

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil



**“VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE ELEMENTOS SOMETIDOS A
COMPRESIÓN, CON EL INCREMENTO DE SU SECCIÓN RESISTENTE MEDIANTE UN
ENCAMISADO, HACIENDO USO DE UN PUENTE EPÓXICO”**

TESIS

Para obtener el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por la bachiller:

Cintya Noemí Quispe Sánchez

Asesorado por el Magister en Ingeniería:

Héctor Pérez Loayza

Cajamarca – Perú – 2018

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque estuvo conmigo desde antes de verme nacer, porque me ha guiado y me ha dado fortaleza y porque cada momento veo su favor en mi vida.

A mi asesor y gran amigo Ing. Héctor Albarino Pérez Loayza, por ser mi mentor, por impulsarme a realizar mis sueños y a pensar siempre en grande y porque sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible realizar este proyecto.

A mi padre Cristóbal, por su invaluable apoyo, amor y ternura, por ser fuente de mi inspiración para alcanzar cada meta trazada, por ser mi amigo incondicional y por estar siempre en los momentos que más lo necesito.

A mi madre Sara, quien con su ejemplo me enseñó a no desfallecer ni rendirme ante nada, por creer en mí, por ser mi soporte emocional durante toda mi vida y por ayudarme a cristalizar mis sueños.

A mi hermana Gavi, por su cariño, amor y grandes manifestaciones de afecto, por ser una bendición en mi vida y tener un corazón tan grande que me llevan a admirarla cada día más.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Cristóbal y Sara, porque ellos han dado razón a mi vida, porque lucharon día a día para darme lo mejor, por sus consejos, su apoyo y amor incondicional, todo lo que hoy soy es gracias a ellos y a Dios.

Cintya Noemí Quispe Sánchez

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS	2
1.2 PROBLEMA	3
1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 HIPÓTESIS	4
1.5 ALCANCES	5
1.6 LIMITACIONES	5
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	6
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	7
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES	8
2.2 BASES TEÓRICAS	8
2.2.1 ADHESIVO	8
2.2.2 COLUMNAS	18
2.2.3 REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS	22
2.2.4 CONCRETO	34
2.2.5 DISEÑO DE MEZCLAS	47
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	60
3. CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	62

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	62
3.2 METODOLOGÍA	63
3.2.1 POBLACIÓN	64
3.2.2 MUESTRA	64
3.3 UNIDAD DE ANÁLISIS	65
3.4 UNIDAD DE OBSERVACIÓN	65
3.5 TIPO DE INVESTIGACIÓN	65
3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	65
3.7 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	65
3.8 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	66
3.8.1 MATERIALES:	66
3.8.2 EQUIPO:	66
3.9 PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS TESTIGOS	66
3.9.1 OBTENCIÓN DE AGREGADOS	66
3.9.2 OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS	67
3.9.3 DISEÑO DE MEZCLAS	72
3.9.4 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO SIMPLE.	72
3.9.5 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO SIMPLE	74
3.9.6 PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS TESTIGOS	74
3.9.7 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS TESTIGOS	74
3.9.8 ELABORACIÓN Y DETALLAMIENTO DE PLANOS ESTRUCTURALES	74
3.9.9 CONSTRUCCIÓN DE LOS TESTIGOS IN SITU	75
3.9.10 CURADO DE LOS TESTIGOS	76
3.9.11 ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS TESTIGOS	77
3.10 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	77
3.10.1 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	77
3.10.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	78
4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	91
4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN	91
4.2 CARGA ÚLTIMA	92
4.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD Y DEFORMACIONES	93
4.4 TIPO DE FALLA	94
4.5 CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS	95
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
5.1 CONCLUSIONES	96
5.2 RECOMENDACIONES	97
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
7. ANEXOS	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades mecánicas comunes de las resinas epóxicas y del concreto.	12
Tabla 2: Clasificación de las resinas según su tipo.	12
Tabla 3: Clasificación de las resinas según su grado de viscosidad.	13
Tabla 4: Clasificación de las resinas según su Temperatura.	13
Tabla 5: Masa mínima de muestra para prueba de Contenido de humedad en agregados. .	39
Tabla 6: Porcentajes recomendables de granulometría para agregado fino.	40
Tabla 7: Cantidad de muestra a ensayar para el agregado grueso para análisis granulométrico.	40
Tabla 8: Factores De Corrección.	50
Tabla 9: Grado de Control	51
Tabla 10: Resistencia a la Compresión Promedio.	51
Tabla 11: Consistencia, Asentamiento y Trabajabilidad.	52
Tabla 12: Asentamientos Recomendados para Varios Tipos de Construcción.	52
Tabla 13: Porcentaje que pasan por las siguientes mallas para determinación del tamaño máximo del agregado grueso.	53
Tabla 14: Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.	54
Tabla 15: Volumen unitario de agua de mezclado, para asentamientos y tamaño máximo nominal.	55
Tabla 16: Aire atrapado según el tamaño máximo nominal.	55
Tabla 17: Relación agua /cemento y Resistencia a compresión del concreto.	56
Tabla 18: Máxima Relación agua /cemento permisible para concreto sometidos a condiciones especiales de exposición.	56
Tabla 19: Requisitos para condiciones especiales de exposición.	57
Tabla 20: Módulo de fineza de la combinación de agregados.	58
Tabla 21: Desviación estándar y Coeficiente de Variación de las columnetas ensayadas. ..	77
Tabla 22: Propiedades mecánicas de la Columneta Núcleo N°1.	78
Tabla 23: Propiedades mecánicas de la Columneta Núcleo N°2.	79
Tabla 24: Propiedades mecánicas de la Columneta Núcleo N°3.	80
Tabla 25: Propiedades mecánicas de la Columneta Núcleo N°4.	81
Tabla 26: Propiedades mecánicas de la Columneta Núcleo N°5.	82
Tabla 27: Propiedades mecánicas de la Columneta Encamisada N°1.	85
Tabla 28: Propiedades mecánicas de la Columneta Encamisada N°2.	86

Tabla 29: Propiedades mecánicas de la Columneta Encamisada N°3.	87
Tabla 30: Propiedades mecánicas de la Columneta Encamisada N°4.	88
Tabla 31: Propiedades mecánicas de la Columneta Encamisada N°5.	89
Tabla 32: Resistencia a compresión de las columnetas ensayadas.	91
Tabla 33: Carga Última de las columnetas ensayadas.....	92
Tabla 34: Módulos de elasticidad de las columnetas ensayadas a compresión.	93
Tabla 35: Deformaciones unitarias máximas de columnetas ensayadas a compresión.	93
Tabla 36: Propiedades Físicas De Los Agregados Del Río Chonta.	102
Tabla 37: Granulometría del agregado grueso para la Muestra 1	103
Tabla 38: Granulometría del agregado grueso para la Muestra 2	104
Tabla 39: Granulometría del agregado grueso para la Muestra 3	105
Tabla 40: Granulometría del agregado fino para la Muestra 1	106
Tabla 41: Granulometría del agregado fino para la Muestra 2	107
Tabla 42: Granulometría del agregado fino para la Muestra 3	108
Tabla 43: Valores de K, para la obtención de la resistencia promedio del concreto.	109
Tabla 44: Resultados de ensayo a compresión de especímenes de concreto simple $f'c=175$ kg/cm ²	116
Tabla 45: Valores de “n” y “P”, según el tipo de columna a diseñar	116
Tabla 46: Clasificación de la columna por su esbeltez.	118
Tabla 47: Resultados de especímenes de concreto simple $f'c=225$ kg/cm ² ensayados a compresión.....	124
Tabla 48: Ensayo de resistencia a compresión de columneta núcleo N°1.	130
Tabla 49: Ensayo de resistencia a compresión de columneta núcleo N°2.	131
Tabla 50: Ensayo de resistencia a compresión de columneta núcleo N°3.	132
Tabla 51: Ensayo de resistencia a compresión de columneta núcleo N°4.	133
Tabla 52: Ensayo de resistencia a compresión de columneta núcleo N°5.	135
Tabla 53: Ensayo de resistencia a compresión de la Columneta Encamisada N°1.....	136
Tabla 54: Ensayo de resistencia a compresión de la Columneta Encamisada N°2.....	139
Tabla 55: Ensayo de resistencia a compresión de la Columneta Encamisada N°3.....	142
Tabla 56: Ensayo de resistencia a compresión de la Columneta Encamisada N°4.....	144
Tabla 57: Ensayo de resistencia a compresión de la columneta encamisada N°5.	147

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Esquema básico de una unión adhesiva.....	9
FIGURA 2: Solicitaciones de las uniones adhesivas.....	17
FIGURA 3: Edificio con Arriostramiento Metálico	24
FIGURA 4: Armado de Muros de Ductilidad limitada.....	25
FIGURA 5: Reforzamiento con Pletinas Metálicas	25
FIGURA 6: Refuerzo con el Sistema FRP.....	26
FIGURA 7: Encamisado de Acero.....	27
FIGURA 8: Encamisado de Columnas	28
FIGURA 9: Encamisado de una columna hasta el entrepiso.....	31
FIGURA 10: Encamisado de una columna hasta la losa.....	32
FIGURA 11: Encamisado en una cara de la columna.....	32
FIGURA 12: Cálculo del área de encamisado.....	33
FIGURA 13: Estados de saturación del agregado.....	38
FIGURA 14: Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el Concreto Bajo Compresión.....	46
FIGURA 15: Diagrama de la etapa experimental de la investigación.....	63
FIGURA 16: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo N°1.....	78
FIGURA 17: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo N°2.....	79
FIGURA 18: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo N°3.....	80
FIGURA 19: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo N°4.....	81
FIGURA 20: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo N°5.....	82
FIGURA 21: Diagrama Esfuerzo – Deformación de todas las Columnetas Núcleo ensayadas.....	83
FIGURA 22: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo Promedio.....	83
FIGURA 23: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada N°1.....	84
FIGURA 24: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada N°2.....	85
FIGURA 25: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada N°3.....	86
FIGURA 26: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada N°4.....	87
FIGURA 27: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada N°5.....	88
FIGURA 28: Diagrama Esfuerzo – Deformación de todas las Columnetas Encamisadas ensayadas.....	89
FIGURA 29: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada Promedio.....	90

FIGURA 30: Diagrama esfuerzo vs deformación de columneta núcleo promedio y columneta encamisada promedio	90
FIGURA 31: Comparación de la resistencia a compresión de las columnetas ensayadas. ..	91
FIGURA 32: Comparación De Cargas Últimas de columnetas núcleo y columnetas encamisadas.....	92
FIGURA 33: Falla de Columneta núcleo.....	94
FIGURA 34: Falla de columneta encamisada.....	94
FIGURA 35: Falla desde el núcleo de columneta encamisada (comportamiento monolítico)	94
FIGURA 36: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 1.....	104
FIGURA 37: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 2.....	105
FIGURA 38: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 3.....	106
FIGURA 39: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 1.....	107
FIGURA 40: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 2.....	108
FIGURA 41: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 3.....	109
FIGURA 42: Cálculo del área de encamisado.....	124

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal determinar la variación de la resistencia a compresión de una columna aumentando su sección transversal mediante un encamisado de concreto armado, usando el adhesivo “Chema Epox Adhesivo 32” como puente epóxico para que haya una adecuada adherencia entre el concreto endurecido y el concreto fresco; para lo cual se realizaron pruebas de experimentación directa que permitieron determinar la resistencia a compresión en 10 columnetas (testigos), las cuales estuvieron conformadas por 5 columnetas núcleo (columnetas sin encamisar) y 5 columnetas encamisadas, las que fueron hechas a partir de columnetas núcleo previamente fracturadas. A los veintiocho días de edad de ambos tipos de columnetas, se realizó los ensayos de compresión para poder determinar la variación de la resistencia de las columnetas encamisadas con respecto a las columnetas núcleo; obteniéndose una resistencia promedio a la compresión de 336.00 kg/cm² para las columnetas núcleo y de 369.60 kg/cm² para las columnetas encamisadas. Con los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que el encamisado a una columna de concreto armado aumenta su resistencia a la compresión en un 10.01%, con respecto a la columna sin encamisar.

PALABRAS CLAVE: Columneta núcleo, Columneta Encamisada, Resistencia a Compresión, Puente epóxico.

ABSTRACT

The present research work has as main goal determine the variation of the compressive strength of a column by increasing its cross section through a reinforced concrete jacketed, using the adhesive "Chema Epox Adhesive 32" as an epoxy bridge so that there is an adequate adhesion between the hardened concrete and fresh concrete; for which tests of direct experimentation were carried out that allowed to determine the resistance to compression in 10 columnnets (witnesses), which were formed by 5 columnnets nucleus (columnnets without jacketed) and 5 jacketed columnnets, which were made from columnnets nucleus previously fractured. At twenty-eight days of age of both types of columns, compression tests were carried out to determine the variation of the strength of the jacketed columns with respect to the core columns; obtaining an average resistance to compression of 336.00 kg / cm² for the core columns and 369.60 kg / cm² for the jacketed columns. With the results obtained, it was concluded that the jacketed to a column of reinforced concrete increases its resistance to compression by 10.01%, with respect to a column without casing.

KEY WORDS: Core column, Jacketed Column, Compression Resistance, Epoxy bridge.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Una estructura de concreto armado se analiza y diseña para que complete su vida útil dentro de condiciones aceptables de servicio y resistencia; sin embargo en una obra civil pueden surgir situaciones que generen cambios durante la concepción, ejecución o en su vida útil, tales como un diseño inadecuado, deficiencias en la mano de obra, eventos naturales, cambios en el tipo de uso ocupacional para el cual la estructura no fue diseñada originalmente, actualización a nuevos reglamentos, añadido de plantas, etc.; que afecten negativamente la capacidad resistente que se espera de la misma y que eventualmente la llevan al colapso; todo esto conlleva a la no aceptación de los elementos, sean estos cimientos, columnas, vigas, losas o muros, siendo necesario realizar un reforzamiento en la estructura con la introducción de refuerzos en algunos elementos estructurales o en todo su conjunto y así recuperar su funcionalidad. (Jácome P, 2016).

Es posible plantearse hoy en día soluciones de refuerzo y reparación en columnas que, resuelven a la perfección ciertos problemas que se presentan en el sector construcción. Una de las soluciones utilizadas en la actualidad es el encamisado de columnas, esta técnica permite la mejora de la estructura para su reutilización, ya que permite aprovechar las características mecánicas existentes para generar un nuevo sistema de mayor prestación. Esta opción es muy importante en relación a la defensa de las operaciones sostenibles evitando en muchos casos las demoliciones que impactan de manera negativa en el costo de la obra, proyección del tiempo de entrega, atrasos en el cronograma, contaminación del ambiente por generar basura y escombros, mala imagen del profesional; dando un beneficio directo en la construcción. (Raigosa E, 2010).

Por todo lo mencionado, el presente trabajo de investigación plantea determinar la resistencia a compresión de columnetas encamisadas con concreto armado, las cuales previamente han sufrido daños, realizando un análisis comparativo entre estos valores obtenidos en las pruebas utilizando una metodología cuantitativa aplicada a la realidad, es decir pruebas en concreto, con el fin de comparar de fuentes primarias experimentalmente, donde intervendrán diferentes ramas de la ciencia como la ingeniería, matemática, estadística, entre

otras. Con los resultados de este trabajo de investigación se pretende dar a conocer como aumenta de la resistencia de columnas mediante un encamisado de concreto armado utilizando un adhesivo epóxico para la unión de concreto endurecido y concreto fresco, proporcionando una alternativa de reforzamiento que solucione los problemas expuestos anteriormente.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS

El trabajo de investigación está dividido en cinco capítulos, los cuales se describen a continuación:

El Capítulo I: “INTRODUCCIÓN”, tiene carácter informativo sobre el contexto, el problema, importancia de la investigación, así como sus alcances, objetivos e hipótesis.

El Capítulo II: “MARCO TEÓRICO”, describe las investigaciones y trabajos relacionados con el tema de investigación, realizadas anteriormente, así como la literatura y fundamentos teóricos, sobre los cuales nos basaremos para llevar a cabo esta investigación.

El Capítulo III: “MATERIALES Y MÉTODOS”, en donde se indica la ubicación geográfica donde se realizó la investigación, el tiempo en la cual se enmarca y los diferentes procedimientos realizados en la investigación.

EL Capítulo IV: “ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS”, abarca la interpretación, explicación y la discusión de los resultados finales obtenidos, haciendo un análisis comparativo.

El Capítulo V: “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”, desarrolla las conclusiones de la investigación experimental realizada para cada objetivo propuesto; y las recomendaciones, en donde se sugieren nuevas ideas complementarias, que permiten ampliación de los conocimientos sobre el problema de investigación.

1.2 PROBLEMA

1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha ido incrementando la construcción informal, debido a la falta de conciencia que existe en la sociedad y al escaso control por parte de las entidades encargadas, lo que ha conllevado a que en el área de la construcción, puedan encontrarse obras que presentan deficiencias estructurales, que son consecuencia de un diseño inadecuado, mano de obra no capacitada, falta de supervisión, etc., las cuales necesitan un reforzamiento en su estructura; sin embargo existen también estructuras que pese a haber sido diseñadas y construidas adecuadamente necesitan ser reforzadas debido a distintos factores tales como actualización a nuevos reglamentos, cambios en el uso de la estructura o incremento de carga, o debido a que han sufrido daños ocasionados por eventos naturales tales como sismos, incendios, impactos, etc.; las cuales también necesitan ser reforzadas. El reforzamiento a una estructura con o sin daños está dirigido a incrementar la capacidad de carga y estado de servicio, devolviéndole su funcionalidad o adaptándola para cubrir nuevas solicitudes, otorgándole un desempeño estructural por encima de su desempeño original.

En general, la falla de una columna puede generar el colapso de una estructura completa, es por ello que en la actualidad se plantean muchos métodos de reforzamiento de columnas siendo el más usado el aumento de la sección de la columna mediante un encamisado; cuidando que haya una adecuada adherencia entre los concretos de diferentes edades para obtener un comportamiento monolítico.

1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema de la presente investigación se puede sintetizar en la siguiente interrogante: ¿Cuánto varía la resistencia a compresión de una columna mediante el encamisado con concreto armado, haciendo uso del epóxico “Chema Epox Adhesivo 32” como puente epóxico?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la variación de la resistencia mecánica de elementos sometidos a compresión, con el incremento de su sección resistente mediante un encamisado, haciendo uso de un puente epóxico.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características físicas y mecánicas de los agregados del río Chonta de la cantera Roca Fuerte-Baños del Inca.
- Determinar el diseño de mezclas para un concreto de resistencia $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 225 \text{ Kg/cm}^2$.
- Determinar el comportamiento que el adhesivo “Chema Epox Adhesivo 32” le brinda a las columnas encamisadas con concreto armado.
- Determinar la resistencia a compresión de columnas sin encamisado y columnas encamisadas.

1.4 HIPÓTESIS

El encamisado de una columna con concreto armado, mediante un puente epóxico, usando el adhesivo “Chema Epox Adhesivo 32”, varía su resistencia a compresión, aumentándola en un 20%.

1.5 ALCANCES

El presente trabajo de investigación servirá como fuente bibliográfica para estudiantes de la Facultad de Ingeniería, en el proceso de entender el reforzamiento de columnas de concreto armado mediante el encamisado de su sección a través de un puente epóxico y también servirá como elemento de consulta para profesionales especializados en reforzamiento de estructuras y para diferentes instituciones involucradas en este proceso.

1.6 LIMITACIONES

- No se cuenta con experiencias de estudios similares en nuestro medio.
- Imposibilidad de controlar esfuerzos ajenos a la carga aplicada, debido al mal estado en que se encuentra el pistón que aplica la carga de la máquina en la que se realizarán los ensayos a compresión de los testigos.
- Limitaciones de la carga a aplicar por la máquina de ensayo, ya que la máquina en la que se ensayarán los testigos tiene poca capacidad de carga.
- Falta de reglamentación y normativas para efectuar ensayos en columnas encamisadas.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Archila Ortiz, Gustavo Adolfo (2007). Guatemala. En su tesis: “Evaluación sobre adherencia entre concreto antiguo y concreto nuevo con dos tipos de Epóxicos”, realizó pruebas de laboratorio, para determinar las características de dos tipos de adherentes (Tipo A y Tipo S) utilizados para la unión de concreto nuevo con concreto antiguo, realizando comparaciones entre los mismos para obtener resultados, tanto de resistencia como de costo-beneficio. De los resultados se puede concluir que el adhesivo Tipo S es más recomendable en cuanto a su resistencia y adherencia, sin embargo, el adhesivo Tipo A es el más económico.
- Arévalo F., Marianella L. (2015). Caracas-Venezuela. En su tesis: “Rehabilitación de Columnas de Concreto Armado Aplicando Refuerzos Estructurales Externamente”, determinó el comportamiento de las columnas de un edificio y con ello diagnosticó los problemas y propuso diversos métodos de refuerzo a realizar para aumentar la resistencia y ductilidad. Concluyendo que el mejor método de reforzamiento es el reforzamiento con camisas, ya que es económico y aumenta la resistencia del elemento.
- Borja Escobar, Luis F. y Torres Tamayo, María J. (2015). Quito- Ecuador. En su tesis: “Diseño del Reforzamiento Estructural de un Edificio de Departamentos de 4 Plantas Ubicado en el Sector Quitumbe, Ciudad de Quito, Provincia de Pichincha”, realizó el estudio de una estructura representativa, proponiendo dos alternativas de reforzamiento para ella (reforzamiento con encamisado y reforzamiento con enchapado de mampostería), eligiendo la que resulte más rápida y económica. Los resultados indican que las columnas soportan sin problema carga vertical pura, sin embargo, no tienen la capacidad de absorber los esfuerzos producidos por un sismo, por lo que se la tiene que rigidizar, y por ello se concluyó en que el método más favorable es el enchapado con mampostería.

- Raigosa Tuk, Eduardo (2010). San José-Costa Rica. En su tesis: “Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales”, brinda las técnicas de reforzamiento de estructuras de concreto construidas que presentan deficiencias estructurales, entre las cuales nos dan a conocer el reforzamiento de columnas mediante encamisados. Concluyendo en que el reforzamiento mediante un encamisado de concreto es la mejor opción en cuanto a reforzamiento de estructuras dañadas que presentan una baja resistencia, evitando demoliciones que impactan de manera negativa.
- Soto Barraza, Emma Nereida (2008). México DF-México. En su tesis: “Rehabilitación de Estructuras de Concreto”, da a conocer algunas de las técnicas que se utilizan para reparar y/o reforzar estructuras de concreto que han sido dañadas o no, por sismos, haciendo hincapié en el método de encamisado de columnas, comparando y analizando estudios experimentales que se han realizado anteriormente en encamisados de columnas. Concluyendo que los efectos del daño previo en las columnas no tienen una influencia significativa en todo el desempeño sísmico de las columnas encamisadas, que los especímenes con encamisado de reparación alcanzaron casi tres veces la resistencia y rigidez de los especímenes originales y que el encamisado con concreto reforzado incrementa significativamente la rigidez, la resistencia, y la ductilidad de las columnas; siendo el encamisado un método de reforzamiento y rehabilitación que funciona de manera óptima en estructuras que han sufrido daños.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

- Paredes López Cinthia Stefani y Reyes Cossío Carlos Edmundo (2015). Trujillo-Perú. En su tesis: “Influencia Del Adhesivo Epóxico Colma Fix 32 Como Puente Adherente De Concreto Armado Para La Recuperación Del Monolitismo de una Estructura”, brinda importante información acerca de la influencia que tiene un adhesivo epóxico como puente adherente entre concretos de diferentes edades para un comportamiento monolítico en el reforzamiento de una estructura, concluyendo en que la aplicación correcta del adhesivo garantiza un comportamiento monolítico, permitiendo que el reforzamiento le dé una mayor ductilidad a dicha estructura.

- Vega Pereda, Carlos Enrique (2008). Lima-Perú. En su tesis: “Evaluación y reforzamiento de dos edificios contiguos construidos en la década del 60 en el centro de Lima”, realiza una evaluación y reforzamiento de dos edificios de 11 pisos construidos en la década del 60 en el centro de Lima y plantea distintas alternativas de reforzamiento como ensanchamiento de los elementos estructurales de columnas mediante encamisados, elementos nuevos de acero como arriostres, así como el reforzamiento con fibra de carbono. Concluyendo que el encamisado fue el método de reforzamiento más utilizado en columnas, ya que fueron las que presentaban mayor daño, aumentando las resistencias de éstas.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

- Valencia Zafra, Eduardo Salomón (2013). Cajamarca-Perú. En su tesis: “Evaluación de la resistencia a compresión, de especímenes de concreto usando el adherente “chema epox adhesivo 32” en juntas frías en el distrito de Cajamarca”, evalúa la resistencia a la compresión, de especímenes de concreto en los que se utiliza adhesivo “chema epox adhesivo 32” en juntas frías. Concluyendo en que los especímenes ensayados tuvieron un comportamiento monolítico y alcanzaron la resistencia a compresión esperada.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 ADHESIVO

A. ANTECEDENTES

ARCHILA G. (2007, p.4)

Los adhesivos han sido utilizados por la humanidad desde tiempos remotos, dada la necesidad de juntar o unir diferentes tipos de materiales. La historia testifica que se usaron los adhesivos desde los tiempos de los antiguos egipcios y asirios. Los egipcios usaron los adhesivos para pegar el papiro, y se han encontrado muebles recubiertos con una película de madera en las tumbas de algunos de los faraones, estos adhesivos eran indudablemente de origen animal. Los asirios no solo construyeron con el tabique de barro, el material moldeado de construcción más antiguo que se conoce, sino que en muchos casos pegaron sus adobes con un mortero cementante, a base de arcilla.

Los primeros romanos también revestían construcciones con productos similares al concreto. Los chinos usaron morteros en sus obras estructurales y pegamentos animales en sus obras decorativas de construcción. Sin embargo, el uso masivo de los adhesivos no comienza hasta finales del siglo XIX, con la primera emisión de sellos de correos, en 1840. Poco después, Charles Goodyear en 1839 descubre que mediante los procesos de vulcanización se logra la adhesión directa de caucho sobre metal.

B. DEFINICIÓN

PAREDES C., REYES C. (2015, p.22)

Definimos el adhesivo como un material no metálico, compuestos por polímeros orgánicos, el cual es capaz de unir 2 sustratos mediante los mecanismos de adhesión (desarrollados entre el adhesivo y el sustrato) y los mecanismos de cohesión (desarrollados en el interior del propio adhesivo).

FIGURA 1: Esquema básico de una unión adhesiva.



Fuente: Paredes C. y Reyes C. (2015, p.22).

C. RESINAS

SOTO E. (2008, p.37):

Las resinas generalmente son utilizadas en la reparación de grietas o para reemplazar pequeñas cantidades de concreto dañado, también se utilizan para anclar o para unir elementos nuevos de acero y concreto, para la unión de concreto viejo y concreto nuevo. Las resinas son un sistema compuesto por una resina (epóxica, poliéster, acrílica, poliuretano, etc.) y un catalizador. Cuando los dos componentes se mezclan, la resina cambia de un estado plástico a un estado endurecido. En el estado plástico, las resinas pueden variar en color, viscosidad,

tiempo de fraguado, temperatura mínima de curado, y en el grado de sensibilidad a la humedad. (AGUILAR et al., 1996)

Después de que la resina ha curado, las principales variaciones en su desempeño son resistencia y rigidez. Las resistencias a compresión, tensión y flexión son generalmente mayores que los valores alcanzados por el concreto. (BREÑA, 1990)

Cabe señalar que, en general, las propiedades de las resinas se deterioran a temperaturas mayores que 100° C y el proceso de endurecimiento se suspende a temperaturas debajo de 10° C. Si la humedad está presente, se recomienda el uso de resinas insensibles a ella. (AGUILAR et al., 1996)

C.1. VENTAJAS DE LAS RESINAS

BREÑA (1990), extraído de SOTO E. (2008, p.37)

- Resistencia contra ataques de ácidos, y solventes.
- Tienen una excelente adherencia al concreto, mampostería y acero.
- Baja contracción y buena durabilidad.
- Alta resistencia.

C.2. LIMITACIONES DE LAS RESINAS

- Pierden integridad a temperaturas arriba de 100°C.
- El tiempo disponible para colocar la resina después de que ha sido mezclada es muy corto.

C.3. TIPOS DE RESINAS

SOTO E. (2008, p.53)

Se dividen en naturales y sintéticas. Las resinas naturales son producto de la secreción de las plantas formadas por sustancias orgánicas transparentes o translúcidas. Las resinas sintéticas (también llamadas polímeros sintéticos) son sustancias artificiales que sufren un proceso de polimerización o secado dando lugar a un producto sólido con algunas de las propiedades físicas de las resinas naturales, pero con diferentes propiedades químicas.

C.3.1. RESINAS NATURALES:

- Resina verdadera
- Gomorresinas
- Oleorresinas
- Bálsamos
- Lactorresinas

C.3.2. RESINAS SINTÉTICAS:

- Epóxica
- Poliéster
- Poliuretano
- Acrílicos

Las que tienen aplicación en la construcción son las resinas sintéticas.

C.4. RESINAS EPÓXICAS

RAMÍREZ (1996), extraído de SOTO E. (2008, p.55-56):

Las resinas epóxicas por sí solas no tienen aplicación práctica en la construcción, salvo que vayan unidas a un “agente de curado” o “endurecedor”, con los cuales reaccionan y toman la forma que se desee al transformarse en sólidos. Los diversos proporcionamientos entre resina y endurecedor, así como la amplia gama de estos elementos, permiten obtener una gran variedad de compuestos en los que las diferentes conexiones intermoleculares proveen al material de propiedades mecánicas específicas.

Las resinas epóxicas comprenden una gran gama de productos que van desde líquidos de baja viscosidad, hasta sólidos. Las más utilizadas en la construcción son las líquidas. Para la preparación y el empleo de las resinas deben seguirse las instrucciones especificadas por el fabricante.

La mayor desventaja de este material es que existe mucha diferencia en sus propiedades (coeficiente de expansión térmico, resistencia a tensión y flexión) comparadas con las del concreto (tabla 1). Estas diferencias en propiedades producen un efecto adverso en la calidad y desempeño del material epóxico como material de reparación.

Tabla 1: Propiedades mecánicas comunes de las resinas epóxicas y del concreto.

PROPIEDAD	MATERIAL	
	CONCRETO	RESINA EPÓXICA
Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	250	700
Resistencia a Tensión (kg/cm ²)	21	120
Resistencia a Flexión (kg/cm ²)	35	280

Fuente: Norma ASTM C881-90 (2010).

C.4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS EPÓXICAS

ASTM INTERNACIONAL C881-90 (2010)

Las normas ASTM C881-90 (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas), clasifica a los epóxicos por su uso (tipo), viscosidad (grado) y temperatura.

- **Clasificación según su tipo:**

Se clasifican de acuerdo con sus aplicaciones y propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, adherencia y módulo de elasticidad).

Tabla 2: Clasificación de las resinas según su tipo.

TIPO	APLICACIÓN
I	Para unir concreto endurecido con concreto endurecido (sin soportar carga).
II	Para unir concreto fresco con concreto endurecido (sin soportar carga).
III	Para unir otros materiales con concreto endurecido y como aglutinante de morteros y concretos epóxicos.
IV	Para unir concreto endurecido con concreto endurecido y como aglutinante de morteros y concretos epóxicos(soportando carga).
V	Para unir concreto fresco con concreto endurecido (soportando carga).
VI	Para unir y sellar elementos prefabricados
VII	Como sellador de elementos prefabricados

Fuente: Norma ASTM C881-90 (2010).

- **Clasificación según su grado de Viscosidad**

El grado del sistema se define de acuerdo con las características de su flujo (consistencia y viscosidad).

Tabla 3: Clasificación de las resinas según su grado de viscosidad.

GRADO	VISCOSIDAD
1	Viscosidad baja (2000 cp); se utiliza para inyección de grietas.
2	Viscosidad media (2000-10000 cp); se utiliza para propósitos generales.
3	Viscosidad alta, se utiliza para trabajos especiales.

Fuente: Norma ASTM C881-90 (2010).

• **Clasificación según su Temperatura**

Las clases A, B, C son para los tipos I-IV, las clases D, E y F para los tipos VI y VII de acuerdo con el intervalo de temperaturas para la cual son apropiados.

Tabla 4: Clasificación de las resinas según su Temperatura.

CLASE	TEMPERATURA AMBIENTE
A	< 4.5 °C
B	entre 4.5 °C y 15.5 °C
C	> 15.5 °C
D	entre 4.5 °C y 18 °C
E	entre 15.5 °C y 26.5 °C
F	entre 24 °C y 32 °C

Fuente: Norma ASTM C881-90 (2010).

C.4.2. APLICACIONES DE LAS RESINAS EPÓXICAS

ROMERO (1995), extraído de SOTO E. (2008, p.58)

Las aplicaciones de las resinas epóxicas dentro de la construcción se pueden dividir en tres grupos.

• **Adhesivo estructural**

- ✓ Unión de concreto fresco y endurecido
- ✓ Unión de elementos prefabricados
- ✓ Unión de elementos estructurales
- ✓ Unión de acero, bronce, latón y otros metales entre sí, con concreto
- ✓ Inyección de grietas.

• **Protección y revestimientos de superficies**

- ✓ Revestimientos de depósitos que contienen productos agresivos para el concreto.
- ✓ Membranas epóxicas impermeabilizantes
- ✓ Preparación de suelos industriales resistentes al desgaste, deslizamiento y agentes agresivos
- ✓ Pinturas anticorrosivas

✓ Pinturas para marcar señales de tránsito, etc.

- **Refuerzos y reparaciones**

- ✓ Morteros para reparaciones y bacheos

- ✓ Juntas

- ✓ Reparaciones en obras hidráulicas.

C.4.3. PROPIEDADES DE LAS RESINAS EPÓXICAS

TROUT (2006), extraído de SOTO E. (2008, p.58-59)

Propiedades más importantes que se deben considerar para hacer una adecuada selección de la resina epóxica:

- **Resistencia a compresión:** La norma ASTM C881 requiere que la resina epóxica tenga una resistencia a compresión mínima de 8,000 psi (562 kg/cm²).
- **Resistencia a la adherencia:** En general, se requiere una resistencia a la adherencia de 1,500 psi (105 kg/cm²).
- **Módulo de elasticidad:** Se prefieren materiales con módulos de elasticidad altos, de 150,000 psi (10,500 kg/cm²). Se debe tener cuidado ya que un módulo de elasticidad alto puede ocasionar que la resina se fragmente o agriete fácilmente.
- **Resistencia química:** En general, las resinas epóxicas tienen una excelente resistencia química, aunque algunos ácidos y solventes muy fuertes pueden degradarlas, y para esos casos se requiere protección especial.
- **Tiempo de vida útil de la mezcla (Pot life):** Es el tiempo que lleva a la resina gelificarse después de que se ha mezclado. Se pueden agregar aceleradores o retardantes a la formulación para controlar el tiempo de la mezcla y que siga siendo trabajable.
- **Tiempo de curado:** Que el epóxico haya endurecido no significa que haya curado lo suficiente. Por esta razón, el tiempo de curado se debe distinguir de su tiempo de vida útil. El tiempo de curado representa el tiempo que le toma a

la resina epóxica alcanzar sus propiedades últimas. Para propósitos prácticos, es 3 días después del curado, cuando se alcanzan resistencias de 80 a 90%. El curado completo se alcanza generalmente a los 28 días, igual que el concreto.

- **Viscosidad:** Es la resistencia del líquido para fluir. Materiales con baja viscosidad, como pastas y geles, son muy densos y se resisten a fluir. La viscosidad se mide en poise (1 gramo/cm.s) o comúnmente, en centipoise (0.01 poise).
- **Coefficiente de expansión térmico:** Generalmente, la inyección epóxica se expande y contrae de 5 a 10 veces más que el concreto. Por esta razón, los epóxicos no son efectivos cuando se utilizan para reparar grandes masas de concreto.

C.4.4. COMPONENTES DE UNA FORMULACIÓN EPÓXICA

ROMERO (1995), extraído de SOTO E. (2008, p.59-60)

Se denomina “formulación epóxica” al conjunto de por lo menos, una resina y un endurecedor. En una formulación epóxica, en general, lo más importante es, no la resina en sí, sino la formulación que se haya hecho con ella, es decir, determinar la proporción óptima entre la resina y el endurecedor, lo cual es la esencia de la calidad de la mezcla, puesto que cualquier exceso o deficiencia en ésta debilitará el producto final.

- ***Endurecedores o agentes de curado***

La elección del agente de curado que se utilizará con la resina está determinada por:

- ✓ Las características requeridas para la aplicación que se vaya a realizar, tales como: tiempo de vida útil de la mezcla, viscosidad, exotermicidad, toxicidad, etc.
- ✓ Las propiedades buscadas en el sistema de curado (mecánicas, eléctricas, químicas, etc.)
- ✓ El costo del agente de curado.

- **Relación resina/endurecedor**

Las cantidades de resina y endurecedor que se requieren para lograr una reacción completa y un buen curado, dependerá de la formulación. La mayoría de las resinas tienen una relación volumétrica 1:1, 2:1 o 3:1. Es conveniente revisar que la relación dada por el fabricante sea volumétrica.

D. DISEÑO Y EVALUACIÓN DE LAS UNIONES ADHESIVAS

ARCHILA G. (2007, p.15-16)

Los tecnólogos de la adhesión diseñan normalmente las formulaciones adhesivas para lograr que las fuerzas adhesivas sean siempre superiores a las cohesivas. De este modo, conociendo las propiedades mecánicas del adhesivo se puede evaluar y, por tanto predecir, el comportamiento mecánico de una unión adhesiva. Según este enfoque, las propiedades mecánicas de la unión pueden estudiarse en base a las propiedades mecánicas del adhesivo que la constituye.

Los fracasos más frecuentes cuando se emplean adhesivos son debidos al desconocimiento de los esfuerzos a que va a estar sometido el ensamblaje. De hecho, dentro de ciertos límites, es viable proceder mediante determinadas reglas empíricas para diseñar y obtener adhesiones correctas. Aun así, cuando los esfuerzos son complejos es indispensable tener en cuenta todos los factores que pueden influir.

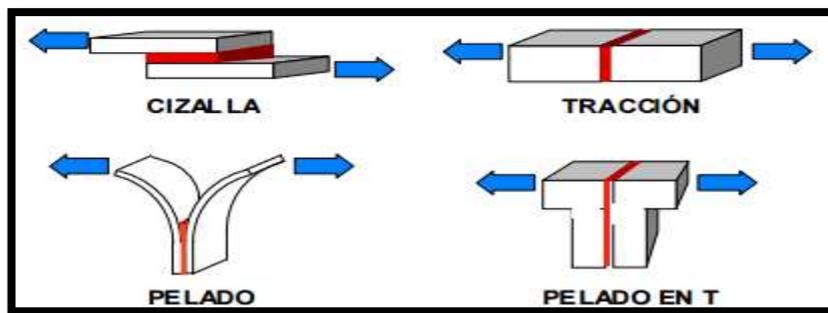
En la práctica, esto quiere decir que la naturaleza y la magnitud de las tensiones que se esperan durante el servicio del ensamblaje deben conocerse antes de decidir el tipo de adhesivo que se debe emplear. Los esfuerzos mecánicos actúan sobre los conjuntos ensamblados como esfuerzos de tracción, de compresión, de flexión, de torsión y de cortadura, provocando así las tensiones. Esquemáticamente, podemos hablar de los siguientes tipos de sollicitaciones sobre las uniones adhesivas:

- Esfuerzos normales: de tracción y de compresión.
- Esfuerzos de cortadura o cizalla.
- Esfuerzos de desgarro.
- Esfuerzos de pelado.

CONESA J. (2008, p.41)

El esfuerzo de pelado se presenta, cuando uno de los substratos es flexible en comparación con el otro. El efecto de pelado es aplicar una tensión muy alta en el borde de la unión, y con ella se produce la rotura de la unión. Es quizás donde se encuentra la mínima resistencia de las uniones adhesivas.

FIGURA 2: Solicitaciones de las uniones adhesivas.



Fuente: Archila G. (2007, p.16).

E. CHEMA EPOX ADHESIVO 32

CHEMA (2017)

E.1. DESCRIPCIÓN:

Pegamento epóxico gris bicomponente, compuesto por resinas epoxicas que otorga excelente adherencia y elevadas resistencias mecánicas. Asegura una unión perfecta entre concreto fresco y endurecido, concreto con metal y otros. Puede aplicarse como puente de adherencia o para preparar un mortero epóxico de reparación en elementos estructurales de concreto o como relleno de cangrejeras. Resistente a la humedad y a los ataques químicos.

E.2. COMPONENTES:

- Parte "A" Resina Epóxica
- Parte "B" Catalizador.

2.2.2 COLUMNAS

A. DEFINICION

HARMSSEN T. (2002, p.249)

Las columnas son elementos utilizados para resistir básicamente solicitaciones de compresión axial, aunque, por lo general, ésta actúa en combinación con corte, flexión o torsión ya que en las estructuras de concreto armado, la continuidad del sistema genera momentos flectores en todos sus elementos.

Según el tipo de refuerzo transversal las columnas se pueden clasificar en columnas con estribos o con refuerzo en espiral. Las primeras son generalmente de sección rectangular, cuadrada, T ó L, sin embargo, pueden tener forma triangular, octogonal, etc. Las varillas de acero longitudinal están dispuestas de modo que haya una en cada vértice de la sección. Por su parte, las columnas con refuerzo en espiral presentan zunchado continuo provisto por una hélice o espiral de poco paso hecha de alambre o varilla de diámetro pequeño. Deben contar como mínimo con 6 varillas longitudinales dispuestas circularmente

Según la importancia de las deformaciones en el análisis y diseño, las columnas pueden ser cortas o largas. Las columnas cortas son aquéllas que presentan deflexiones laterales que no afectan su resistencia. Por el contrario, las columnas largas ven reducida su resistencia por ellas.

B. DISEÑO DE COLUMNAS.

El diseño de columnas consiste esencialmente en la selección de una sección transversal adecuada con refuerzo para resistir una combinación requerida de carga axial factorizada P_u y momento factorizado M_u , incluyendo la consideración de la esbeltez de la columna.

B.1. REQUISITOS DE DISEÑO.

El diseño o la investigación de un elemento "corto" a compresión se basan principalmente en la resistencia de su sección transversal. La resistencia de la sección transversal bajo una carga combinada axial y de flexión debe satisfacer tanto el equilibrio de fuerzas como la compatibilidad de deformaciones.

La carga axial nominal combinada con la resistencia a momento (P_n , M_n) se multiplica por el factor apropiado de reducción de resistencia, Φ , para obtener la resistencia de diseño (ΦP_n , ΦM_n) de la sección. La resistencia de diseño debe ser igual o mayor que la resistencia requerida.

$\Phi P_n > P_u$	$\Phi M_n > M_u$
$\Phi V_n > V_u$	$\Phi T_n > T_u$

C. ANÁLISIS Y DISEÑO DE COLUMNAS CORTAS DE CONCRETO ARMADO

C.1. ANÁLISIS DE COLUMNAS CORTAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN PURA

HARMSSEN T. (2002, p.68)

La resistencia de columnas cortas de concreto armado sometidas a compresión pura está dada por la siguiente expresión:

$$P_n = A_{st} f_y + (A_g - A_{st}) f'_c$$

Donde:

A_{st}: Área de refuerzo longitudinal

A_g: Área de la sección bruta de la columna

Sin embargo, esta carga está por encima de los valores registrados experimentalmente, lo cual se debe a que las probetas utilizadas para la determinación de la resistencia máxima del concreto se elaboran en condiciones diferentes que los elementos ensayados. Se ha determinado que la resistencia de rotura del concreto en compresión en estos miembros es igual al 85% de la resistencia máxima obtenida en la prueba del cilindro. Por lo tanto, la resistencia última es:

$$P_n = A_{st} f_y + 0.85(A_g - A_{st}) f'_c$$

NILSON A. (2001, p.243)

Con respecto al código ACI 10.3.5 dice que la resistencia de diseño útil de una columna cargada axialmente debe determinarse con la ecuación (2), con la introducción de coeficientes de reducción de resistencia. Los coeficientes del ACI son menores para columnas que para vigas; esto refleja la mayor importancia de las columnas en una estructura. En general, la falla de una viga afectará solamente una

región de la estructura, mientras que la falla de una columna, puede generar el colapso de la estructura completa. Además estos coeficientes reflejan las diferencias entre columnas con estribos y de aquellas reforzadas en espiral. Para columnas reforzadas en espiral se utiliza un coeficiente básico de $\phi=0.75$ y para columnas con estribos $\phi=0.70$.

El código ACI 10.3.5 establece una limitación adicional en la resistencia de las columnas con el fin de compensar excentricidades accidentales de cargas no tratadas en el análisis. Esto podría lograrse especificando una excentricidad mínima o más directamente, con la determinación de un límite superior en capacidad, menor que la resistencia calculada de diseño. Este límite superior se toma igual a 85 veces la resistencia de diseño para columnas reforzadas en espiral y 0.80 veces la resistencia calculada para las columnas con estribos. Entonces de acuerdo con el código ACI 10.3.5 se tiene:

- Si el refuerzo transversal está constituido por espirales:

$$\phi P_{n(max)} = 0.85 \phi [0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

- Si el refuerzo transversal está constituido por estribos:

$$\phi P_{n(max)} = 0.80 \phi [0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

Los valores de P_u no podrán ser mayores que ϕP_n tanto para columnas sometidas a compresión pura como para columnas a flexo-compresión.

C.2. DETALLES EN COLUMNAS

C.2.1. REFUERZO LONGITUDINAL

NTE E.060 (2010)

- **Límites Del Refuerzo De Elementos a Compresión**

El área de refuerzo longitudinal total, A_{st} , para elementos en compresión no compuestos no debe ser menor que 0,01 ni mayor que 0,06 veces el área total, A_g , de la sección transversal.

El número mínimo de barras longitudinales en elementos sometidos a compresión debe ser de cuatro para barras dentro de estribos circulares o rectangulares, tres para barras dentro de estribos triangulares y seis para barras rodeadas por espirales.

C.2.2. REFUERZO TRANSVERSAL

Los requisitos para el refuerzo transversal pueden ser omitidos cuando los ensayos y el análisis estructural muestren una adecuada resistencia y factibilidad de construcción.

- **Estribos:**

Los estribos para elementos sometidos a compresión deben cumplir con lo siguiente:

- ✓ Todas las barras no preesforzadas deben estar confinadas por medio de estribos transversales de por lo menos 8 mm para barras de hasta 5/8", de 3/8" para barras longitudinales de más de 5/8" hasta 1" y de 1/2" para barras longitudinales de mayor diámetro y para los paquetes de barras. Se permite el uso de alambre corrugado o refuerzo electrosoldado de alambre con un área equivalente.
- ✓ El espaciamiento vertical de los estribos "So" no debe exceder 16 veces el diámetro de las barras longitudinales, 48 veces el diámetro de la barra o alambre de los estribos ni la menor dimensión transversal del elemento sometido a compresión.
- ✓ La distancia vertical entre el primer estribo y la parte superior de la zapata, viga o losa no debe ser mayor a la mitad del espaciamiento entre estribos. La distancia vertical entre el último estribo y el refuerzo horizontal más bajo de la viga, ábaco o losa superior no debe ser mayor a la mitad del espaciamiento entre estribos.

2.2.3 REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS

A. DEFINICIÓN

JÁCOME P. (2016, p.44)

El Reforzamiento de estructuras está dirigido a incrementar la capacidad de carga y serviciabilidad de una estructura. Se realiza cuando existen nuevas solicitudes, devolviéndole su funcionalidad. Generalmente estas nuevas solicitudes se presentan por el aumento en su carga de servicio, problemas de durabilidad debido a materiales de construcción pobres e inapropiados, cambios en el ambiente omitidos en el estudio y diseño inicial, incremento de cargas originada por el cambio de uso de la estructura o incremento de la vida útil de la estructura. El reforzamiento de una estructura surge como una necesidad para hacer frente a una carencia resistente de la misma.

En la actualidad se han desarrollado nuevas técnicas empleadas en el reforzamiento, reparación y rehabilitación estructural, las técnicas que vienen no solo a revolucionar y perfeccionar la industria de la construcción, mejor aún, para garantizar la seguridad de las construcciones.

B. INSPECCIÓN IN SITU

SERNA S. (2011, p.51)

Para realizar un reforzamiento se debe realizar una inspección in situ para ver las condiciones (Buena, regular y mala) en que se encuentra la estructura tomando en cuenta:

- Edad y estado de conservación.
- Características de materiales y número de pisos.
- Configuración geométrica y arquitectónica.
- Proyectos pasados: reparaciones, adiciones estructurales.

Después de hacer un análisis de dicha estructura se decidirá si se hará una rehabilitación, si la estructura solo presenta daños ligeros, o un reforzamiento, de lo contrario podrá procederse a su demolición.

C. ¿POR QUÉ REFORZAR?

C.1. CAUSAS DEL REFUERZO

ANGULO X. (2012, p.7)

La necesidad de reforzar una columna o soporte puede plantearse en cualquier instante de su vida útil o al llegar al final de ella si la estructura se mantiene en buen estado, y puede estar motivada por causas diversas:

- Errores de Proyecto
- Deficiencias de ejecución
- Incorrecto proceso constructivo
- Actualización a nuevos reglamentos
- Cambio de uso resultante en incremento de cargas
- Daños estructurales por eventos accidentales (sismos, impactos, explosiones, etc).
- Corrosión en el acero de refuerzo.
- Eliminación total o parcial de elementos estructurales existentes.

D. TIPOS DE INTERVENCIÓN

YAGUAL D. (2014, p4)

D.1. PREVENTIVA

- Disminuir la vulnerabilidad de los elementos de la estructura.
- Actualización por nuevas cargas o reglamentos vigentes.

D.2. CORRECTIVA

- Restituir condiciones originales en elementos dañados (fuego, ambientes agresivos, sismos, etc.)
- Mejorar comportamiento.

E. TIPOS DE REFORZAMIENTO

JÁCOME P. (2016, p.44-56)

E.1. ARRIOSTRAMIENTOS METÁLICOS EN EDIFICIOS ELEVADOS.

Los arriostramientos metálicos en los edificios de varias plantas permiten restringir los movimientos horizontales (viento y sismo fundamentalmente). A medida que el edificio gana en altura los sistemas de arriostramiento son más necesarios.

FIGURA 3: Edificio con Arriostramiento Metálico



Fuente: Jácome P. (2016, p.45).

E.2. MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Los muros de ductilidad limitada se caracterizan por tener una gran capacidad rigidez y ductilidad limitada en un sistema estructural, apto de soportar con facilidad la resistencia sísmica y las cargas gravitatorias. Estas características que no desarrollan desplazamientos inelásticos importantes. La importancia estructural de este sistema radica en el uso de muros de hormigón, lo cual nos asegura que no se produzcan cambios bruscos en las propiedades resistentes y principalmente en las rigideces.

FIGURA 4: Armado de Muros de Ductilidad limitada.



Fuente: Chillagana J., 2013, extraído de Jácome P. (2016, p.47).

E.3. PLETINAS METÁLICAS

El refuerzo con pletinas metálicas de acero solamente se aplica en columnas de sección rectangular o cuadrada, y su forma de colocar es pegándola y/o clavándolas en los elementos estructurales. Las pletinas se adhieren en las cuatro caras de la columna con resinas epóxicas, pernos, o con ambos elementos. Ello consigue confinar el soporte, con la mejora de la ductilidad, rigidez y resistencia del elemento.

FIGURA 5: Reforzamiento con Pletinas Metálicas



Fuente: Garzón J., 2009, recuperado de Jácome P. (2016, p.53)

E.4. REFUERZO CON FRP (FIBER – REINFORCED POLYMER)

YAGUAL D. (2014, p15)

La técnica de refuerzo de elementos estructurales con el sistema FRP es una de las más comunes en el mundo, esta técnica consiste en enrollar las fibras alrededor del elemento estructural que se quiere reforzar y es posible colocar una o más capas de láminas de este material dependiendo de la necesidad.

Esta técnica permite que aumente en gran medida la ductilidad y capacidad de absorción de energía del elemento estructural, produciéndose además un aumento en su resistencia mecánica.

FIGURA 6: Refuerzo con el Sistema FRP.



Fuente: Garzón J., 2009, extraído de Jácome P. (2016, p.55).

E.5. ENCAMISADOS DE ACERO

JÁCOME P. (2016, p.51-52)

El empleo de acero para reforzar elementos de concreto armado es un método clásico de refuerzo muy conocido por todo el mundo. Dentro de esta técnica de refuerzo se han planteado diversas tipologías. En primer lugar se tienen los encamisados de chapa continua, que se ejecutan envolviendo al soporte con chapas de acero y soldando las esquinas libres de éstas. En el caso de secciones cuadradas, pueden emplearse como camisas, dos perfiles en U o dos chapas de acero dobladas en forma de L. El espacio entre el encamisado y el soporte original

se rellena con resinas epóxicas, morteros de cemento o con hormigón. De esta forma, la rotura será imposible mientras no falle el tubo que lo envuelve.

Este método ha resultado ser muy efectivo, al proveer al hormigón del soporte de un confinamiento lateral que hace que la ductilidad y la resistencia sea alta y permita admitir los esfuerzos axiales, cortantes y flectores que se incrementen.

FIGURA 7: Encamisado de Acero



Fuente: Garzón J., 2009, extraído de Jácome P. (2016, p.52)

E.6. ENCAMISADO EN CONCRETO ARMADO

JÁCOME P. (2016, p.48-49)

El reforzamiento por encamisado de una columna de concreto armado permite el aumento de su capacidad resistente, se realiza agregando refuerzo longitudinal y transversal o una malla electrosoldada alrededor de la sección original y recubrirla con concreto premezclado o lanzado. Cuando el refuerzo de un elemento estructural se realice mediante su encamisado con concreto armado, habrá que preparar la superficie del elemento para garantizar una buena adherencia entre el concreto nuevo y el viejo, además de evitar que ésta se rompa por contracciones volumétricas durante el fraguado.

SOTO E. (2008, p.85)

Se utiliza cuando el elemento está muy dañado y requiere una mayor capacidad resistente, aumentando para ello su sección transversal mediante

elementos que rodean al anterior. Debido al aumento en la sección de la columna, la resistencia axial, flexión y cortante, se incrementan. El encamisado no sólo permite reparar elementos, sino que logra aumentar su resistencia y rigidez originales. Es por ello, que a esta técnica también se le considera como un método de refuerzo.

FIGURA 8: Encamisado de Columnas



Fuente: Garzón J., 2009, extraído de Jácome P. (2016, p.51).

E.6.1. ANÁLISIS DEL ENCAMISADO

TERÁN A. (2000, p.96)

Se considera suficiente un análisis elástico de la estructura para determinar las fuerzas de diseño. Para este efecto puede suponerse un comportamiento monolítico del elemento existente y su camisa cuando cumplan los requisitos que se señalan en el siguiente inciso para la transmisión de esfuerzos. En el cálculo de las áreas de los elementos encamisados deben distinguirse dos casos:

- **Elementos sin daño.** Se sugiere utilizar el concepto de sección transformada para convertir la sección compuesta en una sección homogénea equivalente.
- **Elementos dañados.** Se recomienda considerar sólo la camisa, despreciando la contribución de la sección original.

E.6.2. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

CÓDIGO ACI 369-06 (2014)

Cuando se utiliza esta técnica reforzamiento se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos constructivos:

- Para un mejor desempeño se recomienda un encamisado completo, es decir, en todas las caras de la columna, pero ello dependerá del acceso que se tenga a la zona dañada, pero muchas veces no se tiene acceso y por ello se aplica solamente en una, dos o tres caras.
- Para incrementar la resistencia axial, a flexión y cortante, el refuerzo longitudinal debe continuar a través de la losa de entepiso.
- La resistencia a compresión del concreto del encamisado debe ser mayor que 210 kg/cm² y mayor que el f'_c del concreto utilizado en la columna original.
- La superficie del elemento debe estar limpia y rugosa para garantizar una buena adherencia entre el concreto nuevo y el existente, promoviendo con ello, un comportamiento monolítico.
- El revenimiento y el tamaño máximo del agregado grueso serán de acuerdo con la separación mínima del refuerzo y la distancia mínima entre la cimbra y el concreto existente.
- Cuando el encamisado no sea completo, deberá verificarse la necesidad de colocar elementos de conexión que garanticen la transmisión de los esfuerzos cortantes entre el encamisado y el elemento por reforzar.
- Para garantizar un comportamiento monolítico del elemento encamisado, es necesario tener un adecuado mecanismo de transferencia de cortante en la zona de contacto entre el encamisado y el elemento existente, tal que evite el movimiento relativo entre ambos concretos.

- La cuantía de refuerzo del encamisado con respecto al área encamisada debe estar limitado entre 0.015 y 0.04. (UNDP/UNIDO, 1983)
- La resistencia a compresión ($f'c$) del concreto nuevo debe ser mayor que la del concreto existente por 50 kg/cm². (UNDP/UNIDO, 1983)

E.6.3. CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS Y DISEÑO DEL ENCAMISADO

CÓDIGO ACI 369-06 (2014)

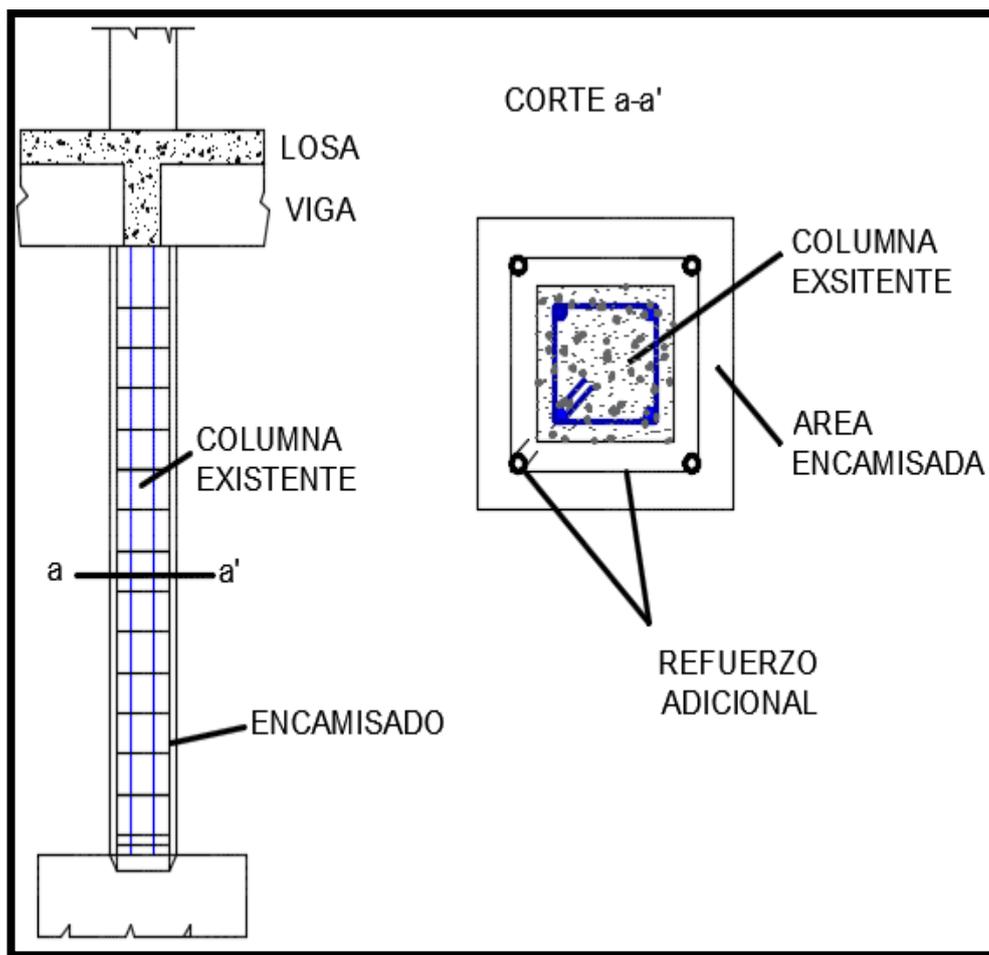
Al utilizar el encamisado de concreto como técnica de reforzamiento y reparación se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos en su análisis y diseño.

- Los elementos encamisados se pueden analizar como elementos compuestos suponiendo una perfecta adherencia entre el concreto nuevo y el existente, siempre que se asegure un comportamiento monolítico.
- Si sólo se encamisa la columna en el entrepiso se obtiene un incremento en resistencia ante carga axial y fuerza cortante, y un comportamiento dúctil, pero no se altera la resistencia original a flexión. (fig. 9).
- Para incrementar la resistencia a flexión es necesario extender el encamisado a través de la losa, prolongando el acero longitudinal y añadiendo algunos estribos que atraviesen el alma de las vigas (fig. 10).
- Cuando existen restricciones de espacio, es posible encamisar uno, dos o tres lados únicamente (Fig. 11). En tal caso se puede recurrir al uso de ganchos estribos soldados o conectores entre el refuerzo longitudinal.
- Si la columna es de sección rectangular el refuerzo se concentra cerca de las esquinas para permitir confinarlo con estribos, o bien se distribuye de manera uniforme uniendo el refuerzo nuevo al existente mediante conectores soldados.
- Como en todo proyecto de reforzamiento, en el diseño del encamisado, se debe considerar una probable redistribución de las cargas en la estructura, posibles

cambios en los mecanismos de falla, y un cambio en las propiedades dinámicas de la estructura.

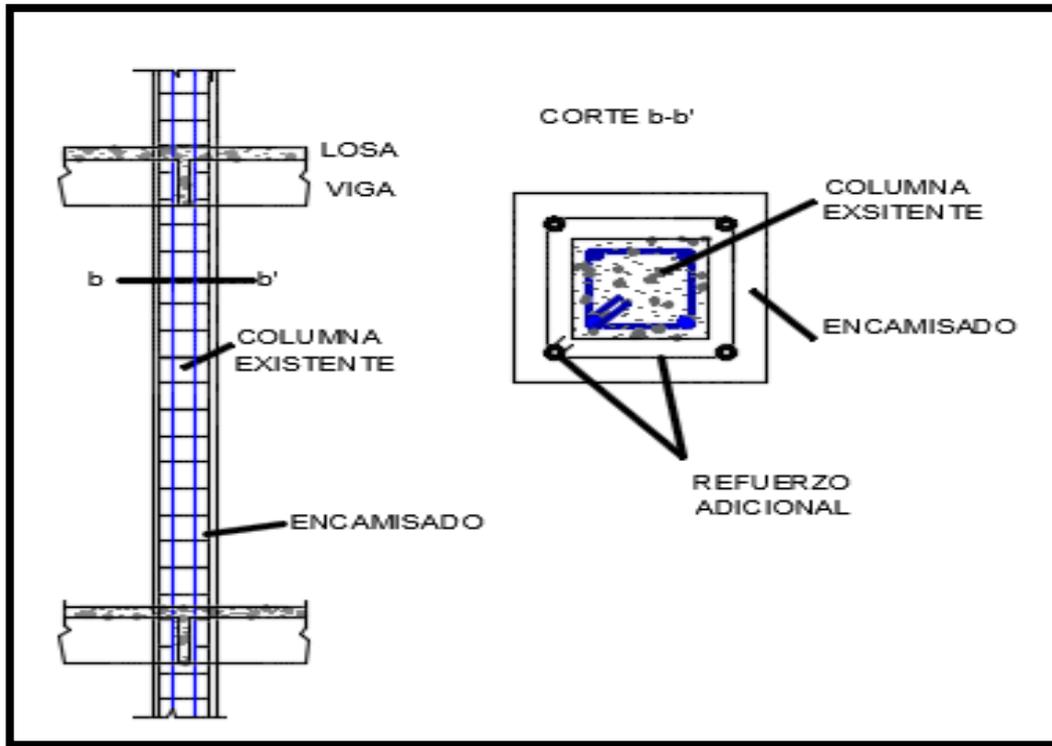
- Si bien existe incertidumbre en la distribución de las cargas entre el elemento existente y el encamisado, un análisis suponiendo un comportamiento monolítico entre el encamisado y el elemento existente proporciona un resultado razonable para el diseño.
- Para obtener las propiedades geométricas de los elementos, se puede utilizar el método de la sección transformada equivalente. Si existe daño previo en el elemento existente, es recomendable ignorar la contribución de la rigidez del elemento encamisado.

FIGURA 9: Encamisado de una columna hasta el entrepiso.



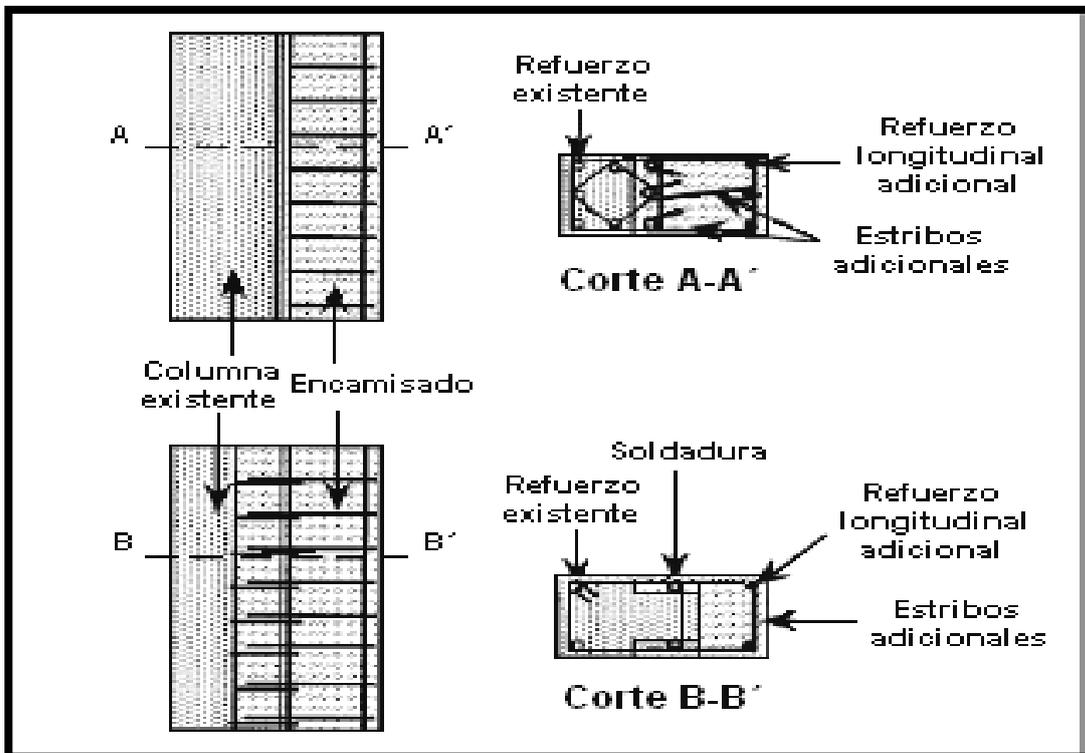
Fuente: UNDP/UNIDO (1983), extraído de Soto E. (2008, p.87).

FIGURA 10: Encamisado de una columna hasta la losa.



Fuente: UNDP/UNIDO (1983), extraído de Soto E. (2008, p.87).

FIGURA 11: Encamisado en una cara de la columna.



Fuente: Aguilar et al. (1996), extraído de Soto E. (2008, p.87).

E.6.4. ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE ENCAMISADO CON CONCRETO ARMADO EN COLUMNAS

RODRÍGUEZ Y PARK (1994), extraído de SOTO E. (2008, p101-102).

Ensayó cuatro especímenes bajo carga axial y lateral cíclica, el objetivo era investigar el incremento de resistencia, rigidez y ductilidad, que se puede alcanzar encamisando con concreto a columnas dañadas o sin daño.

- Las pruebas muestran que los efectos del daño previo en las columnas, para los dos diferentes detallados de refuerzo utilizado en las columnas, no tienen una influencia significativa en todo el desempeño de las columnas encamisadas.
- Los especímenes con encamisado de reparación alcanzaron casi tres veces la resistencia y rigidez de los especímenes originales.
- Los resultados de la investigación indican que el encamisado con concreto reforzado incrementa significativamente la rigidez, la resistencia y la ductilidad de las columnas.

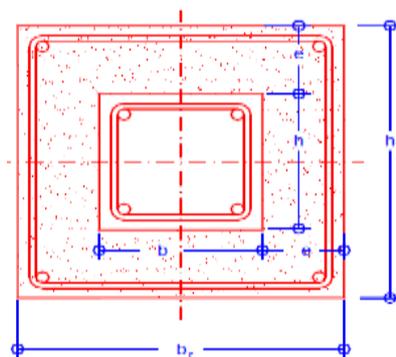
E.6.5. DISEÑO DEL ENCAMISADO

PÉREZ J. (2014, p.11)

• CÁLCULO DEL REFUERZO

El refuerzo debe resistir por sí mismo la totalidad de las cargas. Para columnas sometidas a compresión axial, se tiene:

FIGURA 12: Cálculo del área de encamisado.



Fuente: Pérez J. (2014, p.11)

$$A_c = (b_r \cdot h_r) - (b \cdot h)$$

$$A_c = (b+2e) \cdot (h+2e) - (b \cdot h)$$

$$A_c = 4e^2 + 2e \cdot (b+h)$$

Donde: A_c = Área de la camisa

El hormigón ha de resistir al menos la mitad del esfuerzo axial.

$$\frac{P_n}{2} = 0.85 f'_{c_c} [4e^2 + 2e(b+h)]$$

Para determinar el acero se emplea la siguiente formula:

$$P_n = 0.85 A_c f'_{c_c} + A_{st} f_y$$

2.2.4 CONCRETO

CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA S.A (2010)

Se denomina concreto a la mezcla de cemento, arena gruesa, piedra y agua, que se endurece conforme avanza la reacción química del agua con el cemento.

La cantidad de cada material en la mezcla depende de la resistencia que se indique en los planos de estructuras. Siempre la resistencia de las columnas y de los techos debe ser superior a la resistencia de cimientos y falsos pisos. Después del vaciado, es necesario garantizar que el cemento reaccione químicamente y desarrolle su resistencia. Esto sucede principalmente durante los 7 primeros días, por lo cual es muy importante mantenerlo húmedo en ese tiempo. A este proceso se le conoce como curado del concreto.

RIVVA E. (2007, p.37)

Las características del concreto han de ser función del fin para el cual está destinado. Por ello la selección de las proporciones de la unidad cúbica de concreto debe permitir obtener un concreto con la facilidad de colocación, peso unitario, resistencia, durabilidad y otras propiedades que se consideran necesarias para el caso particular para el cual la mezcla está siendo diseñada.

A. ESTADOS DEL CONCRETO:

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y CONCRETO (2004)

A.1. ESTADO FRESCO:

Al principio el concreto parece una masa. Es blando y puede ser trabajado o moldeado en diferentes formas. Y así se conserva durante la colocación y la compactación.

Las propiedades más importantes del concreto fresco son la trabajabilidad y la cohesividad.

A.2. ESTADO FRAGUADO:

Después, el concreto empieza a ponerse rígido. Cuando ya no está blando, se conoce como “fraguado” del concreto. El fraguado tiene lugar después de la compactación y durante el acabado. El concreto que está aguado o muy mojado puede ser fácilmente colocado, pero será más difícil darle un acabado.

A.3. ESTADO ENDURECIDO:

Después de que el concreto ha fraguado empieza a ganar resistencia y se endurece. Las propiedades del concreto endurecido son resistencia y durabilidad.

B. MATERIALES:

RIVVA E. (2007, p.24-27)

B.1. AGREGADOS:

Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto. Como agregados de las mezclas de mortero o concreto se pueden considerar, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula), no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland.

B.1.1. AGREGADO GRUESO:

Se define como agregado grueso al material retenido en el Tamiz de 4.75 mm (N° 4) y cumple con los límites establecidos en el Norma ASTM C33 / C33M – 16 y en la NTP 400.037. El agregado podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial.

Este agregado deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semiangular, duras, compactadas, resistente y de textura preferentemente rugosa.

Las partículas deberán ser químicamente estables deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humos, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

B.1.2. AGREGADO FINO:

Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa al tamiz 3/8" (9.52 mm) y que cumple con los límites establecidos en la norma ASTM C33 / C33M – 16 y en la NTP 400.037. El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactado y resistente.

El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosos o blandas, esquistos, pizarras. Álcalis, materia orgánica, sales, u otras.

B.2. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS:

ASTM INTERNACIONAL C29/29M-07 (2007).

B.2.1. PESO UNITARIO O PESO VOLUMÉTRICO UNITARIO:

Es el peso de la cantidad necesaria de agregado que llena un recipiente de volumen conocido. Físicamente es el volumen ocupado por el agregado y los vacíos entre sus partículas. Para agregados, tanto finos como gruesos, o las combinaciones de éstos, los métodos para determinar los pesos volumétricos describen tres formas de llenar el recipiente: varillado o picado, sacudido y vaciado con pala. Prueba estandarizada por la norma ASTM C29/29M-07 y la NTP 400.017.

- **Peso Volumétrico Compacto:**

Compactación por varillado en el llenado del recipiente. El procedimiento de varillado es aplicable a agregados que tienen un tamaño máximo de 40 mm (1½ pulgadas) o menos.

- **Peso Unitario Suelto:**

El procedimiento de palear el agregado para llenar el recipiente y utilizar la compactación que alcance con la caída libre desde la pala, es utilizado para determinar el peso unitario suelto de agregados que tengan un tamaño máximo de 100 mm (4 pulgadas) o menos.

B.2.2. PESO ESPECÍFICO:

NORMA TECNICA PERUANA 400.037 (2014)

- **Peso específico. (P.e.).**

Se define como la relación entre la masa de un volumen unitario del material y la masa de igual volumen de agua destilada, libre de gas, a una temperatura especificada. Según el sistema internacional de unidades (ISD el término correcto es densidad).

- **Peso específico aparente (P.e.a).**

Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario del material, a la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua libre de gas, a una temperatura especificada. Cuando el material es sólido se considera un volumen de la porción impermeable.

- **Peso específico de masa (P.e.m).**

Viene hacer la relación entre la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material), en la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen de agua destilada libre de gas y a una temperatura especificada.

- **Peso específico de masa saturada superficialmente seca (P.e.s.s.s).**

Tiene la misma definición que el peso específico de masa con la salvedad de que la masa incluye el agua en los poros permeables. El peso específico que más se utiliza, por su fácil determinación para calcular el rendimiento del concreto o la cantidad necesario de agregado para un volumen dado de concreto; es aquel que está referido a la condición de saturado con superficie seca del agregado.

B.2.3. ABSORCIÓN:

ASTM INTERNACIONAL C127-04 (2004).

Capacidad que tiene los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura interna, al ser sumergirlos durante 24 horas en esta. La relación del incremento en peso de una muestra seca, expresada en porcentaje, se denomina porcentaje de absorción. Esta particularidad de los agregados, que depende de la porosidad, es de suma importancia para realizar correcciones en las dosificaciones de mezclas de concreto. A su vez, la absorción influye en otras propiedades del agregado, como la adherencia con el cemento, la estabilidad

química, la resistencia a la abrasión y la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo. Esta práctica estandarizada también está regida por la norma ASTM C127-04.

B.2.4. CONTENIDO DE HUMEDAD:

ASTM INTERNACIONAL C566-97 (2004)

Es la cantidad de agua que contiene el agregado en un momento dado. Cuando dicha cantidad de agua se expresa como porcentaje de la muestra seca (en estufa), se le denomina porcentaje de humedad, pudiendo ser mayor o menor que el porcentaje de absorción. Los agregados generalmente se los encuentra húmedos, y varían con el estado del tiempo, razón por la cual se debe determinar frecuentemente el contenido de humedad, para luego corregir las proporciones de una mezcla. Se calcula con el siguiente algoritmo:

$$p(\%) = \frac{W-D}{D} * 100 = \frac{Ww}{Ws} * 100$$

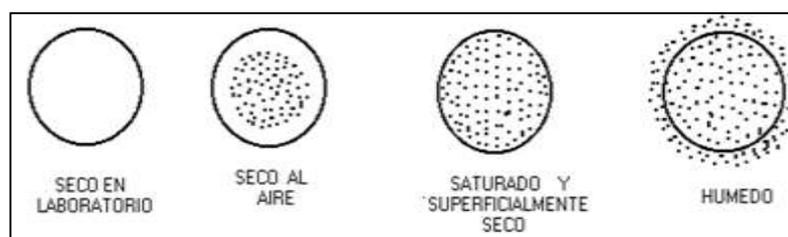
P= Contenido de humedad total evaporable, (%)

W = Masa de la muestra original (gr)

D = Masa de la muestra seca (gr)

Los estados de saturación del agregado son como se muestra:

FIGURA 13: Estados de saturación del agregado.



Fuente: ASTM Internacional C56/C56M (2004).

- **SECO.** No existe humedad alguna en el agregado. Se lo consigue mediante un secado prolongado en una estufa a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- **SECO AL AIRE.** Cuando existe algo de humedad en el interior del agregado. Es característica en los agregados, que se han dejado secar al medio

ambiente. Al igual que en el estado anterior, el contenido de humedad es menor que el porcentaje de absorción.

- **SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO.** Estado en el cual, todos los poros del agregado se encuentran llenos de agua, condición ideal de un agregado, en la cual no absorbe ni cede agua.
- **HÚMEDO.** En este estado existe una película de agua que rodea al agregado llamada agua libre, que viene a ser la cantidad de exceso, respecto al estado saturado superficialmente seco. El contenido de humedad es mayor que el porcentaje de absorción. El agregado fino retiene mayor cantidad de agua que el agregado.

NOTA: El contenido de humedad es una de las propiedades físicas del agregado que no se encuentra limitada en especificaciones, sin embargo, en los agregados finos, el contenido de humedad puede llegar a representar un 8% a más, mientras que en el agregado grueso dicho contenido de humedad, puede representar un 4%.

Tabla 5: Masa mínima de muestra para prueba de Contenido de humedad en agregados.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL mm (pulg)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (kg)
4.75 (0.187) (Nº4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2
19.0(3/4)	3
25.0 (1)	4
37.5 (1 1/2)	6
50 (2)	8
63 (2 1/2)	10
75 (3)	13
90 (3 1/2)	16
100 (4)	25
150 (6)	50
A Basado en tamices que cumplen con norma ASTM E-11 B Determina la masa mínima para agregado liviano, multiplicando el valor listado, por la masa unitaria suelta del	

agregado en kg/m^3 (determinada con el método del ensayo ASTM C29/C29M y dividiendo por 1600.

Fuente: Norma ASTM C566/C566M (2004).

B.2.5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

ASTM INTERNACIONAL C136/C136M-05 (2005)

Es el estudio en forma y tamaño en que se encuentran distribuidas las partículas de un agregado. La cantidad de material se considerará de acuerdo a la NTP 400.012 y su análoga la Norma ASTM C136/C136M-05, 300g, para el agregado fino o de acuerdo a la tabla 6 y para el grueso de acuerdo a la tabla 7.

Tabla 6: Porcentajes recomendables de granulometría para agregado fino.

MALLA (Nº)	DIMENSION DE MALLA (mm)	% QUE PASA
3/8	9.52	100
4	4.75	95-100
8	2.36	80-100
16	1.18	50-85
30	0.6	25-60
50	0.3	10-30
100	0.15	2-10

Fuente: ASTM C 136/C136M-05 (2005).

Tabla 7: Cantidad de muestra a ensayar para el agregado grueso para análisis granulométrico.

TAMANO MAXIMO DE LAS PARTICLAS	PESO APROXIMADO DE LA MUESTRA (kg)
3/8"	1.00
1/2"	2.00
3/4"	5.00
1"	10.00
1 1/2"	15.00
2"	20.00
2 1/2"	35.00
3"	60.00
3 1/2"	100.00

Fuente: Norma ASTM C136/C136M-05 (2005).

B.2.6. MÓDULO DE FINURA

ASTM INTERNACIONAL C33 / C33M –16 (2016).

Se puede definir como el indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas en un agregado así mismo el módulo de finura pueden considerarse como un tamaño promedio ponderado, pero que representa la distribución de las partículas. Es preciso mencionar que el módulo de finura está en relación inversa tanto a las áreas superficiales como al valor lubricante del agregado; por lo que la demanda de agua por área superficial será menor mientras mayor sea el módulo de finura.

Se considera que el módulo de finura de una arena adecuada para producir concreto debe estar entre 2.3 y 3.1 o un valor menor que 2.0 indica una arena fina, 2.5 una arena de finura media, y más de 3 una arena gruesa.

Además, se estima que con agregados finos cuyos módulos de finura varían entre 2.2 y 2.8 se obtiene concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación y aquellos que están comprendidos entre 2.8 y 3.2 son las más indicas para producir concretos de alta resistencia.

B.2.7. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL:

ASTM INTERNACIONAL C136/C136M-05 (2005).

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado, la malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño.

La norma ASTM C136/C136M-05 y la norma ASTM C33 / C33M – 16 define al “Tamaño Máximo Nominal” como a aquel que “corresponde el menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido”.

NTE E.060 (2010)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- 1/3 del diámetro o dimensión mínima de la sección transversal de un espécimen.
- 1/3 de peralte de las losas.
- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo; paquetes de barras, torones o ductos de pre-esfuerzo.

NTP 400.011. (2014)

Cuando se sobrepasa el tamaño máximo de $1\frac{1}{2}$ " los incrementos en resistencia debido a la reducción de agua se compensan por los efectos de la menor área de adherencia y las discontinuidades producidas por los agregados muy grandes, según la NTP 400.011.

B.3. AGUA:

ASTM INTERNACIONAL C1602 / C1602M – 12 (2012).

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma ASTM C1602 / C1602M – 12.

Está prohibido el empleo de aguas ácidas, calcáreas, minerales, carbonatadas, aguas provenientes de minas o relaves, aguas que contengan residuos minerales o industriales, aguas con un contenido de sulfatos mayor del 1%, aguas que contengan algas, materia orgánica, humus o descargas de desagües, aguas que contengan azúcares o sus derivados.

Igualmente está prohibido el empleo de aquellas aguas que contengan porcentajes significativos de sales de sodio o de potasio disueltas, en todos aquellos casos en que la reacción álcali – agregado es posible.

Es posible la utilización de agua potable o no potable, en caso del uso del segundo tipo de agua será con previa autorización de la inspección, únicamente si: El agua potable no necesita de pruebas o ensayos previos para su utilización.

B.4. CEMENTO:

ASTM INTERNACIONAL C150/C150M-07 (2007)

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. El producto resultante de la molienda de estas rocas es llamada Clinker y se convierte en cemento cuando se le agrega yeso para que adquiera la propiedad de fraguar al añadirle y endurecerse posteriormente. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominado concreto. El cemento empleado en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de las siguientes normas:

- Los cementos Portland normal tipo I, II o V cumplen con el marco de la norma ASTM C150-07 o su análogo la norma NTP 334.009.53.
- Los cementos Portland puzolánicos Tipo IP y IPM, deberán cumplir con los requisitos de la norma ASTM C595/C595M-09 o su análoga la NTP 334.090.54.

C. PROPIEDADES DEL CONCRETO:

RIVVA E. (2007, p.37-50)

Las propiedades del concreto son sus características o cualidades básicas de este. Las características del concreto han de ser función del fin para el cual está destinado. Por ello la selección de las proporciones de la unidad cubica de concreto debe permitir obtener un concreto con facilidad de colocación, peso unitario, resistencia, durabilidad u otras propiedades que se consideran necesarias para el caso particular para el cual la mezcla está siendo diseñada.

A continuación, se desarrollan algunas de las propiedades del concreto:

C.1. TRABAJABILIDAD:

Se entiende por trabajabilidad a aquella propiedad del concreto al estado no endurecido, la cual determina su capacidad de ser colocado adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad; así como para ser acabado sin que se presente segregación.

C.2. CONSISTENCIA:

La consistencia del concreto es una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose con ello que cuanto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación.

Las normas ASTM clasifican al concreto por el asentamiento de la mezcla fresca. El método de determinación esta estandarizado por la norma ASTM C143, conocido como el método del cono de asentamiento, método del cono de Abrams, o método de Slump, y define a la consistencia de la mezcla por el asentamiento, medido en pulgadas o en milímetros, de una masa de concreto que previamente ha sido colocada y compactado en un molde metálico de dimensiones definidas en la norma y sección tronco cónica. (ASTM INTERNACIONAL C143, 2009)

Por consiguiente, se puede definir el asentamiento como la medida de la diferencia de altura entre el molde metálico estándar y la masa de concreto después que ha sido retirado el molde que la recubría.

Al controlar el asentamiento en obra se controla directamente la uniformidad en las consistencias y trabajabilidad necesarias para una adecuada colocación; e indirectamente el volumen unitario de agua, la relación agua-cemento y las modificaciones en la humedad del agregado.

C.3. RESISTENCIA:

La resistencia del concreto es definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad.

La resistencia es considerada como una de las más importantes propiedades del concreto endurecido, siendo la que generalmente se emplea para la aceptación o rechazo del mismo.

C.4. DURABILIDAD:

El concreto debe ser capaz de endurecer y mantener sus propiedades en el tiempo aún en aquellas condiciones de exposición que normalmente podrían disminuir o hacerle perder su capacidad estructural. Por tanto, se define como concreto durable a aquel que puede resistir, en grado satisfactorio, los efectos de las condiciones de servicio a las cuales él está sometido. Entre los agentes externos o internos capaces de atentar contra la durabilidad del concreto se encuentran los procesos de congelación y deshielo; los de humedecimiento y secado; los de calentamiento y enfriamiento; la acción de agentes químicos, especialmente cloruros y sulfatos; y la de aditivos descongelantes.

C.5. PESO UNITARIO:

El peso unitario es la relación de peso (pasta, agregados, aire, etc.) del concreto por el volumen que ocupa. El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m³ (137 hasta 150 libras/piés³). El peso específico del concreto varía dependiendo de la cantidad

y el peso específico del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta el peso específico.

C.6. CALOR DE HIDRATACIÓN:

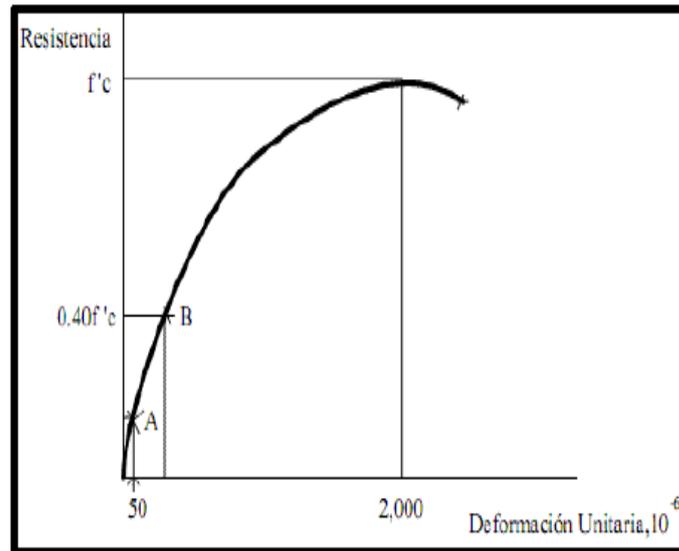
El calor de hidratación es el calor que se genera por la reacción entre el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depende, primariamente, de la composición química del cemento, siendo el silicato tricálcico (C3A) y la Alita (silicato bicálcico C3S) los compuestos más importantes para la evolución de calor. Relación agua-cemento, finura del cemento y temperatura de curado también son factores que intervienen. Se genera una gran cantidad de calor en los tres primeros días, con la mayor tasa de liberación de calor normalmente ocurriendo a lo largo de las primeras 24 horas.

C.7. ELASTICIDAD:

El concreto no es un material completamente elástico y la relación esfuerzo deformación para una carga en constante incremento adoptada generalmente la forma de una curva. Generalmente se conoce como Módulo de Elasticidad a la relación del esfuerzo a la deformación medida en el punto donde la línea se aparta de la recta y comienza a ser curva.

De acuerdo a la norma ASTM C469 / C469M – 14 el Módulo de Elasticidad (E_c) se obtiene calculando la pendiente del segmento de recta que pasa por los puntos A y B, para lo cual es necesario obtener del trazo de la curva (o en el transcurso de la prueba) la ordenada correspondiente a las 50 micro deformaciones y la abscisa correspondiente al esfuerzo $0.40f'_c$.

FIGURA 14: Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el Concreto Bajo Compresión.



Fuente: ASTM C469 / C469M -14 (2014).

Para el diseño estructural se supone un módulo de elasticidad constante en función de la resistencia a la compresión del concreto. En la práctica, el módulo de elasticidad del concreto es una magnitud variable cuyo valor promedio es mayor que aquel obtenido a partir de la fórmula establecida en la norma E.060 del RNE.

$$E_c = 15000 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

El módulo de elasticidad del concreto estructural normalmente varía entre:

$$1.4 \times 10^5 \text{ y } 4.2 \times 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Y se suele asumir como:

$$2.1 \times 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Una ecuación de amplio uso para calcular el módulo de elasticidad, dado en el ACI 318M-02, relaciona el módulo de elasticidad con la resistencia a la compresión, $f'c$ [kg/cm²], y el peso unitario del hormigón, w_c [kg/m³]. Esta ecuación es satisfactoria para valores de w_c entre 1500 y 2500 kg/m³. (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2010).

$$E_c \text{ (kg/cm}^2\text{)} = w_c^{1.5} 0.14 \sqrt{f'c}$$

C.8. ESCURRIMIENTO PLÁSTICO:

Se define como el alargamiento o acortamiento que sufre una estructura de concreto como consecuencia de una sollicitación uniforme y constante de tracción o compresión respectivamente.

La magnitud del escurrimiento plástico depende de la resistencia del concreto en el instante en que comienza a actuar la sollicitación permanente; de la constitución petrográfica de los agregados; o igualmente de la forma y tiempo de curado y de la intensidad del esfuerzo.

C.9. DILATACIÓN TÉRMICA:

La conductividad térmica es la medida de la velocidad con la cual el calor es transmitido a través de un concreto de área y espesor unitario cuando hay una diferencia unitaria de temperatura entre las dos caras. La conductividad térmica es utilizada, en conexión con el calor específico y la densidad en la determinación de un coeficiente denominado difusividad, el cual es un índice de la facilidad con la cual el concreto soporta los cambios de temperatura.

2.2.5 DISEÑO DE MEZCLAS

RIVVA E. (2007, p.15-16)

El concreto es un material heterogéneo el cual está compuesto principalmente de la combinación de cemento, agua, agregado fino y grueso y un pequeño volumen de aire atrapado.

La selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cubica de concreto, conocida usualmente como diseño de la mezcla, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad y consistencia adecuadas, y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador e indicados en el proyecto tanto de resistencia como de utilidad. En el diseño de las proporciones de la mezcla de concreto, el diseñador debe recordar que la composición de la misma está determinada por:

- Las propiedades que debe tener el concreto endurecido, las cuales son determinadas por el diseñador estructural y se encuentra indicadas en los planos y/o especificaciones técnicas.

- Las propiedades del concreto al estado no endurecido, las cuales generalmente son establecidas por la constructibilidad de la obra, de las técnicas a ser empleadas en la colocación del concreto, etc.
- El costo de la unidad cubica de concreto.

A. INFORMACIÓN NECESARIA EN EL DISEÑO:

RIVVA E. (2007, p.50-53)

Como se ha especificado anteriormente, en la selección de las proporciones de la mezcla de concreto es necesario conocer, además de las propiedades que se requieran y del empleo que se va a dar al concreto, así como las características geográficas y ambientales de la zona en la cual va ser utilizado, información básica sobre las propiedades de los materiales integrantes del mismo.

En este sentido y como cuestión fundamental, la selección de las proporciones de la mezcla deberá basarse en la información obtenida de los resultados de los ensayos de laboratorios de los materiales a ser utilizados. La información más útil para un adecuado diseño de la mezcla es la siguiente:

- Análisis granulométrico de los agregados
- Peso unitario compactado de los agregados (fino y grueso)
- Peso específico de los agregados (fino y grueso)
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso)
- Perfil y textura de los agregados
- Tipo y marca del cemento
- Peso específico del cemento
- Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

Es preciso mencionar que en este trabajo de investigación se utilizara el Método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados para realizar el diseño de mezcla.

B. COMPONENTES DEL DISEÑO:

LAURA S. (2006)

B.1. CEMENTO:

En el caso del cemento es importante conocer:

- Tipo y marca del cemento seleccionado.
- Peso específico del cemento.

B.2. AGUA:

En el caso del agua, si se emplea agua no potable se deberá realizar un análisis químico del agua y analizar el efecto del agua sobre el tiempo de fraguado, calor de hidratación y resistencia mecánica del concreto según los ensayos tratados anteriormente.

B.3. AGREGADOS:

En el caso de los agregados fino y grueso es importante conocer:

- Perfil y textura superficial
- Análisis granulométrico
- Peso específico de masa
- Peso unitario suelto y compactado
- Porcentaje de absorción contenido de humedad
- Presencia de materia orgánica.

C. PROCEDIMIENTO

LAURA S. (2006, p.5-10)

C.1. ELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

C.1.1. CÁLCULO DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

1° MÉTODO. Si se cuenta con un registro de ensayos de obras anteriores, deberá calcularse la desviación estándar, el registro deberá:

- Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a aquellos que se espera en la obra a ejecutar.
- Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño $f'c$ que este dentro del rango de ± 70 kg/cm² de la especificada para el trabajo a realizar.

Si se posee un registro de 03 ensayos consecutivos la desviación estándar se calculará haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S = Desviación estándar, en Kg/cm²

X_i = Resistencia de la probeta de concreto, en Kg/cm².

\bar{X} = Resistencia promedio de n probetas, en Kg/cm².

n = Número de ensayos consecutivos de resistencia.

- Consistir de por lo menos 30 ensayos consecutivos de resistencia.

Si se posee dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos un registro de 30 ensayos consecutivos, la desviación estándar promedio se calculara con la siguiente formula. (ASTM INTERNACIONAL, 2010).

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(s_1)^2 + (n_2 - 1)(s_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$

Donde:

S = Desviación estándar promedio en Kg/cm².

S₁, S₂ = Desviación estándar calculada por los grupos 1 y 2 respectivamente en Kg/cm².

n₁, n₂ = Número de ensayos en cada grupos, respectivamente.

2° MÉTODO. Si solo se posee un registro de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calculara la desviación estándar "s" correspondiente a dichos ensayos y se multiplicara por el factor de corrección indicado en la Tabla 8 para obtener el nuevo valor de "s".

Tabla 8: Factores De Corrección.

Muestras	Factor de corrección
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

Fuente: Laura S. (2006, p.6).

C.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA.

Una vez que la desviación estándar ha sido calculada, la resistencia a compresión promedio requerida f'_{cr} . Se obtiene como el mayor valor de las ecuaciones (1) y (2).

- A. Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a lo indicado en el Método 1 o el Método 2, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores determinados por las fórmulas siguientes usando la desviación estándar "s" calculada.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 35$$

Dónde:

S = Desviación estándar, en Kg/cm².

- B. Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizara la Tabla 9 o la Tabla 10, para la determinación de la resistencia promedio requerida.

Tabla 9: Grado de Control

Excelente en obra	10% - 12%
Bueno	15%
Regular	18%
Inferior	20%
Malo	25%

Fuente: Rivva E. (2007, p.61).

Tabla 10: Resistencia a la Compresión Promedio

f'_c	f'_{cr}
Menos de 210	f' _c +70
210 a 350	f' _c +84
Sobre 350	f' _c +98

Fuente: Laura S. (2006, p.6).

C.3. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (Slump).

Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente tabla:

Tabla 11: Consistencia, Asentamiento y Trabajabilidad.

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO	TRABAJABILIDAD
Seca	0 "(0mm) a 2" (50mm)	Poco trabajable
Plástica	3" (75mm) a 4" (100mm)	Trabajable
húmeda	≥5 " (125mm)	Muy trabajable

Fuente: Rivva, E. (2007, p.76).

Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requerido para la mezcla a ser diseñada, utilizando la Tabla 12 se selecciona un valor adecuado de acuerdo al trabajo a realizar. Se usa las mezclas de la consistencia más densas que pueden ser colocadas eficientemente.

Tabla 12: Asentamientos Recomendados para Varios Tipos de Construcción.

Tipos de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de sedimentación reforzados	8	2
Zapatas, simples cajones y muros de subestructura	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto ciclópeo y masivo	5	2

Fuente: ACI 211 (2010).

C.4. SELECCIÓN DE TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.

Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura.

El tamaño máximo nominal determinado aquí, será usado también como tamaño máximo simplemente.

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 40mm (1 1/2") y, en tamaños mayores solo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.

Tabla 13: Porcentaje que pasan por las siguientes mallas para determinación del tamaño máximo del agregado grueso.

Tamaño máximo nominal	Porcentajes que pasan por las siguientes mallas.							
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8
2"	95-100	...	35-70	...	10-30	...	0.5	...
1 1/2"	100	95-100	...	35-70	...	10-30	0.5	...
1"	...	100	95-100	...	25-60	...	0.10	0.5
3/4"	...	...	100	90-100	...	20-55	0.10	0.5
1/2"	...	...	...	100	90-100	40-70	0.15	0.5
3/8"	...	...	...	...	100	85-100	10-30	0.10

Fuente: Rivva, E. (2007, p.74).

C.5. ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE.

La tabla 14 preparada en base a las recomendaciones del comité 2011 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos elaborados con diferentes tamaños máximos de agregados con o sin aire incorporado.

Tabla 14: Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

	Agua, en L/m ³ , para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	11
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	12 4
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--- -
Cont. Aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0. 2
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	10 7
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	11 9
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	--- -
Promedio recomendable para el contenido total de aire (%)	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: ACI 211 y ACI 318 (2007)

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE 318 (2007)

Como se observa en la tabla 14, no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Se debe tener en cuenta que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar por encima o por debajo de dichos valores. Se puede

usar la siguiente tabla para calcular la cantidad de agua de mezcla tomando en consideración además de la consistencia y tamaño máximo del agregado, el perfil del mismo.

Tabla 15: Volumen unitario de agua de mezclado, para asentamientos y tamaño máximo nominal.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado o Grueso	Volumen unitario de agua (lt/m ³); para asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado redondeado o	Agregado angular	Agregado redondeado o	Agregado angular	Agregado redondeado o	Agregado angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: Rivva, E. (2007, p.83).

Los valores de la Tabla 15 corresponden a mezclas sin aire incorporado, para la elección del aire atrapado se usa la Tabla 16.

Tabla 16: Aire atrapado según el tamaño máximo nominal.

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%

Fuente: Rivva, E. (2007, p.89)

C.6. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO (A/C).

Existen dos criterios (por resistencia y por durabilidad), para la selección de la relación agua cemento a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores con el cual se garantiza el cumplimiento de las especificaciones. Es importante que la relación agua cemento a/c seleccionada con base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

C.6.1. POR RESISTENCIA

Tabla 17: Relación agua /cemento y Resistencia a compresión del concreto.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS f'_{cr} (kg/cm ²)	RELACIÓN AGUA / CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	SIN AIRE INCORPORADO	CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	...
400	0.43	...
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Laura S. (2006, p.10)

Tabla 18: Máxima Relación agua /cemento permisible para concreto sometidos a condiciones especiales de exposición.

RELACIÓN AGUA / CEMENTO	RESISTENCIA PROBABLE A LOS 28 DIAS(f'_{cr})	
	SIN AIRE INCORPORADO	CON AIRE INCORPORADO
0.35	420	335
0.45	350	280
0.54	280	225
0.63	225	180
0.71	175	140
0.80	140	110

Fuente: Laura S. (2006, p10).

C.6.2. POR DURABILIDAD.

El Reglamento Nacional de Edificaciones, manifiesta de que si se requiere un concreto de baja permeabilidad o el concreto ha de estar sometidos a congelación o deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 19.

Tabla 19: Requisitos para condiciones especiales de exposición.

Condición de la exposición	Relación máxima agua-material cementante (en peso) para concreto de peso normal	f'c mínimo(Mpa) para concretos de peso normal o con agregados ligeros
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	0.5	28
Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos des congelantes.	0.45	31
Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	0.4	35

Fuente: NTE. E.060 (2010).

C.7. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua entre la relación a/c. Sin embargo es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínima.

Tales requerimientos podrían ser especificados para asegurar un acabado satisfactorio.

$$\text{Contenido de cemento(kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{contenido de agua de mezcla(L/m}^3\text{)}}{\text{relacion a/c (para } f'_{cr}\text{)}}$$

$$\text{Volumen de cemento(m}^3\text{)} = \frac{\text{contenido de cemento(kg)}}{\text{peso especifico del cemento(kg/m}^3\text{)}}$$

C.8. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y FINO.

MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS.

LAURA S. (2006, p.14-15)

Las investigaciones realizadas en la Universidad de Maryland han permitido establecer que la combinación de los agregados fino y grueso, cuando éstos tienen granulometrías comprendidas dentro de los límites que establece la Norma ASTM C 33, debe producir un concreto trabajable en condiciones ordinarias, si el módulo de fineza de la combinación de agregados se aproxima a los valores indicados en la tabla 20.

Tabla 20: Módulo de fineza de la combinación de agregados.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos / metro cúbico indicados				
	5	6	7	8	9
3/8"	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.78	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.08	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: Laura S. (2006, p14).

* Los valores de la Tabla están referidos a agregado grueso de perfil angular y adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos.

** Los valores de la Tabla pueden dar mezclas ligeramente sobre-arenosas para pavimentos o estructuras ciclópeas. Para condiciones de colocación favorables pueden ser incrementados en 0.2.

De la tabla 20 podemos obtener el módulo de fineza de la combinación de agregados (mc), al mismo tiempo se cuenta con el módulo de fineza del agregado fino (mf) y el módulo de fineza del agregado grueso(mg), de los cuales se hará uso para obtener el porcentaje de agregado fino respecto al volumen total de los agregados mediante el uso de la siguiente formula:

$$rf = \frac{mg - mc}{mg - mf} * 100$$

Donde:

rf = Porcentaje del volumen del agregado fino, con respecto al volumen total de los agregados.

Mg = módulo de fineza del agregado grueso.

Mf = módulo de fineza del agregado fino.

C.9. AJUSTE POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN.

LAURA S. (2006, p.17-18)

El contenido de agua añadida para formar parte de la pasta será afectada por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos absorberán agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad. Sin embargo si ellos tienen humedad libre en la superficie aportaran agua a la pasta aumentando la relación agua cemento, la trabajabilidad y la resistencia a la compresión.

C.10. CÁLCULO DE LAS PROPORCIONES EN PESO

Consiste en obtener los pesos de los componentes del concreto respecto al peso del cemento.

Cemento: agregado fino: agregado grueso / agua

$$\frac{\text{peso del cemento}}{\text{peso del cemento}} : \frac{\text{peso del agregado fino}}{\text{peso del cemento}}$$

$$: \frac{\text{peso del agregado grueso}}{\text{peso del cemento}} / \frac{\text{agua efectiva}}{\text{peso del cemento}}$$

C.11. CÁLCULO DE LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN.

Cemento: agregado fino: agregado grueso / agua (L/bolsa)

$\frac{\text{volumen del cemento}}{\text{volumen del cemento}} : \frac{\text{vol. agregado fino}}{\text{volumen del cemento}} : \frac{\text{vol. agregado grueso}}{\text{volumen del cemento}} / \text{agua (L/bolsa)}$

D. PRUEBA DE ENSAYOS.

RIVVA E. (2007, p.275)

El ensayo de aceptación se realiza para verificar cuantitativamente si el concreto cumple con lo especificado en las normas técnicas. Es importante para aquellos involucrados en la realización de ensayos que estén claros, ya que los resultados de aceptación tienen importantes implicaciones en el cronograma de ejecución de los proyectos.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Adherencia:** Esfuerzo que se opone a la separación de dos cuerpos que se hallan en contacto. (ARCHILA G.,2007, p.9)
- **Cohesión:** La atracción molecular que mantiene unido el cuerpo de un sellador o adhesivo. (ARCHILA G.,2007, p.9)
- **Comportamiento monolítico:** Es aquel en donde la estructura se comporta como una sola pieza. (TERAN A.,2000, p.96)
- **Encamisado de concreto armado:** Método de reforzamiento que consiste en incrementar la sección del elemento agregando refuerzo longitudinal y transversal, incrementando así la capacidad de carga axial, cortante y flexión del elemento estructural. (SOTO E., 2008, p.51)
- **Epoxis:** Son adhesivos normalmente bicomponentes en forma de resina, más activador. (ARCHILA G.,2007, p.9)
- **Junta Fría.** Es una discontinuidad resultante de una demora en la colocación del concreto, que impide una unión del material en dos vaciados sucesivos. (VALENCIA E., 2013, p.9).
- **Interface:** Área de contacto entre la camisa y la sección existente. (TERAN A.,2000, p.96)

- **Puente de Adherencia Epóxico.** Es un puente de unión para pegar concreto nuevo a endurecido, se manejan diferentes consistencias para cada tipo de aplicación y necesidad. (VALENCIA E., 2013, p.9).
- **Reforzar:** Es el proceso de incrementar la capacidad de la estructura, aumentando elementos o añadiendo nuevos. En el refuerzo de una estructura (con o sin daño) se mejoran las características estructurales sobre las originales. Es toda operación para incrementar el desempeño estructural del elemento por encima de su desempeño original. (SOTO E., 2008, p.1)
- **Rehabilitar:** Significa hacer un cambio a la estructura para que cumpla con sus funciones nuevamente. No sólo se refiere al aspecto estructural, sino también a las funciones sociales y económicas para las que fue construida. Es el proceso de reparación o modificación de una estructura a una condición útil deseada. Es una expresión general utilizada para reparar, reforzar o restaurar. (SOTO E., 2008, p.1)
- **Reparar:** Es el conjunto de acciones y procedimientos que hacen que un edificio existente que presenta daños, recupere las características originales de la estructura. Consiste en reemplazar o corregir los materiales, componentes o elementos deteriorados, dañados o defectuosos de una estructura. Es toda operación para recuperar el funcionamiento estructural del elemento o estructura dañada a su desempeño original. (SOTO E., 2008, p.1)
- **Resistencia a Compresión:** Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión. (ASTM C31, 2009)
- **Resistencia Mecánica:** Es la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse, depende de su material y de su geometría. (ARCHILA G., 2007, p.9)

3. CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

- País: Perú
- Departamento: Cajamarca
- Provincia: Cajamarca
- Distrito: Cajamarca



Cajamarca, es la ciudad más importante de la sierra norte del Perú, capital de la provincia y del departamento de Cajamarca. Está situada a 2750 msnm en la margen este de la cadena occidental de la Cordillera de los Andes, en el valle interandino que forman los ríos Mashcón y Chonta.

El clima es templado, seco y soleado en el día y frío en la noche. Las precipitaciones se dan de diciembre a marzo y se presentan con el fenómeno del

Niño en forma cíclica, que es un fenómeno climatológico del norte peruano tropical. Su temperatura media anual es de 15,8 °C. Por la cercanía al Ecuador y por ser una ciudad ubicada en piso térmico bajo, tiene un invierno suave y un verano caluroso y lluvioso en febrero. La temperatura media anual: máxima media 21 °C y mínima media: 6 °C

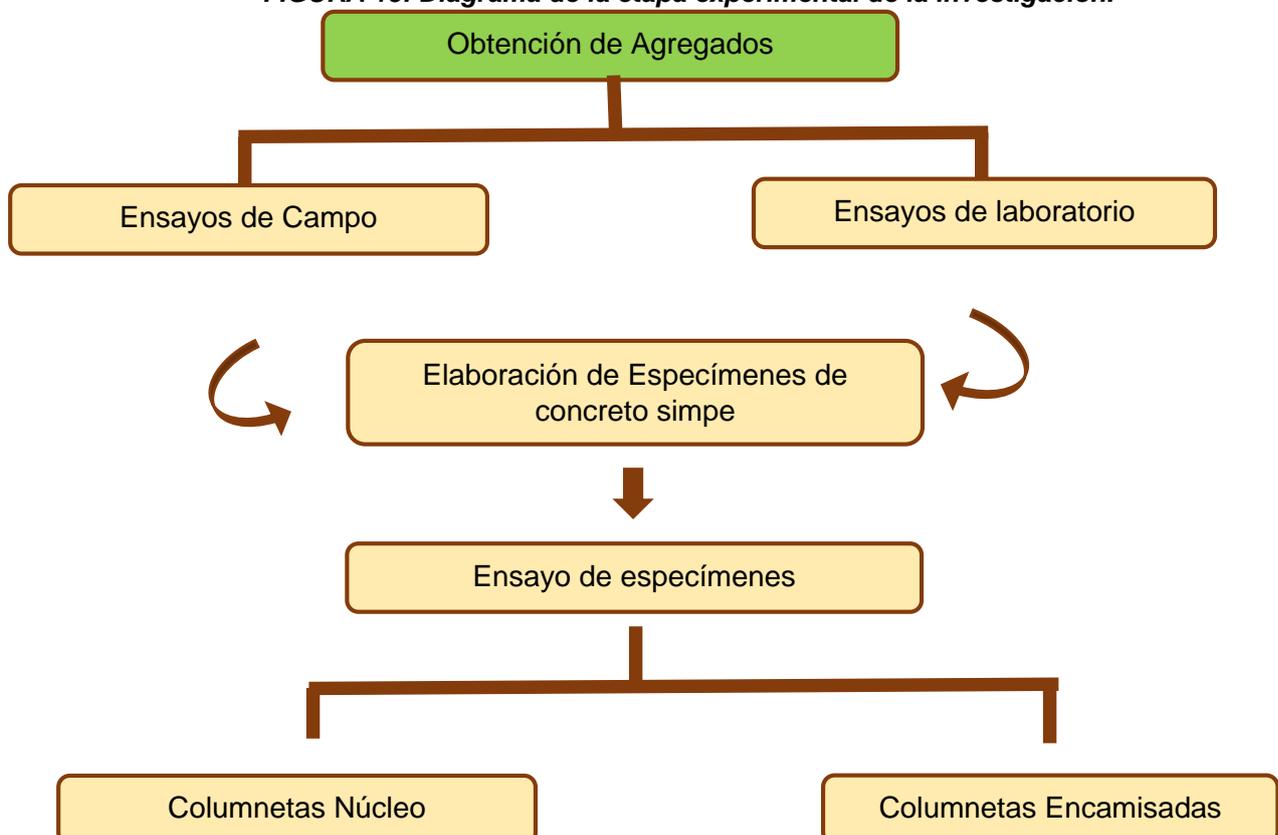
El lugar donde se realizó la investigación es en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca ubicada en Av. Atahualpa Km 03, carretera Cajamarca – Baños del Inca.

Los agregados que se usaron en el trabajo de investigación, son provenientes de la cantera del Río Chonta la cual está ubicada con un rumbo de S 86°E, con respecto a la ciudad de Cajamarca, aproximadamente a 500 m. del distrito de Baños del Inca.

3.2 METODOLOGÍA

La investigación se realizó siguiendo el esquema que se presenta a continuación.

FIGURA 15: Diagrama de la etapa experimental de la investigación.





3.2.1 POBLACIÓN

Columnas encamisadas con concreto armado, haciendo uso del adhesivo Chema Epox adhesivo 32 para la unión de concreto de diferentes edades.

3.2.2 MUESTRA

5 Columnas encamisadas con concreto armado, haciendo uso del adhesivo Chema Epox adhesivo 32 para la unión de concreto de diferentes edades.

Se elaboraron 2 tipos de testigos de concreto armado, 5 testigos de cada tipo, haciendo un total de 10 testigos, los cuales estuvieron conformados por:

- **TESTIGOS TIPO 1 (5):** Columnetas de concreto armado, sin encamisar, de sección transversal de 10 cm x 10 cm, acero longitudinal de $\varnothing 1/4"$, acero transversal de $\varnothing 1/4"$, y zapatas de 30 cm x 30 cm, con acero de $\varnothing 1/4"$.
- **TESTIGOS TIPO 2 (5):** Columnetas encamisadas con concreto armado, de sección transversal de 15 cm x 15 cm y zapatas de 30 cm x 30cm, dichas columnetas fueron hechas a partir de Testigos Tipo 1 después de haber sido sometidos a compresión, es decir fracturados; el encamisado es de 2.5 cm de espesor, acero longitudinal $\varnothing 8\text{mm}$ y acero transversal de $\varnothing 1/4"$, empleando

adhesivo Chema epox adhesivo 32 para la unión de concreto endurecido y concreto fresco.

3.3 UNIDAD DE ANÁLISIS

Columnetas encamisadas con concreto armado, haciendo uso del adhesivo Chema Epox Adhesivo 32 para la unión de concreto de diferentes edades.

3.4 UNIDAD DE OBSERVACIÓN

Resistencia última en el ensayo a compresión en columnetas encamisadas con concreto armado, haciendo uso de un adhesivo epóxico para la unión de concreto viejo y nuevo.

3.5 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Descriptiva-Experimental

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÉCNICAS

- Análisis de información existente
- Uso de internet
- Realización ensayos
- Observaciones directas
- Análisis de resultados

INSTRUMENTOS

- Bibliografías
- Máquinas para la realización de ensayos
- Dispositivos
- Programas y formatos

3.7 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Cuantitativa

3.8 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

3.8.1 MATERIALES:

- ✓ Agregados (arena, piedra chancada).
- ✓ Cemento (Cemento Portland Tipo I).
- ✓ Agua Potable.
- ✓ Acero
- ✓ Adhesivo (Adhesivo Chema Epox Adhesivo 32).

3.8.2 EQUIPO:

- ✓ Taras identificadas.
- ✓ Juego de tamices (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8")
- ✓ Probetas de vidrio de 1000 ml. de capacidad.
- ✓ Canastilla metálica
- ✓ Estufa con control de temperatura.
- ✓ Balanza con sensibilidad de 0.5 gr y capacidad no menor de 5 kg.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.01 gr. y capacidad no menor de 1 kg.
- ✓ Deformímetro (micrómetro).
- ✓ Vernier
- ✓ Cono de Abrams
- ✓ Máquina de los ángeles
- ✓ Mezcladora de concreto de 7 p³ de capacidad.
- ✓ Máquina Universal para Compresión.
- ✓ Cronómetro o reloj.

3.9 PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS TESTIGOS

3.9.1 OBTENCIÓN DE AGREGADOS

Para reconocer la calidad de los agregados se realizaron ensayos de campo y ensayos de laboratorio.

A. MUESTREO DE AGREGADOS

Se tomó una cantidad determinada de agregado según lo que indica la norma ASTM según el Tamaño máximo nominal del agregado. Para nuestro caso TMN=1/2", le corresponde 15 kg.

B. REDUCCIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYOS

La reducción de las muestras se hizo por el método del cuarteo, para lo cual se colocó la muestra en una superficie firme y nivelada para que no haya pérdida de material, se mezcló el material volteando la muestra entera más de tres veces, cuidadosamente se aplanó la muestra con la palana hasta un espesor y diámetro uniforme y se lo dividió en 4 cuadrantes iguales, de los cuales se seleccionó uno como muestra representativa.

3.9.2 OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

A. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

A.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES.

Balanza con sensibilidad de 1g, juego de tamices, para el agregado fino: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y para el agregado grueso: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", una estufa capaz de mantener una temperatura de 110°C, taras y recipientes.

A.2. PROCEDIMIENTO

El método que se realizó fue el mecánico o granulometría por tamizado para el agregado fino y grueso, encontrando su distribución granulométrica y módulo de finura.

Se tomó una determinada muestra de agregado seco, de masa conocida, que es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, estos tamices están establecidos por la norma ASTM E11 – 15, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

A.2.1. PESO MÍNIMO PARA EL ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:

a. AGREGADO FINO:

La cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado, fue de 300 g mínimo, la precisión del pesado del agregado fino fue el menor o igual a 0.1 gr o 0.1 % de la masa pesada.

b. AGREGADO GRUESO:

La cantidad de agregado grueso para el ensayo fue de acuerdo a la norma ASTM C136/C136M-05 y a su análoga la NTP 400.012

Una vez que se tiene la muestra, se procedió a secarla a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, la precisión del pesado del agregado grueso fue el menor o igual a 0.5 gr o 0.1 % de la masa pesada.

Se utilizaron los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 para agregados finos. Mientras que para agregado grueso se utilizaron los tamices 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4.

Se encajaron los tamices en orden de abertura decreciente y se colocó la muestra sobre el tamiz superior, se agitaron los tamices manualmente por un período suficiente, una vez realizado el procedimiento se hizo el cálculo con la finalidad de poder obtener los valores de Porcentaje total que pasa cada tamiz, Porcentaje total retenido en cada tamiz, Porcentaje retenido entre tamices consecutivos. Se reportaron los porcentajes en número enteros, excepto si el porcentaje que pasa la malla de 75 μm (N° 200) es menor que el 10% se aproximará al 0.1% más cercano, este valor es igual a la suma de los valores de porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: 150 μm (N° 100); 300 μm (N° 50); 600 μm (N° 30); 1,18 mm (N° 16); 2,36 mm (N° 8); 4,75 mm (N° 4); 9,5 mm (3/8 de pulgada); 19,0 mm (3/4 de pulgada); 37,5 mm (1 1/2 pulgada) y mayores; incrementando en la relación 2 a 1.

B. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Según las normas STM C 127 o NTP 400.021 para el agregado grueso y la ASTM C128 o NTP 400.022 para el agregado fino.

B.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES

B.1.1. Para el agregado grueso:

Balanza con sensibilidad de 0.5 gr y capacidad no menor de 5 kg, cesta de malla de alambre, con abertura no mayor de 3 mm, depósito adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua, estufa capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, termómetro con aproximación de 0.5°C .

B.1.2. Para el agregado fino:

Balanza con sensibilidad de 0.1 gr y capacidad no menor de 1 kg, frasco volumétrico, cuya capacidad sea 500 cm³, calibrado gasta 0.10 cm³ a 20°C, molde cónico metálico de diámetro menor 4 cm de diámetro mayor 9 cm y altura 1.5 cm, varilla de metal con un extremo redondeado, de (25±3) mm de diámetro y (340±15) gr de peso.

B.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

B.2.1. Para el agregado grueso.

Se hizo un lavado completo para eliminar el polvo y otras impurezas superficiales de las partículas, se secó la muestra hasta peso constante hasta una temperatura de 110°C, y luego se sumergió en agua durante 24 horas, se sacó la muestra del agua y se la hizo rodar sobre un paño absorbente.

B.2.2. Para el agregado fino.

Se seleccionó por cuarteo 1000g, se colocó en un envase y se puso a secar en la estufa hasta la temperatura de 110°C, se retiró la muestra y se cubrió con agua y se dejó en reposo por 24 horas, se extendió en una superficie plana de aire tibio y se removió con frecuencia para garantizar un secado uniforme. Se continuó esta operación hasta que los granos de agregado fino no se adhieran marcadamente entre sí, luego se colocó el agregado fino en forma suelta en el molde cónico, golpeando la superficie suavemente 25 veces con la varilla de metal y levantando verticalmente el molde, hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, indicando que el agregado fino alcanzó una condición de saturado de superficie seca.

B.3. PROCEDIMIENTO

B.3.1. Para el agregado grueso:

Se obtuvo el peso de la muestra bajo la condición de saturación con la superficie seca, después de pesar se colocó la muestra saturada con superficie seca en la canastilla de alambre, y se determinó su peso en agua, se secó la muestra hasta peso contante a una temperatura de 110°C, se dejó enfriar y se determinó su peso.

B.3.2. Para el agregado fino:

Se introdujo 500g del material preparado, y se llenó de agua hasta alcanzar casi la marca de 500, se eliminó las burbujas de aire, se llenó con agua hasta

alcanzar la marca de 500 cm³ y se determinó el peso total del agua introducida en el frasco, se sacó el agregado fino del frasco, se secó hasta una temperatura de 110°C y se determinó su peso. Finalmente se llenó el picnómetro hasta la marca de calibración con agua y se determinó su peso.

C. CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS

La determinación del contenido de humedad del agregado está determinada por la norma ASTM C566-97 o su análoga la norma NTP 339.185.

C.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES.

Balanza con sensibilidad de 0.1g y cuya capacidad no sea menor de 1kg, recipiente adecuado para colocar la muestra de ensayo, estufa a temperatura de 105°C – 110°C.

C.2. PROCEDIMIENTO

Se obtuvo una muestra de agregado de acuerdo con la Norma ASTM D75, se mezcló la muestra de agregado y se redujo a una cantidad necesaria aplicando la norma ASTM C702.

Se colocó la muestra húmeda a ensayar en un depósito adecuado determinándose dicho peso (peso del recipiente + muestra húmeda), se llevó el recipiente con la muestra húmeda a una estufa, para secarla durante 24 horas a una temperatura de 110°C, se pesó el recipiente con la muestra seca (peso recipiente más muestra seca) y se determinó la cantidad de agua evaporada.

D. PESO UNITARIO

La práctica para la obtención de los pesos unitarios seco, tanto suelto como compactado de los agregados que tengan TMN menor a 5" está estandarizada por la norma ASTM C29/C29M-07 o por su análoga la norma NTP 400.017.

D.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES.

Balanza que permita lecturas de por lo menos 0.1 % del peso de la muestra, barra compactadora de acero liso circular recta de 5/8" de diámetro y 60 cm de largo, recipiente cilíndrico y de metal suficiente rígido para condiciones duras de trabajo.

D.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra se mezcló completamente y se secó a temperatura ambiente.

D.3. PROCEDIMIENTO

D.3.1. Para el peso unitario suelto

Se llenó el recipiente con una palana hasta rebosar, dejando caer el agregado desde una altura no mayor de 5cm, por encima del borde superior del recipiente, se eliminó el excedente del agregado con una espátula para equilibrar los vacíos, se determinó la masa del recipiente más su contenido y la masa del recipiente vacío con una exactitud de 5g.

D.3.2. Peso unitario compactado

Se llenó el recipiente hasta la tercera parte y se niveló la superficie con los dedos, se apisonó la muestra con la barra compactadora mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie, se llenó hasta las 2/3 partes del recipiente y se niveló y apisonó con 25 golpes como la manera anterior. Luego se llenó completamente el recipiente hasta rebosar, se golpeó 25 veces con la barra compactadora (varilla de hacer de 16mm de diámetro y 60cm de longitud), se enrasó el recipiente utilizando la barra compactadora como regla y con los dedos para equilibrar los vacíos. En el apisonado de la primera capa se buscó no tocar el fondo del recipiente con la fuerza de la varilla, en la segunda y tercera capa se evitó traspasar la varilla a la capa anterior, se determinó la masa del recipiente más su contenido y la masa del recipiente vacío.

E. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Según la Norma ASTM C131-03 y su análoga la NTP 400.019, tenemos:

E.1. SELECCIÓN DE EQUIPO

La máquina de los ángeles, balanza que permita lecturas de por lo menos 0.1% del peso de la muestra requerida para el ensayo, estufa capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C.

La carga abrasiva consistió en esferas de acero, de aproximadamente 4.7cm de diámetro y cada uno con un peso entre 390 y 445gr.

E.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de ensayo estuvo constituida por agregado limpio representativo del material a ensayar y secada en una estufa a 110°C, hasta un peso aproximadamente constante.

E.3. PROCEDIMIENTO

Se colocó la muestra de ensayo de acuerdo al peso establecido, seleccionada de acuerdo a los pesos retenidos en las mallas como lo especifica la norma, haciendo un total de 5000g y la carga abrasiva para una gradación A, en la máquina de los ángeles que gira a una velocidad de 30 a 33 rpm durante 500 revoluciones. Cuando terminó las revoluciones se descargó el material y se lavó por el tamiz N°12, luego se secó este retenido lavado en el horno a una temperatura de 110 °C por un espacio de 24 horas. Secada la muestra se procedió a pesarla, obteniéndose así un valor que será remplazado en la fórmula para obtener el resultado de la abrasión.

3.9.3 DISEÑO DE MEZCLAS

Después de determinar las características físico - mecánicas de los agregados a utilizar en la elaboración de los testigos, se realizó el diseño de mezclas o dosificación de materiales siguiendo el Método Del Módulo De Fineza De La Combinación De Agregados. Se ha diseñado un concreto de resistencia $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ para las columnetas núcleo y un concreto de resistencia $f'c = 225 \text{ Kg/cm}^2$ para el encamisado.

El diseño de mezclas para la elaboración del concreto se puede ver en Anexos.

3.9.4 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO SIMPLE.

Se realizó según la norma ASTM C192/C192M – 12 o su análoga la NTP 339.183.

A. MATERIALES

Se utilizó moldes cilíndricos para especímenes, varilla de compactación de 1.6cm de diámetro por 60cm de largo, martillo de goma de aproximadamente 0.5 kg, probetas graduadas de vidrio, herramientas pequeñas (palanas, baldes, cucharones, badilejo, guantes, reglas, aceite), bandeja de metal, balanza, cono de Abrams, mezcladora de concreto.

B. PROCEDIMIENTO

- ✓ **Mezclado.-** Primeramente se pesó y midió adecuadamente cada uno de los componentes los agregados y cemento haciendo uso de la balanza, la cantidad requerida de agua, se mezcló aproximadamente 03 minutos, luego se reposo aproximadamente 03 minutos cubriendo la parte superior de la mezcladora,

finalmente se mezcló 02 minutos, se vació la mezcla en una bandeja limpia con la mezcladora en funcionamiento.

- ✓ **Medición del asentamiento.-** Se procedió inmediatamente a la medición del asentamiento (Slump) a través del cono de Abrams con el siguiente procedimiento: Se humedeció el cono y la placa de base, luego con la ayuda de un cucharón se llenó la tercera parte, se lo compactó con la varilla metálica con 25 golpes distribuidos uniformemente, se llenó las 2/3 partes y compactó como en el paso anterior, se lo llenó completamente hasta el rebose y compactó con 25 golpes, luego se lo enrasó con la varilla compactadora, con cuidado se lo retiró verticalmente el cono y se lo colocó de manera invertida sobre de la placa metálica a lado de la mezcla, se colocó horizontalmente la varilla compactadora y con la ayuda de una regla graduada se midió el asentamiento.

- ✓ **Llenado de moldes.-** Se hizo el llenado de los moldes cilíndricos previamente acondicionados (ajustado y aceitado para evitar adherencia del concreto a las paredes del molde al momento del desencofrado), con el cucharón se introdujo la mezcla hasta la tercera parte del molde, con la varilla compactadora se golpeó 25 veces uniformemente en la superficie del concreto, con el martillo de goma se golpeó 12 veces las paredes exteriores del molde en su tercera parte, luego se llenó las 2/3 partes y se repitió el paso anterior, finalmente se llenó la última capa hasta el rebose y se compactó con la varilla metálica y golpeándose con el martillo de goma 12 veces en las paredes exteriores del molde, se enrasó con la varilla, trasladó y acondicionó en un lugar adecuado para luego ser desmoldado a las 24 horas.

- ✓ **Curado de especímenes.-** Los especímenes fueron, codificados adecuadamente y trasladados inmediatamente al pozo de curado del laboratorio; se los introdujo completamente en el agua hasta completar los 7 días de elaborado.

3.9.5 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO SIMPLE

Según la norma ASTM C39/C39M – 16 o su análoga la NTP339.034.

A. SELECCIÓN DE MATERIALES.

Prensa hidráulica, balanza, vernier, regla graduada, deformímetro, cronómetro, marcador de concreto.

B. PROCEDIMIENTO.

Luego que los especímenes fueron curados durante 7 días, se los trasladó para ser ensayados a compresión, antes de su rotura se los codificó, pesó, se midió sus diámetros y su altura, una vez registrado los datos anteriormente descritos, se procedió a la rotura.

Una vez rota la probeta se registró la carga de rotura y analizó el tipo de fractura.

3.9.6 PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS TESTIGOS

Se pre dimensionaron bajo criterios de la normas E.060 (presentes en Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú), así como también de los principios enunciados anteriormente en el marco teórico.

3.9.7 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS TESTIGOS

Se realizó el diseño estructural, de los Testigos de concreto armado (columnetas) a analizar, bajo criterios de la norma E.060 (presentes en Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú), así como también de los principios enunciados anteriormente en el marco teórico, dichas columnetas serán sometidas a ensayos de compresión pura, Así mismo, se consideró una resistencia del concreto de $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$, para las columnetas núcleo y una resistencia del concreto de $f'c= 225 \text{ kg/cm}^2$, para el encamisado.

3.9.8 ELABORACIÓN Y DETALLAMIENTO DE PLANOS ESTRUCTURALES

Se realizó la elaboración y detallamiento de planos estructurales para los testigos a ensayar (Testigos Tipo I: columnetas núcleo y Testigos Tipo II: Columnetas Encamisadas con Concreto Armado).

3.9.9 CONSTRUCCIÓN DE LOS TESTIGOS IN SITU

A. TESTIGOS TIPO I (COLUMNETAS NÚCLEO)

Se realizó la construcción de los Testigos Tipo I, analizados y diseñados estructuralmente, según los planos de estructuras elaborados.

B. TESTIGOS TIPO II (COLUMNETAS ENCAMISADAS)

Se realizó la construcción de los testigos, analizados y diseñados estructuralmente, según los planos de estructuras elaborados para los testigos tipo II. Una vez construidas las columnetas núcleo, y pasados 28 días de su respectivo curado, se procedió a realizar del encamisado de las columnetas núcleo, para lo cual se hizo el siguiente procedimiento:

B.1. SELECCIÓN DE COLUMNETAS A ENCAMISAR

Se escogieron 5 de las 10 columnetas núcleo que fueron ensayadas a compresión para ser encamisadas, las columnetas escogidas fueron las que presentaron cangrejeras y el mayor número de fisuras.

B.2. REPARACIÓN DE CANGREJERAS

Se realizó la reparación de cangrejeras existentes en la columneta a encamisar, para ello se rellenó el espacio vacío con epóxico. En algunos casos se procedió a eliminar todo el hormigón dañado o fracturado, hasta encontrarnos con una superficie totalmente sana.

B.3. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES DE COLUMNETAS A ENCAMISAR.

Se realizó una limpieza profunda de la superficie de las columnetas a encamisar, utilizando escobillas para eliminar los residuos de polvo, grasa o material mal adherido existentes en la superficie; para evitar una mala adherencia del adhesivo epóxico y por ende una mala unión entre el concreto viejo y nuevo. Este paso es de gran importancia en el encamisado.

B.4. PREPARACIÓN DEL PRODUCTO

Se preparó la cantidad necesaria para trabajar en el momento en un recipiente de plástico, para ello se procedió a mezclar ambos componentes en volumen: 3A por 1B y se lo mezclo hasta obtener una mezcla homogénea, utilizando guantes y

lentes de protección y siguiendo las recomendaciones dadas en la hoja técnica de adhesivo.

B.5. APLICACIÓN DEL ADHESIVO EPÓXICO

Aplicamos la mezcla preparada como puente de adherencia con una brocha sobre la superficie preparada, tratando de hacerlo lo más rápido posible debido a que con el transcurso del tiempo la mezcla empezará a perder trabajabilidad hasta el punto de formar un sólido compacto.

B.6. COLOCACIÓN DE LA ARMADURA DE REFUERZO DEL ENCAMISADO.

Se procedió a colocar la armadura para el encamisado, cuidando que el acero longitudinal de la armadura encaje perfectamente en las perforaciones hechas previamente en la zapata mediante un taladro, en las cuales se colocó epoxico para un anclaje adecuado, la profundidad de las perforaciones se hizo acorde a la longitud de anclaje necesaria para las barras, según las recomendaciones, para un concreto mayor o igual a 225 kg/cm^2 , es de 10 veces el diámetro de la barra o perno a anclar, en este caso para una barra de 8 mm se realizó una perforación de 8 cm de profundidad con un diámetro de 10 mm.

B.7. COLOCACIÓN DEL ENCOFRADO PARA EL ENCAMISADO.

Se colocó el encofrado de triplay de 12mm para el encamisado, el cual ya estaba previamente armado, gracias al pequeño tamaño que presentaban las columnetas.

B.8. VACIADO DEL CONCRETO DEL ENCAMISADO

A continuación se realizó el vaciado del concreto fresco sobre la aplicación del adhesivo epóxico y se continuó con el respectivo varillado para así eliminar las burbujas y también obtener una consistencia un poco más fluida y licuada, permitiendo cubrir los espacios de manera homogénea; haciendo que se adhiriera al acero más fácilmente.

3.9.10 CURADO DE LOS TESTIGOS

Se realizó el curado de columnetas núcleo usando el método por rociado (4 veces al día), combinado con el método de curado por goteo (cuando no se hacia el curado por rociado), para lo cual se instalaron una serie de depósitos con perforaciones llenos de agua, los cuales proporcionaban el agua necesaria a las

columnetas encamisadas, dichos depósitos fueron abastecidos 4 veces al día de manera que las columnetas tengan un curado adecuado, todo ello debido a las limitaciones que presentó la poza de curado.

3.9.11 ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS TESTIGOS

A los 28 días de edad del concreto, éste llega a su resistencia de diseño, por lo que se procedió a realizar los correspondientes ensayos a compresión de los testigos de concreto armado en la Máquina Universal de 100 toneladas de capacidad.

3.10 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.10.1 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

El tratamiento y análisis de los datos se realizó haciendo uso de la estadística descriptiva, calculando así el coeficiente de confiabilidad y determinando si los resultados obtenidos son confiables.

A. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 21: Desviación estándar y Coeficiente de Variación de las columnetas ensayadas.

CONDICIÓN DE LA COLUMNETA	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)%
SIN ENCAMISADO	3.74	1.11%
CON ENCAMISADO	2.96	0.80%

El coeficiente de variación mínimo para tener como fuente confiable a los testigos ensayados a compresión debe ser menor a 4%, por ende se toman como válidos los resultados obtenidos, ya que los coeficientes de variación obtenidos son menores que 4%.

3.10.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

La presentación de los resultados se muestra en Tablas y Gráficos, los cuales permiten ver el comportamiento de los testigos.

A. RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE COLUMNETAS NÚCLEO

En las Figuras N° 16, N° 17, N° 18, N° 19 y N° 20 podemos ver los diferentes diagramas de esfuerzo - deformación de las columnetas núcleo debido a las cargas aplicadas, los cuales sirven para obtener los esfuerzos máximos, deformaciones y módulos de elasticidad de los testigos ensayados.

FIGURA 16: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo N°1.

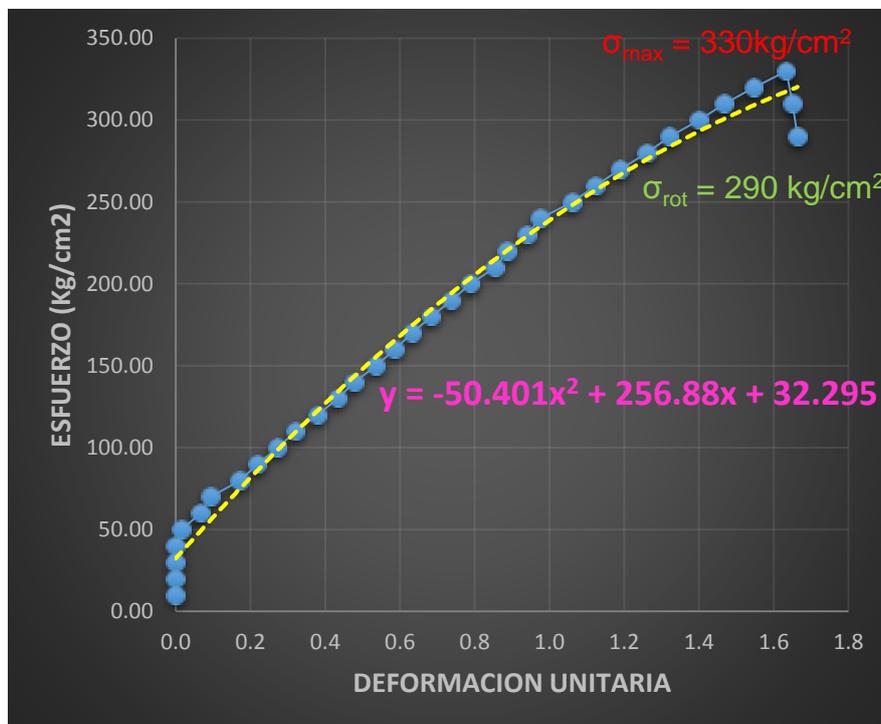


Tabla 22: Propiedades mecánicas de la Columneta Núcleo N°1.

$\sigma_{max} =$	330.00	kg/cm ²
$\sigma_{rot} =$	290.00	kg/cm ²
$E =$	205533.597	kg/cm ²
$\epsilon_{max} (x10^3) =$	1.666	mm/mm

FIGURA 17: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo N°2.

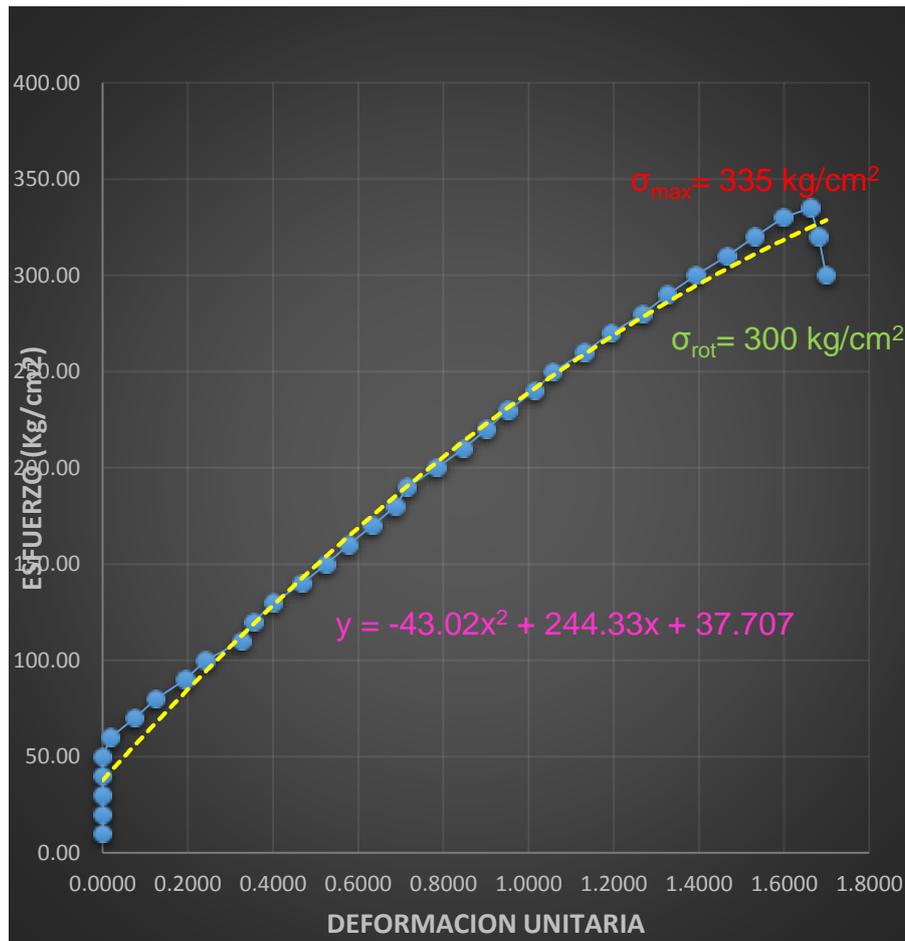


Tabla 23: Propiedades mecánicas de la Columneta Núcleo N°2.

$\sigma_{\max} =$	335.00	kg/cm ²
$\sigma_{\text{rot}} =$	300.00	kg/cm ²
E =	205128.205	kg/cm ²
$\epsilon_{\max} (x10^3) =$	1.699	mm/mm

FIGURA 18: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo N°3.

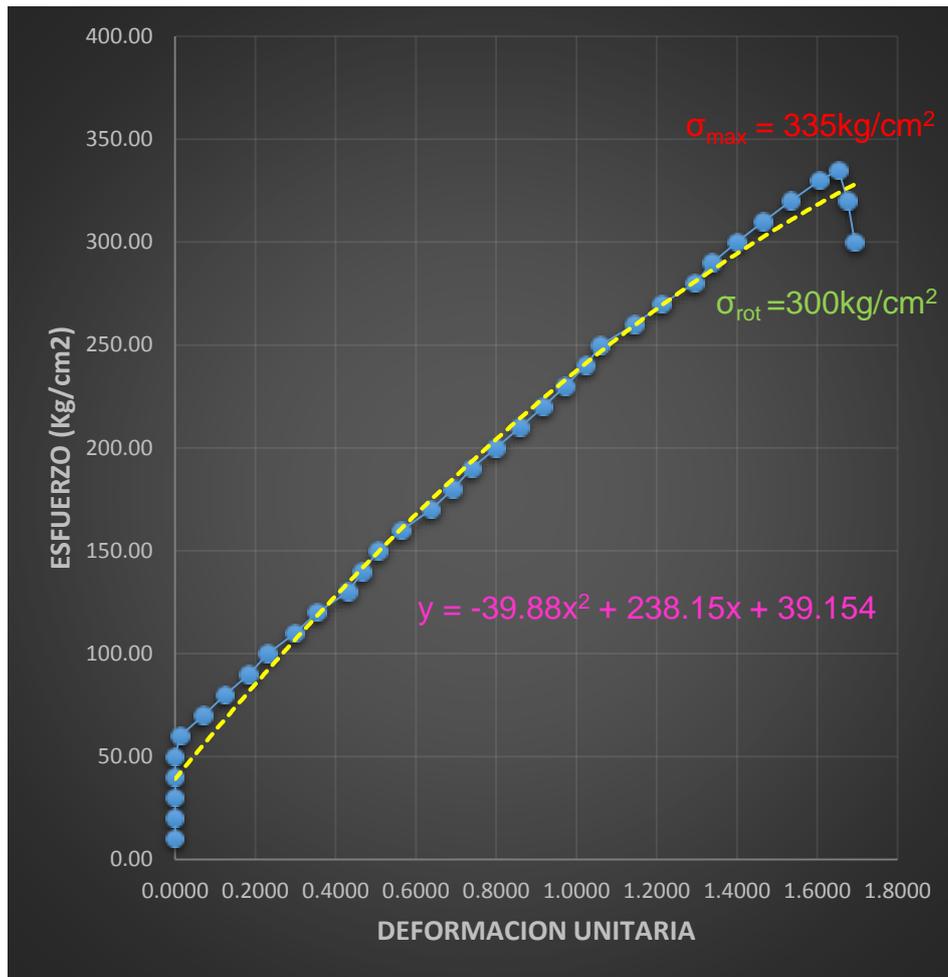


Tabla 24: Propiedades mecánicas de la Columneta Núcleo N°3.

$\sigma_{\max} =$	335.00	kg/cm ²
$\sigma_{\text{rot}} =$	290.00	kg/cm ²
E =	203125	kg/cm ²
$\epsilon_{\max} (x10^3) =$	1.694	mm/mm

FIGURA 19: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo N°4.

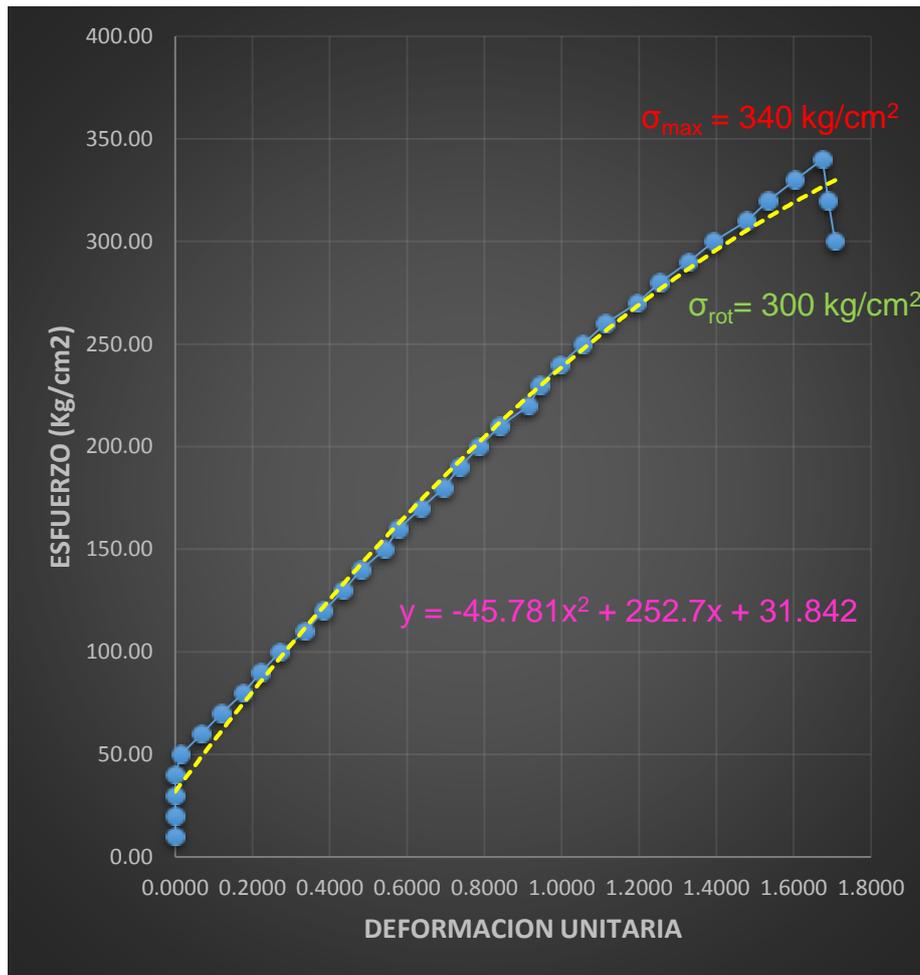


Tabla 25: Propiedades mecánicas de la Columneta Núcleo N°4.

$\sigma_{max} =$	340.00	kg/cm ²
$\sigma_{rot} =$	300.00	kg/cm ²
E =	206349.206	kg/cm ²
$\epsilon_{max} (x10^3)$ =	1.708	mm/mm

FIGURA 20: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo N°5.

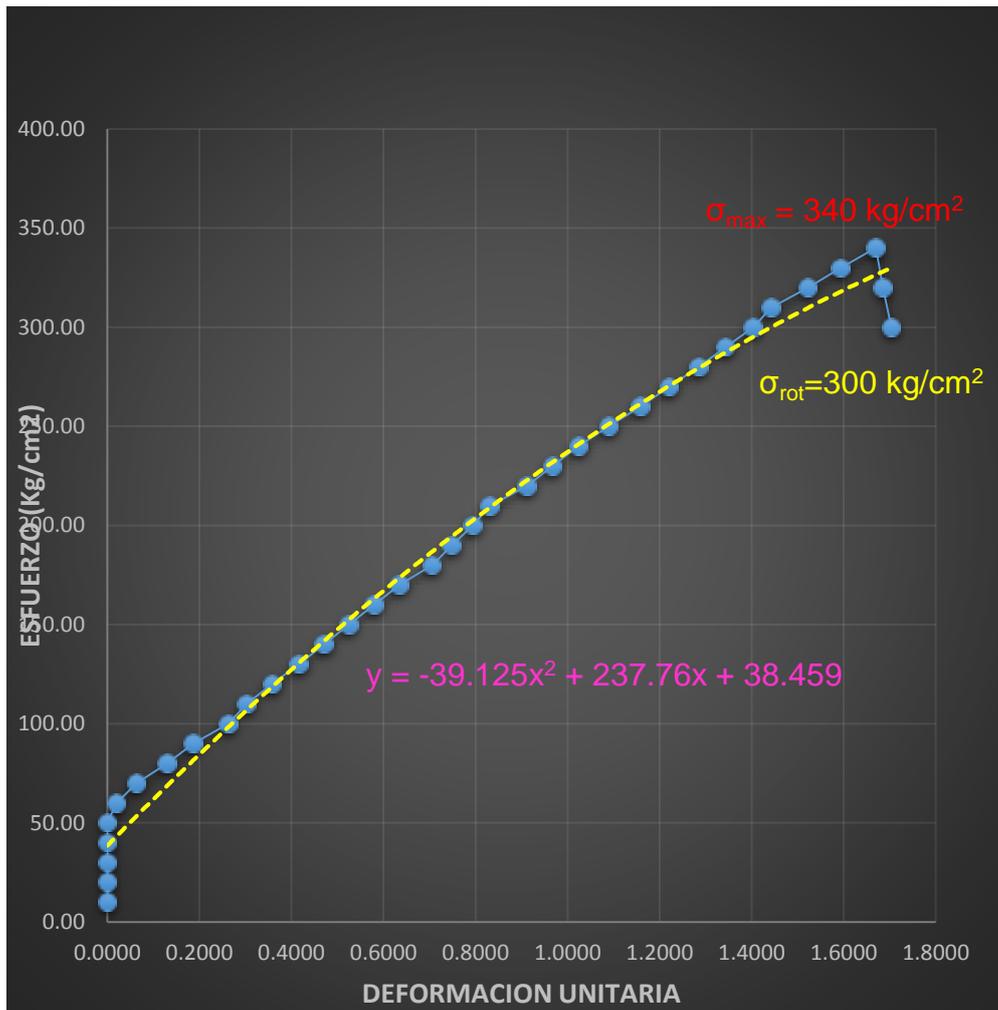


Tabla 26: Propiedades mecánicas de la Columneta Núcleo N°5.

$\sigma_{\max} =$	340.00	kg/cm ²
$\sigma_{\text{rot}} =$	300.00	kg/cm ²
E =	204724.409	kg/cm ²
$\epsilon_{\max} (x10^3) =$	1.704	mm/mm

FIGURA 21: Diagrama Esfuerzo – Deformación de todas las Columnetas Núcleo ensayadas.

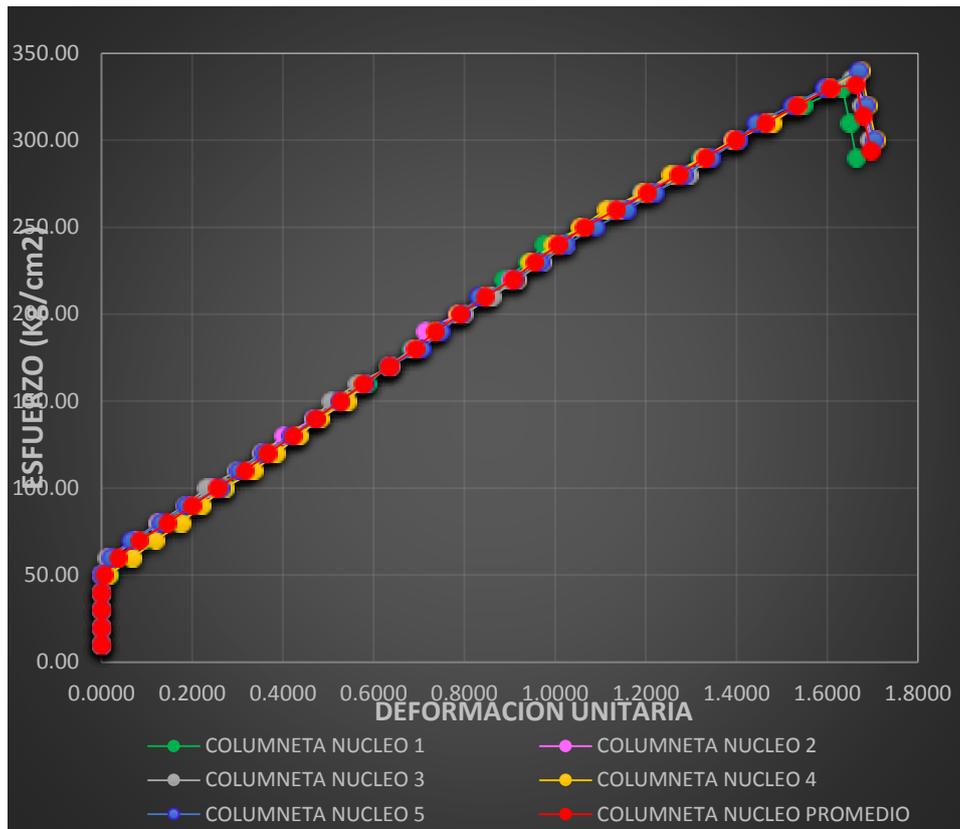
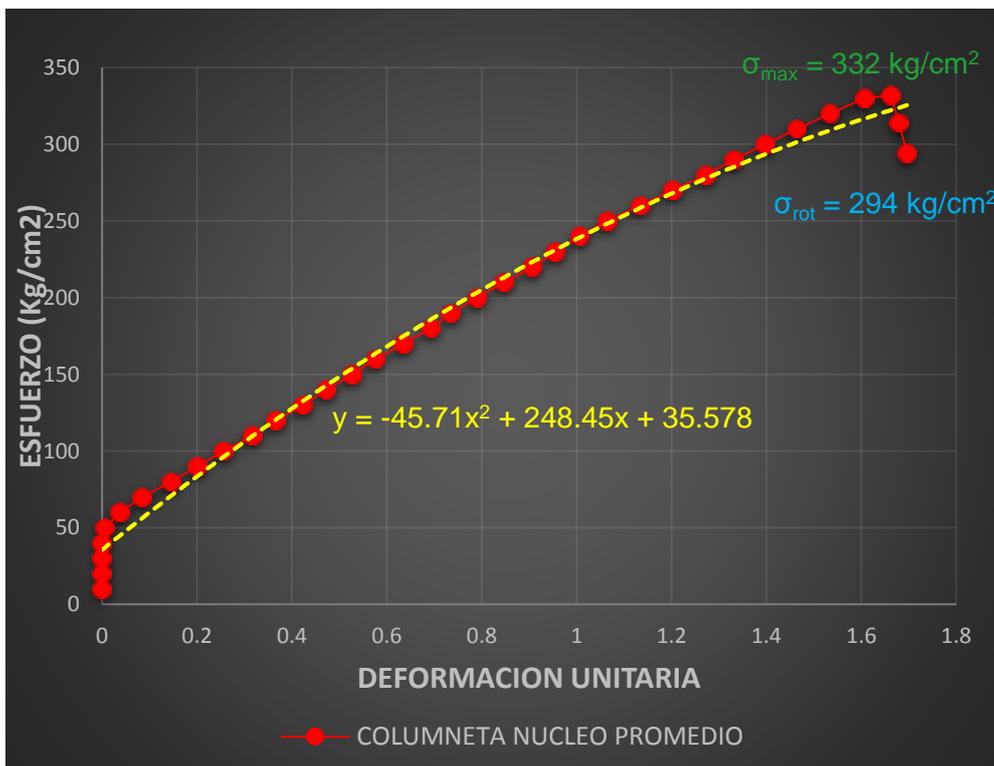


FIGURA 22: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Núcleo Promedio.



B. RESULTADO DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE COLUMNETAS ENCAMISADAS CON CONCRETO ARMADO

En las Figuras N° 23, N° 24, N° 25, N° 26 y N° 27 podemos ver los diferentes diagramas de esfuerzo - deformación de las columnetas encamisadas debido a las cargas aplicadas, los cuales sirven para obtener los esfuerzos máximos, deformaciones y módulos de elasticidad de los testigos ensayados.

FIGURA 23: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada N°1.

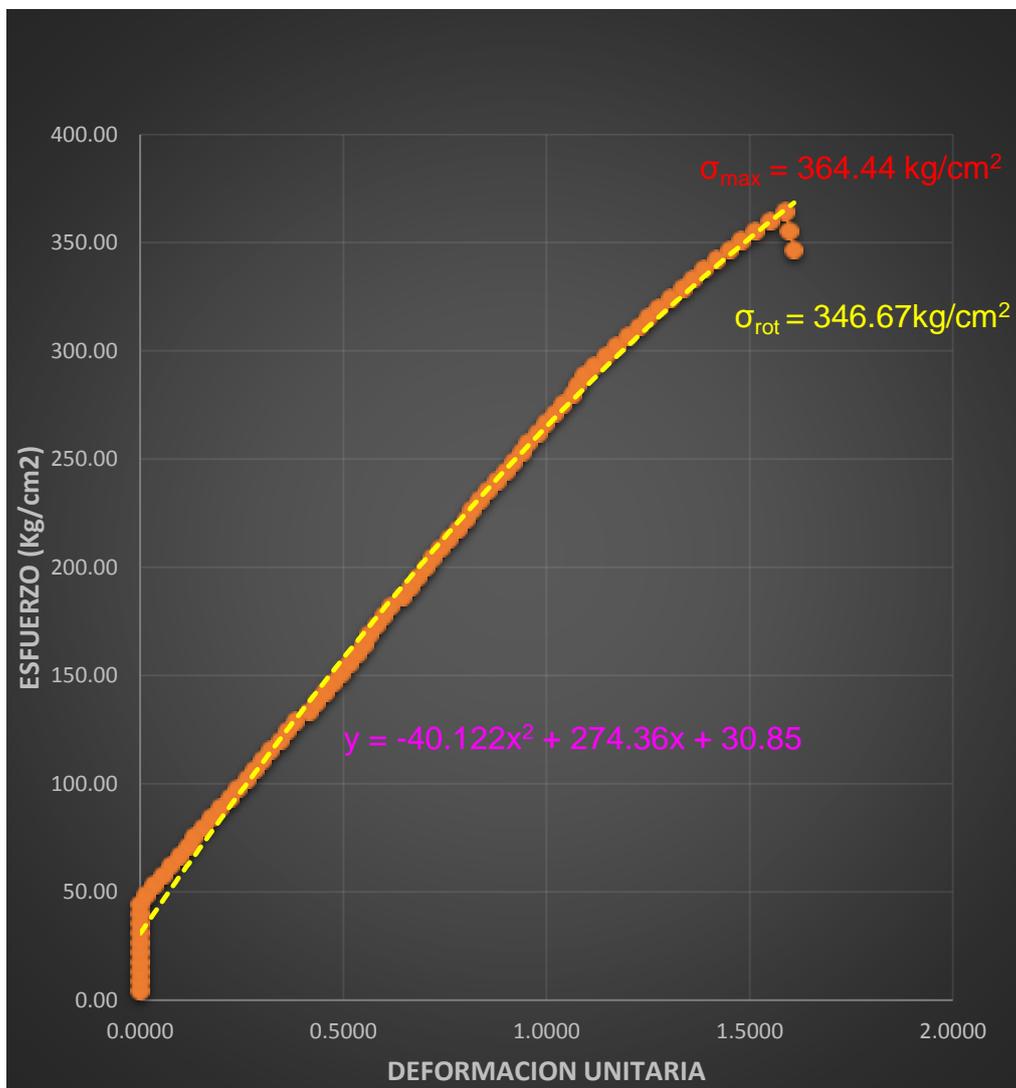


Tabla 27: Propiedades mecánicas de la Columneta Encamisada N°1.

$\sigma_{\max} =$	364.44	kg/cm ²
$\sigma_{\text{rot}} =$	346.67	kg/cm ²
$E =$	230786.568	kg/cm ²
$\epsilon_{\max} (x10^3) =$	1.6088	mm/mm

FIGURA 24: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada N°2.

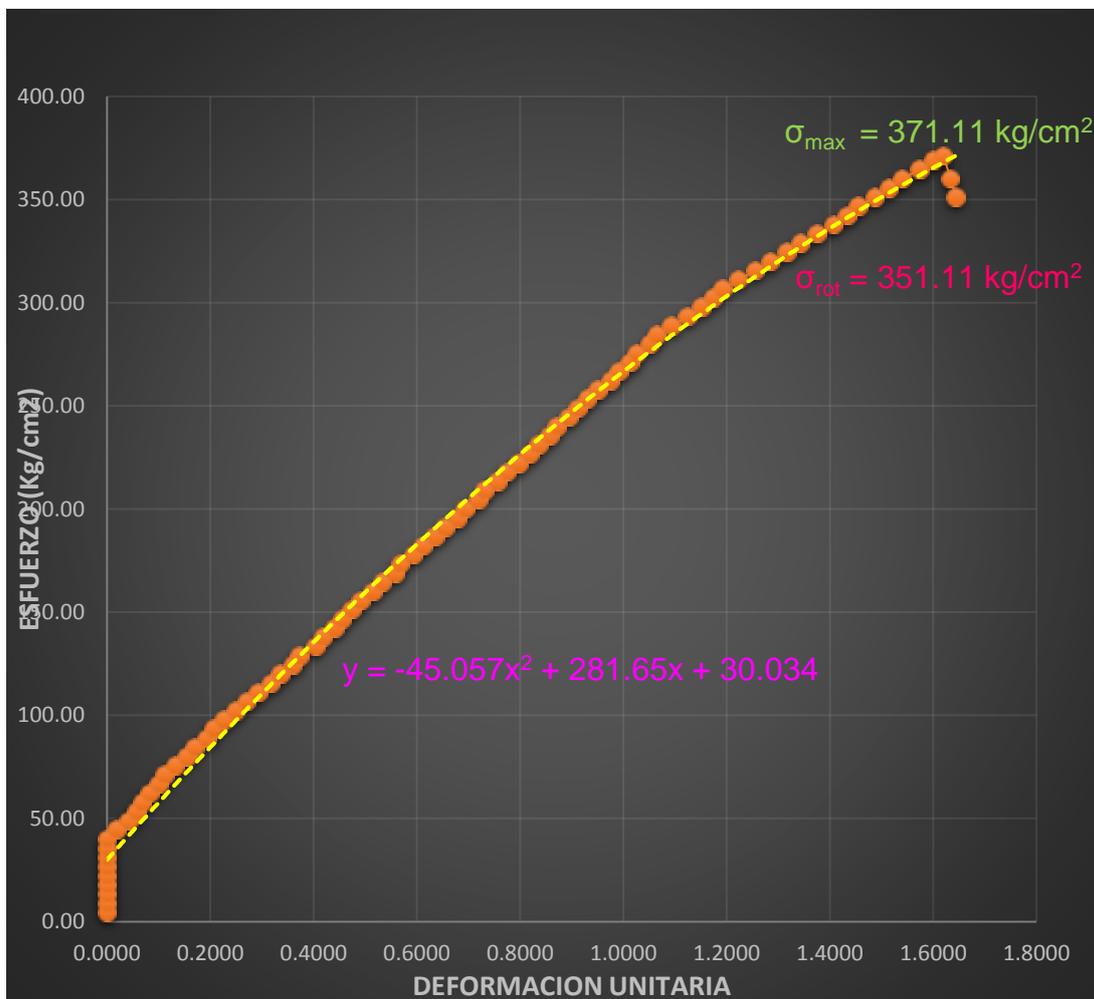


Tabla 28: Propiedades mecánicas de la Columneta Encamisada N°2.

$\sigma_{max} =$	371.11	kg/cm ²
$\sigma_{rot} =$	351.11	kg/cm ²
$E =$	230517.354	kg/cm ²
$\epsilon_{max} (x10^3) =$	1.6438	mm/mm

FIGURA 25: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada N°3.

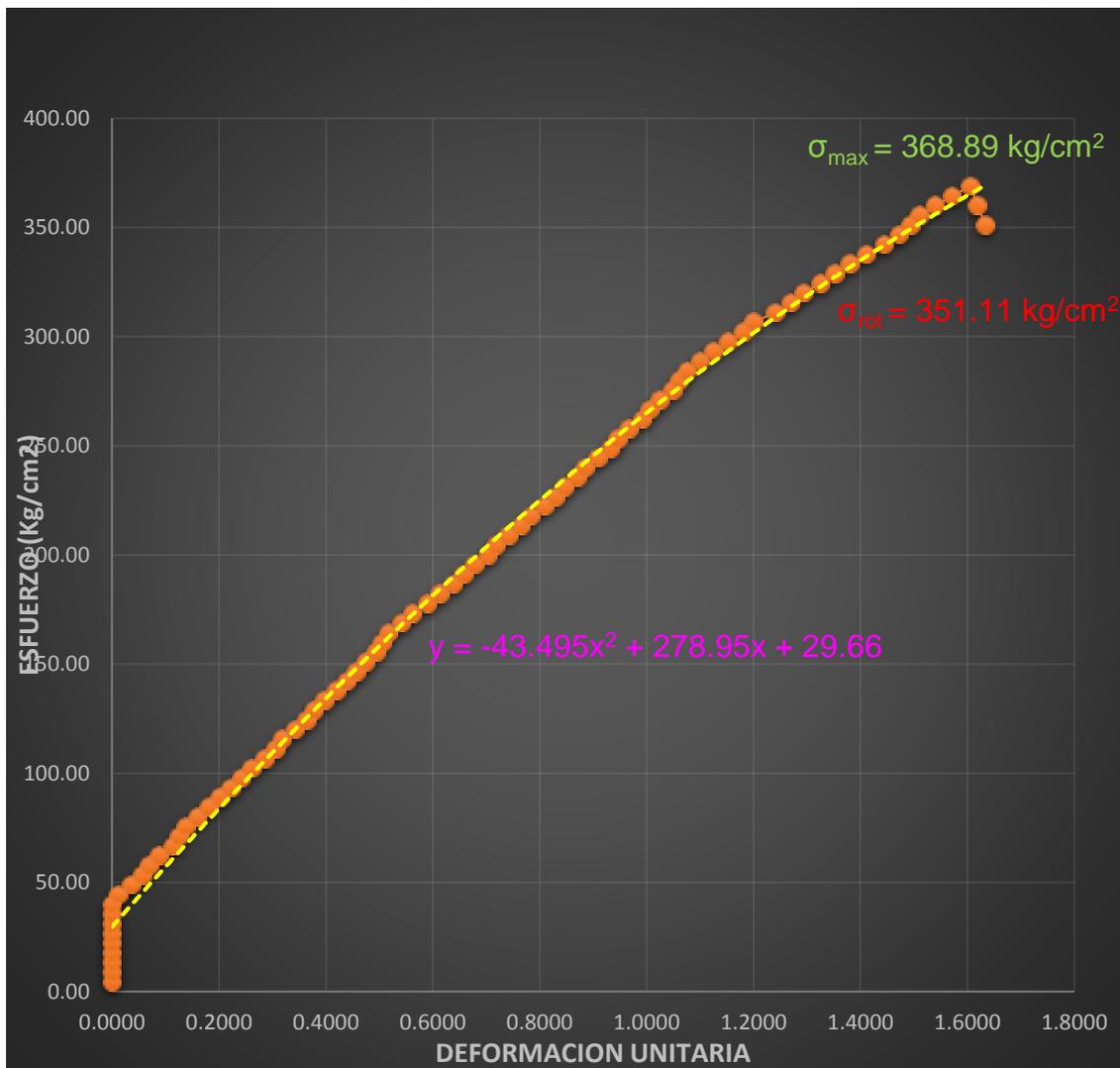


Tabla 29: Propiedades mecánicas de la Columneta Encamisada N°3.

$\sigma_{\max} =$	368.89	kg/cm ²
$\sigma_{\text{rot}} =$	351.11	kg/cm ²
$E =$	229615.134	kg/cm ²
$\epsilon_{\max} (x10^3) =$	1.6275	mm/mm

FIGURA 26: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada N°4.

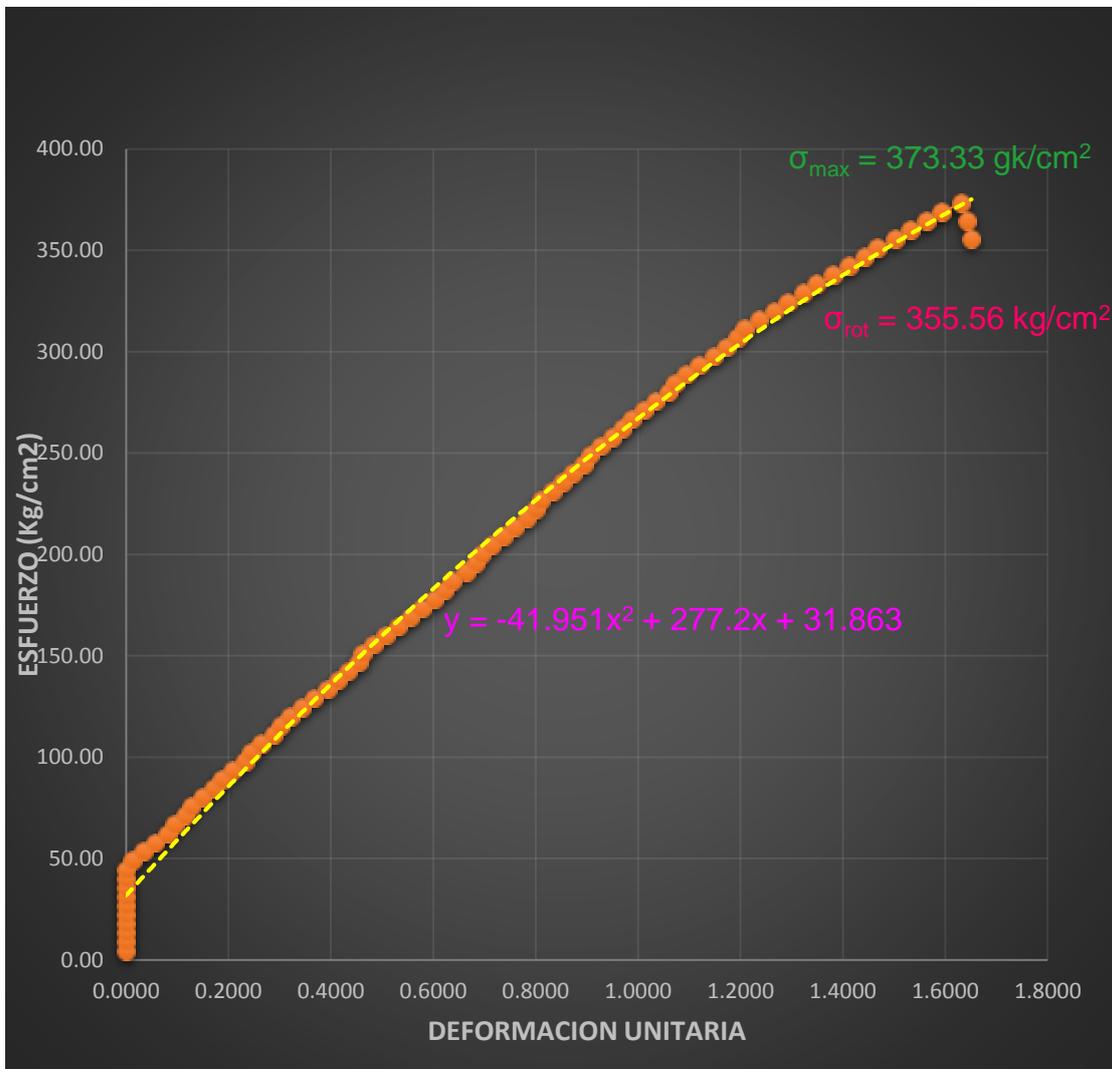


Tabla 30: Propiedades mecánicas de la Columneta Encamisada N°4.

$\sigma_{\max} =$	373.33	kg/cm ²
$\sigma_{\text{rot}} =$	355.56	kg/cm ²
$E =$	228719.948	kg/cm ²
$\epsilon_{\max} (x10^3) =$	1.6513	mm/mm

FIGURA 27: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada N°5.

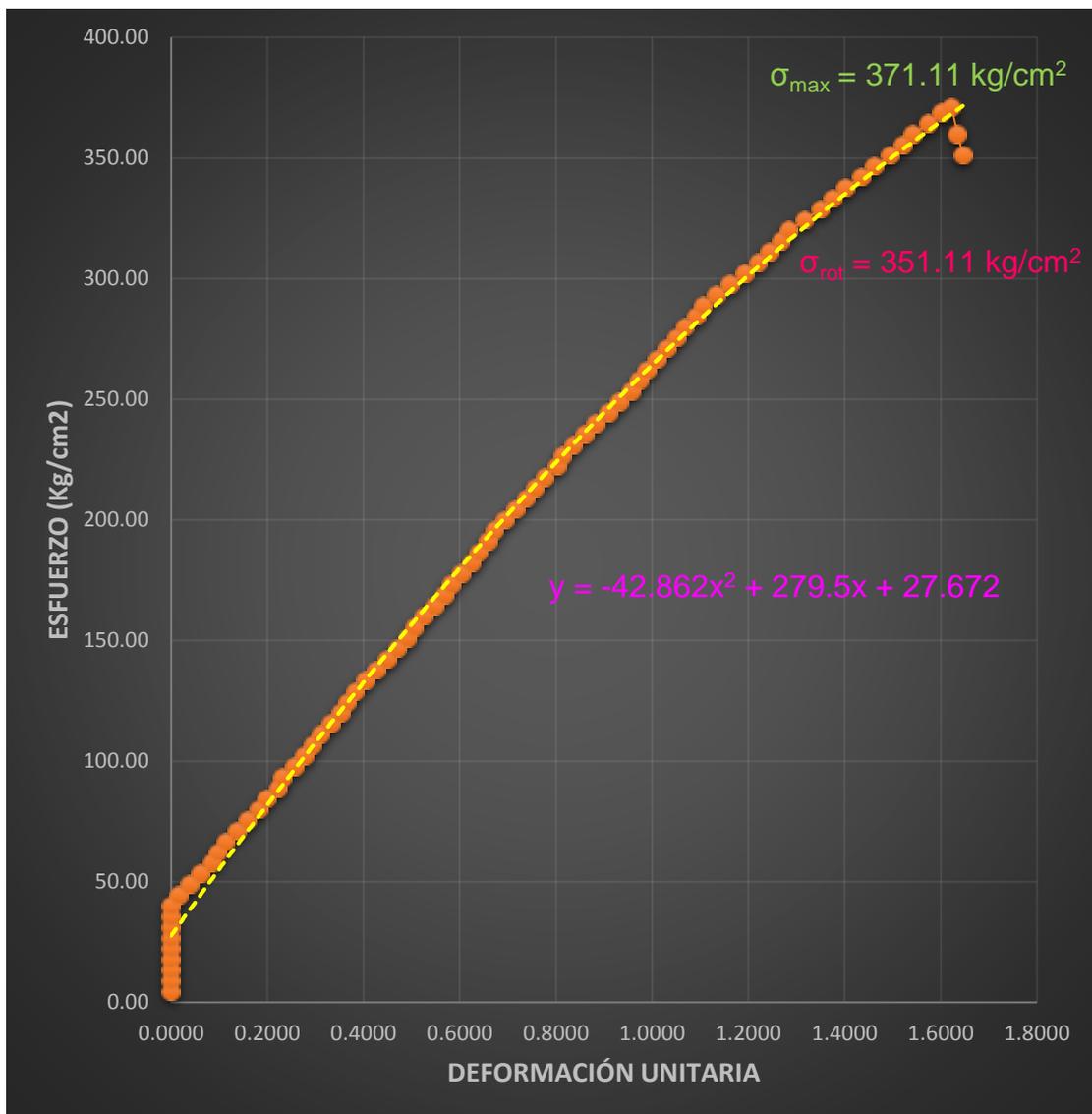


Tabla 31: Propiedades mecánicas de la Columneta Encamisada N°5.

$\sigma_{\max} =$	371.11	kg/cm ²
$\sigma_{\text{rot}} =$	351.11	kg/cm ²
E =	230065.359	kg/cm ²
$\epsilon_{\max} (x10^3) =$	1.6463	mm/mm

FIGURA 28: Diagrama Esfuerzo – Deformación de todas las Columnetas Encamisadas ensayadas.

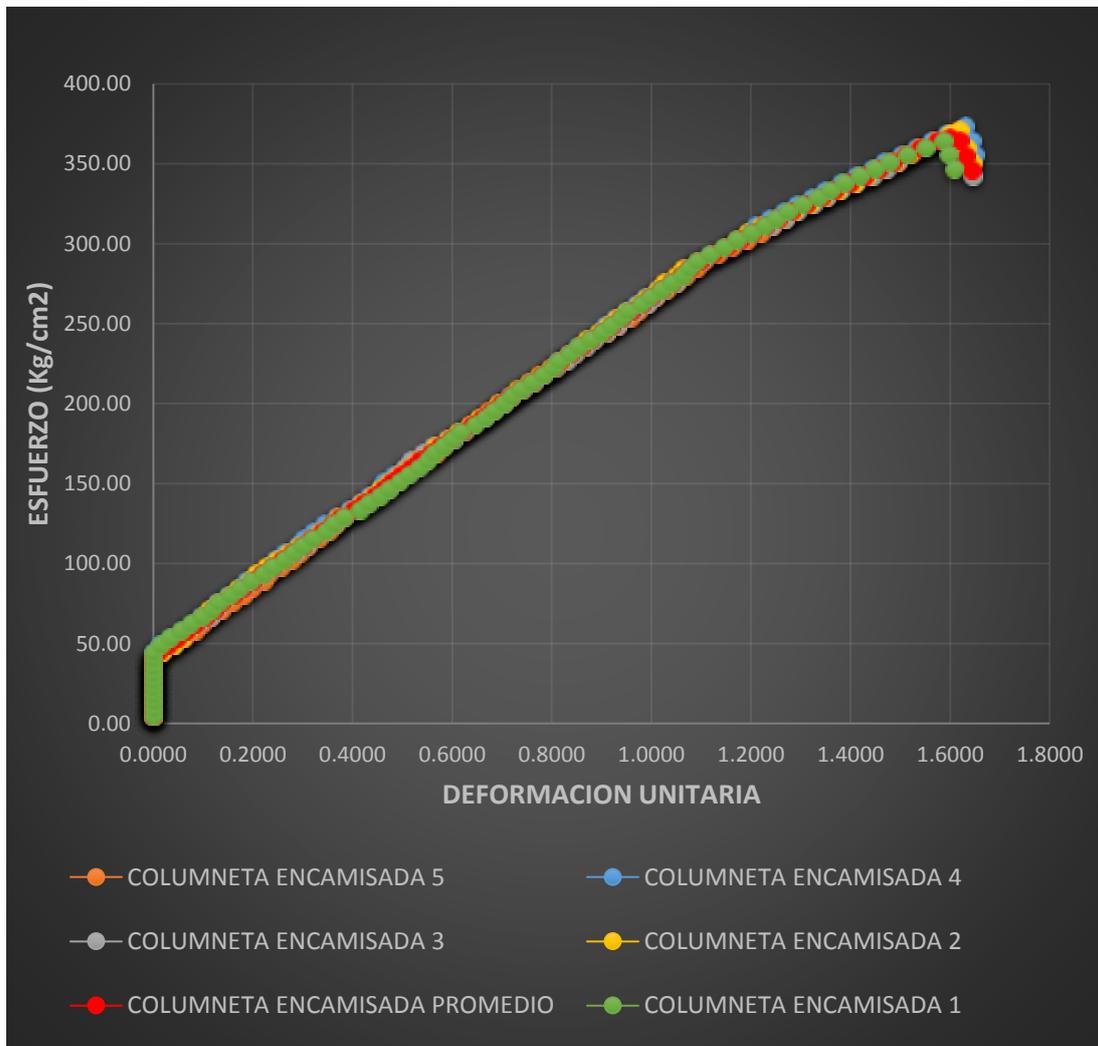


FIGURA 29: Diagrama Esfuerzo – Deformación de Columneta Encamisada Promedio.

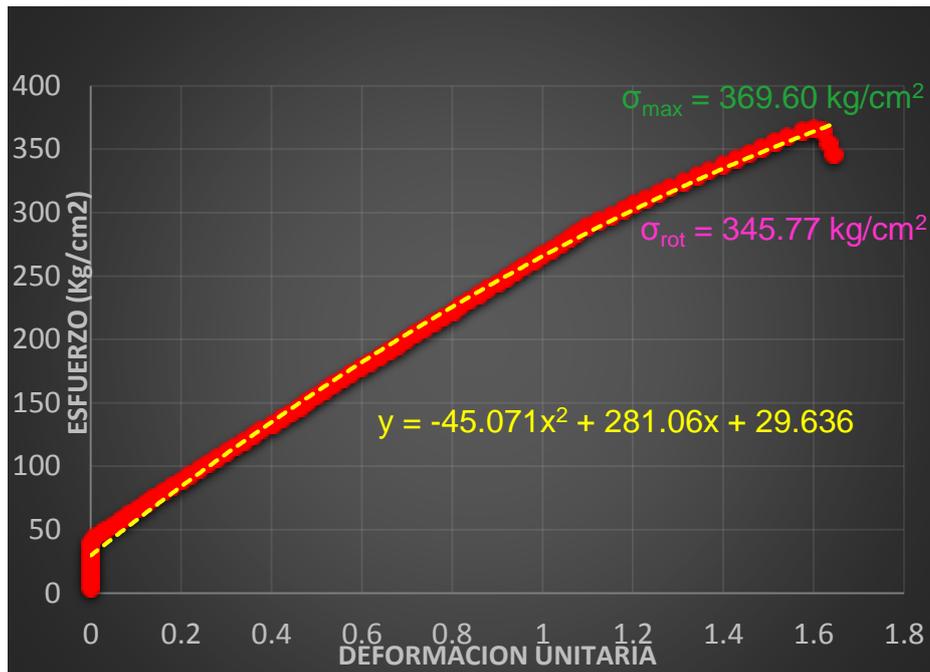
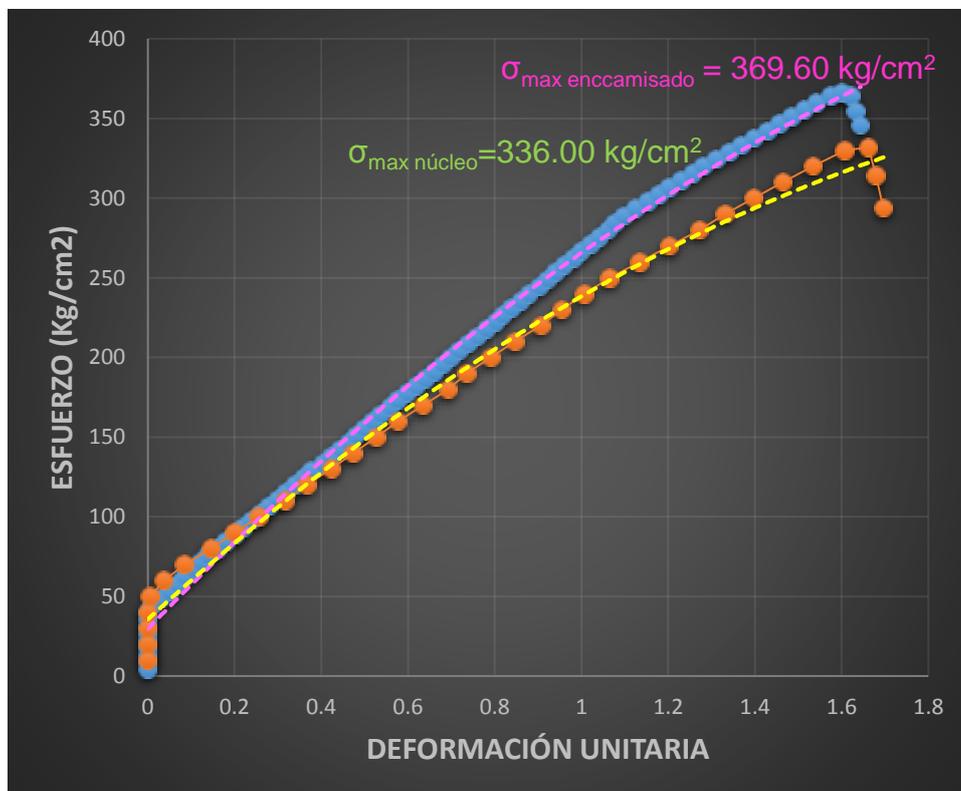


FIGURA 30: Diagrama esfuerzo vs deformación de columneta núcleo promedio y columneta encamisada promedio



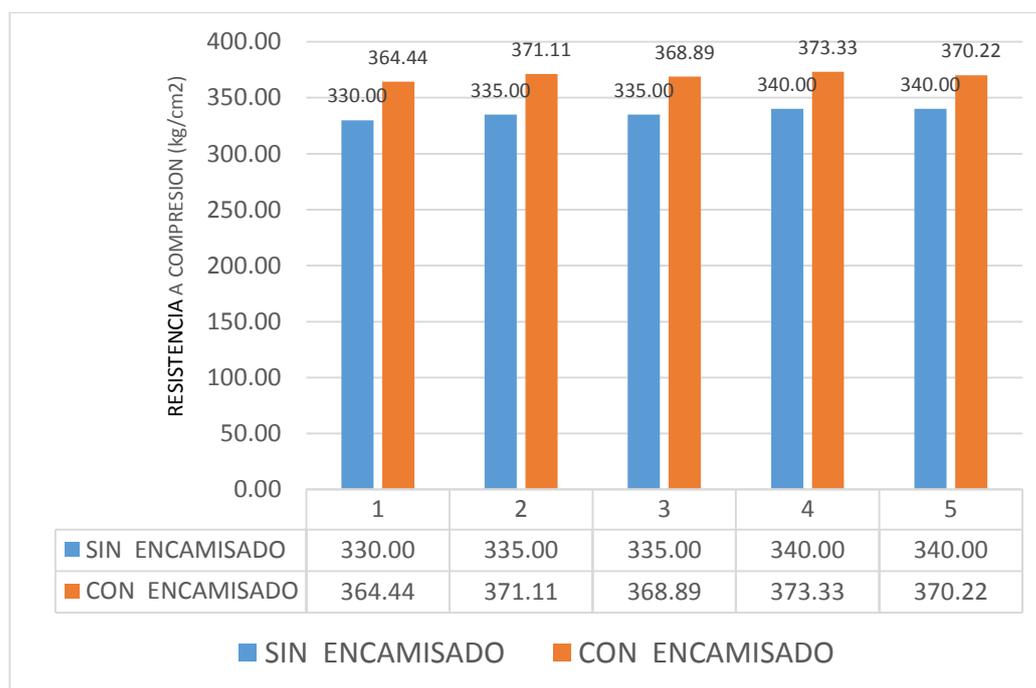
4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Tabla 32: Resistencia a compresión de las columnetas ensayadas.

CONDICIÓN DE LA COLUMNETA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE COLUMNETAS ENSAYADAS (TESTIGOS) EN kg/cm ²					
	1	2	3	4	5	PROMEDIO
SIN ENCAMISADO	330.00	335.00	335.00	340.00	340.00	336.00
CON ENCAMISADO	364.44	371.11	368.89	373.33	370.22	369.60
% INCREMENTADO	10.44%	10.78%	10.12%	9.80%	8.89%	10.01%

FIGURA 31: Comparación de la resistencia a compresión de las columnetas ensayadas.



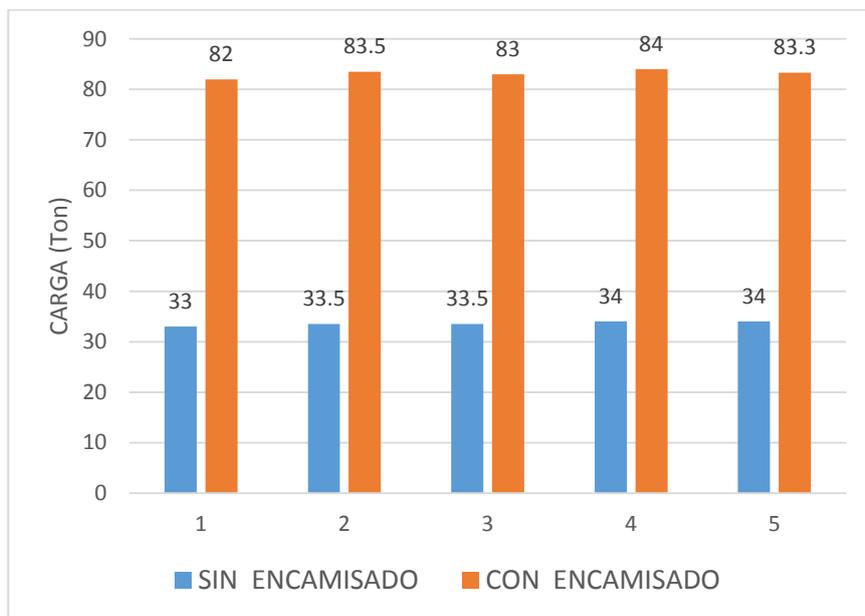
En la Figura 31 se puede observar claramente que las columnetas encamisadas tienen una mayor resistencia a la compresión que las columnetas sin encamisar (columnetas núcleo); en la Tabla 32 notamos que el aumento promedio de la resistencia a la compresión de las columnetas encamisadas con respecto a las columnetas núcleo es de 10.01%.

4.2 CARGA ÚLTIMA

Tabla 33: Carga Última de las columnetas ensayadas.

CONDICIÓN DE LA COLUMNETA	CARGA ÚLTIMA DE COLUMNETAS ENSAYADAS (TESTIGOS) EN Ton					
	1	2	3	4	5	PROMEDIO
SIN ENCAMISADO (I)	33	33.5	33.5	34	34	33.6
CON ENCAMISADO (II)	82	83.5	83	84	83.3	83.16
RELACIÓN II/I	2.48	2.49	2.48	2.47	2.45	2.48

FIGURA 32: Comparación De Cargas Últimas de columnetas núcleo y columnetas encamisadas.



La Figura 32 muestra un incremento bastante grande de la carga última de las columnetas encamisadas con respecto a las columnetas núcleo (columnetas sin encamisar), siendo la carga última de las columnetas encamisadas un promedio de 2.48 veces la carga última de las columnetas núcleo, según nos muestra la Tabla 33, por lo que podemos decir que la resistencia de diseño aumentó.

4.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD Y DEFORMACIONES

Tabla 34: Módulos de elasticidad de las columnetas ensayadas a compresión.

CONDICIÓN DE LA COLUMNETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE COLUMNETAS ENSAYADAS (TESTIGOS) EN kg/cm ²					
	1	2	3	4	5	PROMEDIO
SIN ENCAMISADO	205533.60	205128.21	203921.57	204322.20	204724.41	204725.99
CON ENCAMISADO	230786.57	230517.35	229615.13	230065.36	229166.67	230030.21
% INCREMENTADO	12.29%	12.38%	12.60%	12.60%	11.94%	12.36%

Tabla 35: Deformaciones unitarias máximas de columnetas ensayadas a compresión.

CONDICIÓN DE LA COLUMNETA	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁXIMA DE COLUMNETAS ENSAYADAS (TESTIGOS) (x 10 ³)					
	1	2	3	4	5	PROMEDIO
SIN ENCAMISADO	1.63	1.66	1.65	1.67	1.67	1.659
CON ENCAMISADO	1.58	1.62	1.60	1.63	1.62	1.6135
% INCREMENTADO	2.91%	2.62%	2.96%	2.68%	2.93%	2.82%

En las tablas 34 y 35 se puede observar una disminución en las micro-deformaciones en el concreto de las columnas encamisadas, con respecto a las columnas sin encamisar, con un aumento en el Módulo de Elasticidad de las columnas encamisadas, ya que las columnetas núcleo (sin encamisar) presentaron un módulo de elasticidad promedio de 204725.99 kg/cm² y las columnetas encamisadas presentaron un módulo de elasticidad promedio de 230030.22 kg/cm².

4.4 TIPO DE FALLA

El tipo de falla que presentaron tanto las columnetas núcleo como las columnetas encamisadas fue una falla dúctil, no explosiva, ya que hubo una deformación plástica considerable antes de la fractura y de acuerdo al tipo de fisuras que se presentaron. (Fig.33 y Fig.34).

Las columnetas encamisadas tuvieron un comportamiento monolítico ya que la falla que se presentó fue desde el núcleo hasta la parte encamisada, lo que demuestra una buena adherencia entre el concreto viejo y nuevo (Fig.34 y Fig. 35).

FIGURA 33: Falla de Columneta núcleo.



FIGURA 34: Falla de columna encamisada.



FIGURA 35: Falla desde el núcleo de columna encamisada (comportamiento monolítico)



4.5 CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS

De acuerdo con los ensayos realizados en laboratorio, se observó que la resistencia a compresión de las columnetas encamisadas varió, aumentando en un 10.01%, con respecto a las columnetas sin encamisar, con lo cual podemos decir que el encamisado de columnas con concreto armado mediante un puente epóxico, no aumenta la resistencia a compresión de las columnas en un 20%, como se planteó en la hipótesis.

Por lo tanto se niega la hipótesis, ya que si bien es cierto la resistencia a la compresión varía, aumentando la resistencia, dicho aumento no es en un 20% sino un 10.01%.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La resistencia a compresión de columnas encamisadas con concreto armado, haciendo uso de un puente epóxico, aumentó en un 10.01% con respecto a las columnetas sin encamisar (columnetas núcleo).
- Los agregados del río Chonta (Cantera roca Fuerte-Baños del Inca) presentan características físicas y mecánicas idóneas para el diseño de columnas y encamisados de concreto armado.
- Se realizaron los diseños de mezclas para un concreto de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=225 \text{ kg/cm}^2$, cuya resistencia promedio obtenida en el laboratorio de especímenes a los 7 días de edad, fue de un $f'c= 123.984 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c= 168.445 \text{ kg/cm}^2$ respectivamente, siendo a la edad de 28 días la resistencia $f'c= 177.120 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c= 242.521 \text{ kg/cm}^2$ respectivamente, superando la resistencia requerida y encontrándose dentro del rango aceptable de resistencia.
- El adhesivo “Chema Epox adhesivo 32”, le dio un comportamiento monolítico a las columnetas encamisadas, ya que las fracturas se presentaron desde el núcleo hasta el encamisado, siendo dicha falla una falla dúctil, tipo II a las aristas, típico de la falla a compresión pura.
- Se determinó la resistencia a compresión de las columnetas, siendo de $f'c= 336.00 \text{ kg/cm}^2$ para las columnetas núcleo (sin encamisado) y de $f'c= 369.60 \text{ kg/cm}^2$ para las columnetas encamisadas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones de encamisado con concreto armado en columnas intermedias y largas.
- Realizar investigaciones de encamisado con concreto armado en columnas que no han sufrido daños.
- Realizar investigaciones de encamisado con concreto armado en columnas utilizando otro tipo de adhesivos, como puente epóxico para la unión de concreto endurecido con concreto fresco.

RECOMENDACIONES DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

- La etapa más importantes en el encamisado de columnas es la limpieza y aplicación del puente epóxico, para lograr una buena adherencia entre el concreto endurecido y el concreto fresco, por ende se recomienda una limpieza exhaustiva de la superficie de la columneta a encamisar haciendo uso de una escobilla de acero, para eliminar todo tipo de partículas de polvo, grasa y partículas de concreto mal adheridas.
- Pese a las indicaciones sobre el tiempo de secado del adhesivo epóxico (2 horas, según la hoja técnica), se recomienda realizar este procedimiento en una hora, ya que pasada esta hora el epóxico empieza a perder trabajabilidad, impidiendo una buena adherencia.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGULLÓ FARRÉ, Xavier (2012). Análisis De Soportes Reforzados. Catalunya-España: Universidad Politécnica de Catalunya.77p.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (2007). ACI 318. Farmington Hills, Mi 48331: American Concrete Institute.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (2007). ACI 211. Farmington Hills, Mi 48331: American Concrete Institute.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (2014). ACI 369. Farmington Hills, Mi 48331: American Concrete Institute.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (2014). ACI 562. Farmington Hills, Mi 48331: American Concrete Institute.
- ARCHILA ORTIZ, Gustavo Adolfo (2007). Evaluación Sobre Adherencia Entre Concreto Antiguo Y Concreto Nuevo Con Dos Tipos De Epóxicos. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 73p.
- AREVALO FARRO., Marianella L. (2015). Rehabilitación de Columnas de Concreto Armado Aplicando Refuerzos Estructurales Externamente. Caracas-Venezuela: Universidad Nueva Esparta .97p.
- ARTHUR H. Nilson (2001). Diseño de Estructuras de Concreto. Duodécima edición. Editor Emma Ariza H. Colombia. 722p.
- ASTM INTERNATIONAL. (2004). ASTM C127/C127M-04. Obtenido de www.astm.org. Consultado 14 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2004). ASTM C128/C128M-04a. Obtenido de www.astm.org. Consultado 14 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2004). ASTM C566/C566M-97. Obtenido de www.astm.org. Consultado 27 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2005). ASTM C136/C136M-05. Obtenido de www.astm.org. Consultado 14 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2007). ASTM C29/C29M-07. Obtenido de www.astm.org. Consultado 14 set. 2017.

- ASTM INTERNATIONAL. (2007). ASTM C150/C150M-07. Obtenido de www.astm.org. Consultado 19 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2009). ASTM C31/31M-09. Obtenido de www.astm.org. Consultado 2 oct. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2009). ASTM C131/131M-09. Obtenido de www.astm.org. Consultado 27 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2009). ASTM C595/595M-09. Obtenido de www.astm.org. Consultado 19 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2010). ASTM C881/C881M-90. Obtenido de www.astm.org. Consultado 27 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2012). ASTM C192/C192M - 12. Obtenido de www.astm.org. Consultado 19 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2012). ASTM C1602/C1602M - 12. Obtenido de www.astm.org. Consultado 14 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2014). ASTM C469 / C469M - 14. Obtenido de www.astm.org. Consultado 19 set. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. (2016). ASTM C33/C33M-16. Obtenido de www.astm.org. Consultado 14 set. 2017.
- BORJA ESCOBAR, Luis F. y TORRES TAMAYO, María J. (2015). Diseño del Reforzamiento Estructural de un Edificio de Departamentos de 4 Plantas Ubicado en el Sector Quitumbe, Ciudad de Quito, Provincia de Pichincha. Quito- Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.224p.
- CORPORACION ACEROS AREQUIPA S.A. (2010). Manual Maestro Constructor. Lima-Perú. 14p.
- CONESA GUILLEN, Josefa. (2003). Diseño de uniones adhesivas. Cartagena-España: Universidad Politécnica de Cartagena.51p.
- HARMSEN GÓMEZ DE LA TORRE, Teodoro E. (2002). Diseño De Estructuras De Concreto Armado. Tercera Edición. Lima - Perú: Pontificia Universidad Católica Del Perú. 678p.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y CONCRETO. (2004). Propiedades del concreto. Conceptos Básicos del Concreto.

- JÁCOME VILLACRES, Pablo José (2016). Determinación De Las Técnicas De Reforzamiento Para Mejorar El Desempeño Estructural De Un Edificio Mixto. Ambato-Ecuador: Unidad Técnica De Ambato. 194p.
- LAURA HUANCA, Samuel (2006). Diseño de Mezclas de Concreto. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.19p.
- MORALES MORALES, Roberto (2006). Diseño en Concreto armado. Lima-Perú. 245p.
- MVCS (2010). NTE. Concreto Armado. E060. Lima – Perú.
- NORMA TECNICA PERUANA 400.037 (2014). Cuarta edición. Lima-Perú.
- NORMA TECNICA PERUANA 400.011 (2014). Cuarta edición. Lima-Perú.
- PAREDES LÓPEZ, Cinthia Stefani y REYES COSSÍO, Carlos Edmundo (2015). Influencia Del Adhesivo Epóxico Colmax 32 Como Puente Adherente De Concreto Armado Para La Recuperación Del Monolitismo de una Estructura. Trujillo-Perú: Universidad Antenor Orrego.149p.
- PEREZ VALCARCEL, Juan Bautista (2014). Reparación y Refuerzo de Estructuras. Coruña-España. 50p.
- RAIGOSA TUK, Eduardo (2010). Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales. San José-Costa Rica. 27p.
- RIVVA LÓPEZ, Enrique (2007). Tecnología del Concreto-Diseño de Mezclas. Instituto de Gerencia y Construcción – ICG. Segunda Edición. Lima-Perú. 292p.
- SOTO BARRAZA, Emma Nereida (2008). Rehabilitación De Estructuras De Concreto. México DF-México: Universidad Nacional Autónoma De México. 107p.
- TERAN GILMORE, Amador (2000). Reparación de Estructuras Mediante su Encamisado con Concreto Reforzado. México D.F.105p.

- THE PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (2014). The Portland Cement Association. Obtenido de www.cement.org.
- VALENCIA ZAFRA, Eduardo Salomón (2013). Evaluación de la resistencia a compresión, de especímenes de concreto usando aditivo adherente “Chema epox adhesivo 32” en juntas frías en el distrito de Cajamarca. Cajamarca-Perú.120p.
- VEGA PEREDA, Carlos Enrique (2008). Evaluación y reforzamiento de dos edificios contiguos construidos en la década del 60 en el centro de Lima. Lima-Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.122p.
- YAGUAL QUIMI, Dussan Danilo (2014). Reforzamiento De Estructuras. Guayaquil-Ecuador: Universidad Laica Vicente Roca Fuerte.30p

ANEXOS

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

RÍO CHONTA: CANTERA ROCA FUERTE-BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA

Tabla 36: Propiedades Físicas De Los Agregados Del Río Chonta.

CARACTERÍSTICA	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Perfil	-	angular
TMN (")	-	1/2"
Pem (gr/cm ³)	2.477	2.548
Pesss(gr/cm ³)	2.504	2.617
Pea(gr/cm ³)	2.546	2.737
Abs(%)	1.085	2.716
Puss (kg/m ³)	1457.14	1322.67
Pusc (gr/cm ³)	1.641	1.42
W (%)	3.082	1.05
Part. < T. #200 (%)	1.87	0.8
Abrasión (%)	-	28.5
mf	3.131	6.210

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

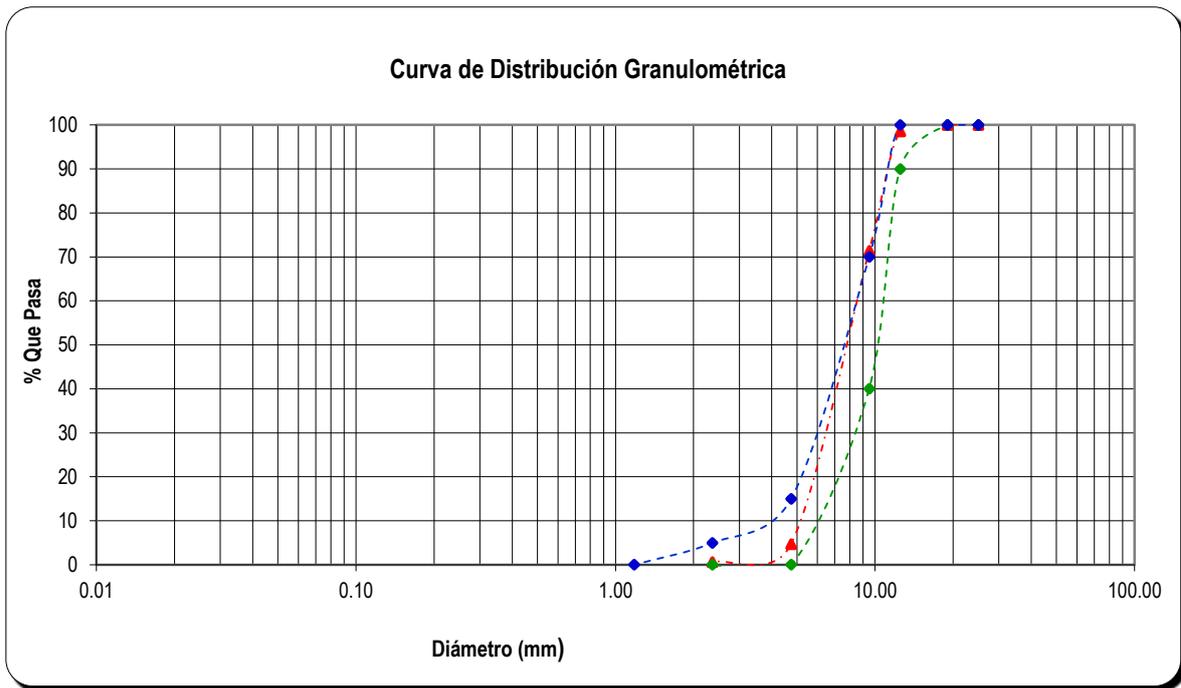
A. AGREGADO GRUESO

- MUESTRA 1

Tabla 37: Granulometría del agregado grueso para la Muestra 1

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO EN (g.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO HUSO	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1/2"	12.50	46.20	1.44	1.44	98.56	90	100
3/8"	9.50	875.60	27.20	28.64	71.36	40	70
N°4	4.75	2147.50	66.71	95.35	4.65	0.00	15
N°8	2.36	129.20	4.01	99.36	0.64	0.00	5
N°16	1.18	5.70	0.00	99.36	0.64	0.00	0.00
N°30	0.60	0.00	0.00	99.36	0.64	0.00	0.00
N°50	0.30	0.00	0.00	99.36	0.64	0.00	0.00
N°100	0.15	0.00	0.00	99.36	0.64	0.00	0.00
N°200	0.075	0.00	0.00	99.36	0.64	0.00	0.00
CAZOLETA	--	14.80	0.46	99.82	0.18	Módulo de Finura	
PESO TOTAL DE MUESTRA		3219.00				6.208	

FIGURA 36: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 1

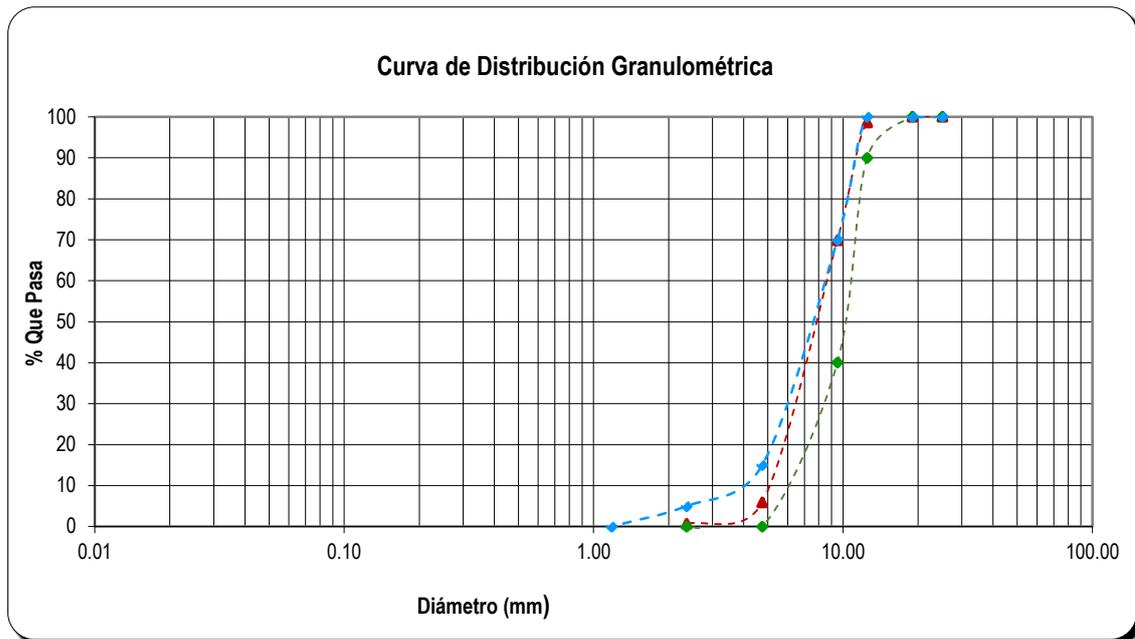


• **MUESTRA 2**

Tabla 38: Granulometría del agregado grueso para la Muestra 2

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO EN (g.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO HUSO	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1/2"	12.50	44.80	1.35	1.35	98.65	90	100
3/8"	9.50	955.70	28.79	30.14	69.86	40	70
N°4	4.75	2124.20	63.99	94.12	5.88	0.00	15
N°8	2.36	173.90	5.24	99.36	0.64	0.00	5
N°16	1.18	6.80	0.00	99.36	0.64	0.00	0.00
N°30	0.60	0.00	0.00	99.36	0.64	0.00	0.00
N°50	0.30	0.00	0.00	99.36	0.64	0.00	0.00
N°100	0.15	0.00	0.00	99.36	0.64	0.00	0.00
N°200	0.075	0.00	0.00	99.36	0.64	0.00	0.00
CAZOLETA	--	14.40	0.43	99.80	0.20	Módulo de Finura	
PESO TOTAL DE MUESTRA		3319.80				6.211	

FIGURA 37: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 2

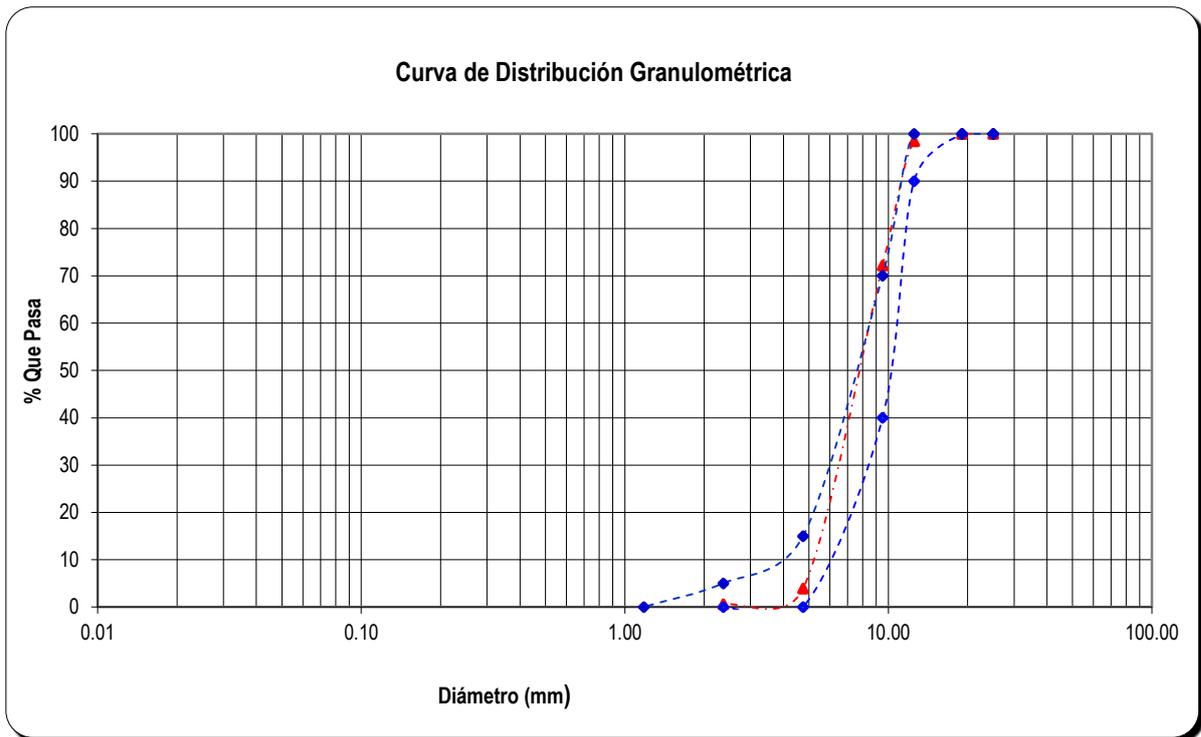


• **MUESTRA 3**

Tabla 39: Granulometría del agregado grueso para la Muestra 3

TAMIZ N°	ABERTUR A TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO EN (g.)	PORCENTAJE RETENINIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO HUSO	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1/2"	12.50	48.20	1.56	1.56	98.44	90	100
3/8"	9.50	809.30	26.26	27.83	72.17	40	70
N°4	4.75	2103.10	68.25	96.07	3.93	0.00	15
N°8	2.36	102.90	3.34	99.41	0.59	0.00	5
N°16	1.18	4.90	0.00	99.41	0.59	0.00	0.00
N°30	0.60	0.00	0.00	99.41	0.59	0.00	0.00
N°50	0.30	0.00	0.00	99.41	0.59	0.00	0.00
N°100	0.15	0.00	0.00	99.41	0.59	0.00	0.00
N°200	0.075	0.00	0.00	99.41	0.59	0.00	0.00
CAZOLETA	--	13.20	0.43	99.84	0.16	Módulo de Finura	
PESO TOTAL DE MUESTRA		3081.60				6.210	

FIGURA 38: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 3



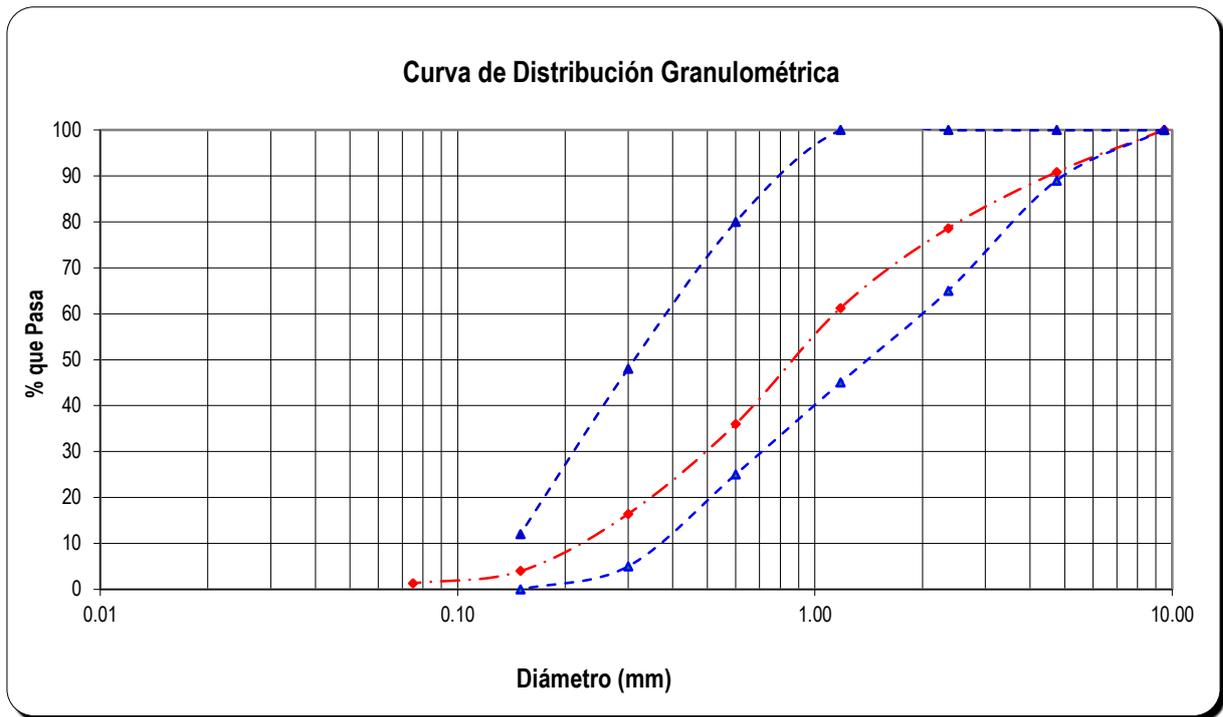
B. AGREGADO FINO

• **MUESTRA 1**

Tabla 40: Granulometría del agregado fino para la Muestra 1

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENINIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	179.30	9.17	9.17	90.83	89	100
N°8	2.36	239.10	12.22	21.39	78.61	65	100
N°16	1.18	339.80	17.37	38.76	61.24	45	100
N°30	0.60	493.90	25.25	64.01	35.99	25	80
N°50	0.30	383.10	19.59	83.60	16.40	5	48
N°100	0.15	243.10	12.43	96.03	3.97	0	12
N°200	0.075	51.90	2.65	98.68	1.32	0	0
CAZOLETA	--	25.80	1.32	100.00	0.00	Módulo de Finura	
PESO TOTAL DE MUESTRA		1956.00	100.00			3.130	

FIGURA 39: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 1

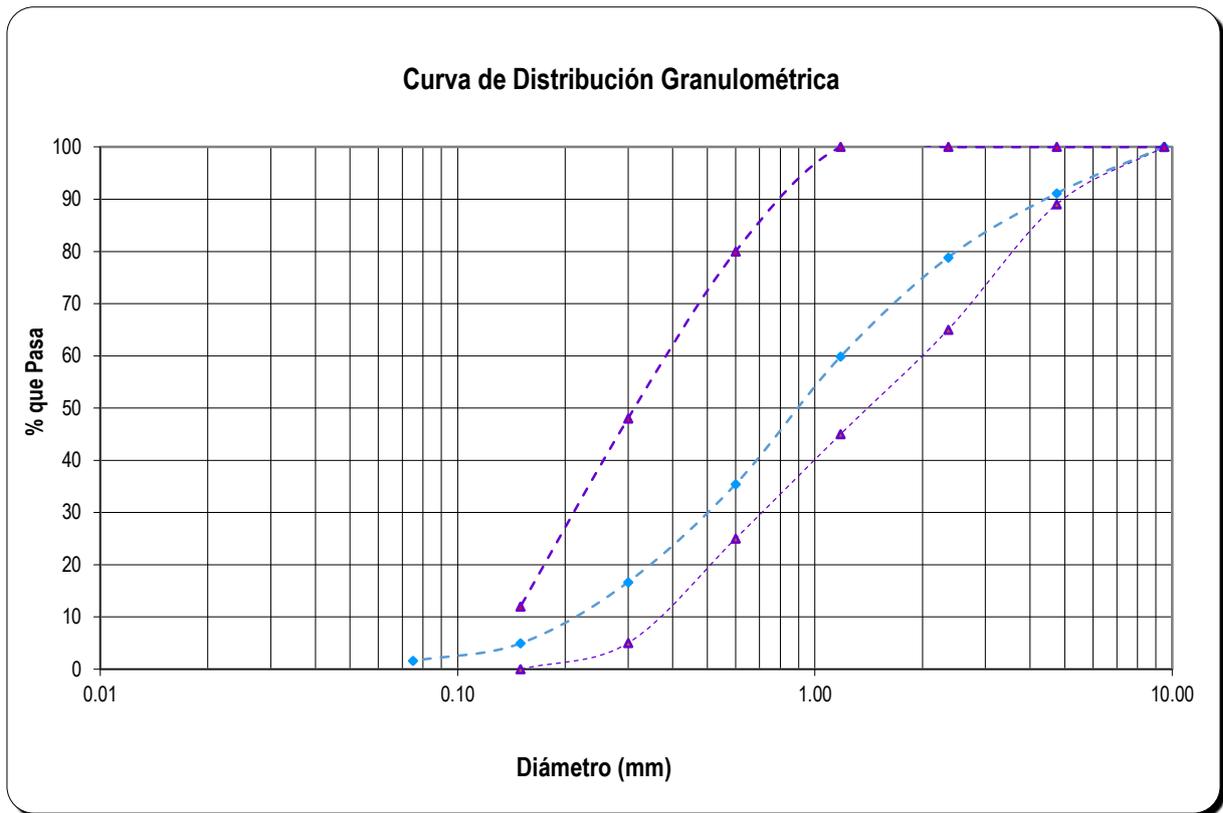


• **MUESTRA 2**

Tabla 41: Granulometría del agregado fino para la Muestra 2

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	181.20	8.90	8.90	91.10	89	100
N°8	2.36	250.20	12.28	21.18	78.82	65	100
N°16	1.18	386.60	18.98	40.16	59.84	45	100
N°30	0.60	497.50	24.42	64.58	35.42	25	80
N°50	0.30	382.10	18.76	83.34	16.66	5	48
N°100	0.15	238.90	11.73	95.07	4.93	0	12
N°200	0.075	68.40	3.36	98.42	1.58	0	0
CAZOLETA	--	32.10	1.58	100.00	0.00	Módulo de Finura	
PESO TOTAL DE MUESTRA		2037.00	100.00			3.132	

FIGURA 40: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 2

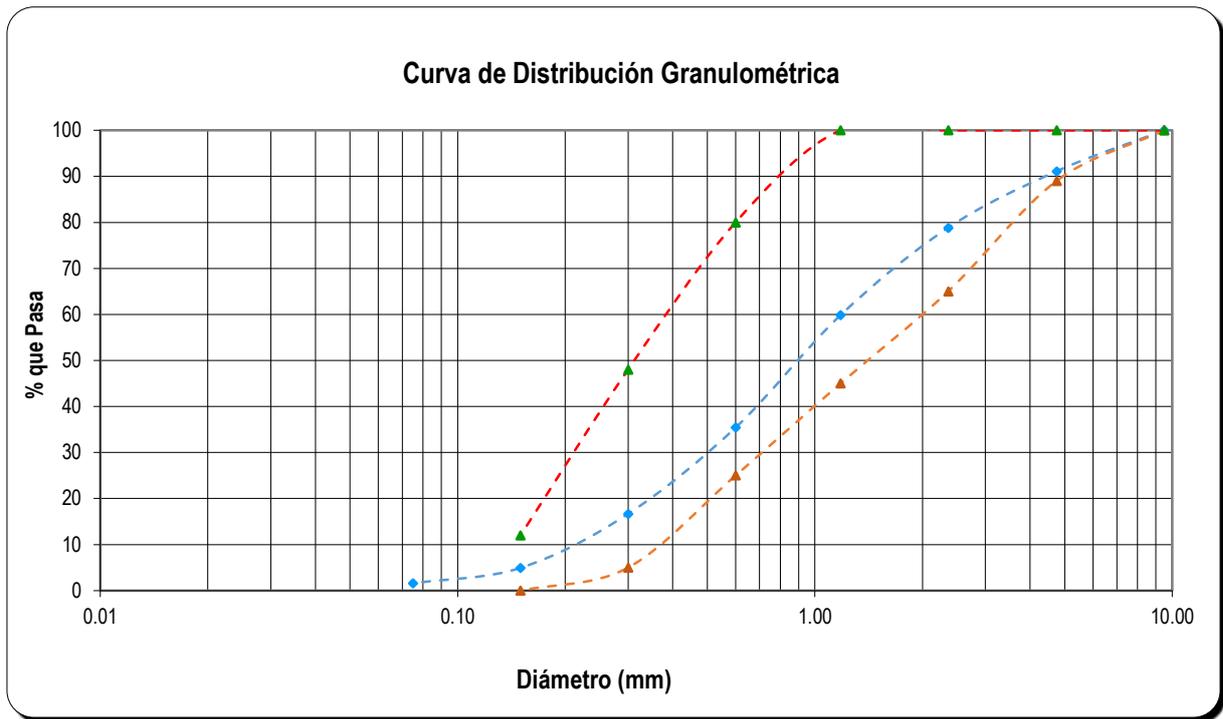


• **MUESTRA 3**

Tabla 42: Granulometría del agregado fino para la Muestra 3

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	185.10	9.15	9.15	90.85	89	100
N°8	2.36	269.40	13.32	22.47	77.53	65	100
N°16	1.18	355.40	17.57	40.03	59.97	45	100
N°30	0.60	490.60	24.25	64.29	35.71	25	80
N°50	0.30	361.00	17.84	82.13	17.87	5	48
N°100	0.15	259.80	12.84	94.97	5.03	0	12
N°200	0.075	68.90	3.41	98.38	1.62	0	0
CAZOLETA	--	32.80	1.62	100.00	0.00	Módulo de Finura	
PESO TOTAL DE MUESTRA		2023.00	100.00			3.130	

FIGURA 41: Curva de Distribución Granulométrica de la Muestra 3



ELABORACIÓN DE TESTIGOS TIPO I (COLUMNETAS NÚCLEO)

DISEÑO DE MEZCLAS

CEMENTO PORTLAND TIPO I PACASMAYO (A.S.T.M C - 150)
 PESO ESPECIFICO: 3.08 gr/cm³

A. SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

Se obtuvo la resistencia promedio o f'_{cr} , utilizando el criterio de recomendado por la American Society for Testing Materials (ASTM), ya que no se cuenta con valores estadísticos previos.

$$f_{cr} = f'_c * 1.2, \text{ Donde: } k$$

Tabla 43: Valores de K, para la obtención de la resistencia promedio del concreto.

CONDICIONES	K
Materiales de calidad muy controlada, dosificación por pesado, supervisión especializada constante.	1.1
Materiales de calidad controlada, dosificación por volumen, supervisión especializada esporádica.	1.2

Materiales de calidad controlada, dosificación por volumen, sin supervisión especializada.	1.3
Materiales variables, dosificación por volumen, dosificación sin supervisión especializada.	1.5

Fuente: American Society for Testing Materials (ASTM) (2010).

Por lo tanto:

fcr=	210	kg/cm ²
------	-----	--------------------

B. SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

El TMN obtenido por el análisis granulométrico en laboratorio fue:

TMN=

1/2"

C. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

SLUMP=

3" - 4"

D. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Contenido de aire atrapado =

2.5	%
-----	---

E. SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado=

216	Lt
-----	----

F. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

f'c	A/C
200	0.7
210	X
250	0.62

X=

0.684

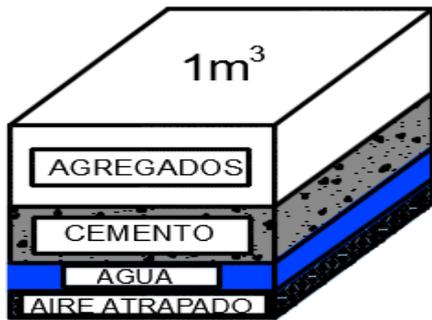
 A/C =

0.684

G. SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO

El factor cemento es cociente del volumen unitario de agua entre la relación agua – cemento.

A/C =	0.684	
A =	216	Lt
C =	315.789	Kg



AGREGADOS	0.657785425	m3
CEMENTO	0.101214575	m3
AGUA	0.216	m3
AIRE	0.025	m3

H. DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Módulo de finura A Fino (mf)=	3.13
Módulo de finura A Grueso (mg) =	6.21
Nº Bolsas = Peso cemento/42.5 =	7.430
TMN =	1/2

Nº Bolsas	m _c
7	4.54
7.430	X
8	4.61

m _c =	5.200
------------------	-------

CORRECCIÓN POR VACÍOS

VACIOS =	44.349
VACIOS POR CORREGIR =	9.349
FCORR. MC=	0.187

m _c =	5.013
------------------	-------

% Volumen absoluto del agregado fino: $rf = \frac{mg - mc}{mg - mf} * 100$

Del 100% de los agregados

rf =	38.875	%
------	--------	---

rf =	Volumen absoluto de AF
	Volumen absoluto de Agregados

Volumen absoluto del Ag. Fino =	0.256	m3
Volumen absoluto del Ag. Grueso =	0.402	m3

Peso seco absoluto del Ag. Fino =	633.409	kg
Peso seco absoluto del Ag. Grueso =	1024.473	kg

I. DETERMINAR LAS PROPORCIONES

I.1.DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO

- MATERIALES DE DISEÑO

Peso del Cemento =	315.789	kg
Peso seco absoluto del Ag. Fino =	633.409	kg
Peso seco absoluto del Ag. Grueso =	1024.473	kg
Agua de Diseño =	216.00	Lt

$$Pp = \frac{315.789}{315.789} \quad \frac{633.409}{315.789} \quad \frac{1024.473}{315.789}$$

- APORTE DE HUMEDAD DE AGREGADOS (agua)

APORTE A.F	12.65
APORTE A.G	-17.07
TOTAL =	-4.42

- PESO HUMEDO DEL AGREGADO:

Peso húmedo del Ag. Fino:

$$Y_h = Y_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 652.930$$

Peso húmedo del Ag. Grueso:

$$Y_h = Y_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 1035.229$$

- PROPORCIONES EN PESO:

MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

Peso del Cemento =	315.789	kg
Peso seco absoluto del Ag. Fino =	652.930	kg
Peso seco absoluto del Ag. Grueso =	1035.230	kg
Agua de Diseño =	220.42	Lt

$$Pp = \frac{315.789}{315.789} \quad \frac{652.930}{315.789} \quad \frac{1035.230}{315.789} \quad / \quad 29.7 \quad \text{Lt/bolsa}$$

$$Pp = 1 : 2.07 : 3.28$$

CORRECCIÓN MEDIANTE LA LEY DE POWER

Debido a que las probetas ensayas con este diseño de mezcla en las proporciones obtenidas anteriormente, no cumplieron con la resistencia esperada ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), se hizo una primera corrección con la ley de power, la cual

sobrepaso la resistencia requerida por lo cual se realizó una segunda corrección para la optimización de la relación A/C, mediante la Ley de Powers y así llegar a la resistencia esperada. A continuación, se presenta la segunda corrección con la Ley De Power:

A. CÁLCULO DE LA NUEVA RELACIÓN A/C:

$$s = 2380 x^3, \text{ siendo } x = \frac{0.678 h}{0.318 h + a/c}$$

Donde:

S= Resistencia del concreto a los 28 días, expresado en kg/cm² X =
Relación gel/espacio

h =Grado de hidratación del cemento

A/C =Relación agua - cemento

Para la tanda de prueba:

$$A/C = 0.619$$

$$S = 244.185 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Entonces: } X = 0.468$$

Calculando:

h =	0.548
-----	-------

Contando con estos datos, se puede plantear otra vez la ecuación y calcular la nueva relación Agua/Cemento.

A/C =	?
S =	175
h =	0.548

Calculando:

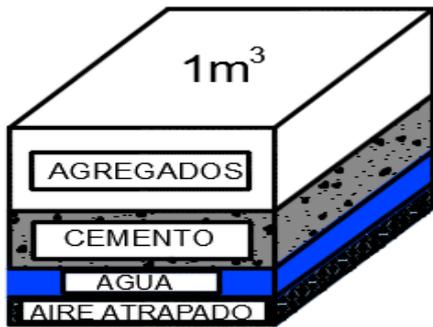
x =	0.419
-----	-------

Reemplazando X en la formula hallamos la nueva relación A/C:

A/C =	0.712
-------	-------

B. SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO:

A/C =	0.712
A =	216.000
C =	303.340
AIRE =	2.5



AGREGADOS	0.662
CEMENTO	0.097
AGUA	0.216
AIRE	0.025

C.DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Módulo de finura A. Fino (mf) =	3.13	Nº Bolsas	m _c
Módulo de finura A. Grueso (mg) =	6.21	7	4.54
Nº Bolsas = Peso cemento (C) /42.5 =	7.137	7.137	X
TMN =	1/2	8	4.61

X =	4.54962	m _c =	4.550
-----	---------	------------------	-------

CORRECCIÓN POR VACÍOS

VACIOS =	44.349	m _c =	4.363
VACIOS POR CORREGIR =	9.349		
FCORR. MC=	0.187		

% Volumen absoluto del agregado fino: $rf = \frac{mg - mc}{mg - mf} * 100$

Del 100% de los agregados

rf =	59.998	%
------	--------	---

$$rf = \frac{\text{Volumen absoluto de AF}}{\text{Volumen absoluto de Agregados}}$$

Volumen absoluto del Ag. Fino =	0.39706	m ³
Volumen absoluto del Ag. Grueso =	0.265	m ³

Peso seco absoluto del Ag. Fino =	983.506	kg
Peso seco absoluto del Ag. Grueso =	674.508	kg

D.DETERMINAR LAS PROPORCIONES

D.1.DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO

- MATERIALES DE DISEÑO

Peso del Cemento =	303.340	kg
Peso seco absoluto del Ag. Fino =	983.506	kg
Peso seco absoluto del Ag. Grueso =	674.508	kg
Agua de Diseño =	216.00	Lt

$$Pp = \frac{303.340}{303.340} \quad \frac{983.506}{303.340} \quad \frac{674.508}{303.340}$$

• APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

APORTE A.F	19.64
APORTE A.G	-11.24
TOTAL =	8.40

• PESO HUMEDO DEL AGREGADO:

Peso húmedo del Ag. Fino:

$$Y_h = Y_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 1013.817$$

Peso húmedo del Ag. Grueso:

$$Y_h = Y_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 681.590$$

• PROPORCIONES EN PESO:

MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

Peso del Cemento =	303.340	kg
Peso seco absoluto del Ag. Fino =	1013.817	kg
Peso seco absoluto del Ag. Grueso =	681.590	kg
Agua de Diseño =	207.60	Lt

$$Pp = \frac{303.340}{303.340} \quad \frac{1013.817}{303.340} \quad \frac{681.590}{303.340} \quad / \quad 29.1 \quad \text{Lt/bolsa}$$

Pp = 1 : 3.34 : 2.25

ENSAYO A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO SIMPLE

Tabla 44: Resultados de ensayo a compresión de especímenes de concreto simple $f'c=175$ kg/cm².

Nº DE PRUEBA	DIAMETRO PROMEDIO MEDIO (cm)	AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL (mm)	CARGA MAXIMA (Tn)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm2)	TIPO DE FRACTURA	EDAD DEL ESPECIMEN (días)
1	15.1	179.079	21.9	122.292	3	7
2	15.2	181.459	22.2	122.342	3	7
3	15.1	179.079	22.8	127.318	3	7

PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNETAS NÚCLEO

El tipo de columna que pre dimensionaremos es una columna cuadrada interior de primer piso, con estribos, la cual estará sometida a una carga puntual de 5 Ton (columna cargada axialmente), dicha carga es pequeña debido a las limitaciones de carga que presenta la máquina en la que se realizarán las pruebas de compresión.

Para el pre dimensionamiento de columnas se tiene presente la siguiente tabla:

Tabla 45: Valores de “n” y “P”, según el tipo de columna a diseñar

TIPO DE COLUMNA	K	N
Columna interior de primer piso.	1.1 0	0.30
Columna interior del último piso.	1.1 0	0.25
Columna externa de pórtico interior.	1.2 5	0.25
Columna de esquina.	1.5 0	0.20

Fuente: Morales R. (2006, p.128).

Con el cuadro adjunto y con la siguiente fórmula procedemos al pre dimensionamiento de las columnas.

$$b * h = \frac{K * P}{N * F'c}$$

En donde:

P= Peso en Kg o Ton.

b = Base de columna

h = Ancho de columna

K y N = Factores

SECCIÓN PARA COLUMNAS DE CENTRO:

Dónde:

b = base de columna

h = ancho de columna

K = 1.10

P = 5 Ton = 5000 Kg

N = 0.30

F'c= 175 Kg/cm²

Reemplazando los datos tenemos:

$$b * h = \frac{1.10 * 5000}{0.30 * 175}$$

$$b * h = 102.762 \text{ cm}^2$$

Para este proyecto se diseñará una columneta cuadrada, luego:

$$b = h$$

Entonces: $b^2 = 102.762 \text{ cm}^2$

$$b = 10.137 \text{ cm}$$

Por cuestiones constructivas, se tomará:

$$b = 10 \text{ cm} = 0.10 \text{ m}$$

❖ **Nota:** El área requerida mínima según el reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, es: $b * h = 600 \text{ cm}^2$, sin embargo debemos tomar en cuenta que dicho reglamento nos brinda normas para estructuras en tamaño real que van a resistir grandes cargas, es por ello y también debido a las limitaciones de carga que presenta la máquina en la que se realizarán las pruebas a compresión de las columnetas, que el área obtenida se tomará como válida.

DISEÑO ESTRUCTURAL DE COLUMNETAS NÚCLEO

A. TIPO DE COLUMNA

Tabla 46: Clasificación de la columna por su esbeltez.

Parámetro	Valor	Unidad
Área	0.010000	m ²
Inercia	0.000008	m ⁴
R	0.028284	m
Lc	0.800000	m
Relación de Esbeltez	28.284271	Columna Corta

B. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS COLUMNETAS NÚCLEO

- f'_c del concreto a los 28 días: 175 kg/cm²
- Área transversal de columna: a=10cm; b= 10 cm; área =100 cm²
- Altura de columna: 80 cm
- Recubrimiento: 2 cm
- Carga axial: 5 Ton
- Apoyo en la base: empotramiento perfecto

C. CÁLCULO DE ACERO LONGITUDINAL

- De los datos tenemos que:

$$P_u = 5 \text{ Ton} = 5000 \text{ kg}$$

- Haciendo uso de las ecuaciones:

$$\emptyset P_n \geq P_u$$

$$P_n = 0.85 * f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} * f_y$$

$$P_n = P_u / (0.80 * \emptyset) = P_u / 0.560$$

- Cálculo de P_n :

$$P_n = \frac{P_u}{0.560}$$

$$P_n = \frac{5000}{0.560} \implies P_n = 8928.571 \text{ kg}$$

- Cálculo del acero longitudinal, reemplazando los datos obtenidos:

$$8928.571 = 0.85 * 175 (100 - A_{st}) + A_{st} * 4200$$

$$A_{st} = - 1.4678 \text{ cm}^2$$

- Como la ecuación arroja un área de acero negativa, entonces asumiremos como área de acero la cuantía de refuerzo longitudinal mínima, que sería el 0.01 del área bruta.

$$0.01 \leq \rho \leq 0.06$$

$$\rho = \frac{A_{st}}{A_g}$$

$$0.01 = \frac{A_{st}}{100}$$

$$A_{st} = 1 \text{ cm}^2$$

- Por lo tanto la distribución de acero longitudinal es:

$$4 \text{ } \varnothing \text{ } 1/4''$$

D.CÁLCULO DE ACERO TRANSVERSAL

• CÁLCULO DE ACERO POR CONFINAMIENTO

Según el RNE:

$$S_{\text{máx.}} = 16 * \varnothing_{\text{LONGITUDINAL}} = 9.6 \text{ cm}$$

$$S_{\text{máx.}} = 48 * \varnothing_{\text{ESTRIBOS}} = 28.8 \text{ cm}$$

$$S_{\text{máx.}} = \text{Menor dimensión transversal} = 10 \text{ cm}$$

Por lo tanto:

$$\varnothing_{\text{ESTRIBOS}} = 1/4''$$

$$2\varnothing 1/4'' @ 3\text{cm} + 3\varnothing 1/4'' @ 7\text{cm} / \text{Cada extremo} + \text{Rest} @ 9\text{cm}$$

NOTA: El testigo se someterá a una fuerza axial a compresión, por ende no se realizara el diseño por cortante, tomando como área de acero el área solamente acero por confinamiento; pero como el acero longitudinal es de $\varnothing 1/4''$, los estribos también serán de $\varnothing 1/4''$ y el espaciamiento se calculara según el RNE: Refuerzo Transversal Para Elementos a Compresión.

DISEÑO DE ZAPATAS

Las dimensiones de las zapatas están en función de la capacidad portante del suelo y del peso de la superestructura, en la presente investigación, las zapatas serán cuadradas y no estarán directamente apoyadas en el suelo (apoyadas en una barra de acero) y el peso que soporta es mínimo, por lo que las dimensiones de la zapata y el área el acero en éstas son las mínimas.

A. ÁREA DE ZAPATA

$$A_z = \frac{P}{\sigma}$$

- $P = P_u + P_c + P_z$

$$P = 5000 + (0.10 \cdot 0.1 \cdot 0.8 \cdot 2400) + 0.03 P_u$$

$$P = 5169.78 \text{ kg}$$

- σ : Se tomará una capacidad portante del suelo alta ya que el testigo no estará apoyado directamente en el suelo, sino, en un apoyo de acero perteneciente a la máquina de ensayo.

$$\sigma = 6 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_z = \frac{5169.78}{6}$$

$$a^2 = 861.63 \text{ cm}^2 \quad a = 29.35 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

B. PROFUNDIDAD DE ZAPATA

Utilizaremos la siguiente fórmula empírica:

$$h_z = 0.22 P_c + 15$$

$$h_z = 19.22 \approx 20 \text{ cm}$$

C. CÁLCULO DEL ÁREA DE ACERO MÍNIMO

- En Dirección X - X y Y-Y (zapata cuadrada)

$$A_s \text{ min} = 0.0018 b d$$

$$A_s \text{ min} = 0.0018 (30) (17.2)$$

$$A_s \text{ min} = 0.93 \text{ cm}^2$$

Área de barra de acero 1/4" = 0.316 cm²

$$S = \frac{L \cdot A_v}{A_s} = \frac{30 \cdot 0.316}{0.93} = 10.19 \text{ cm}$$

Nota: Por cuestiones constructivas (distribución uniforme y amarre de patas de columna en parrilla de zapata) se tomó S=7cm.

DISTRIBUCION DEL ACERO

4φ1/4"@ 7cm. En ambos sentidos.

ELABORACIÓN DE TESTIGOS TIPO II (COLUMNETAS ENCAMISADAS)

DISEÑO DE MEZCLAS

Se seguirá el mismo procedimiento que se empleó para el diseño de mezcla $f'c=175\text{kg/cm}^2$.

A. SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$$f_{cr} = f'c * 1.2$$

Para un $f'c = 225 \text{ kg/cm}^2$

Se tiene:

fcr=	270	kg/cm ²
------	-----	--------------------

B. SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

TMN=

1/2"

C. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

SLUMP=

3" - 4"

D. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Contenido de aire atrapado =

2.5	%
-----	---

E. SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado=

216	Lt
-----	----

F. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

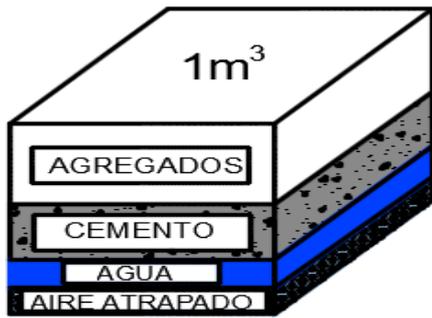
f'c	A/C
250	0.62
270	X
300	0.55

A/C =

0.592

G. SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO

A/C =	0.592	
A =	216	Lt
C =	364.865	Kg



AGREGADOS	0.642056133	m3
CEMENTO	0.117	m3
AGUA	0.216	m3
AIRE	0.025	m3

H. DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Módulo de finura A Fino (mf)=	3.13
Módulo de finura A Grueso (mg) =	6.21
Nº Bolsas = Peso cemento/42.5 =	8.585
TMN =	1/2

Nº Bolsas	m _c
8	4.61
8.585	X
9	4.69

X =	4.657
-----	-------

CORRECCIÓN POR VACÍOS

VACIOS =	44.349
VACIOS POR CORREGIR =	9.349
FCORR. MC=	0.187

m _c =	4.470
------------------	-------

% Volumen absoluto del agregado fino: $rf = \frac{mg - mc}{mg - mf} * 100$

Del 100% de los agregados

r _f =	56.517	%
------------------	--------	---

Volumen absoluto del Ag. Fino =	0.363	m3
Volumen absoluto del Ag. Grueso =	0.279	m3

Peso seco absoluto del Ag. Fino =	898.835	kg
Peso seco absoluto del Ag. Grueso =	711.360	kg

I.DETERMINAR LAS PROPORCIONES

I.1.DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO

- MATERIALES DE DISEÑO

Peso del Cemento =	364.865	kg
Peso seco absoluto del Ag. Fino =	898.835	kg
Peso seco absoluto del Ag. Grueso =	711.360	kg
Agua de Diseño =	216.00	Lt

$$Pp = \frac{364.865}{364.865} \quad \frac{898.835}{364.865} \quad \frac{711.360}{364.865}$$

• **APORTE DE HUMEDAD DE AGREGADOS (agua)**

APORTE A.F	17.95
APORTE A.G	-11.85
TOTAL =	6.10

• **PESO HÚMEDO DEL AGREGADO:**

Peso húmedo del Ag. Fino:

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 926.537$$

Peso húmedo del Ag. Grueso:

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 718.829$$

PROPORCIONES EN PESO:

Peso del Cemento =	364.865	kg/m ³
Peso seco absoluto del Ag. Fino =	926.537	kg/m ³
Peso seco absoluto del Ag. Grueso =	718.829	kg/m ³
Agua de Diseño =	209.90	Lt/m ³

$$Pp = \frac{364.865}{364.865} \quad \frac{926.537}{364.865} \quad \frac{718.829}{364.865} \quad / \quad 24.4 \quad \text{Lt/bolsa}$$

$$Pp = 1 : 2.54 : 1.97$$

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO SIMPLE

Se realizó la prueba de resistencia la compresión siguiendo el marco de las normas ASTM C39/39M – 16. ASTM 192/C192M – 12, a las probetas de prueba que tenían 7 días de edad, de un $f'c = 2225 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 47: Resultados de especímenes de concreto simple $f'c=225 \text{ kg/cm}^2$ ensayados a compresión.

Nº DE PRUEBA	DIAMETRO PROMEDIO MEDIO (cm)	AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL (mm)	CARGA MAXIMA (Tn)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm2)	TIPO DE FRACTURA	EDAD DEL ESPECIMEN (días)
1	15	176.715	30	169.765	3	7
2	15.1	179.079	29.5	164.732	3	7
3	15.2	181.459	31	170.838	3	7

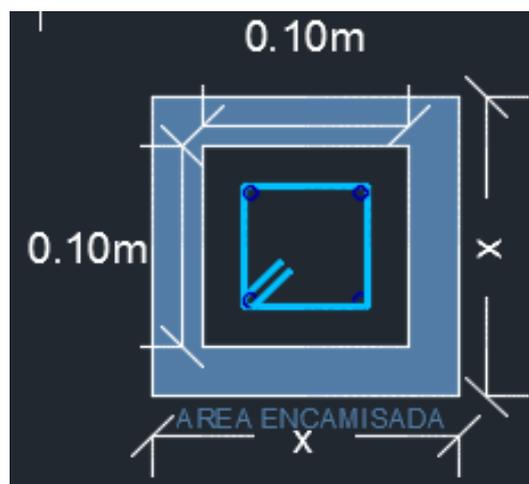
DISEÑO ESTRUCTURAL DEL ENCAMISADO

A. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ENCAMISADO

- $f'c$ del concreto a los 28 días: 225 kg/cm^2
- Área transversal de columna encamisada: $a=15 \text{ cm}$; $b= 15 \text{ cm}$; área = 225 cm^2
- Área de encamisado: $A_c= (15*15) - (10*10) = 125 \text{ cm}^2$
- Altura de columna: 80 cm
- Recubrimiento: 2cm
- Carga axial: 15 Ton
- Apoyo en la base: empotramiento perfecto

B. CÁLCULO DE ACERO LONGITUDINAL

FIGURA 42: Cálculo del área de encamisado.



C.CÁLCULO DEL ÁREA DE ENCAMISADO

Debido a las limitaciones de carga que presenta la máquina a utilizar para el ensayo se utilizará una carga axial pequeña, y por ende un espesor de encamisado pequeño.

- ✓ Las normas ACI nos indican:

$$\varnothing P_n > P_u$$

Rn – Resistencia de diseño

Pu – Resistencia requerida

- ✓ Si: $P_u = 15 \text{ Ton} = 15000 \text{ kg}$.

$$P_n = P_u / 0.520 \longrightarrow P_n = 28846.154 \text{ kg}$$

- ✓ Como el hormigón ha de resistir al menos la mitad del esfuerzo axial, tenemos:

$$\frac{P_n}{2} = 0.85 f'_{c_c} * A_c$$

$$\frac{28846.154}{2} = 0.85 * 225 * A_c$$

$$A_c = 75.415 \text{ cm}^2$$

- ✓ Área de encamisado:

$$A_c = (X * X) - (10 * 10)$$

$$A_c = X^2 - 100$$

- ✓ Reemplazando A_c , tenemos:

$$X^2 - 100 = 75.415 \text{ cm}^2$$

$$X^2 = 175.415$$

$$X = 13.844 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

$$X = 0.15 \text{ m}$$

Entonces:

$$A_c = 0.0125 \text{ m}^2$$

$$A_c = 125 \text{ cm}^2$$

D.CÁLCULO DEL REFUERZO LONGITUDINAL

- Para determinar el acero se emplea la siguiente fórmula:

$$P_n = 0.85 * A_c * f'_{c_c} + A_{st} * f_y$$

$$28846.154 = 0.85 * 125 * 225 + A_{st} * 4200$$

$$A_{st} = 1.476 \text{ cm}^2$$

Acero Longitudinal: 4 Ø 8mm

- Comparación con la cuantía mínima para encamisados:

$$0.015 \leq \rho \leq 0.06$$

$$\rho_{min} = 0.015$$

$$\rho_{min} = \frac{A_{st}}{A_{encamisado}}$$

$$0.015 = \frac{A_{st}}{125}$$

$$A_{st \text{ min}} = 1.875 \text{ cm}^2$$

Como para Ø 8mm $A_{st} > A_{st \text{ min}}$, tomamos como válido el A_{st} hallado.

Acero Longitudinal: 4 Ø 8mm

E. CÁLCULO DE ACERO TRANSVERSAL

• CÁLCULO DE ACERO POR CONFINAMIENTO

Según el RNE:

$$S_{\text{máx.}} = 16 * \varnothing_{\text{LONGITUDINAL}} = 12.8 \text{ cm}$$

$$S_{\text{máx.}} = 48 * \varnothing_{\text{ESTRIBOS}} = 28.8 \text{ cm}$$

$$S_{\text{máx.}} = \text{Menor dimensión transversal} = 15 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la distribución será:

$$\varnothing_{\text{ESTRIBOS}} = 1/4'' \quad 2\varphi 1/4'' @ 5\text{cm} + 2\varphi 1/4'' @ 7\text{cm} / \text{Cada extremo} + \text{Rest} @ 10\text{cm}$$

NOTA: El testigo se someterá a una fuerza axial a compresión pura, por ende no se realizara el diseño por cortante, colocando solo un acero por confinamiento; pero como el acero longitudinal es de Ø 8mm, los estribos serán de Ø 1/4" y el espaciamiento se calculara según el RNE: Refuerzo Transversal Para Elementos a Compresión.



Calidad que Construye

Hoja Técnica

CHEMA EPOX ADHESIVO 32

Puente de adherencia epóxico para unir concreto antiguo con concreto nuevo.

Calidad Premium.

VERSION: 01

FECHA: 24/03/2007

DESCRIPCIÓN

CHEMA EPOX ADHESIVO 32 es un sistema epóxico de dos componentes 100% sólidos, de calidad Premium. Diseñado especialmente con alta resistencia a la humedad, ideal para asegurar una unión perfecta entre concreto fresco y endurecido, concreto con metal y otros. Posee elevadas adherencias y resistencias mecánicas.

Este adhesivo presenta viscosidad media lo que permite aplicarse como puente de adherencia directo o para preparar un mortero epóxico de reparación en elementos estructurales (de concreto o como relleno de cangrejeras).

Cumple con la norma ASTM C-881 Estándar Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding System for Concrete.

VENTAJAS

- Excelente resistencia a la humedad y a los ataques químicos.
- Excelente adherencia sobre concreto, fierro, acero, piedra, madera, fibrocemento y otros.
- Asegura una unión monolítica entre concretos de distintas edades.
- Permite trabajar a bajas temperaturas.
- Listo para usar, no necesita diluir con solventes.
- Fácil de aplicar, con brocha o rodillo.

USOS

- Como puente de adherencia entre concreto fresco y concreto antiguo.
- Unión de pre fabricados de concreto.
- Como anclaje (mezclado con arena o cuarzo).
- Extensión de columnas y apoyos de nuevas vigas sobre estructuras antiguas.
- Fijación de los refuerzos estructurales.
- Para reparaciones, de elementos de concreto (tubos y otros).
- Para pegar diversos materiales del mismo tipo o totalmente diferentes como hierro o concreto, fibrocemento, madera y otros.
- Para reparaciones de grietas de volumen en elementos estructurales.
- Para resanar muros de albañilería estructural.

DATOS TÉCNICOS

Propiedades	Valores	
Color	Parte "A"	Gris Oscuro
	Parte "B"	Amarillo
	Mezcla	Gris Oscuro
Proporción de Mezcla en Volumen	"A"	3
	"B"	1
Densidad de la mezcla	kg/gal	5.10 - 5.30
Viscosidad de la mezcla	KU	105 - 120
Pot life	horas	2h *
Resistencia a la compresión (Kg/Cm ²)	1 día	500*
	7 días	800*
Dureza Shore D	7 días	75*
Secado al tacto	horas	2h*
VOC (Compuestos Orgánicos Volátiles)	g/l	0

* Valores a 25°/60%HR, estos pueden variar con las condiciones ambientales.

ATENCIÓN AL CLIENTE

(511) 338-8407

Página 1 de 1



Calidad que Construye

Hoja Técnica

CHEMA EPOX ADHESIVO 32

Puente de adherencia epóxico para unir concreto antiguo con concreto nuevo.

Calidad Premium.

VERSION: 01

FECHA: 24/03/2017

PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO

Preparación de la superficie.

- La superficie de concreto debe estar totalmente limpia, libre de polvo, grasa, pintura, aceite, material suelto o mal adherido debiendo dejarse sólo lo que esta estructuralmente sano. Una vez limpia se recomienda soplearla con aire comprimido.
- Las superficies de metales deben encontrarse limpias, sin óxido, grasa, pintura, etc.

Preparación del producto.

- Utilice guantes, lentes y mascarilla de protección antes de aplicar el producto y/o consulte la hoja de seguridad del producto.
- Prepare la cantidad necesaria para trabajar en el momento en un recipiente de plástico, no hacerlo en el mismo envase metálico.
- Mezclar ambos componentes en volumen: 3A por 1B utilizando un taladro de baja velocidad (350 r.p.m) con espas o paletas durante 2 - 3 minutos aprox. hasta obtener una mezcla homogénea, evitar la formación de aire.
- Deje reposar unos minutos para eliminar burbujas de aire atrapado.

Aplicación de la mezcla

- Aplique la mezcla preparada como puente de adherencia con una brocha o rodillo sobre la superficie preparada en un tiempo no mayor a 2 horas de mezclado el producto. (Después de este tiempo la mezcla empezará a perder trabajabilidad hasta el punto de formar un sólido compacto).
- A continuación realice el vaciado del concreto fresco sobre la aplicación y continúe con los trabajos posteriores.
- El espesor de la capa debe ser alrededor 1mm, dependiendo de la rugosidad de la superficie.

Limpieza.

Limpe las herramientas utilizadas con solvente SC Epos, thinner o aguarrás.

RENDIMIENTO

El consumo aprox. 0.5 a 0.7 Kg/m², dependiendo de la rugosidad de la superficie.

PRESENTACIÓN

- Kit de 1kg
- kit de 5 kg

ALMACENAMIENTO

2 años mínimo en su envase original cerrado, en ambientes entre 10° C y 25°C.

ATENCIÓN AL CLIENTE

(511) 338-8407

Página 2 de 3



CHEMA EPOX ADHESIVO 32

Puente de adherencia epóxico para unir concreto antiguo con concreto nuevo.

Calidad Premium.

VERSION: 03
FECHA: 24/02/2017

PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES

No agregar ningún solvente a la mezcla.

Los componentes del epóxico pueden causar irritación.

Para mayor información solicite la Hoja de Seguridad del producto.

En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico). Producto tóxico, NO INGERIR, mantenga el producto fuera del alcance de los niños. No comer ni beber mientras manipula el producto. Lavarse las manos luego de manipular el producto. Utilizar guantes, gafas protectoras y ropa de trabajo. Almacene el producto bajo sombra y en ambientes ventilados. En caso de contacto con los ojos y la piel, lívese con abundante agua. Si es ingerido, no provocar vómitos; procurar ayuda médica inmediata.

"La presente Edición anula y reemplaza la Versión Nº 0 para todos los fines"

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen convenientes, para determinar si son apropiados para un uso en particular. El uso, aplicación y manejo correcto de los productos, quedan fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.

RESULTADOS DE TESTIGOS ENSAYADOS A COMPRESIÓN DE TESTIGOS TIPO I (COLUMNETAS NÚCLEO)
TESTIGO 1:

Tabla 48: Ensayo de resistencia a compresión de columneta núcleo N°1.

CARGA (Ton)	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA(*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)
1	1000	0	0.0000	10.00
2	2000	0	0.0000	20.00
3	3000	0	0.0000	30.00
4	4000	0	0.0000	40.00
5	5000	0.013	0.0163	50.00
6	6000	0.053	0.0663	60.00
7	7000	0.075	0.0938	70.00
8	8000	0.138	0.1725	80.00
9	9000	0.175	0.2188	90.00
10	10000	0.218	0.2725	100.00
11	11000	0.257	0.3213	110.00
12	12000	0.304	0.3800	120.00
13	13000	0.347	0.4338	130.00
14	14000	0.382	0.4775	140.00
15	15000	0.429	0.5363	150.00
16	16000	0.469	0.5863	160.00
17	17000	0.506	0.6325	170.00
18	18000	0.547	0.6838	180.00
19	19000	0.590	0.7375	190.00
20	20000	0.631	0.7888	200.00
21	21000	0.684	0.8550	210.00
22	22000	0.710	0.8875	220.00
23	23000	0.740	0.9250	230.00
24	24000	0.78	0.9750	240.00
25	25000	0.849	1.0613	250.00
26	26000	0.899	1.1238	260.00
27	27000	0.952	1.1900	270.00

28	28000	1.009	1.2613	280.00
29	29000	1.057	1.3213	290.00
30	30000	1.121	1.4013	300.00
31	31000	1.175	1.4688	310.00
32	32000	1.238	1.5475	320.00
33	33000	1.307	1.6338	330.00
31	31000	1.320	1.6500	310.00
29	29000	1.331	1.6638	290.00

TESTIGO 2:

Tabla 49: Ensayo de resistencia a compresión de columneta núcleo N°2.

CARGA (Ton)	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA(*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)
1	1000	0	0.0000	10.00
2	2000	0	0.0000	20.00
3	3000	0	0.0000	30.00
4	4000	0	0.0000	40.00
5	5000	0	0.0000	50.00
6	6000	0.015	0.0188	60.00
7	7000	0.060	0.0750	70.00
8	8000	0.100	0.1250	80.00
9	9000	0.155	0.1938	90.00
10	10000	0.194	0.2425	100.00
11	11000	0.261	0.3263	110.00
12	12000	0.284	0.3550	120.00
13	13000	0.321	0.4013	130.00
14	14000	0.375	0.4688	140.00
15	15000	0.420	0.5250	150.00
16	16000	0.462	0.5775	160.00
17	17000	0.507	0.6338	170.00
18	18000	0.55	0.6875	180.00
19	19000	0.572	0.7150	190.00

20	20000	0.628	0.7850	200.00
21	21000	0.678	0.8475	210.00
22	22000	0.721	0.9013	220.00
23	23000	0.761	0.9513	230.00
24	24000	0.812	1.0150	240.00
25	25000	0.846	1.0575	250.00
26	26000	0.905	1.1313	260.00
27	27000	0.955	1.1938	270.00
28	28000	1.015	1.2688	280.00
29	29000	1.061	1.3263	290.00
30	30000	1.114	1.3925	300.00
31	31000	1.173	1.4663	310.00
32	32000	1.225	1.5313	320.00
33	33000	1.284	1.6050	330.00
33.5	33500	1.330	1.6625	335.00
32	32000	1.345	1.6813	320.00
30	30000	1.359	1.6988	300.00

TESTIGO 3:

Tabla 50: Ensayo de resistencia a compresión de columneta núcleo N°3.

CARGA (Ton)	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA(*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)
1	1000	0	0.0000	10.00
2	2000	0	0.0000	20.00
3	3000	0	0.0000	30.00
4	4000	0	0.0000	40.00
5	5000	0	0.0000	50.00
6	6000	0.010	0.0125	60.00
7	7000	0.056	0.0700	70.00
8	8000	0.100	0.1250	80.00
9	9000	0.147	0.1838	90.00
10	10000	0.185	0.2313	100.00

11	11000	0.239	0.2988	110.00
12	12000	0.283	0.3538	120.00
13	13000	0.345	0.4313	130.00
14	14000	0.374	0.4675	140.00
15	15000	0.405	0.5063	150.00
16	16000	0.451	0.5638	160.00
17	17000	0.510	0.6375	170.00
18	18000	0.554	0.6925	180.00
19	19000	0.591	0.7388	190.00
20	20000	0.640	0.8000	200.00
21	21000	0.688	0.8600	210.00
22	22000	0.734	0.9175	220.00
23	23000	0.778	0.9725	230.00
24	24000	0.819	1.0238	240.00
25	25000	0.848	1.0600	250.00
26	26000	0.916	1.1450	260.00
27	27000	0.971	1.2138	270.00
28	28000	1.036	1.2950	280.00
29	29000	1.071	1.3388	290.00
30	30000	1.120	1.4000	300.00
31	31000	1.173	1.4663	310.00
32	32000	1.228	1.5350	320.00
33	33000	1.285	1.6063	330.00
33.5	33500	1.323	1.6538	335.00
32	31000	1.341	1.6763	320.00
30	29000	1.355	1.6938	300.00

TESTIGO 4:

Tabla 51: Ensayo de resistencia a compresión de columneta núcleo N°4.

CARGA (Ton)	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA(*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)
1	1000	0	0.0000	10.00

2	2000	0	0.0000	20.00
3	3000	0	0.0000	30.00
4	4000	0	0.0000	40.00
5	5000	0.012	0.0150	50.00
6	6000	0.055	0.0688	60.00
7	7000	0.096	0.1200	70.00
8	8000	0.141	0.1763	80.00
9	9000	0.177	0.2213	90.00
10	10000	0.217	0.2713	100.00
11	11000	0.269	0.3363	110.00
12	12000	0.308	0.3850	120.00
13	13000	0.348	0.4350	130.00
14	14000	0.385	0.4813	140.00
15	15000	0.434	0.5425	150.00
16	16000	0.462	0.5775	160.00
17	17000	0.509	0.6363	170.00
18	18000	0.555	0.6938	180.00
19	19000	0.589	0.7363	190.00
20	20000	0.629	0.7863	200.00
21	21000	0.672	0.8400	210.00
22	22000	0.732	0.9150	220.00
23	23000	0.755	0.9438	230.00
24	24000	0.797	0.9963	240.00
25	25000	0.844	1.0550	250.00
26	26000	0.891	1.1138	260.00
27	27000	0.956	1.1950	270.00
28	28000	1.003	1.2538	280.00
29	29000	1.062	1.3275	290.00
30	30000	1.115	1.3938	300.00
31	31000	1.183	1.4788	310.00
32	32000	1.228	1.5350	320.00
33	33000	1.283	1.6038	330.00
34	34000	1.340	1.6750	340.00

32	32000	1.352	1.6900	320.00
30	30000	1.366	1.7075	300.00

TESTIGO 5:

Tabla 52: Ensayo de resistencia a compresión de columneta núcleo N°5.

CARGA (Ton)	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA(*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)
1	1000	0	0.0000	10.00
2	2000	0	0.0000	20.00
3	3000	0	0.0000	30.00
4	4000	0	0.0000	40.00
5	5000	0	0.0000	50.00
6	6000	0.016	0.0200	60.00
7	7000	0.051	0.0638	70.00
8	8000	0.104	0.1300	80.00
9	9000	0.149	0.1863	90.00
10	10000	0.21	0.2625	100.00
11	11000	0.242	0.3025	110.00
12	12000	0.286	0.3575	120.00
13	13000	0.333	0.4163	130.00
14	14000	0.377	0.4713	140.00
15	15000	0.420	0.5250	150.00
16	16000	0.464	0.5800	160.00
17	17000	0.508	0.6350	170.00
18	18000	0.565	0.7063	180.00
19	19000	0.599	0.7488	190.00
20	20000	0.635	0.7938	200.00
21	21000	0.665	0.8313	210.00
22	22000	0.730	0.9125	220.00
23	23000	0.774	0.9675	230.00
24	24000	0.819	1.0238	240.00
25	25000	0.872	1.0900	250.00

26	26000	0.927	1.1588	260.00
27	27000	0.977	1.2213	270.00
28	28000	1.028	1.2850	280.00
29	29000	1.075	1.3438	290.00
30	30000	1.123	1.4038	300.00
31	31000	1.154	1.4425	310.00
32	32000	1.218	1.5225	320.00
33	33000	1.275	1.5938	330.00
34	34000	1.336	1.6700	340.00
32	32000	1.348	1.6850	320.00
30	30000	1.363	1.7038	300.00

RESULTADOS DE TESTIGOS ENSAYADOS A COMPRESIÓN DE TESTIGOS TIPO II (COLUMNETAS ENCAMISADAS)

TESTIGO 1:

Tabla 53: Ensayo de resistencia a compresión de la Columneta Encamisada N°1.

CARGA (Ton)	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA(*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)
1	1000	0	0.0000	4.444
2	2000	0	0.0000	8.889
3	3000	0	0.0000	13.333
4	4000	0	0.0000	17.778
5	5000	0	0.0000	22.222
6	6000	0	0.0000	26.667
7	7000	0	0.0000	31.111
8	8000	0	0.0000	35.556
9	9000	0	0.0000	40.000
10	10000	0	0.0000	44.444
11	11000	0.012	0.0150	48.889
12	12000	0.027	0.0338	53.333
13	13000	0.045	0.0563	57.778
14	14000	0.060	0.0750	62.222

15	15000	0.078	0.0975	66.667
16	16000	0.094	0.1175	71.111
17	17000	0.106	0.1325	75.556
18	18000	0.124	0.1550	80.000
19	19000	0.139	0.1738	84.444
20	20000	0.157	0.1963	88.889
21	21000	0.177	0.2213	93.333
22	22000	0.192	0.2400	97.778
23	23000	0.210	0.2625	102.222
24	24000	0.225	0.2813	106.667
25	25000	0.240	0.3000	111.111
26	26000	0.256	0.3200	115.556
27	27000	0.276	0.3450	120.000
28	28000	0.290	0.3625	124.444
29	29000	0.306	0.3825	128.889
30	30000	0.332	0.4150	133.333
31	31000	0.347	0.4338	137.778
32	32000	0.364	0.4550	142.222
33	33000	0.379	0.4738	146.667
34	34000	0.396	0.4950	151.111
35	35000	0.411	0.5138	155.556
36	36000	0.427	0.5338	160.000
37	37000	0.441	0.5513	164.444
38	38000	0.451	0.5638	168.889
39	39000	0.466	0.5825	173.333
40	40000	0.480	0.6000	177.778
41	41000	0.493	0.6163	182.222
42	42000	0.517	0.6463	186.667
43	43000	0.533	0.6663	191.111
44	44000	0.547	0.6838	195.556
45	45000	0.563	0.7038	200.000
46	46000	0.575	0.7188	204.444
47	47000	0.591	0.7388	208.889

48	48000	0.608	0.7600	213.333
49	49000	0.626	0.7825	217.778
50	50000	0.642	0.8025	222.222
51	51000	0.652	0.8150	226.667
52	52000	0.669	0.8363	231.111
53	53000	0.684	0.8550	235.556
54	54000	0.702	0.8775	240.000
55	55000	0.720	0.9000	244.444
56	56000	0.735	0.9188	248.889
57	57000	0.751	0.9388	253.333
58	58000	0.763	0.9538	257.778
59	59000	0.783	0.9788	262.222
60	60000	0.798	0.9975	266.667
61	61000	0.816	1.0200	271.111
62	62000	0.832	1.0400	275.556
63	63000	0.851	1.0638	280.000
64	64000	0.861	1.0763	284.444
65	65000	0.874	1.0925	288.889
66	66000	0.894	1.1175	293.333
67	67000	0.917	1.1463	297.778
68	68000	0.937	1.1713	302.222
69	69000	0.960	1.2000	306.667
70	70000	0.982	1.2275	311.111
71	71000	1.000	1.2500	315.556
72	72000	1.020	1.2750	320.000
73	73000	1.043	1.3038	324.444
74	74000	1.068	1.3350	328.889
75	75000	1.088	1.3600	333.333
76	76000	1.110	1.3875	337.778
77	77000	1.135	1.4188	342.222
78	78000	1.160	1.4500	346.667
79	79000	1.183	1.4788	351.111
80	80000	1.206	1.5075	355.556

81	81000	1.231	1.5388	360.000
82	82000	1.270	1.5763	364.444
80	80000	1.278	1.5975	355.556
78	78000	1.287	1.6088	346.667

Fuente: Elaboración propia.

TESTIGO 2:

Tabla 54: Ensayo de resistencia a compresión de la Columneta Encamisada N°2.

CARGA (Ton)	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA(*1000)	ESFUERZO (kg/cm²)
1	1000	0	0.00000	4.44
2	2000	0	0.00000	8.89
3	3000	0	0.00000	13.33
4	4000	0	0.00000	17.78
5	5000	0	0.00000	22.22
6	6000	0	0.00000	26.67
7	7000	0	0.00000	31.11
8	8000	0	0.00000	35.56
9	9000	0	0.00000	40.00
10	10000	0.015	0.01875	44.44
11	11000	0.034	0.04250	48.89
12	12000	0.046	0.05750	53.33
13	13000	0.055	0.06875	57.78
14	14000	0.066	0.08250	62.22
15	15000	0.080	0.10000	66.67
16	16000	0.090	0.11250	71.11
17	17000	0.106	0.13250	75.56
18	18000	0.124	0.15500	80.00
19	19000	0.136	0.17000	84.44
20	20000	0.155	0.19375	88.89
21	21000	0.165	0.20625	93.33
22	22000	0.182	0.22750	97.78
23	23000	0.200	0.25000	102.22

24	24000	0.217	0.27125	106.67
25	25000	0.234	0.29250	111.11
26	26000	0.254	0.31750	115.56
27	27000	0.269	0.33625	120.00
28	28000	0.288	0.36000	124.44
29	29000	0.298	0.37250	128.89
30	30000	0.323	0.40375	133.33
31	31000	0.335	0.41875	137.78
32	32000	0.353	0.44125	142.22
33	33000	0.365	0.45625	146.67
34	34000	0.380	0.47500	151.11
35	35000	0.394	0.49250	155.56
36	36000	0.412	0.51500	160.00
37	37000	0.427	0.53375	164.44
38	38000	0.447	0.55875	168.89
39	39000	0.455	0.56875	173.33
40	40000	0.475	0.59375	177.78
41	41000	0.490	0.61250	182.22
42	42000	0.509	0.63625	186.67
43	43000	0.524	0.65500	191.11
44	44000	0.544	0.68000	195.56
45	45000	0.556	0.69500	200.00
46	46000	0.575	0.71875	204.44
47	47000	0.585	0.73125	208.89
48	48000	0.605	0.75625	213.33
49	49000	0.620	0.77500	217.78
50	50000	0.638	0.79750	222.22
51	51000	0.655	0.81875	226.67
52	52000	0.669	0.83625	231.11
53	53000	0.686	0.8575	235.56
54	54000	0.697	0.8713	240.00
55	55000	0.716	0.8950	244.44
56	56000	0.730	0.9125	248.89

57	57000	0.745	0.9313	253.33
58	58000	0.761	0.9513	257.78
59	59000	0.780	0.9750	262.22
60	60000	0.794	0.9925	266.67
61	61000	0.811	1.0138	271.11
62	62000	0.821	1.0263	275.56
63	63000	0.841	1.0513	280.00
64	64000	0.852	1.0650	284.44
65	65000	0.875	1.0938	288.89
66	66000	0.900	1.1250	293.33
67	67000	0.921	1.1513	297.78
68	68000	0.939	1.1738	302.22
69	69000	0.954	1.1925	306.67
70	70000	0.978	1.2225	311.11
71	71000	1.005	1.2563	315.56
72	72000	1.028	1.2850	320.00
73	73000	1.054	1.3175	324.44
74	74000	1.075	1.3438	328.89
75	75000	1.100	1.3750	333.33
76	76000	1.126	1.4075	337.78
77	77000	1.147	1.4338	342.22
78	78000	1.164	1.4550	346.67
79	79000	1.190	1.4875	351.11
80	80000	1.212	1.5150	355.56
81	81000	1.235	1.5438	360.00
82	82000	1.262	1.5775	364.44
83	83000	1.285	1.6063	368.89
83.5	83500	1.296	1.6200	371.11
81	81000	1.307	1.638	360.00
79	79000	1.315	1.6438	351.11

TESTIGO 3:**Tabla 55: Ensayo de resistencia a compresión de la Columneta Encamisada N°3.**

CARGA (Ton)	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA(*1000)	ESFUERZO
1	1000	0	0.0000	4.44
2	2000	0	0.0000	8.89
3	3000	0	0.0000	13.33
4	4000	0	0.0000	17.78
5	5000	0	0.0000	22.22
6	6000	0	0.0000	26.67
7	7000	0	0.0000	31.11
8	8000	0	0.0000	35.56
9	9000	0	0.0000	40.00
10	10000	0.010	0.0125	44.44
11	11000	0.029	0.0363	48.89
12	12000	0.045	0.0563	53.33
13	13000	0.056	0.0700	57.78
14	14000	0.071	0.0888	62.22
15	15000	0.091	0.1138	66.67
16	16000	0.101	0.1263	71.11
17	17000	0.111	0.1388	75.56
18	18000	0.128	0.1600	80.00
19	19000	0.145	0.1813	84.44
20	20000	0.162	0.2025	88.89
21	21000	0.178	0.2225	93.33
22	22000	0.194	0.2425	97.78
23	23000	0.209	0.2613	102.22
24	24000	0.228	0.2850	106.67
25	25000	0.245	0.3063	111.11
26	26000	0.255	0.3188	115.56
27	27000	0.274	0.3425	120.00
28	28000	0.291	0.3638	124.44

29	29000	0.302	0.3775	128.89
30	30000	0.318	0.3975	133.33
31	31000	0.336	0.4200	137.78
32	32000	0.351	0.4388	142.22
33	33000	0.366	0.4575	146.67
34	34000	0.380	0.4750	151.11
35	35000	0.395	0.4938	155.56
36	36000	0.404	0.5050	160.00
37	37000	0.414	0.5175	164.44
38	38000	0.433	0.5413	168.89
39	39000	0.450	0.5625	173.33
40	40000	0.472	0.5900	177.78
41	41000	0.491	0.6138	182.22
42	42000	0.511	0.6388	186.67
43	43000	0.526	0.6575	191.11
44	44000	0.543	0.6788	195.56
45	45000	0.563	0.7038	200.00
46	46000	0.575	0.7188	204.44
47	47000	0.594	0.7425	208.89
48	48000	0.612	0.7650	213.33
49	49000	0.627	0.7838	217.78
50	50000	0.647	0.8088	222.22
51	51000	0.664	0.8300	226.67
52	52000	0.678	0.8475	231.11
53	53000	0.696	0.8700	235.56
54	54000	0.708	0.8850	240.00
55	55000	0.728	0.9100	244.44
56	56000	0.746	0.9325	248.89
57	57000	0.757	0.9463	253.33
58	58000	0.774	0.9675	257.78
59	59000	0.794	0.9925	262.22
60	60000	0.805	1.0063	266.67
61	61000	0.820	1.0250	271.11

62	62000	0.839	1.0488	275.56
63	63000	0.849	1.0613	280.00
64	64000	0.861	1.0763	284.44
65	65000	0.880	1.1000	288.89
66	66000	0.900	1.1250	293.33
67	67000	0.922	1.1525	297.78
68	68000	0.945	1.1813	302.22
69	69000	0.960	1.2000	306.67
70	70000	0.993	1.2413	311.11
71	71000	1.016	1.2700	315.56
72	72000	1.035	1.2938	320.00
73	73000	1.060	1.3250	324.44
74	74000	1.082	1.3525	328.89
75	75000	1.104	1.3800	333.33
76	76000	1.129	1.4113	337.78
77	77000	1.156	1.4450	342.22
78	78000	1.178	1.4725	346.67
79	79000	1.195	1.4938	351.11
80	80000	1.209	1.5113	355.56
81	81000	1.232	1.5400	360.00
82	82000	1.257	1.5713	364.44
83	83000	1.285	1.6063	368.89
81	81000	1.295	1.6188	360.00
79	79000	1.307	1.6338	351.11

TESTIGO 4:

Tabla 56: Ensayo de resistencia a compresión de la Columneta Encamisada N°4.

CARGA (Ton)	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA(*1000)	ESFUERZO
1	1000	0	0.0000	4.44
2	2000	0	0.0000	8.89
3	3000	0	0.0000	13.33

4	4000	0	0.0000	17.78
5	5000	0	0.0000	22.22
6	6000	0	0.0000	26.67
7	7000	0	0.0000	31.11
8	8000	0	0.0000	35.56
9	9000	0	0.0000	40.00
10	10000	0	0.0000	44.44
11	11000	0.010	0.0125	48.89
12	12000	0.028	0.0350	53.33
13	13000	0.046	0.0575	57.78
14	14000	0.065	0.0813	62.22
15	15000	0.076	0.0950	66.67
16	16000	0.093	0.1163	71.11
17	17000	0.102	0.1275	75.56
18	18000	0.120	0.1500	80.00
19	19000	0.138	0.1725	84.44
20	20000	0.150	0.1875	88.89
21	21000	0.167	0.2088	93.33
22	22000	0.186	0.2325	97.78
23	23000	0.196	0.2450	102.22
24	24000	0.211	0.2638	106.67
25	25000	0.231	0.2888	111.11
26	26000	0.242	0.3025	115.56
27	27000	0.257	0.3213	120.00
28	28000	0.275	0.3438	124.44
29	29000	0.294	0.3675	128.89
30	30000	0.315	0.3938	133.33
31	31000	0.332	0.4150	137.78
32	32000	0.347	0.4338	142.22
33	33000	0.364	0.4550	146.67
34	34000	0.370	0.4625	151.11
35	35000	0.387	0.4838	155.56
36	36000	0.406	0.5075	160.00

37	37000	0.426	0.5325	164.44
38	38000	0.445	0.5563	168.89
39	39000	0.463	0.5788	173.33
40	40000	0.482	0.6025	177.78
41	41000	0.498	0.6225	182.22
42	42000	0.510	0.6375	186.67
43	43000	0.532	0.6650	191.11
44	44000	0.547	0.6838	195.56
45	45000	0.556	0.6950	200.00
46	46000	0.572	0.7150	204.44
47	47000	0.590	0.7375	208.89
48	48000	0.607	0.7588	213.33
49	49000	0.627	0.7838	217.78
50	50000	0.640	0.8000	222.22
51	51000	0.649	0.8113	226.67
52	52000	0.667	0.8338	231.11
53	53000	0.683	0.8538	235.56
54	54000	0.698	0.8725	240.00
55	55000	0.716	0.8950	244.44
56	56000	0.726	0.9075	248.89
57	57000	0.742	0.9275	253.33
58	58000	0.760	0.9500	257.78
59	59000	0.776	0.9700	262.22
60	60000	0.791	0.9888	266.67
61	61000	0.810	1.0125	271.11
62	62000	0.828	1.0350	275.56
63	63000	0.848	1.0600	280.00
64	64000	0.859	1.0738	284.44
65	65000	0.876	1.0950	288.89
66	66000	0.896	1.1200	293.33
67	67000	0.919	1.1488	297.78
68	68000	0.938	1.1725	302.22
69	69000	0.956	1.1950	306.67

70	70000	0.967	1.2088	311.11
71	71000	0.990	1.2375	315.56
72	72000	1.013	1.2663	320.00
73	73000	1.034	1.2925	324.44
74	74000	1.059	1.3238	328.89
75	75000	1.079	1.3488	333.33
76	76000	1.105	1.3813	337.78
77	77000	1.130	1.4125	342.22
78	78000	1.155	1.4438	346.67
79	79000	1.174	1.4675	351.11
80	80000	1.202	1.5025	355.56
81	81000	1.226	1.5325	360.00
82	82000	1.251	1.5638	364.44
83	83000	1.275	1.5938	368.89
84	84000	1.305	1.6313	373.33
82	82000	1.315	1.6438	364.44
80	80000	1.321	1.6513	355.56

TESTIGO 5:

Tabla 57: Ensayo de resistencia a compresión de la columneta encamisada N°5.

CARGA (Ton)	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA(*1000)	ESFUERZO
1	1000	0	0.000	4.44
2	2000	0	0.000	8.89
3	3000	0	0.000	13.33
4	4000	0	0.000	17.78
5	5000	0	0.000	22.22
6	6000	0	0.000	26.67
7	7000	0	0.000	31.11
8	8000	0	0.000	35.56
9	9000	0	0.000	40.00
10	10000	0.013	0.016	44.44

11	11000	0.031	0.039	48.89
12	12000	0.049	0.061	53.33
13	13000	0.068	0.085	57.78
14	14000	0.078	0.098	62.22
15	15000	0.091	0.114	66.67
16	16000	0.110	0.138	71.11
17	17000	0.127	0.159	75.56
18	18000	0.146	0.183	80.00
19	19000	0.159	0.199	84.44
20	20000	0.178	0.223	88.89
21	21000	0.186	0.233	93.33
22	22000	0.205	0.256	97.78
23	23000	0.222	0.278	102.22
24	24000	0.235	0.294	106.67
25	25000	0.249	0.311	111.11
26	26000	0.266	0.333	115.56
27	27000	0.282	0.353	120.00
28	28000	0.293	0.366	124.44
29	29000	0.306	0.383	128.89
30	30000	0.323	0.404	133.33
31	31000	0.342	0.428	137.78
32	32000	0.360	0.450	142.22
33	33000	0.377	0.471	146.67
34	34000	0.393	0.491	151.11
35	35000	0.405	0.506	155.56
36	36000	0.421	0.526	160.00
37	37000	0.438	0.548	164.44
38	38000	0.455	0.569	168.89
39	39000	0.466	0.583	173.33
40	40000	0.483	0.604	177.78
41	41000	0.500	0.625	182.22
42	42000	0.512	0.640	186.67
43	43000	0.527	0.659	191.11

44	44000	0.538	0.673	195.56
45	45000	0.555	0.694	200.00
46	46000	0.573	0.716	204.44
47	47000	0.590	0.738	208.89
48	48000	0.605	0.756	213.33
49	49000	0.622	0.778	217.78
50	50000	0.642	0.803	222.22
51	51000	0.651	0.814	226.67
52	52000	0.669	0.836	231.11
53	53000	0.688	0.860	235.56
54	54000	0.706	0.883	240.00
55	55000	0.728	0.910	244.44
56	56000	0.746	0.933	248.89
57	57000	0.766	0.958	253.33
58	58000	0.779	0.974	257.78
59	59000	0.792	0.990	262.22
60	60000	0.808	1.010	266.67
61	61000	0.825	1.031	271.11
62	62000	0.841	1.051	275.56
63	63000	0.855	1.069	280.00
64	64000	0.874	1.093	284.44
65	65000	0.884	1.105	288.89
66	66000	0.907	1.134	293.33
67	67000	0.930	1.163	297.78
68	68000	0.954	1.193	302.22
69	69000	0.976	1.220	306.67
70	70000	0.995	1.244	311.11
71	71000	1.014	1.268	315.56
72	72000	1.028	1.285	320.00
73	73000	1.054	1.318	324.44
74	74000	1.080	1.350	328.89
75	75000	1.101	1.376	333.33
76	76000	1.122	1.403	337.78

77	77000	1.148	1.435	342.22
78	78000	1.170	1.463	346.67
79	79000	1.196	1.495	351.11
80	80000	1.217	1.521	355.56
81	81000	1.234	1.543	360.00
82	82000	1.259	1.574	364.44
83	83000	1.282	1.603	368.89
83.5	83500	1.298	1.623	371.11
81	81000	1.308	1.6350	360.00
79	79000	1.317	1.6463	351.11

PANEL FOTOGRÁFICO



FOTO N°1: Elección de materiales provenientes de la cantera del Rio Chonta.



FOTO N°2: Reducción del agregado grueso con la práctica de la norma ASTM C702-98(2003), realizando el cuarteo de muestras.



FOTO N°3: Agregado grueso sumergido en agua por 24 horas para el cálculo del peso específico.



FOTO N°4: Secado al aire del agregado grueso, para la obtención del peso específico saturado superficialmente seco, según la norma NTP 400.021 y su análoga la norma ASTM C 127.



FOTO N°4 y 5: Cálculo del Peso Específico Aparente del agregado grueso, según la NTP 400.021 y su análoga la norma ASTM C 127



FOTO N°6: Ensayo de Granulometría del agregado grueso, mediante el tamizado de acuerdo a la norma ASTM C136/C136M-05 y a su análoga la NTP 400.012.



FOTO N°7y 8: Cálculo del Peso unitario del agregado grueso según la norma ASTM C29/C29M-07 o por su análoga la norma NTP 400.017.



FOTO N°9: Secado al aire del agregado fino, para la obtención del peso específico saturado superficialmente seco, según NTP 400.022 y la norma ASTM C 128.



FOTO N°10: Cálculo del Peso Específico Aparente del agregado fino, según la NTP 400.022 y su análoga la norma ASTM C 128.



FOTO N°11: Ensayo de Granulometría del agregado fino, mediante el tamizado de acuerdo a la norma ASTM C136/C136M-05 y a su análoga la NTP 400.012



FOTO N°12: Cálculo del contenido de humedad según la norma ASTM C566-97(2004) o su análoga la norma NTP 339.185.



FOTO N°13: Obtención del peso de los materiales para la elaboración de la mezcla para probetas de concreto simple ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$)



FOTO N°14: Elaboración de la mezcla para probetas de concreto simple ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$)



FOTO N°15: Medición de asentamiento o slump mediante el ensayo del Cono de Abrams.



FOTO N°16: Llenado de probetas cilíndricas.



Foto N°18: Introducción de probetas en el agua para su respectivo curado, poza de curado UNC.



Foto N°19: Retiro de probetas de la poza de curado para su posterior ensayo a compresión, bajo la supervisión del asesor.



FOTO N°20 Y 21: Ensayo a compresión de probetas de concreto simple ($f'c=175 \text{ kg/cm}^2$)



FOTO N°22 Y 23: Armado de la armadura de acero de columnetas núcleo.



FOTO N°24: Armado de encofrados de madera para zapatas.



FOTO N°25: Armado de columnetas con sus respectivas zapatas.



FOTO N°26: Preparación de mezcla de concreto ($f'c=175 \text{ kg/cm}^2$) para llenado de zapatas.



FOTO N°27: Llenado de zapatas con concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.



FOTO N°28 y 29: Desencofrado de zapatas previa supervisión del asesor de tesis.



FOTO N°30: Curado de zapatas en la poza para curados de la UNC.



FOTO N°31: Armado de encofrados de triplay (e=12mm) de columnetas núcleo.



FOTO N°32: Preparación de mezcla para columnetas núcleo con concreto $f'c = 175$ kg/cm². Ensayo del cono de Abrams para medir el asentamiento o slump.



FOTO N°33: Vaciado de columnetas núcleo, con concreto $f'c = 175$ kg/cm².



FOTO N°34: Curado por goteo y rociado de columnetas núcleo.



FOTO N°35: Ensayo a compresión de las columnetas núcleo, a los 28 días de edad.



FOTO N°36: Falla de la columneta núcleo después del ensayo a compresión.



FOTO N°37: Elección de columnetas a encamisar (todas aquellas que tenían cangrejas u otras fallas).



FOTO N°38: Perforación de zapata para anclaje de la armadura de acero del encamisado.



FOTO N°39: Preparación de la superficie de las columnetas a encamisar (limpieza).



FOTO N°40: Preparación del adhesivo epóxico, según las proporciones indicadas.



FOTO N°41: Aplicación de adhesivo epóxico.



FOTO N°42: Colocación de la armadura de acero del encamisado.



FOTO N°43: Colocación del encofrado de triplay (12mm) del encamisado.



FOTO N°44: Preparación de la mezcla con concreto $f'c = 225 \text{ kg/cm}^2$ para el posterior vaciado del encamisado.



FOTO N°45: Curado por goteo de las columnetas encamisadas.



FOTO N°46: Ensayo a compresión de columnetas encamisadas, a los 28 días de edad.



FOTO N°47: Falla de la columneta encamisada después del ensayo a compresión.

PLANOS DE ESTRUCTURAS