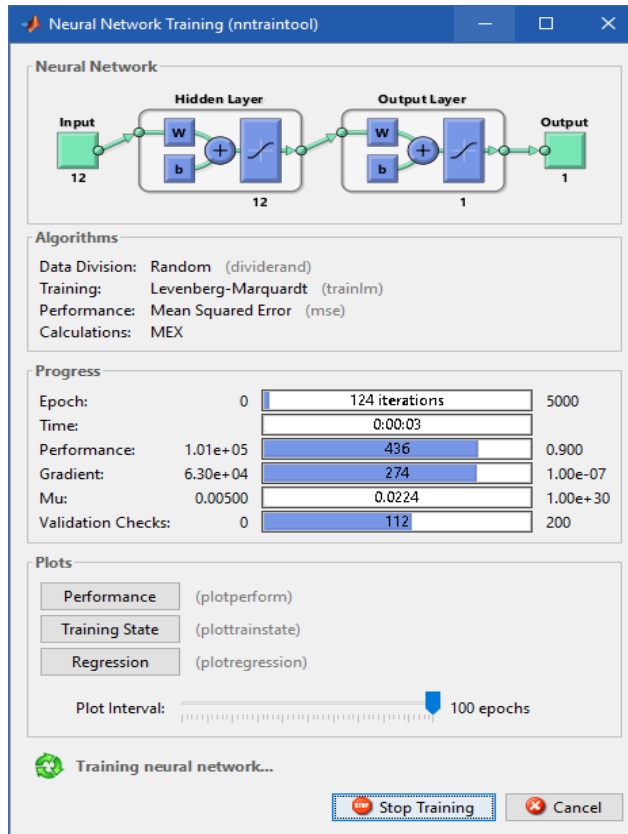
```
Show Training Window Feedback showWindow: true
Show Command Line Feedback showCommandLine: false
Command Line Frequency show: 500
Maximum Epochs epochs: 5000
Maximum Training Time time: Inf
Performance Goal goal: 0.9
Minimum Gradient min_grad: 1e-07
Maximum Validation Checks max_fail: 1000
Mu mu: 0.005
Mu Decrease Ratio mu_dec: 0.02
Mu Increase Ratio mu_inc: 2
Maximum mu mu_max: 1e+30
```

Parametros de Entrenamiento establecidos por Flores (2014)

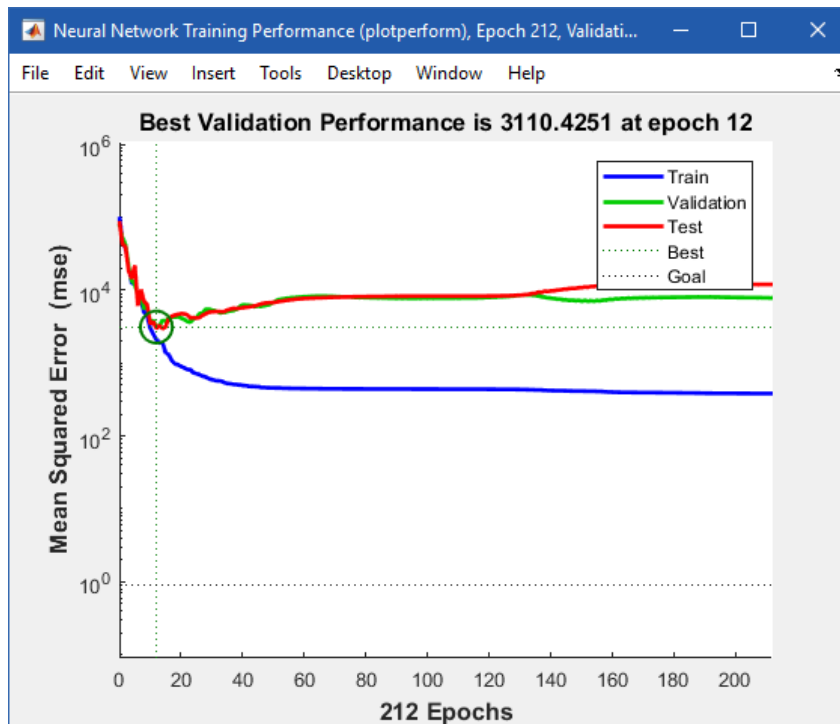


Ingreso de Parametros de entrenamiento de la Red Neuronal

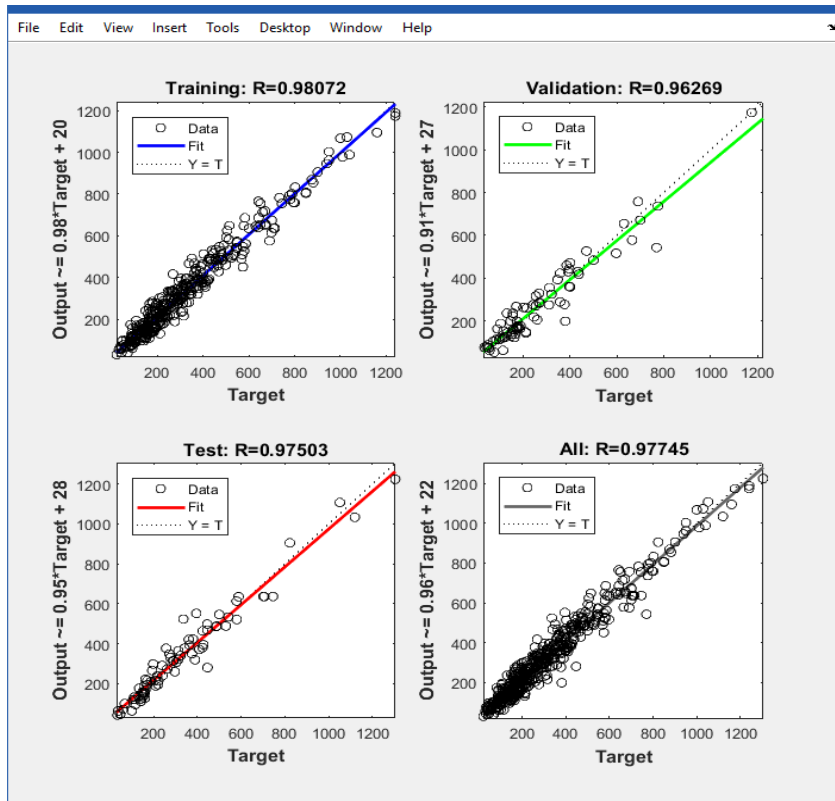
Posteriormente procedemos a entrenar la red neuronal y ver las correlaciones creadas a partir de las tres sub-matrices.



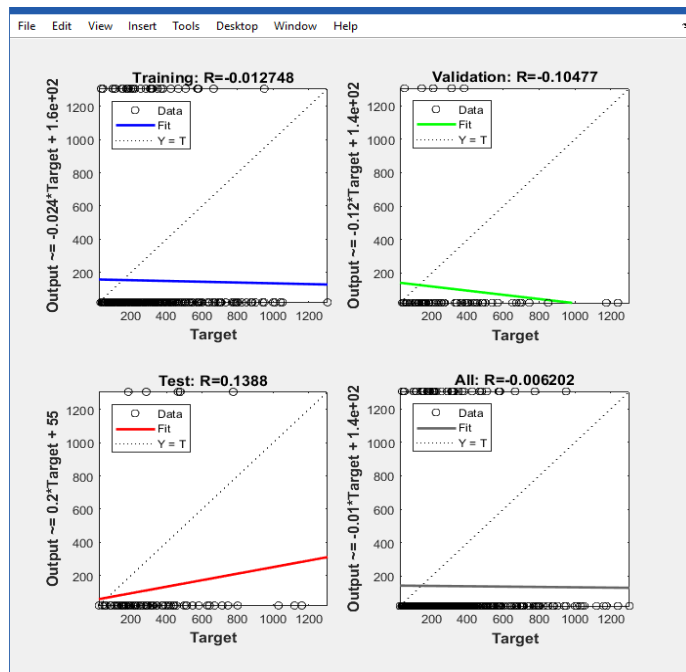
Proceso de entrenamiento de la Red Neuronal



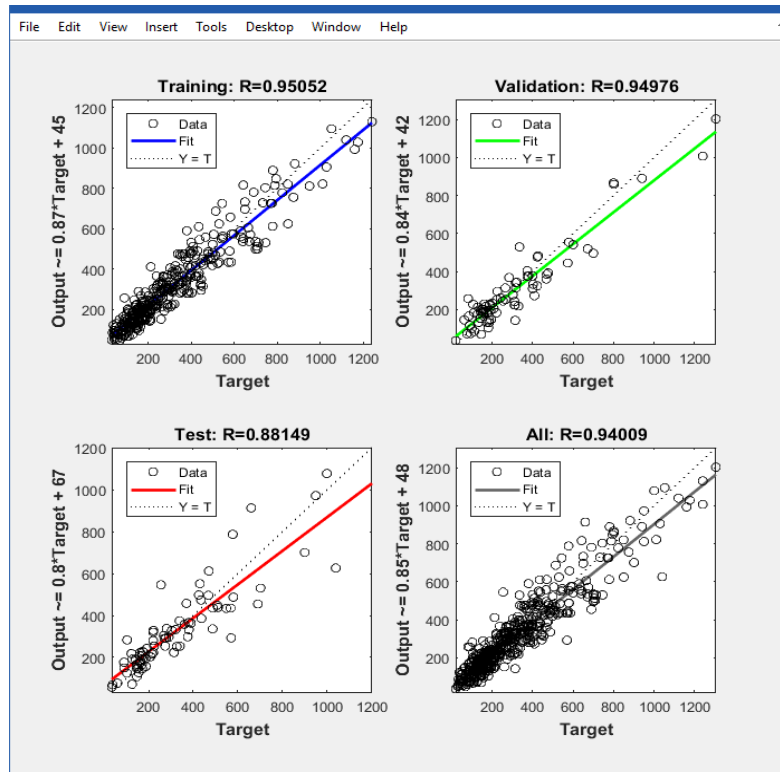
Cuadro de errores de la red neuronal (mse) vs epochs



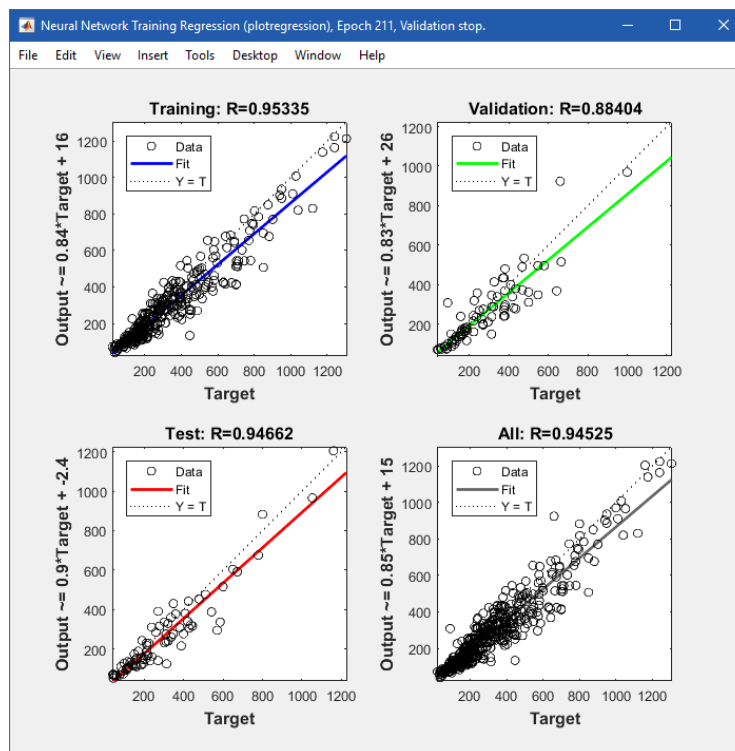
Correlacion de la Red Neuronal con 12 neuronas, con las sub-matrices y se muestra una correlación general de 0.97745 (97.75%)



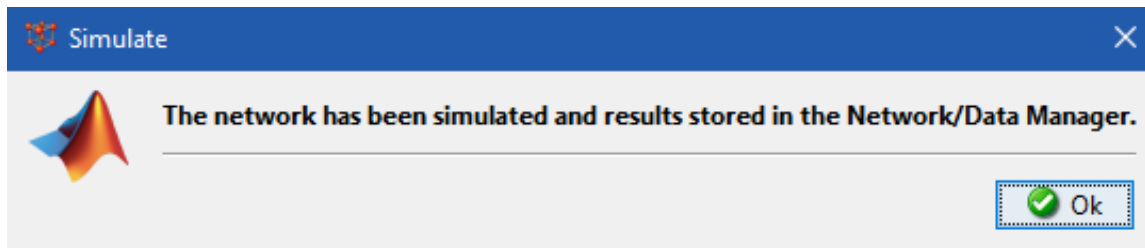
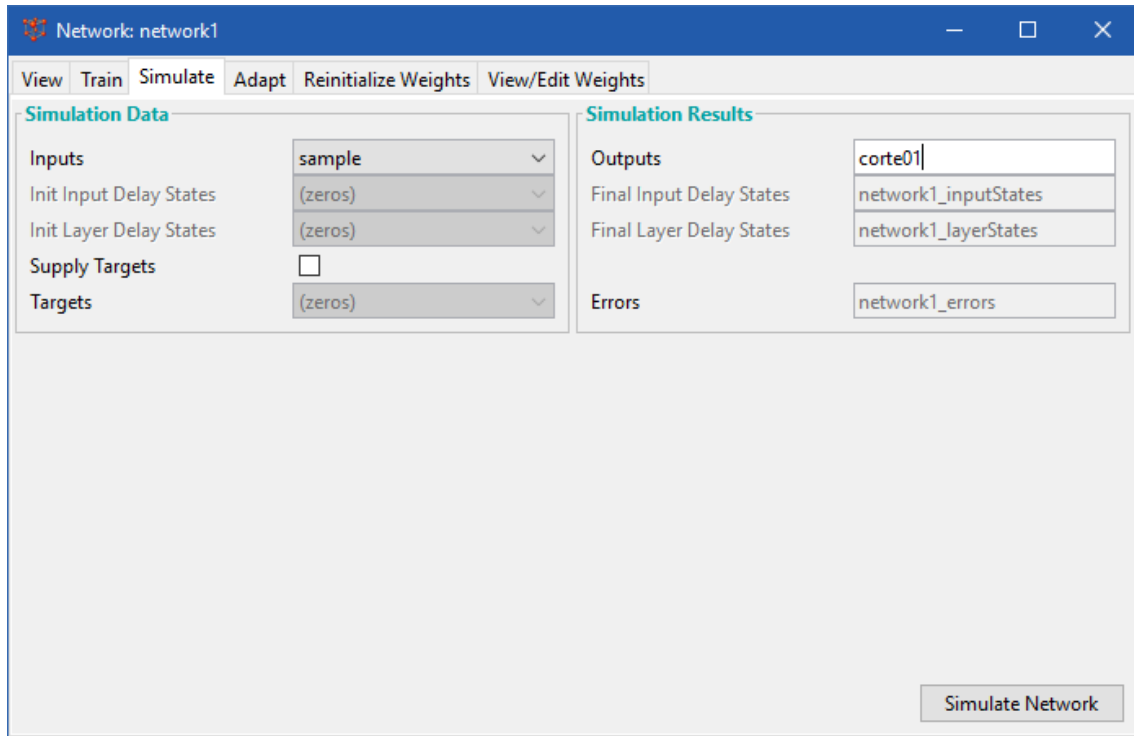
Correlacion de la Red Neuronal con 10 neuronas, con las sub-matrices y se muestra una correlación general de -0.006202 (-0.6%)



Correlacion de la Red Neuronal con 8 neuronas, con las sub-matrices y se muestra una correlación general de 0.94009 (94.009%)



Correlacion de la Red Neuronal con 8 neuronas, con las sub-matrices y se muestra una correlación general de 0.94525 (94.525%)

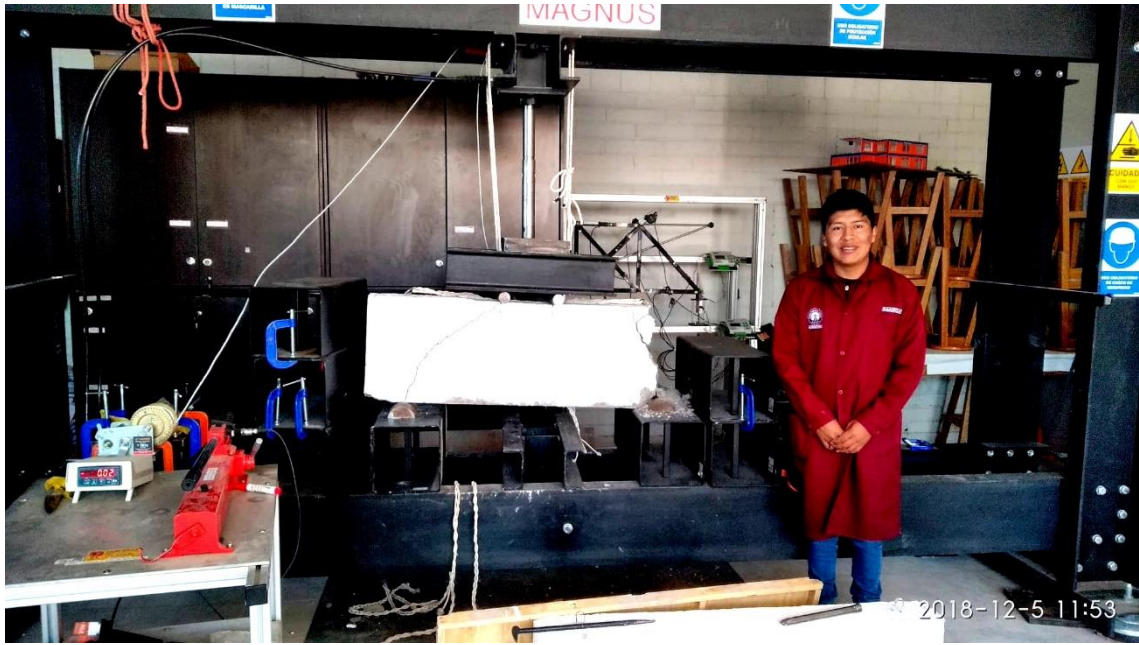


Simulación de la Red Neuronal elegida ( $R = 97,75\%$ ) y su posterior predicción

## Anexo B. Ensayo de vigas de gran altura

### MODELO DE VIGA 01 (SIN REFUERZO A CORTE):

#### A. ENSAYO DE LA VIGA 01:

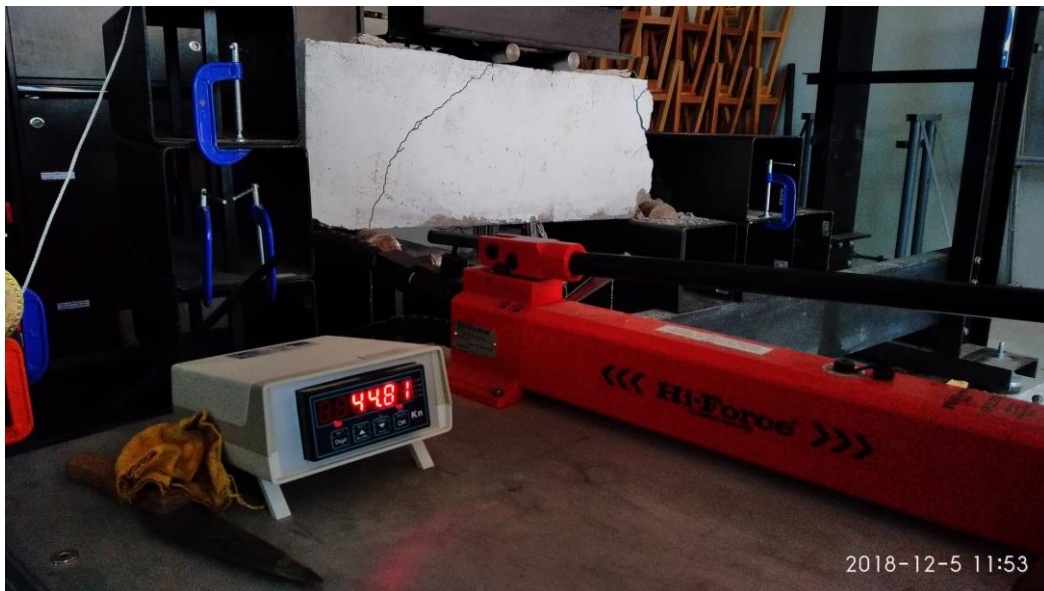


Ensayo de Vigas de gran altura (VIGA 01)



Falla por Corte y Aplastamiento del Concreto (VIGA 01)

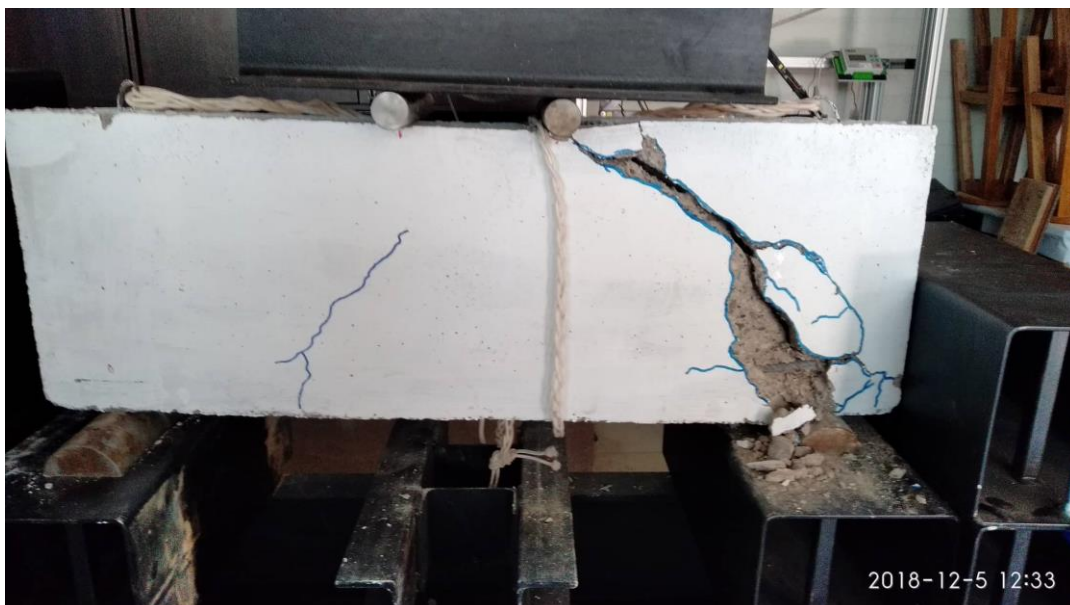
En la viga 01 se observó que la falla que más predomina es la falla por corte, esta falla es la más peligrosa ya que puede producir fallas frágiles y de esta manera el concreto explota para liberar los esfuerzos que son aplicados sobre el concreto. También tuvo un aplastamiento del concreto en parte de los apoyos que se debe al efecto puntual tensor.



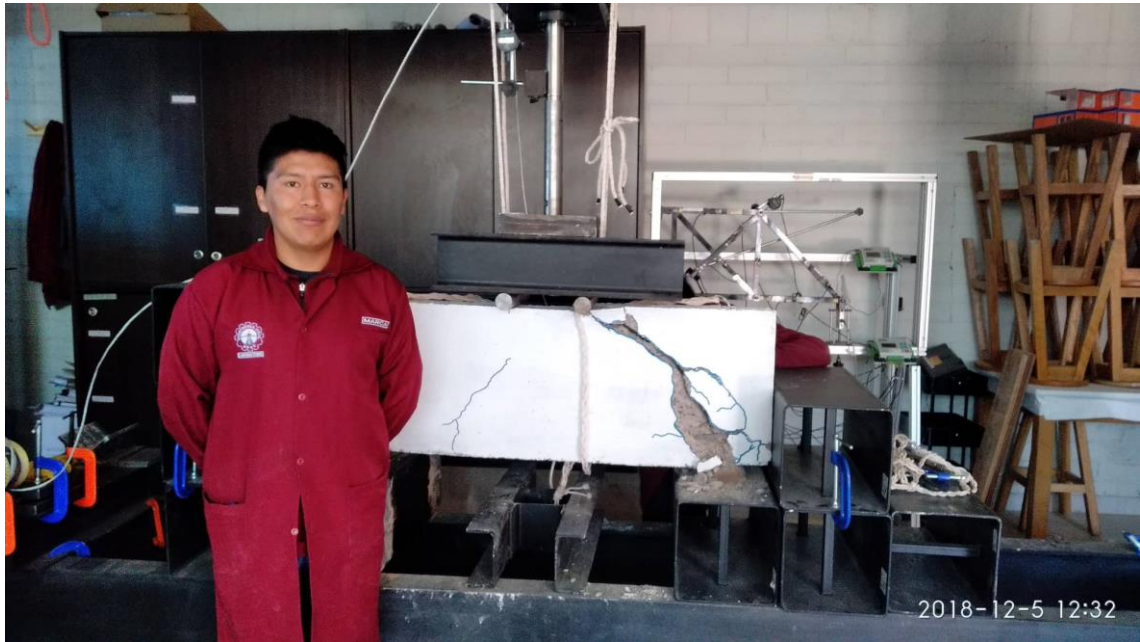
Capacidad de corte de la Viga de gran altura (VIGA 01)

## B. ENSAYO DE LA VIGA 02:

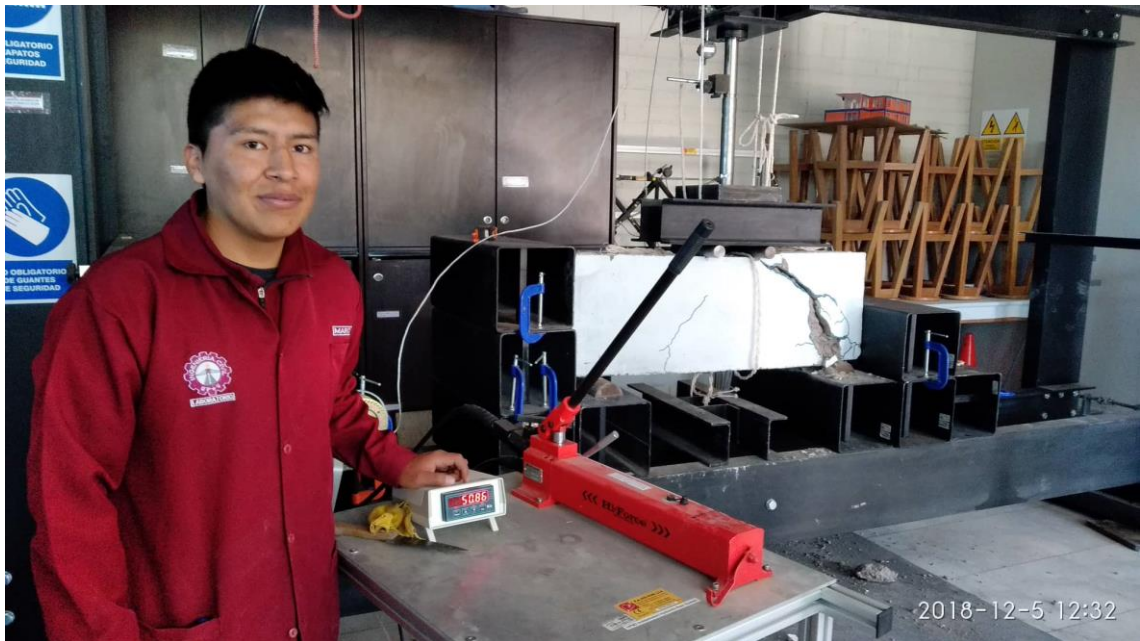
En la viga 02 se observó que la falla que más predomina es la falla por corte y también se visualiza pequeñas muestras de falla por flexión.



Falla por corte de la viga ensayada (VIGA 02)



Detalle de la falla en la viga y su forma de ensayo (VIGA 01)



Capacidad de corte de la Viga de gran altura (VIGA 02)

### C. ENSAYO DE LA VIGA 03:

En la viga 03 se observó que la falla que más predomina es la falla por corte y aplastamiento en los apoyos por la transferencia de fuerzas y por la misma rigidez de la viga.



Detalle de falla de la viga de gran altura ensayada (VIGA 03)



Detalle de falla de la viga de gran altura ensayada (VIGA 03)

Los Resultados obtenidos de los ensayos de las vigas de gran altura se detallan a continuación, con una pequeña variación, esto se debe a varios factores como calidad de los materiales y el más importante es por el comportamiento no Lineal de las vigas de gran altura.

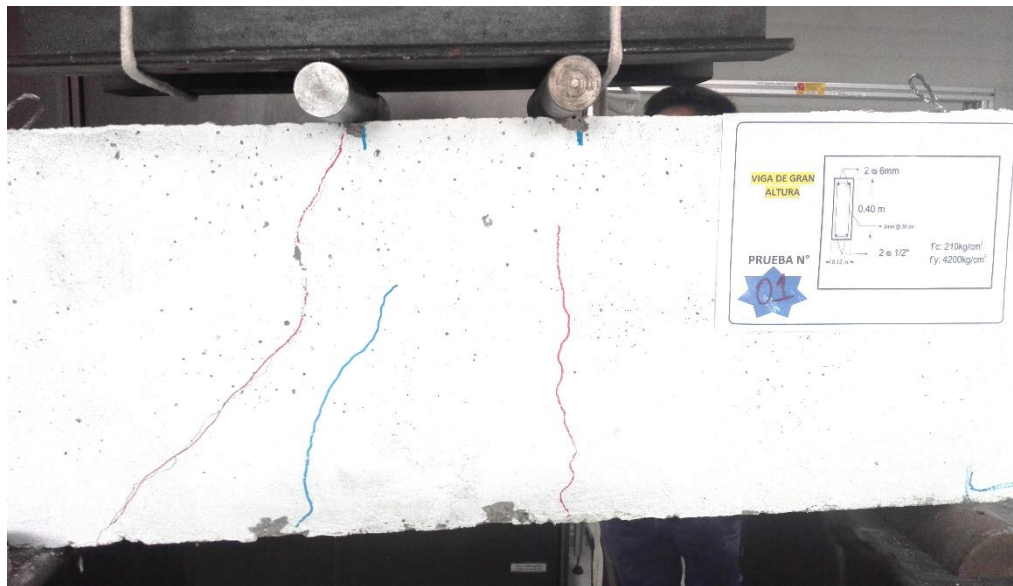
Resultados obtenidos de los ensayos de las vigas sin refuerzo a cortante

<b>Modelos de vigas sin refuerzo a corte</b>			
	<b>Viga 01</b>	<b>Viga 02</b>	<b>Viga 03</b>
KN (TEST)	44.81	50.86	47.76

### **MODELO DE VIGA 02 (CON REFUERZO A CORTE)**

#### **A. ENSAYO DE LA VIGA 04:**

En la viga 04 (viga con refuerzo a cortante) se observó que la falla que más predomina es la falla por corte y flexión. De igual manera en los apoyos ocurre una falla por la transferencia de fuerzas y por la misma rigidez de la viga. Este ensayo tuvo una falla muy abrupta por la misma rigidez de la viga al contar refuerzo por corte.



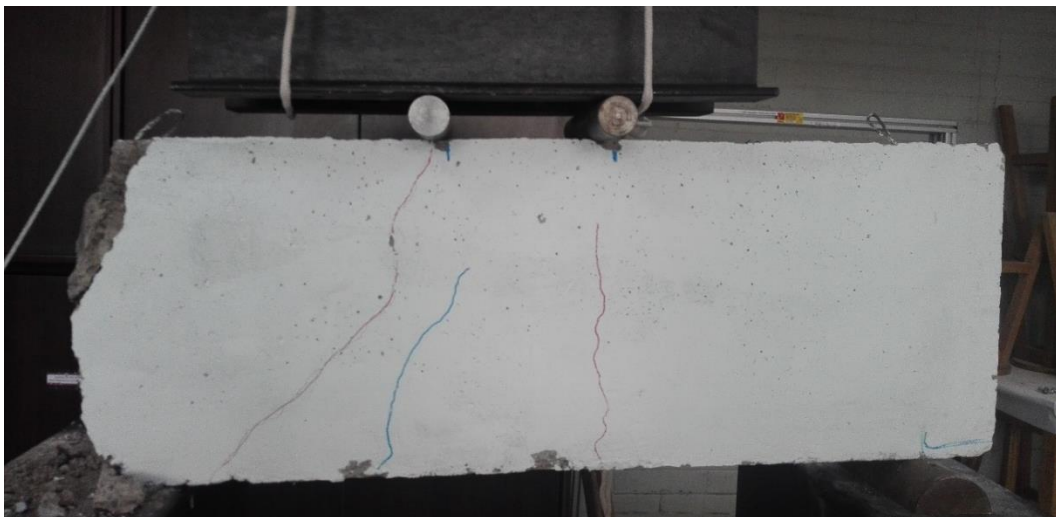
Falla por Corte y Flexión en la viga modelo 04



Resistencia a cortante de la viga modelo 04

### B. ENSAYO DE LA VIGA 05:

En la viga 05 (viga con refuerzo a cortante) se observó que la falla que más predomina es la falla por corte y flexión, pero tuvo una falla por aplastamiento en los apoyos. En los apoyos ocurre una falla por la transferencia de fuerzas y por la misma rigidez de la viga. Este ensayo tuvo una falla muy abrupta por la misma rigidez de la viga al contar refuerzo por corte.



Falla por Corte, Flexión y una falla en los apoyos



Falla detallada en el apoyo

Los Resultados obtenidos de los ensayos de las vigas de gran altura con refuerzo a cortante, no se tomó en consideración la viga 06 por problemas de calidad del material (concreto).

*Resultados obtenidos de los ensayos de las vigas con refuerzo a cortante*

<b>Modelos de vigas sin refuerzo a corte</b>			
	<b>Viga 04</b>	<b>Viga 05</b>	<b>Viga 06</b>
KN (TEST)	78.08	80.72	D

\*D = Descartado por Daños durante transporte

## Anexo C. Código Fuente de la Red Neuronal

### Archivo "rnacorte.m"

Fuente: Flores, L. (2014). *Matlab Aplicado a la Ingeniería Civil*. Lima Instituto de la construcción y gerencia.

```
clear;clc;
load data.mat;
%t=Input matrix
%p=Output matrix
[pn,ts1]=mapstd(p);
[tn,ts]=mapstd(t);
[ptrans,ps2]=processpca(pn,0.001);
[T,Q]=size(ptrans);
Clas13=[1:4:Q 3:4:Q];
Clas4=4:4:Q;
Clas2=2:4:Q;
Enp=ptrans(:,Clas13);
VEt=tn(:,Clas13);
val.P=ptrans(:,Clas4);
val.T=tn(:,Clas4);
test.P=ptrans(:,Clas2);
test.T=tn(:,Clas4);
Rango=minmax(ptrans);
net= newff(Rango,[5 5 1], {'logsig','logsig','purelin'},...
'trainb','learngdm','sse');
net.trainParam.epochs=5000;
net.trainParam.goal=0.9;
net.trainParam.max_fail=200;
net.trainParam.mu_inc=2;
net.trainParam.mu_dec=0.02;
net.trainParam.mu_max=1e30;
net.trainParam.show=500;
[net,tr]=train(net,Enp,VEt,[],[],val,test);
plot(tr.epoch, tr.perf, tr.epoch, tr.vperf, tr.epoch, tr.tperf)
legend('Entrenamiento','validacion','test',-1);
ylabel('error cuadratico');
xlabel('iteracion')
title('Curvas de:')
an= sim(net,ptrans);size(an);
a=mapstd('reverse',an,ts);size(a)
for i=1:1
figure(i)
```

```

[m(i),b(i),r(i)]=postreg(a(i,:),t(i,:));
end
aa=a';aaa=sort(aa);
tt=t';ttt=sort(tt);
nn=length(tt);nnn=[1:nn]';
for i=1:1
figure (4);
plot(nnn,aa(:,i));hold on;grid on
plot(nnn,tt(:,i),'r');
end
ss=[aa ttt];
size(ss)
for i=1:1
figure (5);
plot(nnn,aaa(:,i));hold on
plot(nnn,ttt(:,i),'r');grid on
end
for i=1:1
for j=1:160
for k=j+1:161
if (tt(j,i)>tt(k,i))
c=tt(j,i);tt(j,i)=tt(k,i);tt(k,i)=c;
c=aa(j,i);aa(j,i)=aa(k,i);aa(k,i)=c;
end
end
end
end
for i=1:1
figure(6);
plot(nnn,aa(:,i));hold on
plot(nnn,tt(:,i),'r');grid on
end

```

# Anexo D. Base de Datos de Vigas













## ENSAYOS DE VIGAS DE GRAN ALTURA

#	Artículo	Autor	Especimen	h (mm)	d (mm)	b (mm)	a (mm)	a/d	fc (Mpa)	p	fy (Mpa)	ρ v	fvy (Mpa)	p h	fyh (Mpa)	Vexp. (kN)
1			B2-2	457	382	203	782	2	26.3	0.0316	321	0.0037	331	0	0	322.2
2			B6-1	457	393	203	762	1.94	42.1	0.0307	321	0.0037	331	0	0	379.3
3			C1-1	457	361	203	610	1.56	25.7	0.0206	321	0.0034	331	0	0	277.7
4			C1-2	457	361	203	610	1.56	26.3	0.0206	321	0.0034	331	0	0	311.1
5			C1-3	457	369	203	610	1.57	22	0.0207	321	0.0034	331	0	0	254.9
6			C1-4	457	394	203	610	1.55	29	0.0204	321	0.0034	331	0	0	285.9
7			C2-1	457	389	203	610	1.57	23.7	0.0207	321	0.0069	331	0	0	289.9
8			C2-2	457	390	203	610	1.56	25	0.0208	321	0.0069	331	0	0	301.1
9			C2-4	457	392	203	610	1.55	27	0.0205	321	0.0069	331	0	0	289.2
10			C3-1	457	378	203	610	1.62	14.1	0.0214	321	0.0034	331	0	0	223.7
11			C3-2	457	375	203	610	1.63	13.8	0.0215	321	0.0034	331	0	0	200.3
12			C3-3	457	376	203	610	1.62	13.9	0.0214	321	0.0034	331	0	0	188.1
13			C4-1	457	379	203	610	1.61	24.5	0.0318	321	0.0034	331	0	0	309.3
14			C6-2	457	395	203	610	1.54	45.2	0.0306	321	0.0034	331	0	0	423.8
15			C6-3	457	395	203	610	1.54	44.7	0.0308	321	0.0034	331	0	0	434.9
16			O6-4	457	368	203	610	1.54	47.6	0.0305	321	0.0034	331	0	0	428.6
17			D1-1	457	397	203	457	1.15	20.2	0.0162	335	0.0046	331	0	0	310.1
18			D1-3	457	395	203	457	1.16	20.6	0.0163	335	0.0046	331	0	0	295.6
19			D2-1	457	395	203	457	1.16	21.4	0.0163	335	0.0061	331	0	0	298.9
20			D2-2	457	397	203	457	1.15	23.9	0.0162	335	0.0061	331	0	0	321.2
21			D3-1	457	390	203	457	1.17	28.2	0.0247	335	0.0092	331	0	0	394.9
22			D4-1	457	394	203	457	1.16	23.1	0.0163	335	0.0122	331	0	0	312.2
23			D1-6	381	317	152	610	1.92	27.7	0.0339	321	0.0048	331	0	0	174.7
24			D1-7	381	317	152	610	1.92	28	0.0339	321	0.0048	331	0	0	179.2
25			D1-8	381	317	152	610	1.92	27.8	0.0339	321	0.0048	331	0	0	185.6
26			E1-2	381	319	152	635	1.99	30.2	0.0337	321	0.0073	331	0	0	221.6
27			III-30	610	533	178	831	1.56	25	0.0425	483	0.0052	483	0	0	478.2
28			III-31	610	533	178	831	1.56	25	0.0425	483	0.0052	483	0	0	507.1
29			B1-30	782	724	76	254	0.35	21.5	0.0052	287	0.0245	280	0	0	239.9
30			B1-25	635	597	76	254	0.43	24.6	0.0053	287	0.0245	280	0	0	224.2
31			B1-20	508	470	76	254	0.54	21.2	0.008	287	0.0245	280	0	0	189.5
32			B1-15	381	343	76	254	0.74	21.2	0.0109	287	0.0245	280	0	0	164.1
33			B1-10	254	216	76	254	1.18	21.7	0.0174	287	0.0245	280	0	0	89.4
34			B2-30	782	724	76	254	0.35	19.2	0.0052	287	0.0086	303	0	0	249.1
35			B2-25	635	597	76	254	0.43	18.6	0.0063	287	0.0086	303	0	0	224.2
36			B2-20	508	470	76	254	0.54	19.9	0.008	287	0.0086	303	0	0	215.3
37			B2-15	381	343	76	254	0.74	22.8	0.0109	287	0.0086	303	0	0	138.7
38			B2-10	254	216	76	254	1.18	20.1	0.0174	287	0.0086	303	0	0	96.6
39			B3-30	782	724	76	254	0.35	22.6	0.0052	287	0	0	0.0245	280	276.2
40			B3-25	635	597	76	254	0.43	21	0.0063	287	0	0	0.0245	280	225.5
41			B3-20	508	470	76	254	0.54	19.2	0.008	287	0	0	0.0245	280	207.7
42			B3-15	381	343	76	254	0.74	21.9	0.0109	287	0	0	0.0245	280	159.2
43			B3-10	254	216	76	254	1.18	22.6	0.0174	287	0	0	0.0245	280	86.3
44			B4-30	782	724	76	254	0.35	22	0.0052	287	0	0	0.0086	303	242
45			B4-25	635	597	76	254	0.43	21	0.0063	287	0	0	0.0086	303	201.1
46			B4-20	508	470	76	254	0.54	20.1	0.008	287	0	0	0.0086	303	180.6
47			B4-15	381	343	76	254	0.74	22	0.0109	287	0	0	0.0086	303	109.4
48			B4-10	254	216	76	254	1.18	22.6	0.0174	287	0	0	0.0086	303	95.6
49			B5-30	782	724	76	254	0.35	18.6	0.0052	287	0.0061	280	0.0061	280	239.3
50			B5-25	635	597	76	254	0.43	19.2	0.0063	287	0.0061	280	0.0061	280	208.2
51			B5-20	508	470	76	254	0.54	20.1	0.008	287	0.0061	280	0.0061	280	172.6
52			B5-15	381	343	76	254	0.74	21.9	0.0109	287	0.0061	280	0.0061	280	127.2
53			B5-10	254	216	76	254	1.18	22.6	0.0174	287	0.0061	280	0.0061	280	97.8
54			1A1-10	356	305	102	235	0.77	16.7	0.0193	431	0.0028	437	0.0023	437	161.2
55			1A2-11	356	305	102	235	0.77	18	0.0193	431	0.0028	437	0.0023	437	145.9
56			1A4-12	356	305	102	235	0.77	16.1	0.0193	431	0.0028	437	0.0023	437	141.2
57			1A4-51	356	305	102	235	0.77	20.6	0.0193	431	0.0028	437	0.0023	437	170.9
58			1A6-37	356	305	102	235	0.77	21.1	0.0193	431	0.0028	437	0.0023	437	184.1
59			2A1-38	356	305	102	235	0.77	21.7	0.0193	431	0.0063	437	0.0023	437	174.5
60			2A3-39	356	305	102	235	0.77	19.8	0.0193	431	0.0063	437	0.0045	437	170.6
61			2A4-40	356	305	102	235	0.77	20.3	0.0193	431	0.0063	437	0.0068	437	171.9
62			2A6-41	356	305	102	235	0.77	19.1	0.0193	431	0.0063	437	0.0091	437	161.9
63			3A1-42	356	305	102	235	0.77	18.4	0.0193	431	0.0125	437	0.0023	437	161
64			3A3-43	356	305	102	235	0.77	19.2	0.0193	431	0.0125	437	0.0045	437	172.7
65			3A4-45	356	305	102	235	0.77	20.8	0.0193	431	0.0125	437	0.0068	437	178.5
66			3A6-46	356	305	102	235	0.77	19.9	0.0193	431	0.0125	437	0.0091	437	169.1
67			1B1-01	356	305	102	308	1.01	20.1	0.0193	431	0.0024	437	0.0023	437	147.5
68			1B3-29	356	305	102	308	1.01	20.1	0.0193	431	0.0024	437	0.0045	437	143.6
69			1B4-30	356	305	102	308	1.01	20.8	0.0193	431	0.0024	437	0.0068	437	150.3
70			1B5-31	356	305	102	308	1.01	19.5	0.0193	431	0.0024	437	0.0091	437	153.3
71			2B1-05	356	305	102	308	1.01	17.2	0.0193	431	0.0042	437	0.0023	437	129
72			2B3-08	356	305	102	308	1.01	17	0.0193	431	0.0042	437	0.0045	437	131.2
73			2B4-07	356	305	102	308	1.01	17.5	0.0193	431	0.0042	437	0.0068	437	126.1
74			2B4-52	356	305	102	308	1.01	21.8	0.0193	431	0.0042	437	0.0068	437	149.9
75			2B6-32	356	305	102	308	1.01	19.8	0.0193	431	0.0042	437	0.0091	437	145.2
76			3B1-08	356	305	102	308	1.01	16.2	0.0193	431	0.0063	437	0.0023	437	130.8
77			3B1-36	356	305	102	308	1.01	20.4	0.0193	431	0.0077	437	0.0023	437	159
78			3B3-33	356	305	102	308	1.01	19	0.0193	431	0.0077	437	0.0045	437	158.4
79			3B4-34	356	305	102	308	1.01	18.2	0.0193	431	0.0077	437	0.0068	437	155
80			3B5-35	356	305	102	308	1.01	20.7	0.0193	431	0.0077	437	0.0091	437	166.1
81			4B1-09	356	305	102	308	1.01	17.1	0.0193	431	0.0125	437	0.0023	437	153.5
82			1C1-14	356	305	102	408	1.34	17.2	0.0193	431	0.0018	437	0.0023	437	119
83			1C3-02	356	305	102	408	1.34	18.9	0.0193	431	0.0018	437	0.0045	437	123.4
84			1C4-15	356	305	102	408	1.34	22.7	0.0193	431	0.0018	437	0.0068	437	131
85			1C6-16	356	305	102	408	1.34	19	0.0193	431	0.0018	437	0.0091	437	122.3
86			2C1-17	356	305	102	408	1.34</								

114			A-0.27-2.15	500	463	110	125	0.27	58.8	0.0123	505	0.0048	375	0	0	675
115			A-0.27-3.23	500	463	110	125	0.27	61.6	0.0123	505	0.0048	375	0	0	630
116			A-0.27-4.30	500	463	110	125	0.27	53.9	0.0123	505	0.0048	375	0	0	640
117			A-0.27-5.38	500	463	110	125	0.27	57.3	0.0123	505	0.0048	375	0	0	630
118			B-0.54-2.15	500	463	110	250	0.54	56	0.0123	505	0.0048	375	0	0	468
119			B-0.54-3.23	500	463	110	250	0.54	45.7	0.0123	505	0.0048	375	0	0	445
120			B-0.54-4.30	500	463	110	250	0.54	53.9	0.0123	505	0.0048	375	0	0	500
121			B-0.54-5.38	500	463	110	250	0.54	53	0.0123	505	0.0048	375	0	0	480
122			C-0.81-2.15	500	463	110	375	0.81	51.2	0.0123	505	0.0048	375	0	0	403
123			C-0.81-3.23	500	463	110	375	0.81	44	0.0123	505	0.0048	375	0	0	400
124			D-1.08-2.15	500	463	110	500	1.08	48.2	0.0123	505	0.0048	375	0	0	270
125			E-1.62-3.23	500	463	110	750	1.62	50.6	0.0123	505	0.0048	375	0	0	220
126			L-3.0.75	500	443	110	375	0.85	59.2	0.0258	499	0	0	0.0159	353	1120
127			L-4.0.75	500	443	110	375	0.85	63.8	0.0258	499	0	0	0.0159	447	1150
128			II-2N/1.00	500	443	110	500	1.13	77.6	0.0258	499	0.0143	353	0	0	1040
129			II-3/1.00	500	443	110	500	1.13	78	0.0258	499	0	0	0.0159	353	780
130			II-4/1.00	500	443	110	500	1.13	86.3	0.0258	499	0	0	0.0159	447	950
131			II-5/1.00	500	443	110	500	1.13	86.3	0.0258	499	0	0	0.0317	447	940
132			III-2N/1.50	500	443	110	750	1.69	77.6	0.0258	499	0.0143	353	0	0	670
133			III-3/1.50	500	443	110	750	1.69	78	0.0258	499	0	0	0.0159	353	400
134			III-4/1.50	500	443	110	750	1.69	86.3	0.0258	499	0	0	0.0159	447	380
135			III-5/1.50	500	443	110	750	1.69	86.3	0.0258	499	0	0	0.0317	447	530
136			B2.0-1	700	624	125	825	1.32	83	0.0242	440	0.0066	590	0.0037	590	795
137			S5-4	350	292	250	580	1.99	89.4	0.028	452	0.0016	569	0	0	476.7
138			S5-5	350	292	250	510	1.75	89.4	0.028	452	0.0016	569	0	0	573.4
139			MHB1.5-25	250	215	125	323	1.5	52	0.0377	414	0.0045	414	0	0	158.4
140			MHB1.5-50	250	215	125	323	1.5	52	0.0377	414	0.0045	414	0	0	208
141			MHB1.5-75	250	215	125	323	1.5	52	0.0377	414	0.0045	414	0	0	238.7
142			MHB1.5-100	250	215	125	323	1.5	52	0.0377	414	0.0045	414	0	0	267.5
143			MHB2.0-25	250	215	125	430	2	52	0.0377	414	0.0032	414	0	0	110.7
144			MHB2.0-50	250	215	125	430	2	52	0.0377	414	0.0032	414	0	0	173.9
145			MHB2.0-75	250	215	125	430	2	52	0.0377	414	0.0032	414	0	0	185.4
146			MHB2.0-100	250	215	125	430	2	52	0.0377	414	0.0032	414	0	0	193.2
147			HB1.5-25	250	215	125	323	1.5	73	0.0377	414	0.0045	414	0	0	214.2
148			HB1.5-50	250	215	125	323	1.5	73	0.0377	414	0.0045	414	0	0	246.2
149			HB1.5-75	250	215	125	323	1.5	73	0.0377	414	0.0045	414	0	0	265.8
150			HB1.5-100	250	215	125	323	1.5	73	0.0377	414	0.0045	414	0	0	280.3
151			HB2.0-25	250	215	125	430	2	73	0.0377	414	0.0032	414	0	0	142.7
152			HB2.0-50	250	215	125	430	2	73	0.0377	414	0.0032	414	0	0	195.9
153			HB2.0-75	250	215	125	430	2	73	0.0377	414	0.0032	414	0	0	230.1
154			HB2.0-100	250	215	125	430	2	73	0.0377	414	0.0032	414	0	0	242.1
155			2-1000/0.50	1000	884	140	800	0.57	31.2	0.026	520	0.0012	414	0.0012	414	875
156			2-1000/0.75	1000	884	140	740	0.84	32.7	0.026	520	0.0012	414	0.0012	414	850
157			2-1000/1.00	1000	884	140	1000	1.13	30.8	0.026	520	0.0012	414	0.0012	414	435
158			3-1400/0.50	1400	1251	140	705	0.56	32.8	0.026	520	0.0012	414	0.0012	414	1175
159			3-1400/0.75	1400	1251	140	1050	0.84	36.2	0.026	520	0.0012	414	0.0012	414	950
160			3-1400/1.00	1400	1251	140	1420	1.14	35.3	0.026	520	0.0012	414	0.0012	414	800
161			4-1750/0.75	1750	1559	140	1320	0.85	40.4	0.026	520	0.0012	414	0.0012	414	1240
162			4-1750/1.00	1750	1559	140	1760	1.13	44.8	0.026	520	0.0012	414	0.0012	414	1000
163			8	180	140	80	280	2	33	0.0202	410	0.0034	370	0	0	34
164			12	180	140	80	280	2	69	0.0202	410	0.0034	370	0	0	483.5
165			14	180	140	80	280	2	32	0.0202	410	0.0034	370	0	0	43
166			15	180	140	80	280	2	61	0.0202	410	0.0034	370	0	0	44
167			18	180	140	80	280	2	91	0.0202	410	0.0034	370	0	0	46
168			20	180	140	80	280	2	83	0.0202	410	0.0034	370	0	0	44
169			21	180	140	80	280	2	36	0.0202	410	0.0034	370	0	0	46.5
170			N42A2	580	500	130	425	0.85	23.7	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	284.1
171			N42B2	580	500	130	425	0.85	23.7	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	377
172			N42C2	580	500	130	425	0.85	23.7	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	367.5
173			H41A2(1)	580	500	130	250	0.5	49.1	0.0156	415	0.0012	415	0.0043	415	713.1
174			H41B2	580	500	130	250	0.5	49.1	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	708.9
175			H41C2	580	500	130	250	0.5	49.1	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	708.5
176			H42A2(1)	580	500	130	425	0.85	49.1	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	498.2
177			H42B2(1)	580	500	130	425	0.85	49.1	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	456.3
178			H42C2(1)	580	500	130	425	0.85	49.1	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	420.6
179			H43A2(1)	580	500	130	625	1.25	49.1	0.0156	415	0.0012	415	0.0043	415	347.1
180			H43B2	580	500	130	625	1.25	49.1	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	380.9
181			H43C2	580	500	130	625	1.25	49.1	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	402.4
182			H45A2	580	500	130	1000	2	49.1	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	210.6
183			H45B2	580	500	130	1000	2	49.1	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	237.3
184			H45C2	580	500	130	1000	2	49.1	0.0156	415	0.0022	415	0.0043	415	235.3
185			H41A2(2)	580	500	120	250	0.5	50.6	0.0129	415	0.0013	415	0.0047	415	483.2
186			H41A3	580	500	120	250	0.5	50.6	0.0129	415	0.0013	415	0.0094	415	454.8
187			H42A2(2)	580	500	120	425	0.85	50.6	0.0129	415	0.0013	415	0.0047	415	392.4
188			H42B2(2)	580	500	120	425	0.85	50.6	0.0129	415	0.0024	415	0.0047	415	360.6
189			H42C2(2)	580	500	120	425	0.85	50.6	0.0129	415	0.0037	415	0.0047	415	373.8
190			H43A0	580	500	120	625	1.25	50.6	0.0129	415	0.0013	415	0	0	313.6
191			H43A1	580	500	120	625	1.25	50.6	0.0129	415	0.0013	415	0.0023	415	260.4
192			H43A2(2)	580	500	120	625	1.25	50.6	0.0129	415	0.0013	415	0.0047	415	278.6
193			U41A0	580	500	120	250	0.5	73.6	0.0129	415	0.0013	415	0	0	438
194			U41A1	580	500	120	250	0.5	73.6	0.0129	415	0.0013	415	0.0023	415	541.8
195			U41A2	580	500	120	250	0.5	73.6	0.0129	415	0.0013	415	0.0047	415	548.4
196			U41A3	580	500	120	250	0.5	73.6	0.0129	415	0.0013	415	0.0094	415	546.6
197			U42A2	580	500	120	425	0.85	73.6	0.0129	415	0.0024	415	0.0047	415	417.8
198			U42B2	580	500	120	425	0.85	73.6	0.0129	415	0.0024	415	0.0047	415	410.4
199			U42C2	580	500	120	425	0.85	73.6	0.0129	415	0.0037	415	0.0047	415	408
200																

223	Deep Beams		G2	400	330	100	425	1.29	30.5	0.0365	364	0.0059	448	0.0022	577	186
224			G3	400	330	100	300	0.91	31.3	0.0365	364	0.0067	448	0.0022	577	298.5
225			II-24a	610	533	178	831	1.56	17.8	0.0272	483	0	0	0	0	303.2
226			II-24b	610	533	178	831	1.56	20.6	0.0272	483	0	0	0	0	267.6
227			II-25a	610	533	178	831	1.56	24.3	0.0346	483	0	0	0	0	289.8
228			II-25b	610	533	178	831	1.56	17.2	0.0346	483	0	0	0	0	421.1
229			II-26a	610	533	178	831	1.56	21.7	0.0425	483	0	0	0	0	396.6
230			II-26b	610	533	178	831	1.56	20.6	0.0425	483	0	0	0	0	347.7
231			II-27a	610	533	178	831	1.56	21.4	0.0272	483	0	0	0	0	366.6
232			II-27b	610	533	178	831	1.56	22.9	0.0272	483	0	0	0	0	303.2
233			II-28a	610	533	178	831	1.56	23.3	0.0346	483	0	0	0	0	341
234			II-28b	610	533	178	831	1.56	22.4	0.0346	483	0	0	0	0	389.9
235			II-29a	610	533	178	831	1.56	21.7	0.0425	483	0	0	0	0	436.6
236			II-29b	610	533	178	831	1.56	25	0.0425	483	0	0	0	0	133.4
237			I-g	381	305	178	406	1.33	30.6	0.0095	483	0	0	0	0	132
238			I-h	381	305	178	406	1.33	24.4	0.0147	483	0	0	0	0	146.8
239			I-i	381	305	178	406	1.33	22.9	0.0147	483	0	0	0	0	140.9
240			I-2b	381	305	178	406	1.33	16.8	0.0376	483	0	0	0	0	149.7
241			I-3b	381	305	178	406	1.33	20.5	0.0476	483	0	0	0	0	155.7
242			I-j	381	305	178	406	1.33	33.4	0.0147	483	0	0	0	0	161.6
243			I-k	381	305	178	406	1.33	26.6	0.021	483	0	0	0	0	148.3
244			I-4a	381	305	178	406	1.33	29.8	0.0286	483	0	0	0	0	162
245			I-4b	381	305	178	406	1.33	27.9	0.0286	483	0	0	0	0	177.9
246			I-5a	381	305	178	406	1.33	28	0.0376	483	0	0	0	0	163.1
247			I-5b	381	305	178	406	1.33	27.9	0.0376	483	0	0	0	0	170.5
248			I-6a	381	305	178	406	1.33	31.4	0.0476	483	0	0	0	0	177.9
249			I-6b	381	305	178	406	1.33	24.8	0.0476	483	0	0	0	0	158.6
250			I-j	381	305	178	406	1.33	35.2	0.0147	483	0	0	0	0	155.7
251			I-m	381	305	178	406	1.33	30.3	0.021	483	0	0	0	0	170.5
252			I-7a	381	305	178	406	1.33	33	0.0286	483	0	0	0	0	178.3
253			I-7b	381	305	178	406	1.33	34.5	0.0286	483	0	0	0	0	215
254			I-8a	381	305	178	406	1.33	33	0.0376	483	0	0	0	0	163.1
255			I-8b	381	305	178	406	1.33	32.3	0.0376	483	0	0	0	0	192.7
256			I-8c	381	305	178	406	1.33	36.3	0.0476	483	0	0	0	0	192.7
257			I-8d	381	305	178	406	1.33	32.1	0.0476	483	0	0	0	0	175
258			I-h	381	305	178	406	1.33	36.1	0.0147	483	0	0	0	0	189.8
259			I-o	381	305	178	406	1.33	34.8	0.021	483	0	0	0	0	197.2
260			I-p	381	305	178	406	1.33	41.2	0.0286	483	0	0	0	0	192.7
261			I-q	381	305	178	406	1.33	33.7	0.0376	483	0	0	0	0	207.6
262			I-r	381	305	178	406	1.33	40.9	0.0476	483	0	0	0	0	326.2
263			II-19a	610	533	178	406	0.78	16	0.0282	483	0	0	0	0	357.3
264			II-19a	610	533	178	406	0.78	20.9	0.0346	483	0	0	0	0	394.7
265			II-19b	610	533	178	406	0.78	22.5	0.0346	483	0	0	0	0	348.4
266			II-20a	610	533	178	406	0.78	19.9	0.0425	483	0	0	0	0	389.2
267			II-20b	610	533	178	406	0.78	20.4	0.0425	483	0	0	0	0	80.1
268			IV-a	381	305	178	610	2	23.4	0.0095	483	0	0	0	0	69
269			IV-h	381	305	178	610	2	25.9	0.0147	483	0	0	0	0	86.4
270			IV-i	381	305	178	610	2	24.1	0.021	483	0	0	0	0	105.5
271			IV-j	381	305	178	610	2	24.8	0.0286	483	0	0	0	0	111.8
272			IV-k	381	305	178	610	2	25	0.0376	483	0	0	0	0	102.9
273			IV-l	381	305	178	610	2	27	0.0476	483	0	0	0	0	194.9
274			V-b	381	305	178	406	1.33	28	0.0147	483	0	0	0	0	213.4
275			V-d	381	305	178	406	1.33	24.8	0.0286	483	0	0	0	0	210.5
276			V-f	381	305	178	406	1.33	23.3	0.0476	483	0	0	0	0	102.7
277			V-i-a	381	305	178	542	1.78	28.2	0.0095	483	0	0	0	0	172.1
278			V-i-b	381	305	178	542	1.78	28.7	0.0147	483	0	0	0	0	146.8
279			V-i-c	381	305	178	542	1.78	24.7	0.021	483	0	0	0	0	157.5
280			V-i-d	381	305	178	542	1.78	26.9	0.0286	483	0	0	0	0	170.8
281			V-i-e	381	305	178	542	1.78	28.4	0.0376	483	0	0	0	0	186.8
282			V-i-f	381	305	178	542	1.78	38.4	0.021	483	0	0	0	0	173.5
283			V-i-g	381	305	178	542	1.78	33.1	0.0286	483	0	0	0	0	226.9
284			V-i-h	381	305	178	542	1.78	36.6	0.0376	483	0	0	0	0	194.8
285			V-i-i	381	305	178	542	1.78	41.5	0.0476	483	0	0	0	0	278
286			B14-E2	410	375	305	356	0.95	12.7	0.0057	483	0	0	0	0	511.5
287			B14-A4	406	362	305	356	0.98	22.6	0.025	483	0	0	0	0	500.4
288			B14-B4	406	368	305	356	0.97	26.3	0.0185	483	0	0	0	0	511.5
289			B14-E4	406	368	305	356	0.97	28.9	0.0124	483	0	0	0	0	900.7
290			B14-A6	406	356	305	356	1	45.4	0.0383	483	0	0	0	0	778.4
291			B14-B6	406	368	305	356	0.97	46.8	0.0185	483	0	0	0	0	238.5
292			B21-E2	406	367	305	533	1.45	13.9	0.0185	483	0	0	0	0	211.7
293			B21-E2	406	375	305	533	1.42	11.3	0.0057	483	0	0	0	0	523.1
294			B21-A4	406	368	305	533	1.45	29.8	0.0246	483	0	0	0	0	396.4
295			B21-B4	406	368	305	533	1.45	27.1	0.0185	483	0	0	0	0	423
296			B21-E4	406	365	305	533	1.46	24.2	0.0124	483	0	0	0	0	434.2
297			B21-E4R	406	368	305	533	1.45	31.9	0.0124	483	0	0	0	0	497.6
298			B21-F4	406	370	305	533	1.44	31.4	0.0117	483	0	0	0	0	578.8
299			B21-A6	406	356	305	533	1.5	45.3	0.0383	483	0	0	0	0	578.7
300			B21-B6	406	375	305	533	1.42	45.5	0.0185	483	0	0	0	0	201.2
301			B28-E2	406	362	305	711	1.96	14.7	0.0185	483	0	0	0	0	130
302			B28-E2	406	372	305	711	1.91	13.7	0.0057	483	0	0	0	0	323.5
303			B28-A4	406	368	305	711	1.93	27.5	0.0246	483	0	0	0	0	256.8
304			B28-B4	406	368	305	711	1.93	32.3	0.0185	483	0	0	0	0	267.9
305			B28-E4	406	368	305	711	1.93	33.1	0.0124	483	0	0	0	0	323.5
306			B28-B6	406	368	305	711	1.93	43.9	0.0185	483	0	0	0	0	20.7
307	Static and fatigue strength in shear of beams with tensile reinforcement	Chang & Kesler, 1968	IIA2	152	137	102	254	1.85	14.9	0.0237	328	0	0	0	0	311.4
308			B-18-1	457	404	203	610	1.51	25.4	0.0305	267	0	0	0	0	289.1
309			C-18-1	457	404	203	610	1.51	25.6	0.0185	490	0	0	0	0	311.4
310			C-18-2	457	404	203	610	1.51	28.4	0.0185	466	0	0	0	0	266.9
311			D-18-1	457	404	203	610	1.51	25.7	0.0117	724	0	0	0	0	266.9
312			D-18-2	457	404	203	610	1.51	27	0.0116	699	0	0	0	0	220.8
313			E-18-1	457	404	203	610	1.51	22.4	0.0075	686	0	0	0	0	222.4
314			E-18-2	457	404	203	610	1.51	26.7	0.0075	688	0	0	0	0	211.1
315			E6N1	368	318	154	432	1.36	22.1	0.0159	483	0	0	0	0	162.5
316			E6N2	368	318	154	432									

340	containing deformed bars of different yield strengths	Watstein, 1963	V-9	457	403	203	610	1.51	23.1	0.0116	698	0	0	0	0	268.4
341			V-10	457	403	203	610	1.51	27	0.0116	698	0	0	0	0	224
342			V-11	457	403	203	610	1.51	25.4	0.0117	698	0	0	0	0	268.4
343			V-12	457	403	203	610	1.51	25.7	0.0117	698	0	0	0	0	222.4
344			V-13	457	403	203	610	1.51	22.4	0.0075	712	0	0	0	0	224
345			V-14	457	403	203	610	1.51	26.7	0.0075	712	0	0	0	0	179.5
346			V-15	457	403	203	610	1.51	25.5	0.0075	712	0	0	0	0	188.6
347	V-16	457	403	203	610	1.51	22.8	0.0075	712	0	0	0	0	89.8		
348	Strength and Behavior of Deep Beams in Shear	de Pavia and Sless, 1965	G23S- 11	330	305	51	203	0.87	24.6	0.0083	463	0	0	0	0	85.3
349			G33S- 11	229	203	76	203	1	23.3	0.0167	463	0	0	0	0	109.8
350			G34S- 11	229	203	76	203	1	35.2	0.0167	463	0	0	0	0	76.9
351			G43S- 11	178	152	102	203	1.34	24.2	0.0167	463	0	0	0	0	83.6
352			G44S- 11	178	152	102	203	1.34	37	0.0167	463	0	0	0	0	162
353			24	305	274	152	407	1.5	27.9	0.0167	396	0	0	0	0	89
354			46	152	136	151	277	2	25.5	0.0276	392	0	0	0	0	155.2
355			53	152	132	151	136	1.03	47.4	0.0284	392	0	0	0	0	157.7
356			54	152	136	151	136	1	26.7	0.0276	392	0	0	0	0	110.6
357			94	305	273	153	543	1.99	25.3	0.0277	352	0	0	0	0	547.8
358			87	610	528	157	543	1.03	30.3	0.0275	407	0	0	0	0	585.4
359			69	610	542	155	543	1	27.4	0.0267	373	0	0	0	0	196.8
360			72	610	549	152	1067	1.98	24.8	0.0271	384	0	0	0	0	326
361			3041	1219	1097	152	2195	2	26.9	0.0272	377	0	0	0	0	71.9
362			109	305	271	153	407	1.5	25	0.0076	457	0	0	0	0	87.2
363			113	305	274	152	408	1.49	25.5	0.0077	489	0	0	0	0	143.3
364			129	305	275	155	407	1.48	17.6	0.0178	348	0	0	0	0	69.9
365			134	305	273	154	544	1.99	17.4	0.0181	419	0	0	0	0	76.8
366			135	305	274	149	544	1.99	17.4	0.0186	411	0	0	0	0	58.3
367			142	305	276	156	544	1.97	19.3	0.0077	382	0	0	0	0	79.9
368			148	305	274	152	408	1.49	19.9	0.0079	382	0	0	0	0	59
369			162	305	272	153	543	2	34.3	0.0077	377	0	0	0	0	106.5
370			174	305	272	153	270	0.99	38.4	0.0051	396	0	0	0	0	67.2
371			178	305	269	153	407	1.51	34.5	0.0052	400	0	0	0	0	96.2
372			181	305	272	154	543	2	33.9	0.0179	390	0	0	0	0	163.3
373			184	305	271	154	407	1.5	35.1	0.018	394	0	0	0	0	92.6
374			188	305	277	153	543	1.96	33.1	0.0176	384	0	0	0	0	76.8
375	199	305	273	152	544	1.99	36	0.0183	410	0	0	0	0	253.7		
376	201	305	274	155	272	0.99	35.2	0.0265	381	0	0	0	0	147.1		
377	204	305	275	152	543	1.97	34.8	0.0269	369	0	0	0	0	125.5		
378	205	305	275	153	544	1.98	35.2	0.0266	381	0	0	0	0	104.1		
379	249	305	276	153	270	0.98	28	0.0049	376	0	0	0	0	62.8		
380	250	305	274	152	406	1.48	28	0.005	376	0	0	0	0	41.9		
381	251	305	276	154	544	1.97	26.2	0.0048	391	0	0	0	0	53		
382	255	305	259	153	407	1.51	18.1	0.0052	400	0	0	0	0	89		
383	269	305	274	154	270	0.99	18.1	0.0049	398	0	0	0	0	41.4		
384	270	305	273	152	542	1.99	20.1	0.005	396	0	0	0	0	90.1		
385	Ultimate strength of deep beams in shear. in ACI Journal Proceedings	Ramakrishnan & Ananthanarayana, 1968	C1	381	343	76	241	0.7	21.5	0.0076	320	0	0	0	0	39.4
386			K1-R	381	343	79	345	1.01	13.7	0.0026	320	0	0	0	0	0
387	Deep beam behavior affected by length and shear span variations	Manuel et al. 1971	1	457	406	102	122	0.3	33.8	0.0097	410	0	0	0	0	444.8
388			2	457	406	102	122	0.3	35.2	0.0097	410	0	0	0	0	367
389			3	457	406	102	122	0.3	30.1	0.0097	392	0	0	0	0	400.3
390			4	457	406	102	122	0.3	31.9	0.0097	410	0	0	0	0	389.2
391	Failure of Deep Beams	Manuel 1974	1	457	406	102	102	0.25	31.7	0.0063	308	0	0	0	0	453.7
392			4	457	406	102	102	0.25	31.7	0.0097	404	0	0	0	0	402.5
393			5	457	406	102	203	0.5	31.7	0.0097	401	0	0	0	0	487.1
394			7	457	406	102	203	0.5	36.9	0.0138	432	0	0	0	0	293.6
395			10	457	406	102	366	0.9	38.1	0.0188	374	0	0	0	0	273.6
396			11	457	406	102	432	1.06	32.3	0.0188	374	0	0	0	0	314.5
397			T1	300	228	100	200	0.88	35.8	0.06	384	0	0	0	0	514
398	T2	600	507	100	200	0.39	54.7	0.03	389	0	0	0	0	114		
399	T3	300	228	100	200	0.88	13.1	0.03	364	0	0	0	0	212.5		
400	T4	600	507	100	150	0.3	13.1	0.03	369	0	0	0	0	881.5		
401	T5	600	507	100	200	0.39	66.6	0.06	389	0	0	0	0	377.5		
402	T6	600	507	100	150	0.3	35.8	0.06	389	0	0	0	0	446		
403	T7	300	228	100	150	0.66	59.9	0.06	364	0	0	0	0	158.5		
404	0A0-44	358	305	102	235	0.77	20.5	0.0193	431	0	0	0	0	156.1		
405	0A0-48	358	305	102	235	0.77	20.9	0.0193	431	0	0	0	0	149		
406	0B0-48	358	305	102	308	1.01	21.7	0.0193	431	0	0	0	0	115.7		
407	0C0-50	358	305	102	408	1.34	20.7	0.0193	431	0	0	0	0	116.1		
408	Shear tests of high- and low-strength concrete beams without stirrups	Mphonde & Frantz, 1984	AO-3-1	337	298	152	448	1.5	23.1	0.0334	414	0	0	0	0	275.7
409			AO-15-1a	337	298	152	448	1.5	79.5	0.0334	414	0	0	0	0	699
410	Tests of reinforced concrete deep beams	Rogowsky & MacGregor, 1969	BM1/1. 0/T2	1000	950	200	1000	1.05	26.1	0.0095	380	0	0	0	0	600
411			BM1A/ 1.0	1000	950	200	1000	1.05	26.4	0.0095	367	0	0	0	0	303
412			BM1/1. 5/T1	800	535	200	1000	1.87	42.4	0.0112	455	0	0	0	0	83.4
413			A5	254	203	127	406	2	66	0.0393	414	0	0	0	0	37.8
414			A11	254	208	127	416	2	68	0.0177	414	0	0	0	0	111.2
415			A12	254	208	127	208	1	66	0.0177	414	0	0	0	0	53.4
416			B5	254	202	127	404	2	73	0.0504	414	0	0	0	0	102.8
417	B6	254	202	127	202	1	73	0.0504	414	0	0	0	0	61.2		
418	B11	254	208	127	416	2	73	0.0225	414	0	0	0	0	106.8		
419	B12	254	208	127	208	1	73	0.0225	414	0	0	0	0	82		
420	C6	254	184	127	184	1	70	0.0664	414	0	0	0	0	53.4		
421	C11	254	207	127	414	2	70	0.0326	414	0	0	0	0	122.3		
422	C12	254	207	127	207	1	70	0.0326	414	0	0	0	0	849		
423	V111	1000	930	250	465	0.5	18.8	0.0066	420	0	0	0	0	642		
424	V122	1000	930	250	465	0.5	15.8	0.0066	420	0	0	0	0	588		
425	V221	1000	930	250	930	1	20.4	0.0108	420	0	0	0	0	430		
426	V222	1000	930	250	930	1	15.4	0.0108	420	0	0	0	0	369		
427	V311	1000	930	250	1395	1.5	17	0.0169	420	0	0	0	0	387		
428	V321	1000	930	250	1395	1.5	16.9	0.0169	420	0	0	0	0	375		
429	V322	1000	930	250	1395	1.5	15	0.0169	420	0	0	0	0	221		
430	V611	200	180	250	80	0.5	19.9	0.0085	420	0	0	0	0	140		
431	V811	200	180	250	240	1.5	20.6	0.019	420	0	0	0	0	226		
432	V011	400	380	250	380	1	16.1	0.0113	420	0	0	0	0	322		
433	V012	400	380	250	380	1	21.8	0.0113	420	0	0	0	0	344		
434	V013	400	380	250	380	1	22.1	0.0113	420	0	0	0	0	425		
435	V014	400	380	250	380	1	24.3	0.0113	420	0	0	0	0	220		
436	V021	400	380	250	380	1	13.9	0.0113	420	0	0	0	0	347		
437	V023	400	380	250	380	1	20.1	0.0113	420	0	0	0	0	396		
438	V024	400	380	250	380	1	25.2	0.0113	420	0	0	0	0	323		
439	V031	400	380	2												

448	 Shear ductility of reinforced concrete beams of normal and high-strength concrete	Xie et al., 1994	NNN-1	254	216	127	216	1	47	0.0207	421	0	0	0	0	56.6
449			NNN-2	254	216	127	432	2	41.4	0.0207	421	0	0	0	0	500
450	 High-strength concrete deep beams with effective span and shear span variations	Tan et al., 1995	I-1/0.75	500	443	110	375	0.85	56.3	0.0258	499	0	0	0	0	255
451			II- 1/1.00	500	443	110	500	1.13	77.6	0.0258	499	0	0	0	0	185
452			III- 1/1.50	500	443	110	750	1.69	77.6	0.0258	499	0	0	0	0	112.9
453	 Shear strength of reinforced high-strength concrete beams with shear span-to-depth ratios between 1.5 and 2.5	Shin et al., 1999	MHB1- 5-0	250	215	125	323	1.5	52	0.0377	414	0	0	0	0	87.9
454			MHB2- 0-0	250	215	125	430	2	52	0.0377	414	0	0	0	0	142.2
455			HB1 5-0	250	215	125	323	1.5	73	0.0377	414	0	0	0	0	99.4
456			HB2 0-0	250	215	125	430	2	73	0.0377	414	0	0	0	0	850
457	 Shear behavior of large reinforced concrete deep beams and code comparisons	Tan & Lu 1999	500/0.5	500	444	140	250	0.56	49.1	0.026	520	0	0	0	0	700
458			500/0.7	500	444	140	375	0.84	42.5	0.026	520	0	0	0	0	570
459			500/1.0	500	444	140	500	1.13	37.4	0.026	520	0	0	0	0	31
460	 Experimental study on shear strength of high-strength concrete beams	Pendyala & Mendis, 2000	3	160	140	80	280	2	63	0.0202	410	0	0	0	0	35
461			5	160	140	80	280	2	87	0.0202	410	0	0	0	0	330
462	 One-way shear strength of large footings	Adebar, 2000	DF-11	1090	1000	250	2000	2	19.5	0.0084	560	0	0	0	0	409
463			DF-14	1090	1000	250	1750	1.75	19.5	0.0084	560	0	0	0	0	330
464			DF-15	1090	962	250	1751	1.82	20.3	0.0175	560	0	0	0	0	380
465			DF-16	1090	1000	250	1430	1.43	20.3	0.0084	560	0	0	0	0	265.2
466	 Shear Strength of Reinforced High-Strength Concrete Deep Beams	Oh and Shin, 2001	N4200	560	500	130	425	0.85	23.7	0.0156	415	0	0	0	0	642.2
467			H4100	560	500	130	250	0.5	49.1	0.0156	415	0	0	0	0	401.1
468			H4200	560	500	130	425	0.85	49.1	0.0166	415	0	0	0	0	337.4
469			H4300	560	500	130	625	1.25	49.1	0.0156	415	0	0	0	0	112.5
470			H4500	560	500	130	1000	2	49.1	0.0156	415	0	0	0	0	214.2
471	 Concept of concrete compressive fracture energy in RC deep beams without transverse reinforcement	Lertsrisaku Irat et al, 2002	D200	250	200	150	200	1	38.4	0.0191	1026	0	0	0	0	285.3
472			D400	450	400	150	400	1	35.5	0.0169	1004	0	0	0	0	424.5
473			D600	650	600	150	600	1	40.8	0.0176	1006	0	0	0	0	446.9
474	 Shear characteristics of high-strength concrete deep beams without shear reinforcements	Yang et al 2003	L5-40	400	355	160	200	0.56	31.4	0.0101	804	0	0	0	0	535.1
475			L5-60R	600	555	160	300	0.54	31.4	0.0097	804	0	0	0	0	479.2
476			L5-60R	600	555	160	300	0.54	31.4	0.0097	804	0	0	0	0	586.8
477			L5-75	750	685	160	375	0.55	31.4	0.0105	804	0	0	0	0	582.1
478			L5-100	1000	935	160	500	0.53	31.4	0.009	577	0	0	0	0	192.1
479			L10-40	400	355	160	400	1.13	31.4	0.0101	804	0	0	0	0	311.6
480			L10-40R	400	355	160	400	1.13	31.4	0.0101	804	0	0	0	0	375.3
481			L10-60	600	555	160	600	1.08	31.4	0.0097	804	0	0	0	0	271.5
482			L10-75	750	685	160	750	1.09	31.4	0.0105	804	0	0	0	0	330.3
483			L10-75R	750	685	160	750	1.09	31.4	0.0105	804	0	0	0	0	543.9
484			L10-100	1000	935	160	1000	1.07	78.5	0.009	577	0	0	0	0	733
485			UH5-40	400	355	160	200	0.56	78.5	0.0101	804	0	0	0	0	823.2
486			UH5-60	600	555	160	300	0.54	78.5	0.0097	804	0	0	0	0	1010.4
487			UH5-75	750	685	160	375	0.55	78.5	0.0105	804	0	0	0	0	1029
488			UH5-100	1000	935	160	500	0.53	78.5	0.009	577	0	0	0	0	458.8
489			UH10-40	400	355	160	375	1.06	78.5	0.0101	804	0	0	0	0	385.1
490	UH10-40R	400	355	160	375	1.06	78.5	0.0101	804	0	0	0	0	573.3		
491	UH10-60	600	555	160	600	1.08	78.5	0.0097	804	0	0	0	0	338.1		
492	UH10-75	750	685	160	750	1.09	78.5	0.0105	804	0	0	0	0	350.6		
493	UH10-75R	750	685	160	750	1.09	78.5	0.0105	804	0	0	0	0	769.3		
494	UH10-100	1000	935	160	1000	1.07	78.5	0.009	577	0	0	0	0	340		
495	 Size effect in shear strength of large beams—behaviour and finite element modelling	Tan et al., 2005	500/1.5	500	444	140	750	1.69	41.8	0.026	620	0	0	0	0	470
496			1000/1.	1000	884	140	1500	1.7	39.4	0.026	620	0	0	0	0	690
497			1400/1.	1400	1243	140	2100	1.69	44.1	0.026	620	0	0	0	0	470
498			1750/1.	1750	1559	140	2625	1.68	43.4	0.026	620	0	0	0	0	744.1
499	 Shear behavior of concrete beams reinforced with MMFX steel without web reinforcement	Seliem et al, 2006	G-1.9- 51	915	850	460	1640	1.93	51	0.0072	468	0	0	0	0	788.6
500			M-1.9- 51	915	850	460	1640	1.93	51	0.0044	865	0	0	0	0	690.6
501			M-1.9- 38	915	850	460	1640	1.93	38	0.0044	865	0	0	0	0	85
502	 Size effect in RC deep beams. Experimental investigation and STM verification	Zhang and Tan, 2007	2DB35	350	314	80	345	1.1	27.4	0.0125	469	0	0	0	0	135.5
503			2DB50	500	459	80	505	1.1	32.4	0.0115	500	0	0	0	0	155.5
504			2DB70	700	650	80	715	1.1	24.8	0.0128	509	0	0	0	0	241.5
505			2DB100	1000	928	80	1019	1.1	30.6	0.0126	508	0	0	0	0	85
506			3DB35b	350	314	80	345	1.1	27.4	0.0125	469	0	0	0	0	167
507			3DB50b	500	454	115	499	1.1	28.3	0.0128	508	0	0	0	0	360.6
508			3DB70b	700	642	160	709	1.1	28.7	0.0122	520	0	0	0	0	672
509			3DB100	1000	904	230	994	1.1	29.3	0.012	540	0	0	0	0	700
510	Experiment to mitigate size effect on deep beams	Tan et al, 2008	*1- 500/0.7	500	444	140	375	0.84	42.5	0.026	530	0	0	0	0	650
511			*2- 1000/0.	1000	884	140	750	0.85	32.7	0.026	530	0	0	0	0	950
512			*3- 1400/0.	1400	1243	140	1050	0.84	38.2	0.026	530	0	0	0	0	1240
513			*4- 1750/0.	1750	1559	140	1313	0.84	40.4	0.026	530	0	0	0	0	176.6
514	Shear Behaviour of Reinforced Concrete Deep Beams	Sulaiman, 2016	A1	400	330	100	550	1.67	85.2	0.0365	364	0	0	0	0	148.2
515			D1	400	330	100	550	1.67	58.2	0.0365	364	0	0	0	0	207.5
516			E1	400	330	100	425	1.29	58.2	0.0365	364	0	0	0	0	270.8
517			F1	400	330	100	300	0.91	60.5	0.0365	364	0	0	0	0	158
518			H2	375	328	150	540	1.65	35.8	0.0138	500	0	0	0	0	127
519			H3	250	219	150	360	1.64	35.8	0.0138	500	0	0	0	0	0

## Anexo E. Estudio de Cantera Unoccolla



### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Herson Duberly Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

#### HACE CONSTAR

Que el Señor Bachiller en Ingeniería Civil:

**YINO WALDIR CHATA LLATASI**

Código N° 201322701

Ha realizado ensayos en el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayo de Materiales para completar su trabajo de tesis denominado: **“Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñados con la Norma ACI 318-14 empleando redes neuronales artificiales”** con la finalidad de obtener el título de Ingeniero Civil.

Los ensayos efectuados por el tesista fueron los siguientes:

- ✓ 02 Ensayos de Contenido de humedad.
- ✓ 02 Ensayos de Análisis granulométrico.
- ✓ 02 Ensayos de Peso unitario.
- ✓ 02 Ensayos de Peso específico.
- ✓ 01 Diseño de mezcla.

Los trabajos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayo de Materiales, llevándose a cabo desde el 31/08/18.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Juliaca, Villa Chullunquiani, 18 de diciembre de 2018



**Ing. Herson Duberly Pari Cusi**  
Coordinador E.P. de Ingeniería Civil



**Ing. Jafet Mánfred Pérez Atoche**  
Encargado del Laboratorio

 UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN CARRANZO VIAL C. APURÍMACO <i>Unión - Innovación - Adversidad</i>	<b>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE</b> <b>MATERIALES Y CONCRETO</b>	 INGENIERIA CIVIL Upcu
--	--	---

<b>PROYECTO</b>	*Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñadas con la norma ACI 318 – 14 empleando redes neuronales artificiales*		
<b>DETALLE</b>	: <i>Estudio de cantera con fines de diseño de mezcla de concreto</i>		
<b>CANTERA</b>	: Cantera Unocolla		
<b>RESPONSABLE</b>	: Bach. Yino Waldir Chata Llatasi	<b>ENCARGADO</b>	: Ing Jafet Perez Manfret
<b>ASESOR:</b>	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	<b>FECHA :</b>	17 Septiembre del 2018
<b>ENSAYO:</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
	NORMA ASTM - C 29		

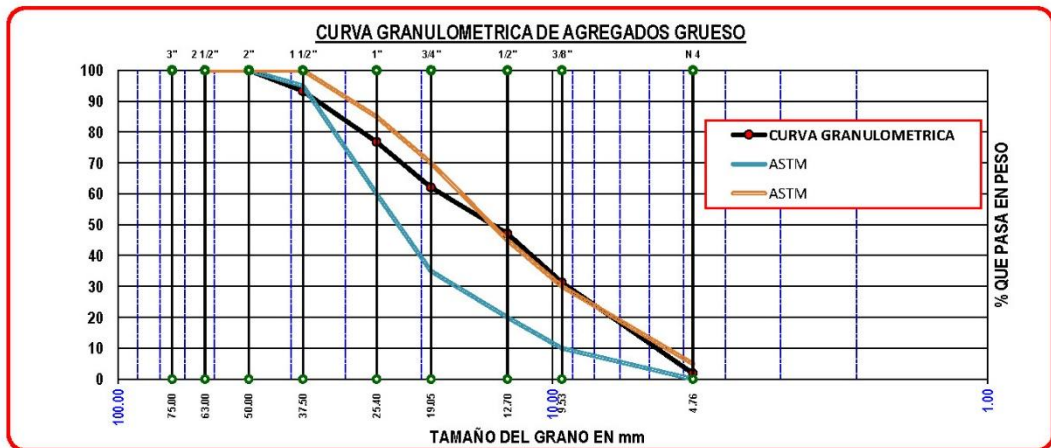
DESCRIPCION	AGREGADO FINO		
	01	02	03
Nro de ensayo	01	02	03
Numero de Capsula	T-001	T-002	T-003
Peso de Capsula (gr)	16.35	16.48	17.27
Peso de Capsula + Suelo Humedo (gr)	83.83	88.48	90.87
Peso de Capsula + Suelo Seco (gr)	82.73	87.25	89.66
Peso del Agua (gr)	1.10	1.23	1.21
Peso de Suelo Seco (gr)	66.38	70.77	72.39
Contenido de Humedad (%)	1.66	1.74	1.67
Prom. Contenido de Humedad (%)	<b>1.69</b>		

DESCRIPCION	AGREGADO GRUESO		
	01	02	03
Nro de ensayo	01	02	03
Numero de Capsula	T-001	T-002	T-003
Peso de Capsula (gr)	639.00	639.00	639.00
Peso de Capsula + Suelo Humedo (gr)	1910.00	1910.00	1910.00
Peso de Capsula + Suelo Seco (gr)	1889.00	1889.00	1889.00
Peso del Agua (gr)	21.00	21.00	21.00
Peso de Suelo Seco (gr)	1250.00	1250.00	1250.00
Contenido de Humedad (%)	1.68	1.68	1.68
Prom. Contenido de Humedad (%)	<b>1.68</b>		

 UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN <i>Una Institución Avanzada</i>	<b>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - JULIACA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE</b> <b>MATERIALES Y CONCRETO</b>	 INGENIERIA CIVIL UPEU
<b>PROYECTO</b>	"Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñadas con la norma ACI 318 - 14 empleando redes neuronales artificiales"	
<b>DETALLE</b>	: Estudio de cantera con fines de diseño de mezcla de concreto	
<b>CANTERA</b>	: Cantera Unocolla	
<b>RESPONSABLE</b>	: Bach. Yino Waldir Chata Llatasi	<b>ENCARGADO</b> : Ing Jafet Perez Manfret
<b>ASESOR:</b>	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	<b>FECHA</b> : 18 Septiembre del 2018
<b>ENSAYO:</b>		
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>		
NORMA ASTM - D 422		

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)		Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
3"	75		0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63		0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50		0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.5	1004.00	1004.00	6.69	6.69	93.31	
1"	25.4	2480.00	2480.00	16.53	23.23	76.77	
3/4"	19.05	2197.00	2197.00	14.65	37.87	62.13	
1/2"	12.7	2247.00	2247.00	14.98	52.85	47.15	
3/8"	9.53	2372.00	2372.00	15.81	68.67	31.33	
No4	4.76	4420.00	4420.00	29.47	98.13	1.87	
BASE		280.00	280.00	1.87	100.00	0.00	
TOTAL		15000.00	15000.00				

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Inicial :	15000.00 gr.
Peso Lavado :	15000.00 gr.
Peso Perdido :	0.00 gr.
<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	
TM :	1 1/2"
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL</b>	
TMN :	1"
<b>MODULO DE FINURA</b>	
MF Ag. Grueso :	6.340

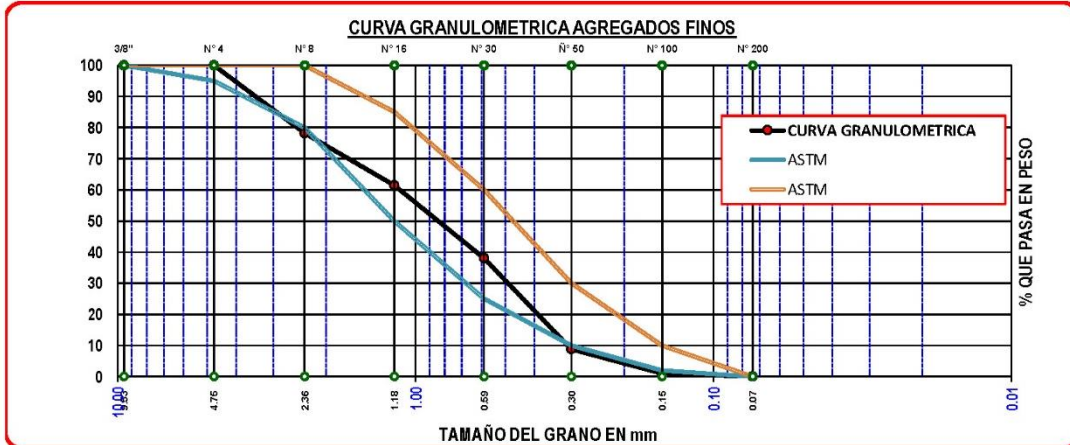


<b>PROYECTO</b>	"Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñadas con la norma ACI 318 – 14 empleando redes neuronales artificiales"		
<b>DETALLE</b>	: Estudio de cantera con fines de diseño de mezcla de concreto		
<b>CANTERA</b>	: Cantera Unocolla		
<b>RESPONSABLE</b>	: Bach. Yino Waldir Chata Llatasi	<b>ENCARGADO</b>	: Ing Jafet Perez Manfred
<b>ASESOR:</b>	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	<b>FECHA</b>	: 18 Septiembre del 2018

<b>ENSAYO:</b> <h2 style="text-align: center;">ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</h2> <p style="text-align: center;">NORMA ASTM - D 422</p>	
--	--

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	
No4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	
No8	2.36	109.00	109.00	21.80	78.20	
No16	1.18	84.00	84.00	16.80	61.40	
No30	0.59	117.00	117.00	23.40	38.00	
No 50	0.30	146.00	146.00	29.20	8.80	
No100	0.15	39.00	39.00	7.80	1.00	
No200	0.07	5.00	5.00	1.00	0.00	
BASE		0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL		500.00	500.00			

<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	
Peso Inicial :	500.00 gr.
Peso Lavado :	500.00 gr.
Peso Perdido :	0.00 gr.
<b>MODULO DE FINURA</b>	
MF Ag. Fino :	3.13





UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE  
 MATERIALES Y CONCRETO**





<b>PROYECTO</b>	"Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñadas con la norma ACI 318 – 14 empleando redes neuronales artificiales"		
<b>DETALLE</b>	: Estudio de cantera con fines de diseño de mezcla de concreto		
<b>CANTERA</b>	: Cantera Unocolla		
<b>RESPONSABLE</b>	: Bach. Yino Waldir Chata Llatasi	<b>ENCARGADO</b>	: Ing Jafet Perez Manfret
<b>ASESOR:</b>	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	<b>FECHA</b>	: 18 Septiembre del 2018

<b>ENSAYO:</b>  <b>PESO UNITARIO</b> NORMA ASTM - C 29					
---	--	--	--	--	--

DESCRIPCION	AGREGADO FINO SUELTO			AGREGADO FINO COMPACTADO		
	01	02	03	01	02	03
Nro de ensayo	01	02	03	01	02	03
Numero de Molde	T-001	T-002	T-003	T-001	T-002	T-003
Volumen de Molde (m <sup>3</sup> )	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Peso de Molde (kg)	7.860	7.860	7.860	7.860	7.860	7.860
Peso de Molde + Arido (kg)	12.906	12.930	12.913	13.250	13.216	13.213
Peso del Arido (kg)	5.046	5.070	5.053	5.390	5.356	5.353
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1530.533	1537.813	1532.657	1634.874	1624.561	1623.651
Peso Unitario Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1533.668</b>			<b>1627.696</b>		
Desviacion Estandar (kg/m <sup>3</sup> )	3.744			6.233		

DESCRIPCION	AGREGADO GRUESO SUELTO			AGREGADO GRUESO COMPACTADO		
	01	02	03	01	02	03
Nro de ensayo	01	02	03	01	02	03
Numero de Molde	T-001	T-002	T-003	T-001	T-002	T-003
Volumen de Molde (m <sup>3</sup> )	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Peso de Molde (kg)	7.860	7.860	7.860	7.860	7.860	7.860
Peso de Molde + Arido (kg)	12.827	12.855	12.831	13.250	13.216	13.213
Peso del Arido (kg)	4.967	4.995	4.971	5.390	5.356	5.353
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	1506.567	1515.060	1507.780	1634.869	1624.556	1623.646
Densidad Aparente Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1509.802</b>			<b>1627.691</b>		
Desviacion Estandar (kg/m <sup>3</sup> )	4.593			6.233		

 UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN <small>UNIVERSITY OF PERU</small> <i>Una Sólida Alianza</i>	<b>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE</b> <b>MATERIALES Y CONCRETO</b>	 <b>INGENIERIA CIVIL</b> <b>UPEU</b>	
<b>PROYECTO</b>	<i>"Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñadas con la norma ACI 318 – 14 empleando redes neuronales artificiales"</i>		
<b>DETALLE</b>	<i>: Estudio de cantera con fines de diseño de mezcla de concreto</i>		
<b>CANTERA</b>	: Cantera Unocolla		
<b>RESPONSABLE</b>	: Bach. Yino Waldir Chata Llatasi	<b>ENCARGADO:</b>	: Ing Jafet Perez Manfret
<b>ASESOR:</b>	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	<b>FECHA</b>	: 18 Septiembre del 2018
<b>ENSAYO:</b>			
<b>PESO ESPECIFICO - ABSORCION</b>			
NORMA ASTM - C 29			

DESCRIPCION	AGREGADO FINO		
	01	02	03
Numero de ensayo	01	02	03
Vol. de Fiola (ml)	500	500	500
Peso de Fiola (gr)	176	176	176
Peso saturado superficialmente seco (gr)	500	500	500
Peso de Fiola + Superficialmete Seco + agua (gr)	968.00	968.00	968.00
Peso de muestra seca (gr)	483.00	483.00	483.00
Densidad del agua @ 4°C (gr/cm³)	1.000	1.000	1.000
Peso del agua (gr)	292.00	292.00	292.00
Vol. de agua (cm³)	292.00	292.00	292.00
Vol. de solidos (cm³)	208.00	208.00	208.00
Peso especifico Masa de agregado fino (gr/cm³)	2.32	2.32	2.32
Peso especifico SSS de agregado fino (gr/cm³)	2.40	2.40	2.40
Peso especifico Apar. de agregado fino (gr/cm³)	2.53	2.53	2.53
% de Absorcion de agregado fino (%)	3.52	3.52	3.52

RESULTADOS DE MUESTRA GREGADO FINO	
Peso Esp. Masa:	2.32 gr/cm <sup>3</sup>
Peso Esp. SSS :	2.40 gr/cm <sup>3</sup>
Peso Esp. Apar:	2.53 gr/cm <sup>3</sup>
% de Absorcion:	3.52

DESCRIPCION	AGREGADO GRUESO		
	01	02	03
Numero de ensayo	01	02	03
Peso saturado superficialmente seco (gr)	4000.00	4000.00	4000.00
peso seco de solidos (gr)	3906.00	3906.00	3906.00
Peso de canastilla (gr)	1089.00	1089.00	1089.00
Peso de canastilla + Peso de Muestra Saturado en Agua	3483.00	3483.00	1353.00
Peso de muestra Saturada en Agua	2394.00	2394.00	2394.00
Densidad del agua @ 4°C (gr/cm³)	1.00	1.00	1.00
Peso de Agua (gr)	1606.00	1606.00	1606.00
Peso Especifico Masa de agregado grueso (gr/cm³)	2.43	2.43	2.43
Peso Especifico SSS de agregado grueso (gr/cm³)	2.49	2.49	2.49
Peso Especifico Apar. de agregado grueso (gr/cm³)	2.58	2.58	2.58
% de Absorcion de agregado grueso (%)	2.41	2.41	2.41

RESULTADOS DE MUESTRA AGREGADO GRUESO	
Peso Esp. Mas.	2.43 gr/cm <sup>3</sup>
Peso Esp. SSS	2.49 gr/cm <sup>3</sup>
Peso Esp. Apar:	2.58 gr/cm <sup>3</sup>
% de Absorcion:	2.41

PROYECTO	*Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñadas con la norma ACI 318 – 14 empleando redes neuronales artificiales*		
DETALLE	: Diseño de mezcla de concreto		
CANTERA	: Cantera Unocolla		
RESPONSABLE	: Bach. Yino Waldir Chata Llatasi	ENCARGADO	: Ing. Jafet Perez Manfret
ASESOR:	: Ing. Beatriz Aguirre Pani	FECHA	: 18 Septiembre del 2018

<b>ENSAJO:</b>  <b>DISEÑO DE MEZCLAS</b> DISEÑO SEGÚN LA NORMA ACI	
---	--

F'C= **210** Kg/cm<sup>2</sup>

AGREGADO FINO				
Malla	mm	% que pasa	% Retenido	% Retenido acumulado
Nº 4	4.760	100.00	0.00	<b>0.00</b>
Nº 8	2.360	78.20	21.80	<b>21.80</b>
Nº 16	1.180	61.40	16.80	<b>38.60</b>
Nº 30	0.600	38.00	23.40	<b>62.00</b>
Nº 50	0.300	8.80	29.20	<b>91.20</b>
Nº 100	0.150	1.00	7.80	<b>99.00</b>
Nº 200	0.080	0.00	1.00	100.00
Recipiente			0.00	100.00

AGREGADO GRUESO				
Malla	mm	% que pasa	% Retenido	% Retenido acumulado
3 "	76.200	100.00	0.00	0.00
2 1/2 "	63.500	100.00	0.00	<b>0.00</b>
2 "	50.800	100.00	0.00	0.00
1 1/2 "	38.100	93.31	6.69	6.69
1 "	25.400	76.77	16.54	23.23
3/4 "	19.050	62.13	14.64	<b>37.87</b>
1/2 "	12.700	47.15	14.98	52.85
3/8 "	9.525	31.33	15.82	<b>68.67</b>
Nº 4	4.750	1.87	29.46	<b>98.13</b>
Nº 8	2.360	0.00	1.87	<b>100.00</b>
Recipiente			0.00	100.00

Descripción	A. Fino	A. Grueso	Rm = Resistencia prom.	
P. Unitario suelto seco	1533.67 Kg/m <sup>3</sup>	1509.80 Kg/m <sup>3</sup>	F'c	F'cr
P. Unitario Compactado seco	1627.70 Kg/m <sup>3</sup>	1627.69 Kg/m <sup>3</sup>	≤ 210	F'c + 70
P. Especifico Masa seca	2.32 gr/cm <sup>3</sup>	2.43 gr/cm <sup>3</sup>	210 a 350	F'c + 84
Contenido de Humedad	1.69 %	1.68 %	> 350	F'c + 98
% de Absorción	3.52 %	2.41 %		
Modulo de fineza	3.13			
Tamaño Máximo nominal		1 "		

Contenido Total de aire: 1.5 % (Tabla 3.a de contenido de aire atrapado)  
 Volumen unitario de agua de mezclado: 193 Lts/m<sup>3</sup> (Tabla 2. de Volumen unitario de agua ACI)  
 Peso Especifico del cemento: 3.15 gr/cm<sup>3</sup> (Propiedad física del cemento)  
 Rm = 294.00 Kg/cm<sup>2</sup> (Resistencia promedio requerida)  
 Relación agua cemento: 0.594 (Tabla 4.a y 4.b por resistencia y durabilidad)  
 Factor Cemento: 324.916 Kg/m<sup>3</sup> = 7.65 bolsas/m<sup>3</sup>  
 Cantidad de Agregado Grueso: 0.659 m<sup>3</sup> (Tabla Nº 6 Volumen de agregado grueso)

DESC.	Vol. Abs. Materiales	Pesos secos del agregado	Correccion por Humedad	Prop. Peso	Vol en P3	Prop. En Volum.
Cemento	0.103 m <sup>3</sup>	324.92 kg/m <sup>3</sup>	324.916 kg/m <sup>3</sup>	1.00	7.645	<b>1.00</b>
A. Fino	0.248 m <sup>3</sup>	574.2 kg/m <sup>3</sup>	583.904 kg/m <sup>3</sup>	1.797	13.22	<b>1.73</b>
A. Grueso	0.441 m <sup>3</sup>	1072.60 kg/m <sup>3</sup>	1090.622 kg/m <sup>3</sup>	3.36	25.085	<b>3.28</b>
Agua	0.193 m <sup>3</sup>	193.00 lts/m <sup>3</sup>	211.338 lts/m <sup>3</sup>	211.34	211.338	<b>27.64</b> lts/bolsa
Aire	0.015 m <sup>3</sup>					

## Anexo F. Diseño de Vigas de gran Altura



### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Herson Duberly Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

#### HACE CONSTAR

Que el Señor Bachiller en Ingeniería Civil:

**YINO WALDIR CHATA LLATASI**

Código N° 201322701

Ha realizado ensayos en el Laboratorio de Estructuras para completar su trabajo de tesis denominado: **“Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñados con la Norma ACI 318-14 empleando redes neuronales artificiales”** con la finalidad de obtener el título de Ingeniero Civil.

Los ensayos efectuados por el tesista fueron los siguientes:

- ✓ 05 Ensayo de Corte de Vigas de Gran Altura

Los trabajos se realizaron en el Laboratorio de Estructuras, llevándose a cabo entre 31/11/18 al 05/12/18.

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que estimen conveniente.

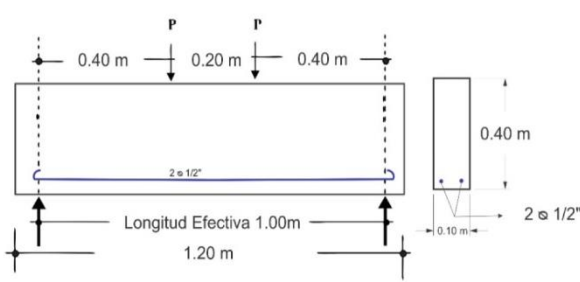
Juliaca, Villa Chullunquiani, 18 de noviembre de 2018



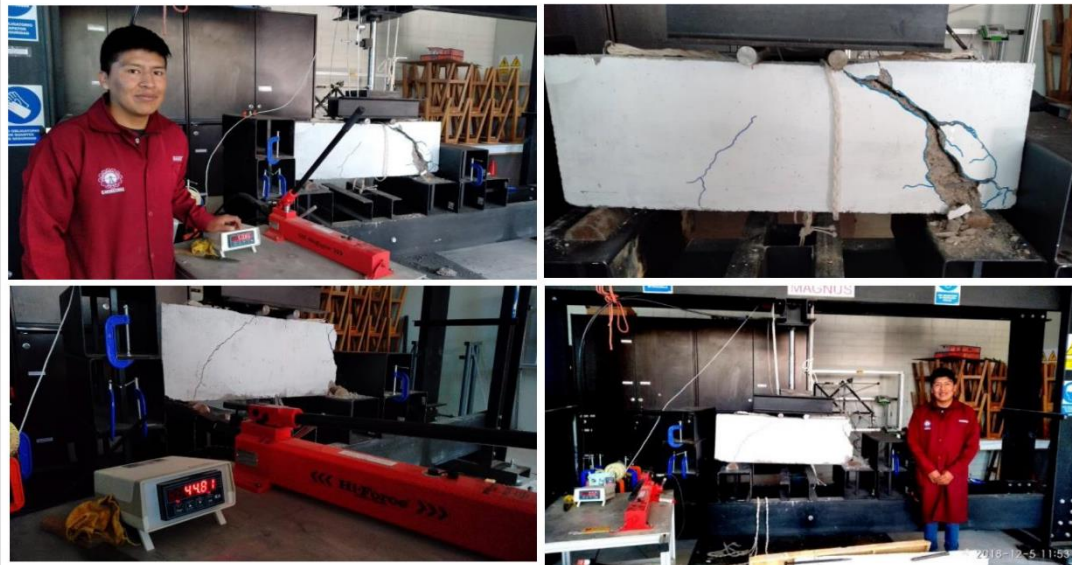
Ing. Herson Duberly Pari Cusi  
Coordinador E.P. de Ingeniería Civil

Ing. Elmer Isai Ticona Cutipa  
Encargado del Laboratorio

PROYECTO	"Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñadas con la norma ACI 318 – 14 empleando redes neuronales artificiales"		
FIN DE ENSAYO	: Determinar la resistencia al corte		
RESPONSABLE	: Bach. Yino Waldir Chata Llatasi	ENCARGADO DE LABORATORIO	: Ing. Isai Ticona Cutipa
ASESOR	: Ing. Beatriz Aqise Pari	FECHA	: 31 de noviembre de 2018
ENSAYO:	NORMA:	Ensayo Propuesto por Londhe (2010) según la norma ACI 318-14	MUESTRA
<b>ENSAYO DE CORTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA</b>			: 1er Lote
			: Indicado
			EDAD
			: 28 días

DETALLE DE MUESTRAS				DETALLE DE LAS VIGAS	
<b>Modelos de vigas sin refuerzo a corte</b>					
	Viga 01	Viga 02	Viga 03		
<b>h (mm)</b>	400	400	400		
<b>d (mm)</b>	340	340	340		
<b>b (mm)</b>	120	120	120		
<b>a (mm)</b>	400	400	400		
<b>a/d</b>	1.18	1.18	1.18		
<b>fc (Mpa)</b>	18.14	18.32	18.32		
<b>ρ</b>	0.0054	0.0054	0.0054		
<b>fy (Mpa)</b>	411.9	411.9	411.9		
<b>ρ v</b>	0	0	0		
<b>fyv (Mpa)</b>	0	0	0		
<b>ρ h</b>	0	0	0		
<b>fyh (Mpa)</b>	0	0	0		
<b>KN(TEST)</b>	44.81	50.86	47.76		

**FOTOGRAFÍAS:**



**DETALLE DE EQUIPO**

	 <p><b>HPM15 Data Acquisition Upgrade</b> Esta unidad única y compacta es esencial para todos los experimentos.</p>	 <p><b>HPM3 Single Hydraulic Ram System</b> Un ariete hidráulico de 700 bar de doble acción está montado en un carro de viaje</p>
---	--	---



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 E. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**



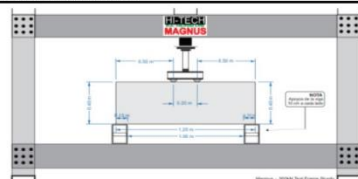
PROYECTO	"Predicción de la capacidad resistente a cortante de vigas de gran altura diseñadas con la norma ACI 318 – 14 empleando redes neuronales artificiales"		
FIN DE ENSAYO	: Determinar la resistencia al corte		
RESPONSABLE	: Bach. Yino Waldir Chata Llatasi	ENCARGADO DE LABORATORIO	: Ing. Isai Ticona Cutipa
ASESOR	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	FECHA	: 05 de diciembre de 2018
ENSAYO:	NORMA:	Ensayo Propuesto por Londhe (2010) según la norma ACI 318-14	MUESTRA
<b>ENSAYO DE CORTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA</b>			: 2do Lote
			Fc
			EDAD
			: 28 días

DETALLE DE MUESTRAS				DETALLE DE LAS VIGAS
<b>Modelos de vigas sin refuerzo a corte</b>				
	Viga 04	Viga 05	Viga 06	
h (mm)	400	400	Descartado (Calidad)	
d (mm)	360	360		
b (mm)	120	120		
a (mm)	400	400		
a/d	1.11	1.11		
fc (Mpa)	21.2	20.74		
$\rho$	0.0042	0.0042		
fy (Mpa)	411.0	411.9		
$\rho_v$	0.0024	0.0024		
fyv (Mpa)	411	411.88		
$\rho_h$	0.0015	0.002		
fyh (Mpa)	411.000	411.88		
KN(TEST)	78.08	80.72		

**FOTOGRAFÍAS:**



**DETALLE DE EQUIPO**


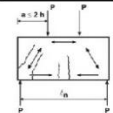
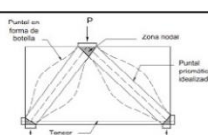
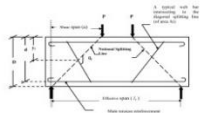

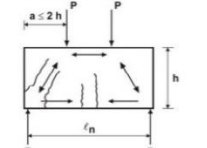
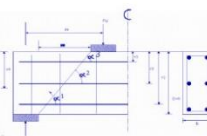


**HPM15 Data Acquisition Upgrade**  
 Esta unidad única y compacta es esencial para todos los experimentos.



**HPM3 Single Hydraulic Ram System**  
 Un ariete hidráulico de 700 bar de doble acción está montado en un carro de viaje

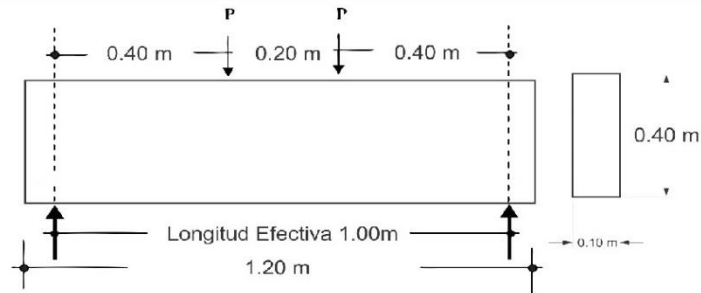
**"DISEÑO POR CORTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA"**

NORMATIVAS Y/O AUTORES	VIGAS DE GRAN ALTURA	ECUACIONES	GRAFICOS ADICIONALES				
 American Concrete Institute Always advancing	<p>(a) La luz libre no excede cuatro veces la altura total del miembro, <math>h</math>.</p> <p>(b) Existen cargas concentradas dentro de una distancia igual a <math>2h</math> de la cara del apoyo.</p> <p align="center"><b>Estribos</b></p> <p>9.9.3.1 El refuerzo distribuido a lo largo de las caras laterales de vigas de gran altura debe ser al menos el que requiere (a) y (b):</p> <p>(a) El área de refuerzo distribuido perpendicular al eje longitudinal de la viga, <math>A_{cs}</math>, debe ser al menos <math>0.0025\rho_w s</math>, donde <math>s</math> es el espaciamiento del refuerzo distribuido transversal.</p> <p>(b) El área de refuerzo distribuido paralelo al eje longitudinal de la viga, <math>A_{cl}</math>, debe ser al menos <math>0.0025\rho_w s_2</math>, donde <math>s_2</math> es el espaciamiento del refuerzo longitudinal distribuido.</p> <table border="1" data-bbox="590 492 718 548"> <tr> <td>Recubrimiento de 40 mm</td> <td>Vigas, columnas, pilas, y muros y techos.</td> <td>Atornillos pre-tensionados, espaldas y cables, cables para confinamiento.</td> <td>40</td> </tr> </table>	Recubrimiento de 40 mm	Vigas, columnas, pilas, y muros y techos.	Atornillos pre-tensionados, espaldas y cables, cables para confinamiento.	40	<p><math>\phi V_n \geq V_u</math></p> <p><math>V_n = V_c + V_s</math></p> <p><math>V_u \leq \phi 0.83 \sqrt{f'_c} b_w d</math></p>  <p>NOTA: La Norma también propone un método de diseño de puntal-tensor</p>  <p><math>F_{ntz} = f_{ce} A_{ce}</math>  <math>f_{ce} = 0.85 \beta_1 f'_c</math>  <math>F_{ntt} = A_{tt} f_y</math>  <math>F_{ntn} = f_{ce} A_{nz}</math>  <math>f_{ce} = 0.85 \beta_1 f'_c</math>  <math>V_u = \min \{ F_{ntz} \sin \theta, F_{ntt} \sin \theta \}</math></p>	<p><math>V_c = [3.5 - 2.4 \frac{M_u}{V_u}] [1.9 \sqrt{f'_c} + 2500 \frac{V_u}{3L}] b d \leq 6 \sqrt{f'_c} b d</math></p> <p><math>V_s = [ \frac{A_{vt}}{s_v} (1 + \frac{L_n/d}{12}) + \frac{A_{vt}}{s_{vt}} (1 - \frac{L_n/d}{12}) ] f_y d</math></p>
Recubrimiento de 40 mm	Vigas, columnas, pilas, y muros y techos.	Atornillos pre-tensionados, espaldas y cables, cables para confinamiento.	40				
<p>R.S. Londhe (2010)</p> <p><small>Department of Engineering, Bannar Engineering, Bangalore-560 075, India                      Official Website: www.bannar.ac.in</small></p>	<p><math>V_c</math> - Total shear capacity  <math>V_{cs}</math> - The concrete contribution to shear strength  <math>V_{cw}</math> - The contribution of the main longitudinal tension steel to shear strength.  <math>V_{ch}</math> - The contribution of the horizontal web steel  <math>V_{cv}</math> - The contribution of the vertical web steel  <math>A_s</math> - Area of main steel  <math>\rho</math> - Shear span  <math>f'_c</math> - Characteristic compressive strength of concrete  <math>b</math> and <math>d</math> - width and effective depth of beam  <math>\theta</math> - Angle of reinforcement with normal splitting line  <math>f_y</math> - Distance from top as shown in Fig. 5  <math>\alpha_1</math> &amp; <math>\alpha_2</math> - empirical coefficient for concrete and reinforcing steel bars respectively  <math>C_1</math> - empirical coefficient for concrete = 1.40 for normal weight concrete.  <math>C_2</math> - empirical coefficient for deformed bars = 415 MPa.  <math>\gamma_{con}</math> - material safety factor for concrete &amp; steel, respectively</p>	<p><math>V = V_c + V_{cs} + V_{cw} + V_{ch}</math></p> <p><math>V_c = \alpha_1 [ (1 - 0.30 \frac{d}{\rho}) \sqrt{0.80 f'_c} b d ]</math>     <math>V_{cs} = \alpha_2 ( \frac{100 A_s d \sin^2 \theta}{D} )</math></p> <p><math>V_{ch} = \alpha_2 ( \frac{\sum 100 A_{sh} y \sin^2 \theta}{D} )</math>     <math>V_{cw} = \alpha_2 ( \frac{\sum 100 A_{sv} y \sin^2 \theta}{D} )</math></p> <p><math>\alpha_1 = ( \frac{0.75 + C_1}{\gamma_{con}} )</math>     <math>\alpha_2 = ( \frac{0.75 + C_2}{\gamma_{con}} ) \frac{1}{100}</math></p>	 <p>Fig. 5 The meaning of the symbols in the proposed formula</p>				
<p>Ram akrishnan &amp; Ananthanarayana (1968)</p> 		<p><math>V_n = \beta K f_c b h</math></p> <p><math>\beta = 2</math> for one point and two point load</p> <p><math>K = \pi / 2</math> for cylinder split test</p> <p><math>f_c = 7.2 \sqrt{f'_c}</math>; <math>f'_c</math> in psi</p>					
<p>Kong and Robins R. (1972) - "Shear analysis and design of reinforced concrete deep beams"</p>	<p><math>C_{12}</math> - coefficient equal 0.14 for normal weight concrete and 0.096 for lightweight concrete.  <math>C_2</math> - coefficient equal 83 N/mm<sup>2</sup> for normal weight concrete and 247 N/mm<sup>2</sup> for lightweight concrete.  <math>f_c</math> = cube strength or 10 times the cylinder splitting, whichever is less, N/mm<sup>2</sup>.  <math>t</math> - thickness of beam, mm.  <math>H</math> - overall depth of beam, mm.  <math>A_s</math> - area of individual web bar, mm<sup>2</sup>.  <math>Y</math> - depth of bar, measured from the top of the beam, at which an individual bar intersects the line joining the inside edge of the bearing block at the support to the outside edge of that at the loading point as shown in Fig (2-1).  <math>\alpha</math> - angle between the bar being considered and the line described in the definition of <math>Y</math> above.  <math>0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}</math>  <math>n</math> - the total number of web bars, including the main longitudinal bars, that cross the line described in the definition of the <math>Y</math> above.</p>	<p><math>V_u = C_2 f_{cb} H + C_2 \sum_{i=0}^n A_i (Y_i/H) \sin^2 \alpha_i</math></p>					
<p>Prakash (1974) "A method for determining the shear strength of reinforced concrete beams with small /d ratio"</p>	<p><math>f'_c</math> = splitting strength of cylinder.  <math>\theta</math> = inclination of diagonal crack to the beam axis = <math>\tan^{-1}(d/a)</math>.  <math>b</math> = width of beam.  <math>d</math> = effective depth of beam.  <math>\rho_w</math> = modular ratio <math>\frac{E_s}{E_c}</math>.  <math>\rho_h = A_h/bd</math>, where <math>A_h</math> is the area of reinforcement crossing the crack in the direction of the axis of the beam.  <math>\rho_v = A_v/bd</math>, where <math>A_v</math> is the area of vertical reinforcement crossing the crack.</p>	<p><b>Viga sin refuerzo de Banda</b></p> <p><math>\alpha_v/d &lt; 1.0</math>     <math>V_u = \frac{\pi}{2} b d f'_c \text{ cosec } \theta</math></p> <p><b>Viga con Refuerzo en Banda</b></p> <p><math>V_u = f'_c b d \sqrt{1 + (\frac{d}{b})^2} [1.57 + (\alpha_v (\rho_h + \frac{d}{b} \rho_v))]</math></p>					
<p>De Paiva and Siess (1965) - "Strength and behavior of deep beams in shear"</p>	<p><math>V</math> = shear force.  <math>f'_c</math> = cylinder compressive strength of concrete, psi.  <math>v</math> = nominal shear stress.  <math>H</math> = depth of beam.  <math>b</math> = width of beam.  <math>\lambda D</math> = clear shear span depth ratio.  <math>P_s^f</math> = computed shear strength for shear proper mode.  <math>P_s^f</math> = computed failure load in shear proper.  <math>x</math> = clear distance between the load and reaction blocks.</p>	<p><math>\alpha_v/d &lt; 1.0</math></p> <p><math>v = V/bH = 200 + 0.188 f'_c + 21300/p</math></p> <p><math>P_s^f = 2 v b D</math></p> <p><math>P_s^f / P = 0.8 (1 - 0.6 \lambda D) P_s^f</math></p>					
<p>Schutt (1956) - "Über das tragvermögen wandartiger Stahlbetonträger"</p>	<p><math>f_{cb}</math> = strength of concrete, kg/cm<sup>2</sup>  <math>b</math> = width of beam, cm  <math>w^u</math> = load per unit length applied on top.  <math>w^s</math> = load per unit length applied on the soffit.</p>	<p><math>V_u = 0.54 f_{cb} b^2 \sqrt{H/b}</math></p> <p><math>w^u_{gr} = (0.36 f_{cb} b^2 / L) \sqrt{H/b}</math>     <math>w^s_{gr} = (0.3 f_{cb} b^2 / L) \sqrt{H/b}</math></p> <p><math>W_{gr} = W^o g f W^o / (W^o + W^s) = W_{gr} u W^u / (W^o + W^s)</math></p>					
<p>Arabzadeh et al (2009)</p>		<p><math>V_u = \frac{(f'_c)^{0.7}}{0.5 + 0.1 (\frac{\alpha}{d})^2} A_{1v} \sin \theta + 0.09 (\rho_p)^{-0.33} A_{sp} \cos \theta</math></p> <p><math>A_{sp} = A_s \cos \theta + A_s \sin \theta</math></p>					

## DISEÑO DE VIGA / MODELO - 01

### 1.0 Datos de la Viga:

b:	12	cm
h:	40	cm
L:	120	cm
Ln:	100	cm
f'c:	210	kg/cm <sup>2</sup>
f'y:	4200	kg/cm <sup>3</sup>
a:	40	cm
P:	3150	Kgf



### 2.0 Consideraciones de la Normativa

(a) La luz libre no excede cuatro veces la altura total del miembro,  $h$ .

$$Ln \leq 4h \quad 100 \leq 160 \quad \text{(a): Cumple}$$

(b) Existen cargas concentradas dentro de una distancia igual a  $2h$  de la cara del apoyo.

$$a \leq 2h \quad 40 \leq 80 \quad \text{(b): Cumple}$$

#### c. Recubrimiento

Vigas, columnas, pedestales y amarres a traccion	Armadura principal, estribos, espirales y estribos cerrados para confinamiento	40
--	--	----

h: 40 cm  
r: 4 cm  
d: 36 cm

### 3.0 Determinación de Cargas

#### a. Peso Propio

b:	12	cm
h:	40	cm
L:	120	cm
γc:	2400	kg/m <sup>3</sup>

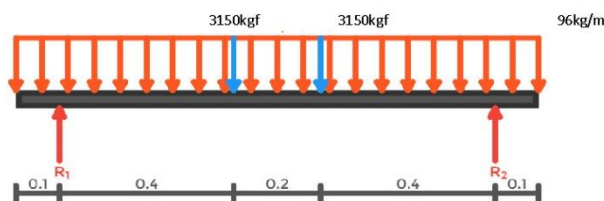
Volumen: 0.0576 m<sup>3</sup>  
PP: 138.24 Kgf  
PP(Distribuido): 115.2 kgf/m

#### b. Cargas Puntuales

P: 3150 kgf

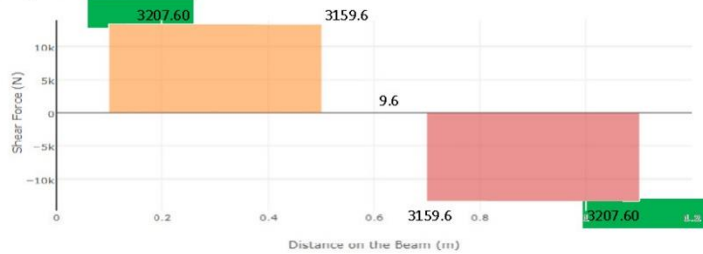
### 4.0 Determinación de Momento Ultimo y Cortante Ultima

#### a. Modelo de la Viga a Analizar

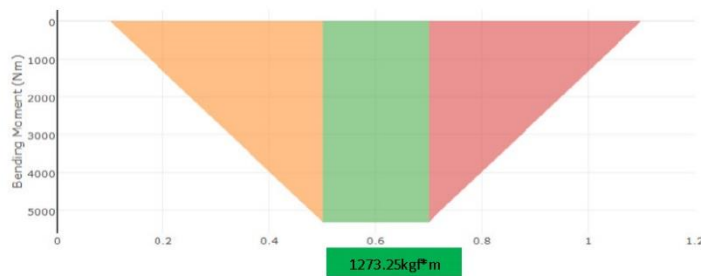


R1: 3219.12 kgf  
R2: 3219.12 kgf

**b. Diagrama a Corante:**



**c. Diagrama de Momento:**



**5.0 Diseño en Acero ACI 318 - 14 (Flexión):**

**a. Diseño por Flexión:**

$M_u = 1273.25 \text{ kgf.m}$

$M_u = \phi * A_s * F_y * Z$

$A_s = \frac{M_u}{\phi F_y * Z}$

$A_s = 0.84 \text{ cm}^2$

Según la Bibliografía de NAWY, E:

Para vigas de un solo tramo:

$L/h < 1,0 \quad z = 0,6 L$

$1,0 < L/h < 2,0 \quad z = 0,2 (L + 2 h)$

$L/h: 2.5$

$Z = 0.4 \text{ m}$

$\phi = 0.9$

**b. Consideraciones mínimas Establecidas por la Norma:**

a.  $A_{s_{min}} = \frac{0.8\sqrt{f_c'}}{F_y} * b * d \quad 1.19 \text{ cm}^2 < .84 \text{ cm}^2 \quad \text{No Cumple}$

b.  $A_{s_{min}} = \frac{14}{F_y} * b * d \quad 1.44 \text{ cm}^2 < .84 \text{ cm}^2 \quad \text{No Cumple}$

Por lo Tanto :  $A_s = 1.44 \text{ cm}^2$

**5.0 Diseño en Acero ACI 318 - 14 (Cortante):**

**a. Diseño por Cortante:**

$V_u = 3207.60 \text{ kgf}$

Sección Crítica Establecido por la Norma E060:

$0.5(a): 20 \text{ cm}$

**b. Disposición Normativa:**

$\phi = 0.75$

$V_u \leq \phi 0.83\sqrt{f_c'}b_w d \quad 3207.60 \text{ kgf} \leq 3897.02 \text{ kgf} \quad \text{Si Cumple}$   
 $\phi V_n$

**c. Resistencia del Concreto**

[ACI 318-14]

$$\phi V_c = \phi \left( 3.5 - 2.5 * \frac{M_u}{V_u * d} \right) * \left( 0.5 \sqrt{f_c'} + 176 * \delta_w * \frac{V_u * d}{M_u} \right) * b_w * d$$

$$\delta_w = \frac{As \text{ Flexion}}{b * d}$$

$$\delta_w = 0.003333$$

$$M_u = 1273.25 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$V_u = 3207.60 \text{ kgf}$$

DMF  
DMC

$$\phi V_c = 1873.4051 \text{ kgf}$$

(1)

$$\phi = 0.75$$

[NTP E 060]

$$\phi V_c = \phi 0.17 * \sqrt{f_c'} * b_w * d$$

$$\phi V_c = 798.185 \text{ Kgf}$$

(2)

Por lo Tanto Elegimos:

$$798.185031 \text{ Kgf}$$

c. Consideraciones de la Norma:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$3207.60 \text{ kgf}$$

$$V_u$$

>

$$798.19 \text{ kgf}$$

$$\phi V_c$$

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

Por Lo tanto:

Requiere Estribos

$$\phi V_s = \phi V_n - \phi V_c$$

$$\phi V_s = 2409.41 \text{ kgf}$$

d. Determinar cuantías mínimas.

Usar  $\phi$  6mm cada 32cm  
Asr=0.58cm<sup>2</sup>

Area unitaria de barra = 0.29 cm<sup>2</sup>

$$A_{v_{min}} = 0.0015 * B_w * S_v$$

$$A_{v_v} = 0.58 \text{ cm}^2$$

cumple

Usar  $\phi$  6mm cada 19cm  
Asr=0.58cm<sup>2</sup>

Area Unitaria de barra= 0.29 cm<sup>2</sup>

$$A_{v_h} = 0.0025 * b_w * S_h$$

$$A_{v_h} = 0.57 \text{ cm}^2$$

cumple

$$L_n/d = 2.778$$

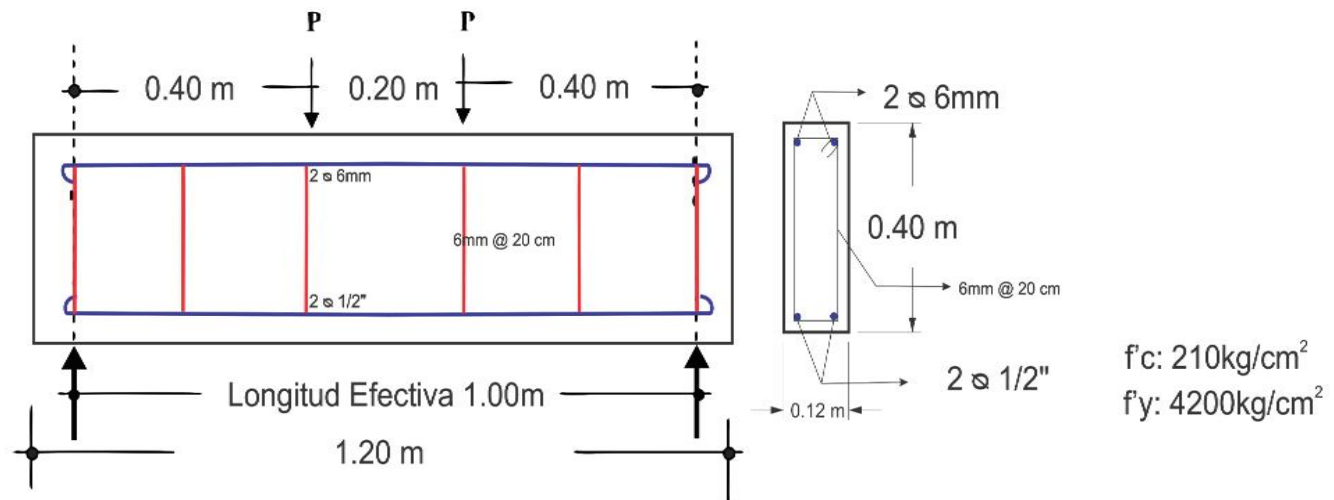
$$\phi V_s = \phi F_y * d * \left[ \frac{A_v \left( 1 + \frac{L_n}{d} \right)}{12 * S_v} + \frac{A_{v_h} \left( 11 - \frac{L_n}{d} \right)}{12 * S_h} \right]$$

$$\phi V_s = 3018.96$$

ok

6.0 Detalle Final

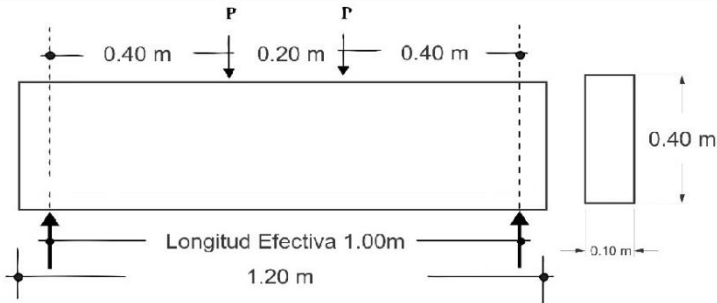
### DETALLE FINAL - MODELO DE VIGA 01



## DISEÑO DE VIGA / MODELO - 02

### 1.0 Datos de la Viga:

**b:** 12 cm  
**h:** 40 cm  
**L:** 120 cm  
**Ln:** 100 cm  
**f'c:** 210 kg/cm<sup>2</sup>  
**f'y:** 4200 kg/cm<sup>3</sup>  
**a:** 40 cm  
  
**P:** 3150 Kgf



### 2.0 Consideraciones de la Normativa

(a) La luz libre no excede cuatro veces la altura total del miembro,  $h$ .

$$Ln \leq 4h \quad 100 \leq 160$$

(a): Cumple

(b) Existen cargas concentradas dentro de una distancia igual a  $2h$  de la cara del apoyo.

$$a \leq 2h \quad 40 \leq 80$$

(b): Cumple

#### c. Recubrimiento

Vigas, columnas, pedestales y amarres a tracción	Armadura principal, estribos, espirales y estribos cerrados para confinamiento	40
--	--	----

**h:** 40 cm  
**r:** 4 cm  
**d:** 36 cm

### 3.0 Determinación de Cargas

#### a. Peso Propio

**b:** 12 cm  
**h:** 40 cm  
**L:** 120 cm  
**γc:** 2400 kg/m<sup>3</sup>

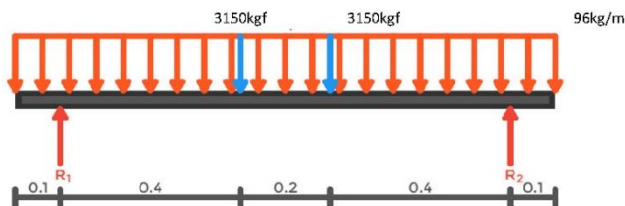
**Volumen:** 0.0576 m<sup>3</sup>  
**PP:** 138.24 Kgf  
**PP(Distribuido):** 115.2 kgf/m

#### b. Cargas Puntuales

**P:** 3150 kgf

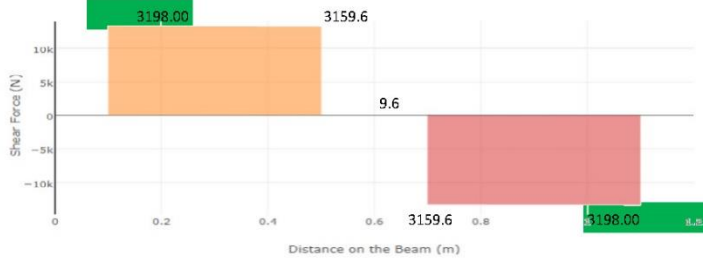
### 4.0 Determinación de Momento Ultimo y Cortante Ultima

#### a. Modelo de la Viga a Analizar

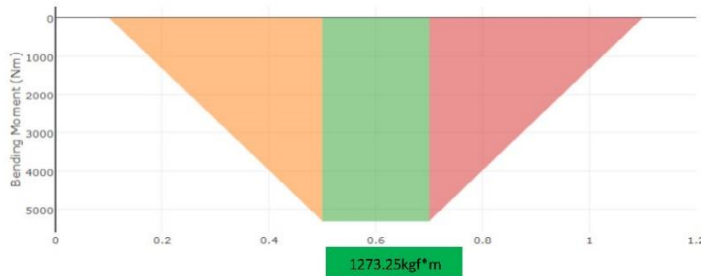


R1: 3219.12 kgf  
 R2: 3219.12 kgf

**b. Diagrama a Corante:**



**c. Diagrama de Momento:**



**5.0 Diseño en Acero ACI 318 - 14 (Flexión):**

**a. Diseño por Flexión con Acero Propuesto en el primer modelo de viga:**

$$A_s = \frac{M_u}{\phi F_y * Z} = 2.54 \text{ cm}^2$$

$$M_u = \phi * A_s * F_y * Z$$

$$M_u = 3840.48 \text{ Kgf*m}$$

Según la Bibliografía de NAWY, E:

Para vigas de un solo tramo:

$$L/h < 1,0 \quad z = 0,6 L$$

$$1,0 < L/h < 2,0 \quad z = 0,2 (L + 2 h)$$

$$L/h: 2.5$$

$$Z = 0.4 \text{ m}$$

$$\phi = 0.9$$

**b. Consideraciones mínimas Establecidas por la Norma:**

a.  $A_{s_{min}} = \frac{0.8\sqrt{f_c'}}{F_y} * b * d = 1.19 \text{ cm}^2 < 2.54 \text{ cm}^2$  Si Cumple

b.  $A_{s_{min}} = \frac{14}{F_y} * b * d = 1.44 \text{ cm}^2 < 2.54 \text{ cm}^2$  Si Cumple

Por lo Tanto :  $A_s = 2.54 \text{ cm}^2$

**5.0 Diseño en Acero ACI 318 - 14 (Cortante):**

**a. Diseño por Cortante:**

$$V_u = 3198.00 \text{ kgf}$$

Sección Crítica Establecido por la Norma E060:

$$0.5(a): 20 \text{ cm}$$

**b. Disposición Normativa:**

$\phi = 0.75$

$$V_u \leq \phi 0.83 \sqrt{f'_c} b_w d \quad 3198.00 \text{ kgf} \leq 3897.02 \text{ kgf} \quad \text{Si Cumple}$$

$\phi V_n$

**c. Resistencia del Concreto**

[ACI 318-14]

$$\phi V_c = \phi \left( 3.5 - 2.5 * \frac{M_u}{V_u * d} \right) * \left( 0.5 \sqrt{f'_c} + 176 * \delta_w * \frac{V_u * d}{M_u} \right) * b_w * d$$

$$\delta_w = \frac{As \text{ Flexion}}{b * d}$$

$$\delta_w = 0.003333$$

$M_u = 1271.52 \text{ kgf} \cdot \text{m}$  DMF  
 $V_u = 3198.00 \text{ kgf}$  DMC

$\phi V_c = 1861.8107 \text{ kgf}$  (1)  $\phi = 0.75$

[NTP E 060]

$$\phi V_c = \phi 0.17 * \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

$\phi V_c = 798.185 \text{ Kgf}$  (2)

Por lo Tanto Elegimos: **798.185031 Kgf**

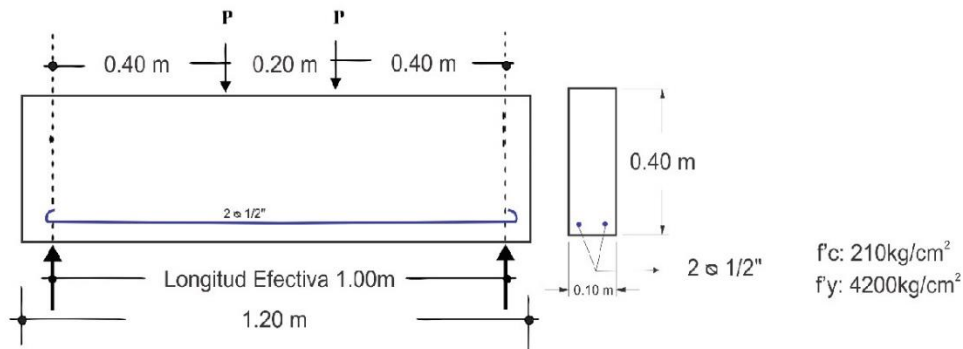
Por lo tanto al no reforzar con Estribos se podrá apreciar que la viga tendrá solo una absorción de la cortante de:

$\phi V_n = 798.185031 \text{ kgf}$



La viga tendrá una falla Frágil y no podrá alcanzar la resistencia establecida en el primer modelo de viga

**6.0 Detalle Final**

**DETALLE FINAL - MODELO DE VIGA 02**



## Anexo G. Protocolos de Seguridad en el proceso de armado de las vigas

	PROYECTO DE TESIS: PREDICCIÓN DE LA CAPACIDAD A CORTANTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES	REGISTRO N°:			
	REV: <input type="text"/> AREA: <input type="text"/> ESTRUCTURAS				
PROTOCOLO PARA ENCOFRADO N° 01					
<b>1. IDENTIFICACIÓN</b>					
TESISISTA: <b>Bach. YINO WALDIR CHATA LLATASI</b>					
ASESOR: <b>Ing. JUANA BEATRIZ AQUISE PARI</b>		FECHA: <b>31/10/2018</b>			
DESCRIPCIÓN: <b>ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGA</b>					
<b>2. INSPECCION</b>					
HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS:	Nivel de Mano, Flexometro				
TIPO DE MATERIAL A USAR:	Madera Pino Radianta, Triplay Lupuna 6 mm				
RECOBRIMIENTO:	Petroleo				
<b>3. ESQUEMA DE ENCOFRADO</b>					
ESTRUCTURA DEL ENCOFRADO DE LA VIGA					
					
<b>4. VERIFICACIÓN DEL ENCOFRADO</b>					
PUNTOS DE CONTROL	VERIFICACIÓN				COMENTARIOS
	C	NC	NA	R	
MATERIAL DEL ENCOFRADO		X			
CONDICIÓN DEL ENCOFRADO	X				
LIMPIEZA DE FORMAS DE ENCOFRADO	X				
FORMA Y DIMENSIONES DEL ENCOFRADO (mm)		X			
APLICACIÓN DE DESMOLDANTE (especificque)			X		Se utilizo Petroleo
ASEGURAMIENTO DE SOLERAS			X		
APUNTALAMIENTO Y FIJACIÓN			X		
ALINEAMIENTO	X				
VERTICALIDAD (plomada)	X				
HERMETICIDAD DEL ENCOFRADO	X				
FECHA DEL ENCOFRADO	X				Se Realizo el 31 de Octubre del 2018
<b>5. NOTAS / COMENTARIOS / OBSERVACIONES</b>					



PROYECTO DE TESIS: PREDICCIÓN DE LA CAPACIDAD A CORTANTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES

REGISTRO N°:

REV:  AREA:  ESTRUCTURAS

**PROTOCOLO PARA ENCOFRADO N° 02**

<b>1. IDENTIFICACION</b>	
TESISTA: <b>Bach. YINO WALDIR CHATA LLATASI</b>	FECHA: 31/10/2018
ASESOR: <b>Ing. JUANA BEATRIZ AQUISE PARI</b>	
DESCRIPCION: <b>ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGA</b>	

<b>2. INSPECCION</b>	
HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS: Nivel de Mano, Flexometro	
TIPO DE MATERIAL A USAR: Madera Pino Radianta, Triplay Lupuna 6 mm	
RECUBRIMIENTO: Petroleo	

**3. ESQUEMA DE ENCOFRADO**

ESTRUCTURA DEL ENCOFRADO DE LA VIGA 02

<b>4. VERIFICACIÓN DEL ENCOFRADO</b>					
PUNTOS DE CONTROL	VERIFICACIÓN				COMENTARIOS
	C	NC	NA	R	
MATERIAL DEL ENCOFRADO		X			
CONDICIÓN DEL ENCOFRADO	X				
LIMPIEZA DE FORMAS DE ENCOFRADO	X				
FORMA Y DIMENSIONES DEL ENCOFRADO (mm)		X			
APLICACIÓN DE DESMOLDANTE (especificar)			X		Se utilizo Petroleo
ASEGURAMIENTO DE SOLERAS			X		
APUNTALAMIENTO Y FIJACIÓN			X		
ALINEAMIENTO	X				
VERTICALIDAD (plomada)	X				
HERMETICIDAD DEL ENCOFRADO	X				
FECHA DEL ENCOFRADO	X				Se Realizo el 31 de Octubre del 2018
	C: CONFORME	NC: NO CONFORME	NA: NO APLICA	R: CORREGIDO/REPARADO	

<b>5. NOTAS / COMENTARIOS / OBSERVACIONES</b>



PROYECTO DE TESIS: PREDICCIÓN DE LA CAPACIDAD A CORTANTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES

REGISTRO N°:

REV:

AREA:

ESTRUCTURAS

HOJA:

DE:

**PROTOCOLO DE ACERO DE REFUERZO**

**1. IDENTIFICACIÓN**

TESISTA	Bach. YINO WALDIR CHATA LLATASI	FECHA:	31/10/2018
ASESOR:	Ing. JUANA BEATRIZ AQUISE PARI		
DESCRIPCIÓN:	ACERO		

**2. INSPECCION**

ELEMENTO: (VIGA)

ESPECIFICACION TECNICA: FY= 4200KG/CM2      FC= 210 KG/CM2

TIPO DE ACERO:     CORRUGADO     LISO

**3. TIPO DE ESTRUCTURA**

VIGA	<input checked="" type="checkbox"/>	PEDESTAL	<input type="checkbox"/>	COLUMNAS	<input type="checkbox"/>	VIGA DE CIMENTACION	<input type="checkbox"/>
ZAPATA	<input type="checkbox"/>	TECHO	<input type="checkbox"/>	MURO	<input type="checkbox"/>	LOSA	<input type="checkbox"/>
TAPA DE CONCRETO	<input type="checkbox"/>						



**5. VERIFICACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO**

PUNTOS DE CONTROL	VERIFICACIÓN				COMENTARIOS
	C	NC	NA	R	
LIMPIEZA (Corrosión, concreto, grasa, etc.)	X				
CALIDAD DEL ACERO (Norma ASTM grado, marca)	X				
DIÁMETRO DE VARILLA (ulg), indicar si es liso ó corrugado	X				De Acuerdo a Diseño, Aceros Arequipa Grado 60 Corrugado
LONGITUD DE TRASLAPÉ (mm)	X				
CORRECTA UBICACIÓN DE TRASLAPES	X				
LONGITUD DE GANCHO (mm)	X				
ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS (mm)	X				
ESPACIAMIENTO ENTRE ESTRIBOS (mm)	X				
ALAMBRE DE AMARRE	X				
SOPORTES PARA RECUBRIMIENTO CONTRA BASE (mm)		X			
SOPORTES PARA RECUBRIMIENTOS LATERAL (mm)		X			
VERTICALIDAD (plomada)	X				
HORIZONTALIDAD (nivel)	X				
	C: CONFORME	NC: NO CONFORME	NA: NO APLICA	R: CORREGIDO/REPARADO	

**6. NOTAS / COMENTARIOS / OBSERVACIONES**

	PROYECTO DE TESIS: PREDICCIÓN DE LA CAPACIDAD A CORTANTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES	REGISTRO N°:			
	REV: <input type="text"/> AREA: <input type="text" value="ESTRUCTURAS"/>	HOJA: <input type="text"/> DE: <input type="text"/>			
PROTOCOLO DE ACERO DE REFUERZO					
<b>1. IDENTIFICACIÓN</b>					
TESISISTA: <b>Bach. YINO WALDIR CHATA LLATASI</b> ASESOR: Ing. JUANA BEATRIZ AQUISE PARI DESCRIPCIÓN: ACERO	FECHA: 31/10/2018				
<b>2. INSPECCION</b>					
ELEMENTO: (VIGA) ESPECIFICACION TECNICA: PY= 4200KG/CM2      FC= 210 KG/CM2 TIPO DE ACERO: <input checked="" type="checkbox"/> CORRUGADO <input type="checkbox"/> LISO					
<b>3. TIPO DE ESTRUCTURA</b>					
VIGA <input checked="" type="checkbox"/> PEDESTAL <input type="checkbox"/> ZAPATA <input type="checkbox"/> TECHO <input type="checkbox"/> TAPA DE CONCRETO <input type="checkbox"/>	COLUMNAS <input type="checkbox"/> MURO <input type="checkbox"/>	VIGA DE CIMENTACION <input type="checkbox"/> LOSA <input type="checkbox"/>			
<b>4. ESQUEMA</b>					
ESTRUCTURA DE LA VIGA					
					
<b>5. VERIFICACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO</b>					
PUNTOS DE CONTROL	VERIFICACIÓN				COMENTARIOS
	C	NC	NA	R	
LIMPIEZA (Corrosión, concreto, grasa, etc.)	X				
CALIDAD DEL ACERO (Norma ASTM, grado, marca)	X				
DÍAMETRO DE VARILLA (pulg), indicar si es liso ó corrugado	X				De Acuerdo a Diseño, Aceros Arequipa Grado 60 Corrugado
LONGITUD DE TRASLAPE (mm)	X				
CORRECTA UBICACIÓN DE TRASLAPES	X				
LONGITUD DE GANCHO (mm)	X				
ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS (mm)	X				
ESPACIAMIENTO ENTRE ESTRIBOS (mm)	X				
ALAMBRE DE AMARRE	X				
SOPORTES PARA RECUBRIMIENTO CONTRA BASE (mm)		X			
SOPORTES PARA RECUBRIMIENTOS LATERAL (mm)		X			
VERTICALIDAD (plomada)	X				
HORIZONTALIDAD (nivel)	X				
	C: CONFORME	NC: NO CONFORME	NA: NO APLICA	R: CORREGIDO/REPARADO	
<b>6. NOTAS / COMENTARIOS / OBSERVACIONES</b>					



PROYECTO DE TESIS: PREDICCIÓN DE LA CAPACIDAD A CORTANTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA  
UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES

REGISTRO N°:

REV:  AREA:  MINA

HOJA:  DE:

**PROTOCOLO DE CALIDAD DE CONCRETO**

**1. IDENTIFICACIÓN**

TESISTA	Bach. YINO WALDIR CHATA LLATASI		FECHA:	31/10/2018
ASESOR:	Ing. JUANA BEATRIZ AQUISE PARI			
DESCRIPCIÓN:	CONCRETO			

**2. TIPO DE ESTRUCTURA A LLENAR**

VIGA	<input checked="" type="checkbox"/>	PEDESTAL	<input type="checkbox"/>	COLUMNAS	<input type="checkbox"/>	VIGA DE CIMENTACION	<input type="checkbox"/>
ZAPATA	<input type="checkbox"/>	TECHO	<input type="checkbox"/>	MURO	<input type="checkbox"/>	CANALETA	<input type="checkbox"/>
TAPA DE CONCRETO	<input type="checkbox"/>						

**3. INSPECCION**

AGREGADOS:

CEMENTO: ACEPTA	<input type="checkbox"/>	RECHAZA	<input type="checkbox"/>	AF: ACEPTA	<input type="checkbox"/>	CHAZA	<input type="checkbox"/>	AGUA: ACEPTA	<input type="checkbox"/>	RECHAZA	<input type="checkbox"/>
AG: ACEPTA	<input type="checkbox"/>	RECHAZA	<input type="checkbox"/>								

VERIFICACION DE VACIADO:

ACEPTA  RECHAZA

NOTAS: \_\_\_\_\_

**4. ESTRUCTURA(S) VACIADA(S)**

ESQUEMA REFERENCIAL

CALIDAD DEL CONCRETO



**5. NOTAS / COMENTARIOS / OBSERVACIONES**




PROYECTO DE TESIS: PREDICCIÓN DE LA CAPACIDAD A CORTANTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES

REGISTRO N°:

REV:

AREA: MINA

HOJA:

DE:

**PROTOCOLO DE CALIDAD DE CONCRETO**

**1. IDENTIFICACIÓN**

TESISTA	Bach. YINO WALDIR CHATA LLATASI	FECHA:	31/10/2018
ASESOR:	Ing. JUANA BEATRIZ AQUISE PARI		
DESCRIPCION:	CONCRETO		

**2. TIPO DE ESTRUCTURA A LLENAR**

VIGA	<input checked="" type="checkbox"/>	PEDESTAL	<input type="checkbox"/>	COLUMNAS	<input type="checkbox"/>	VIGA DE CIMENTACION	<input type="checkbox"/>
ZAPATA	<input type="checkbox"/>	TECHO	<input type="checkbox"/>	MURO	<input type="checkbox"/>	CANALETA	<input type="checkbox"/>
TAPA DE CONCRETO	<input type="checkbox"/>						

**3. INSPECCION**

AGREGADOS:

CEMENTO:	<input checked="" type="checkbox"/>	RECHAZA	<input type="checkbox"/>	AF:	ACEPTA	<input type="checkbox"/>	CHAZA	<input type="checkbox"/>	AGUA:	ACEPTA	<input type="checkbox"/>	RECHAZA	<input type="checkbox"/>
AG:	ACEPTA	<input type="checkbox"/>	RECHAZA	<input type="checkbox"/>									

VERIFICACION DE VACIADO:

ACEPTA  RECHAZA

NOTAS: \_\_\_\_\_

**4. ESTRUCTURA(S) VACIADA(S)**

ESQUEMA REFERENCIAL

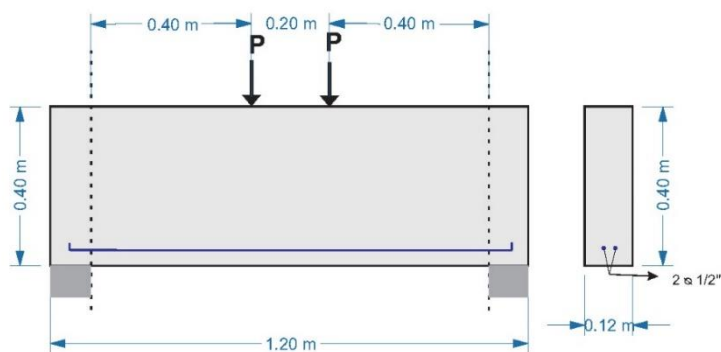
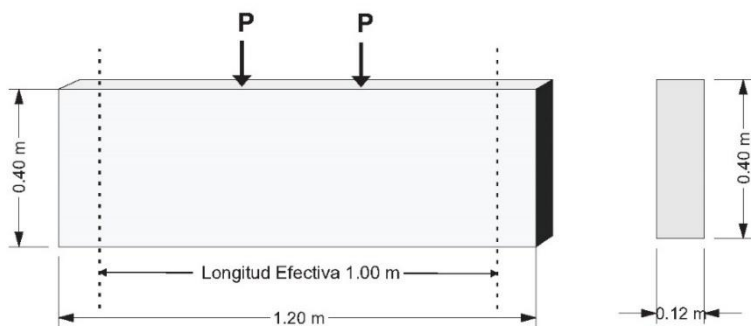
CALIDAD DEL CONCRETO



**5. NOTAS / COMENTARIOS / OBSERVACIONES**


## Anexo H. Planos de la viga de gran altura

### DETALLADO DE VIGAS DE GRAN ALTURA DISEÑADAS CON LA NORMA ACI 318 - 14



#### SERIE DE VIGAS - B

Diámetro de Barra (db)	Diámetro mínimo de Doblado (D)	Distancia tubo a trampa (L)		
		(pulg.)	(mm)	
--	6	24	15	25
3/8	--	38	25	40
--	12	48	30	50
1/2	--	51	35	55
5/8	--	64	45	70

#### CONSIDERACIONES GENERALES

$f'c$ : 210kg/cm<sup>2</sup>

$f'y$ : 4200kg/cm<sup>2</sup>

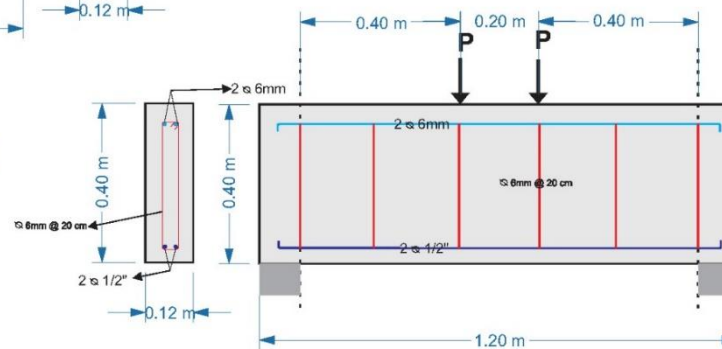
Vigas, columnas, pedestales y amarres a tracción	Armadura principal, estribos, espurales y estribos cerrados para confinamiento	40
--	--	----

#### VIGAS DE GRAN ALTURA

- (a) La luz libre no excede cuatro veces la altura total del miembro,  $h$ .
- (b) Existen cargas concentradas dentro de una distancia igual a  $2h$  de la cara del apoyo.

#### SERIE DE VIGAS - A

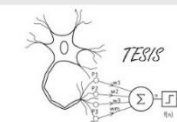
Diámetro de Barra (db)	Diámetro mínimo de Doblado (D)	Distancia tubo a trampa (L) (mm.)		
		(pulg.)	(mm)	
--	6	36	25	55
--	8	48	30	70
3/8	--	57	35	85
--	12	72	50	110
1/2	--	76	55	120
5/8	--	95	65	150
3/4	--	114	85	175
1	--	152	115	235



Una Institución Adventista

UNIVERSIDAD PERUANA  
UNIÓN - FILIAL JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



PREDICCIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE A  
CORTANTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA UTILIZANDO  
REDES NEURONALES ARTIFICIALES

#### • ASESOR

ING. BEATRIZ AGUISE PARI

#### • TESISISTA:

BACH. YINO WALDIR CHATA LLATASI

#### • FECHA:

27-10-18

#### • ESCALA:

1/10

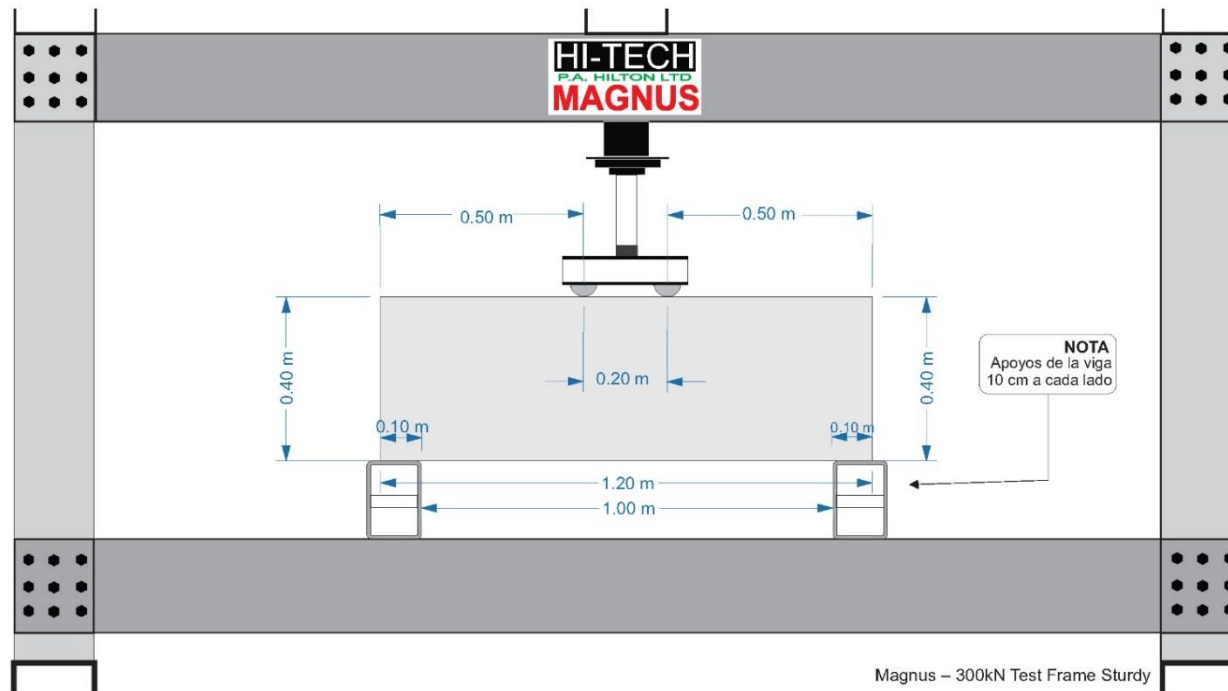
#### • PLANO:

DETALLE DE VIGAS DE GRAN PERALTE

N° LAMINA

E-1

### DETALLE DE ENSAYO DE LAS VIGAS DE GRAN ALTURA



#### ACCESORIOS A UTILIZAR EN EL ENSAYO:



##### HPM15 Data Acquisition Upgrade

Esta unidad única y compacta es esencial para todos los experimentos.



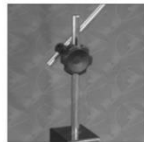
##### HPM20 Dial Gauges

El Dial que medirá el desplazamiento vertical de las vigas de gran altura. Calibrado a un rango de medición rango de medición de 0... 25 mm



##### HPM3 Single Hydraulic Ram System

Un ariete hidráulico de 700 bar de doble acción está montado en un carro de viaje



##### HPM20 Magnetic dial gauge stand

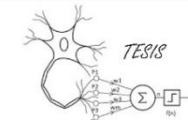
El soporte magnético tiene un interruptor en el panel frontal que cuando se gira energiza la base y permite que sea montado a cualquier objeto ferroso.



Una Institución Adventista

### UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



PREDICCIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE A  
CORTANTE DE VIGAS DE GRAN ALTURA UTILIZANDO  
REDES NEURONALES ARTIFICIALES

#### • ASESOR

ING. BEATRIZ AQUISE PARI

#### • TESISTA:

BACH. YINDO WALDIR CHATA LLATASI

#### • FECHA:

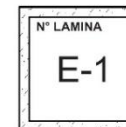
27-10-18

#### • ESCALA:

1/10

#### • PLANO:

DETALLE DE VIGAS DE GRAN PERALTE



# Anexo I. Pruebas de Esclerometría



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
**E. P. INGENIERIA CIVIL**  
**TESIS**



**ENSAYO DE ESCLEROMETRIA**

**MODELO : VIGA 01**

<b>PROYECTO</b>	: <i>Determinación de la Resistencia de compresión</i>		
<b>ASESOR</b>	: <i>Ing. Beatriz Aqise Pari</i>		
<b>TESISTA</b>	: Bach. Yino Waldir Chata Llatasi	<b>FECHA :</b>	31 de Noviembre del 2018

CONVERSION DEL VALOR DE REBOTE A RESISTENCIA DEL CONCRETO		ORIENTACION DEL MARTILLO:																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Valor del rebote</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>28</td></tr> <tr><td>2</td><td>29</td></tr> <tr><td>3</td><td>28</td></tr> <tr><td>4</td><td>27</td></tr> <tr><td>5</td><td>28</td></tr> <tr><td>6</td><td>28</td></tr> <tr><td>7</td><td>28</td></tr> <tr><td>8</td><td>28</td></tr> <tr><td>9</td><td>27</td></tr> <tr><td>Mediana</td><td>28</td></tr> <tr><td>Desv. Estandar</td><td>0.8</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>28</td></tr> </tbody> </table>	N°	Valor del rebote	1	28	2	29	3	28	4	27	5	28	6	28	7	28	8	28	9	27	Mediana	28	Desv. Estandar	0.8	Promedio	28		Vertical hacia Arriba ( )	Vertical hacia Abajo ( )
	N°	Valor del rebote																											
	1	28																											
	2	29																											
	3	28																											
	4	27																											
	5	28																											
	6	28																											
	7	28																											
	8	28																											
9	27																												
Mediana	28																												
Desv. Estandar	0.8																												
Promedio	28																												
		Ángulo +90°	Ángulo -90°																										
		Horizontal ( X )																											
		Ángulo 0°																											

Resistencia del concreto

R =	Zm	Zmax	Zmin	Error
28	180	230	130	28%

<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Valor del rebote</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>29</td></tr> <tr><td>2</td><td>28</td></tr> <tr><td>3</td><td>29</td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td>Mediana</td><td>29</td></tr> <tr><td>Desv. Estandar</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>29</td></tr> </tbody> </table>	N°	Valor del rebote	1	29	2	28	3	29															Mediana	29	Desv. Estandar	0.5	Promedio	29		<b>ESTRUCTURA ENSAYADA:</b> Viga de gran altura	
	N°	Valor del rebote																													
	1	29																													
	2	28																													
	3	29																													
Mediana	29																														
Desv. Estandar	0.5																														
Promedio	29																														
<b>UBICACIÓN EN LA ESTRUCTURA:</b> Cara lateral de la Viga de gran altura																															
<b>DESCRIPCION DEL AREA DE ENSAYO:</b> El área de ensayo es de forma cuadrada de dimensiones: 15cm x 15cm.																															
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE:</b> La superficie del elemento a ser ensayada presenta una rugosidad muy notoria.																															

Resistencia del concreto

R =	Zm	Zmax	Zmin	Error
29	190	240	140	26%

d= 1 mm  
 Corrección: 0.94      **f'c= 185** Kg/cm2

DETALLE DEL ELEMENTO A ENSAYAR	FOTOGRAFIAS





**ENSAYO DE ESCLEROMETRIA**

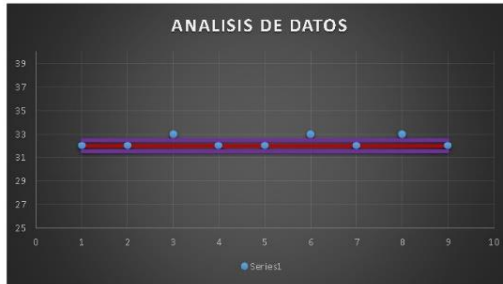
**MODELO :**

**VIGA 04**

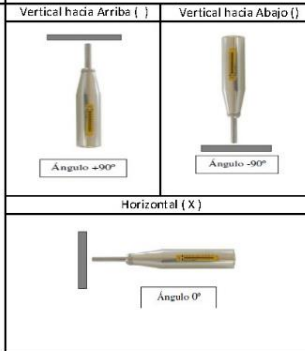
<b>PROYECTO</b>	: <i>Determinación de la Resistencia de compresion</i>		
<b>ASESOR</b>	: <i>Inq. Beatriz Aquise Pari</i>		
<b>TESISTA</b>	: Bach. Yino Waldir Chata Llatasi	<b>FECHA :</b>	31 de Noviembre del 2018

**CONVERSION DEL VALOR DE REBOTE A RESISTENCIA DEL CONCRETO**

N°	Valor del rebote
1	32
2	32
3	33
4	32
5	32
6	33
7	32
8	33
9	32
<b>Mediana</b>	<b>32</b>
<b>Desv. Estandar</b>	<b>0.5</b>
<b>Promedio</b>	<b>32</b>



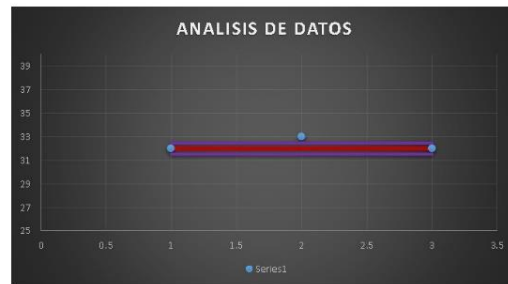
**ORIENTACION DEL MARTILLO:**



**Resistencia del concreto**

<b>R =</b>	32	<b>Zm</b>	230
------------	----	-----------	-----

N°	Valor del rebote
1	32
2	33
3	32
<b>Mediana</b>	<b>32</b>
<b>Desv. Estandar</b>	<b>0.5</b>
<b>Promedio</b>	<b>32.00</b>



**ESTRUCTURA ENSAYADA:** Viga de gran altura

**UBICACIÓN EN LA ESTRUCTURA:** Cara lateral de la Viga de gran altura

**DESCRIPCION DEL AREA DE ENSAYO:** El área de ensayo es de forma cuadrada de dimensiones: 15cm x 15cm.

**CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE:** La superficie del elemento a ser ensayada presenta una rugosidad muy notoria.

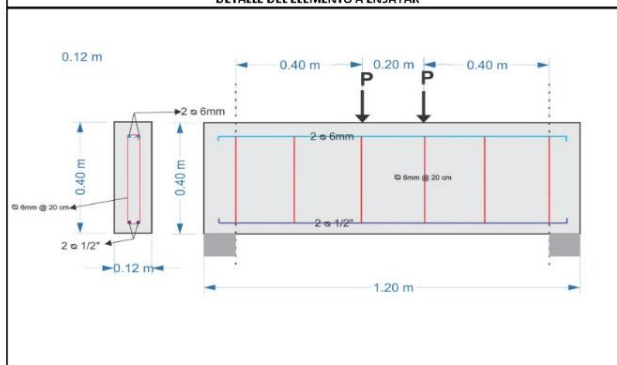
**Resistencia del concreto**

<b>R =</b>	32	<b>Zm</b>	230	<b>Zmax</b>	280	<b>Zmin</b>	180	<b>Error</b>	20%
------------	----	-----------	-----	-------------	-----	-------------	-----	--------------	-----

d= 1 mm  
Corrección: 0.94

**f'c= 216.2** Kg/cm<sup>2</sup>

**DETALLE DEL ELEMENTO A ENSAYAR**



**FOTOGRAFIAS**







**Proyecto de Tesis " PREDICCIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE A CORTANTE DE VIGAS DE GRAN PERALTE DISEÑADAS CON LA NORMA ACI 318 – 14 EMPLEANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES "**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<b>Pregunta General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipotesis General</b>	<b>Independientes</b>	<b>Tipo de investigación:</b>	<b>Universo:</b>
¿Se podrá desarrollar una metodología para determinar la fuerza de corte de una viga de gran peralte utilizando las Redes Neuronales Artificiales ?	Desarrollar una metodología para determinar la fuerza de corte de una viga de gran peralte utilizando las Redes Neurológicas Artificiales.	Es posible mediante redes neuronales artificiales, pronosticar la respuesta a cortante de vigas de gran peralte.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad del Concreto (<math>f_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> y 400 kg/cm<sup>2</sup>)</li> <li>• Parámetros Geométricos de la Viga (Altura, Base y Distancia de Viga)</li> <li>• Parámetros de Diseño ACI 318 -14 (Acero Vertical y Acero Horizontal)</li> </ul>	<b>Descriptivo Comparativo</b>	Vigas de Concreto Armado
				<b>Método de investigación:</b>	<b>Población:</b>
				<b>Cuantitativo</b>	Vigas de Gran peralte
<b>Pregunta Especificas</b>	<b>Objetivo Especificos</b>	<b>Hipotesis Especificas</b>	<b>Dependientes</b>	<b>Recursos y Recolección de Datos:</b>	<b>Muestra:</b>
¿Cuáles son los parámetros que son influyentes en la falla por corte en una viga de gran altura?	Identificar y analizar los parámetros que son influyentes en la falla por corte en una viga de gran altura.	Es posible diseñar un modelo matemático en el programa Matlab que pueda predecir la resistencia a cortante e interpretar resultados de las Redes Neuronales Artificiales	Resistencia A Cortante de la Viga de gran altura (KN)	A. Revistas Indexadas B. Datos de ensayos de vigas de gran altura de trabajos anteriores sujetos a evaluación C. Planos, fotografías. D. Tesis E. Monografías F. Patentes G. Información de internet	Vigas de gran peralte diseñadas con concretos de resistencia normal según ACI para el entrenamiento, validacion y prueba de las redes neuronales artificiales.
¿Cuál es el modelo de Red Neuronal Artificial adecuado que pueda predecir la resistencia al corte de vigas de gran altura?	Desarrollar un modelo de una Red Neuronal Artificial con una base de datos de ensayos de vigas de gran altura diseñados con la norma ACI 318, que pueda predecir la resistencia al corte de vigas de gran altura.	Es posible entrenar una red neuronal donde las correlaciones de los datos (entrenamiento, validación y prueba) tenga una analogía mayor del 95%.			
¿Cuáles son los márgenes de error de predicción de las vigas de gran altura usando Redes Neuronales Artificiales con los calculados a partir de las ecuaciones ACI 318-14?	Comparar la fuerza pronosticada de las vigas de gran altura usando Redes Neuronales Artificiales con los calculados a partir de las ecuaciones ACI 318-14	Es posible demostrar que las capacidades a cortante predichas por las redes neuronales y las ecuaciones de la norma ACI 318 – 14 tengan una correlación con los resultados de la viga mayor al 95%.			