

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCION DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL**

TEMA:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL
HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA
NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”**

AUTORA: YADIRA GUDALUPE VALENZUELA ROMERO.

TUTOR: ING. MG. DIEGO SEBASTIÁN CHÉRREZ GAVILANES

AMBATO-ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Yo, Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes, certifico que la presente tesis de grado realizada por la Srta. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato; se ha desarrollado bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito realizado bajo el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”**

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Mayo del 2017

Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes
DOCENTE TUTOR

AUTORÍA DE TRABAJO

Yo, Yadira Guadalupe Valenzuela Romero, CI. 100471756-5, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental bajo el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”** es de mi completa autoría.

Ambato, Mayo del 2017

Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Mayo del 2017

Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadoros, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO” , de Yadira Guadalupe Valenzuela Romero, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman,

ING. MG. ALEX LÓPEZ.

ING. MG. GEOVANNY PAREDES.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme salud y motivación para continuar día a día en este camino emprendido.

A mi madre Guadalupe, la razón de mi vida, por su amor incondicional y por fomentar en mi vida los valores que permiten guiar cada uno de mis pasos.

A mi padre Gabriel, por ser el mejor ejemplo de trabajo y dedicación, por demostrarme siempre que las adversidades se superan sin importar las circunstancias.

A mi hermana Gabriela, mi mejor amiga, por su apoyo, cariño y protección que me ha brindado en cada etapa de mi vida.

A mi hermano Jhony, por ser quien me demuestra que la vida es un trayecto, en el cual se debe disfrutar cada paso, sin importar los errores que podamos cometer.

A mis abuelitos, por su bendición, consejos y por ser la imagen de ternura y cuidado eterno que siempre me acompaña.

A mis angelitos de cuatro patitas, por alegrar cada uno de mis días y por ser mis amigos perfectos.

Yadira

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la vida por darme la oportunidad de continuar en este camino, en compañía de mis seres amados.

A mi mami, mi amor eterno gracias por formarme como persona, por tener siempre la palabra correcta y el abrazo más reconfortante que alivian mis problemas, simplemente un gracias infinito por existir y por creer en mí, aun cuando yo misma no lo haga.

A mi padre, gracias por fomentar en mí el valor de la palabra y el trabajo, en cada instante de mi vida intento emular lo mejor de usted querido padre.

A mi hermana, gracias por todo el apoyo y cariño.

A mi hermano, gracias por los momentos compartidos.

A mis abuelitos, tías y primos, personas con las que he compartido momentos de felicidad y tristeza, gracias por ser personajes únicos en mi vida.

A mis amigos, gracias por formar parte de mi vida y por brindarme su amistad más sincera.

Al Ing. Diego Chérrez, por su profesionalismo, compromiso y por guiarme con sus conocimientos para así culminar satisfactoriamente con este trabajo.

Yadira

ÍNDICE GENERAL

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	II
AUTORÍA DE TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO	XIV

B. TEXTO

CAPÍTULO I.....	1
1 ANTECEDENTES	1
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
CAPÍTULO II	7
2 FUNDAMENTACIÓN.....	7
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1.1 Hormigón tradicional	7
2.1.1.1 Propiedades del hormigón	7
2.1.2 Cemento	13
2.1.2.1 Cemento portland	13
2.1.2.2 Densidad real del cemento.....	13
2.1.3 Agregados	14
2.1.3.1 Agregado fino.....	14
2.1.3.2 Agregado grueso.....	14
2.1.3.3 Condición de humedad de los agregados	14

2.1.3.4	Propiedades físicas y mecánicas de los agregados	15
2.1.4	Agua	20
2.1.4.1	Agua de amasado.....	20
2.1.4.2	Agua de curado.....	21
2.1.5	Dosificación del hormigón	21
2.1.5.1	Método de la densidad óptima.....	22
2.1.6	Sustitución parcial del cemento	27
2.1.7	Puzolanas.....	27
2.1.7.1	Definición.....	27
2.1.7.2	Clasificación.....	28
2.1.8	Puzolana utilizada en el estudio	29
2.1.8.1	Zeolita natural.....	29
2.1.8.2	Propiedades.....	30
2.1.8.3	Tipos de zeolitas naturales.....	31
2.1.8.4	Aplicaciones	31
2.1.8.5	Zeolita en ingeniería	32
2.1.8.6	Producción de zeolita	33
2.1.8.7	Zeolita natural en Ecuador.....	34
2.1.9	Aglomerante cal - puzolana	38
2.1.9.1	Efectos de la cal en el hormigón:	38
2.2	HIPÓTESIS	39
2.3	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	39
2.3.1	Variable independiente.....	39
2.3.2	Variable dependiente.....	39
3	METODOLOGÍA	40
3.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	40
3.1.1	Tipo exploratorio.....	40
3.1.2	Tipo descriptivo	40
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	41
3.2.1	Población.....	41
3.2.2	Muestra.....	41
3.3	OPERACIÓN DE VARIABLES	42
3.3.1	Variable independiente.....	42
3.3.2	Variable dependiente.....	44

3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	45
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	46
3.5.1	Plan de procesamiento.....	46
3.5.2	Plan de análisis.....	46
	CAPÍTULO IV	47
4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	47
4.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO	47
4.1.1	Material utilizado	47
4.1.2	Ensayos previos a dosificar.....	47
4.1.3	Dosificación del Hormigón	58
4.1.3.1	Método de la Densidad Óptima.....	58
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	63
4.2.1	Propiedades del hormigón en estado fresco	63
4.2.2	Propiedades del hormigón en estado endurecido.....	72
4.2.3	Análisis costo - beneficio	87
4.3	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	97
	CAPÍTULO V	98
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
5.1	CONCLUSIONES.....	98
5.2	RECOMENDACIONES	100
	C. MATERIAL DE REFERENCIA	
	BIBLIOGRAFÍA.....	101
	ANEXOS.....	107
A.	IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL 107	
B.	PLANO ESTRUCTURAL.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Consistencia del hormigón de acuerdo su asentamiento.....	8
Tabla N° 2. Porcentajes de resistencia a la compresión, de acuerdo a su edad.....	11
Tabla N° 3. Granulometría del agregado fino.	16
Tabla N° 4. Granulometría agregado grueso	17
Tabla N° 5. Resistencia a la compresión en función a la relación agua/cemento. ...	23
Tabla N° 6. Cantidades de pasta de cemento en porcentaje.	24
Tabla N° 7. Principales productores de zeolita natural - Usos y aplicaciones.	34
Tabla N° 8. Composición química de zeolita natural, tipo clinoptilolita.	35
Tabla N° 9. Número de probetas cilíndricas del estudio.	41
Tabla N° 10. Operacionalización de variable independiente	42
Tabla N° 11. Operacionalización de variable dependiente	44
Tabla N° 12. Plan de recolección de información.....	45
Tabla N° 13. Análisis granulométrico del agregado fino	48
Tabla N° 14. Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino	49
Tabla N° 15. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	50
Tabla N° 16. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	51
Tabla N° 17. Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso	52
Tabla N° 18. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	53
Tabla N° 19. Densidad aparente compactada de la mezcla de agregados.....	54
Tabla N° 20. Densidad real del cemento	56
Tabla N° 21. Densidad real de la zeolita natural	57
Tabla N° 22. Método de la densidad óptima	58
Tabla N° 23. Dosificación al peso para 1m ³ de hormigón	61
Tabla N° 24. Dosificación al peso para 9 cilindros de hormigón tradicional.....	62
Tabla N° 25. Propiedades en estado fresco del hormigón tradicional.....	63
Tabla N° 26. Propiedades en estado fresco del hormigón con zeolita natural en sustitución del 10% del cemento.....	64
Tabla N° 27. Propiedades en estado fresco del hormigón con zeolita natural en sustitución del 20% del cemento.....	65
Tabla N° 28. Propiedades en estado fresco del hormigón con zeolita natural en sustitución del 30% del cemento.....	66
Tabla N° 29. Propiedades en estado fresco del hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 10% del cemento.....	67
Tabla N° 30. Propiedades en estado fresco del hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 20% del cemento.....	68
Tabla N° 31. Propiedades en estado fresco del hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 30% del cemento.....	69
Tabla N° 32. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón tradicional	72
Tabla N° 33. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con zeolita natural en sustitución del 10% del cemento.....	74

Tabla N° 34. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con zeolita natural en sustitución del 20% del cemento.	76
Tabla N° 35. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con zeolita natural en sustitución del 30% del cemento.	78
Tabla N° 36. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 10% del cemento.	80
Tabla N° 37. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 20% del cemento.	82
Tabla N° 38. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 30% del cemento.	84
Tabla N° 39. Resumen de resistencias a la compresión.	86
Tabla N° 40. Precio unitario de hormigón $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$, Replanteo.....	88
Tabla N° 41. Precio unitario de hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Losa.....	89
Tabla N° 42. Precio unitario de hormigón tradicional $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	90
Tabla N° 43. Precio unitario de hormigón con zeolita en sustitución de 10% del cemento.	91
Tabla N° 44. Precio unitario de hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución de 10% del cemento.	92
Tabla N° 45. Detalle de volumen de hormigón.....	93
Tabla N° 46. Costos del hormigón	94

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Estructura básica de una zeolita.....	30
Gráfico N° 2. Producción de zeolita natural en Ecuador.....	37
Gráfico N° 3. Curva granulométrica del agregado fino	48
Gráfico N° 4. Curva granulométrica del agregado grueso	51
Gráfico N° 5. Porcentaje óptimo de la mezcla vs. Densidad aparente promedio.....	55
Gráfico N° 6. Densidad en estado fresco Vs. Porcentaje de zeolita en sustitución...	70
Gráfico N° 7. Densidad en estado fresco Vs. Porcentaje de zeolita-cal en sustitución	71
Gráfico N° 8. Edad Vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón Tradicional	73
Gráfico N° 9. Edad Vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con zeolita natural en sustitución del 10% del cemento.....	75
Gráfico N° 10. Edad vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con zeolita natural en sustitución del 20% del cemento.....	77
Gráfico N° 11. Edad vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con zeolita natural en sustitución del 30% del cemento.....	79
Gráfico N° 12. Edad vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 10% del cemento.	81
Gráfico N° 13. Edad vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 20% del cemento.	83
Gráfico N° 14. Edad vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 30% del cemento.	85
Gráfico N° 15. Resistencia a la compresión: Hormigón con zeolita y zeolita-cal en sustitución del 10% de cemento.....	95
Gráfico N° 16. Costo: Hormigón con zeolita y zeolita-cal en sustitución del 10% de cemento.	96

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental trata sobre la elaboración de hormigones con zeolita y la mezcla zeolita-cal como materiales sustitutos parciales del cemento, en los niveles de 10%, 20% y 30%, y un hormigón tradicional con una resistencia a la compresión de 240 kg/cm².

En primer lugar se efectuaron ensayos de laboratorio a los materiales, con la finalidad de realizar el diseño de la mezcla de hormigón tradicional, empleando el método de la densidad óptima el cual permite obtener la dosificación de los materiales.

En las mezclas de hormigón en estado fresco se evaluó las propiedades de trabajabilidad consistencia y densidad, en estado endurecido se evaluó la resistencia a la compresión y su densidad.

En estado fresco, el hormigón elaborado con los materiales sustitutos demostró conservar la trabajabilidad, variar el asentamiento y disminuir la densidad con respecto al hormigón tradicional.

Con respecto a la resistencia se comprobó que el hormigón elaborado con zeolita como sustituto de 10% del cemento incrementa la resistencia en las diferentes edades analizadas y con la mezcla zeolita-cal como sustituto de 10% del cemento disminuye la resistencia en comparación con el hormigón tradicional pero se mantiene dentro de los límites establecidos; lo contrario sucede cuando los porcentajes de sustitución son 20% y 30%, pues la resistencia a la compresión con estos niveles no cumple con la resistencia de diseño.

ABSTRACT

The present experimental project treat about the elaboration of concrete with zeolite and the zeolite-lime mixture as partial substituting materials of the cement, in the levels of 10%, 20% and 30%, and a traditional concrete with a compressive strength of 240 kg/cm².

In the first place the material was analyzed, with the purpose of realizing the design of the traditional concrete mix, using the method of the optimal density which allows obtaining the dosage of the materials.

In the concrete mixtures, in the fresh state the properties of workability consistency and density were evaluated, in the hardened state the compressive strength and its density were evaluated.

In fresh state, the concrete with the substitute materials proved to conserve the workability, to vary the settlement and to diminish the density with respect to the traditional concrete.

With respect to the resistance it was verified that the concrete elaborated with zeolite as substitute of 10% of the cement increases the resistance in the different ages analyzed and with the zeolite-lime mixture as a substitute of 10% of the cement decreases the resistance compared to the traditional concrete, but remains within the established limits; the opposite happens when the percentages of substitution are 20% and 30%, since the compressive strength with these percentages does not reach the design resistance.

CAPÍTULO I

1 ANTECEDENTES

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”

1.2 ANTECEDENTES

En la actualidad el sector de la construcción ha venido experimentando cambios debido a la utilización de nuevos materiales y a la implementación de otros que eran conocidos en la antigüedad, tal es así el caso de las puzolanas que conjuntamente con la cal eran utilizadas como material cementante para la construcción de estructuras de la civilización Romana y Griega, dando a conocer la efectividad de estos productos como parte de pastas y morteros cementicios.

Investigaciones sobre la actividad puzolánica que presenta la zeolita han sido presentadas en los últimos años como se indica en [1] Costafreda J.L. (2008), donde se describe minuciosamente el comportamiento de las zeolitas como puzolanas activas, y lo hace en base a las variaciones registradas en las propiedades mecánicas de los morteros elaborados con proporciones de este mineral.

La utilización de zeolita para la elaboración de materiales aglomerantes, es conocida desde la antigua civilización debido al carácter puzolánico que estas presentaban, hoy en día la utilización de este mineral en el hormigón no es común, a pesar de que existen publicaciones en las cuales se reporta el uso generalizado de este material en la industria cementera así como se menciona en [2], acorde a (Poon, Gayoso 2006, Rosell 2004), que países como Grecia y Japón incorporan este mineral en la fabricación de cemento, y que China reporta el uso de más de 30 millones de toneladas por año de zeolita para la producción de cementos.

Los estudios de durabilidad de los hormigones con adiciones de zeolita han demostrado incrementos de resistencia, disminución de la permeabilidad lo que se traduce en mayor impermeabilidad y disminución de absorción por capilaridad, en comparación con hormigones sin adiciones (Gener 2001). [2]

De acuerdo con los resultados obtenidos en investigaciones, la zeolita juega un papel muy importante en la fabricación de cementos con propiedades ventajosas, traducidas como mayor resistencia, menor calor de hidratación y mayor inhibición de la reacción álcalis-sílice. De esta forma, los cementos y hormigones que se pueden lograr con estas adiciones minerales son resistentes a los sulfatos y al agua de mar, lográndose una gran durabilidad de los mismos (Costafreda, J.L.*et. al.*, 2007). [1]

De esta manera se han llevado a cabo varias investigaciones sobre la aplicación de esta puzolana natural (zeolita) en la elaboración de hormigones, dos de ellas son:

Primera Fuente: “Zeolita como aditivo mineral activo en Hormigones de Altas Prestaciones”

Se analizaron probetas de control y probetas experimentales sustituyendo el 10% de cemento por la adición mineral (zeolita), concluyendo lo siguiente:

- La caracterización de la zeolita natural demuestra que cumple los requisitos para ser usada como puzolana. Siendo mejor su comportamiento aquellas partículas menores a $74\mu\text{m}$ que aquellas partículas mayores a 1 mm.
- En los hormigones con adición de zeolita se desarrollaron mayores resistencias a la compresión, viendo un aumento de este comportamiento en el tiempo, tal y como es característico de las reacciones puzolánicas.
- La utilización de la zeolita como adición puzolánica ha permitido lograr hormigones de altas prestaciones, cuyos resultados al año alcanzan una resistencia a la compresión de aproximadamente 979 kg/cm^2 , mientras que las probetas de control 859 kg/cm^2 , demostrando que se mejoró la resistencia alrededor de un 14%. [3]

Segunda Fuente: “Efecto de la adición mineral cal-zeolita sobre la resistencia a la compresión y la durabilidad de un hormigón”

En este estudio se ensayaron probetas de control elaboradas para una resistencia a la compresión de 300 kg/cm² y probetas experimentales que fueron obtenidas a partir de hacer variar en la mezcla control, las cantidades de cemento portland ordinario (CPO) por adición mineral cal- zeolita (ACZ), evaluando los niveles 10%, 20%, 30% y 40% de sustitución en masa, manteniendo constante el resto de los componentes, la adición mineral en proporción 20% de cal y 80% de zeolita en masa, donde se concluyó que:

- Utilizar hasta un 37% de sustitución de CPO por ACZ, en combinación con súper plastificante MAPEFLUID N200, dentro de un volumen de pasta constante, no solo logra satisfacer los requerimientos de resistencia a la compresión y trabajabilidad exigidos, si no también, satisfactorios resultados en la durabilidad, con reducciones notables en los consumos de cemento, sin afectar los requerimientos de la mezcla control. [4]

1.3 JUSTIFICACIÓN

Varias han sido las alternativas que se presentan en la actualidad, que permitan la sustitución del uso de cemento en la industria de la construcción, debido a que en su producción se presentan emisiones de CO₂, como se sabe este es uno de los causantes de la contaminación atmosférica, entre ellas la más conocida es el empleo de adiciones puzolánicas que además de contribuir a disminuir el uso de este material, presentan ventajas como mayor resistencia, impermeabilidad, menor calor de hidratación, entre otras.

Por lo que cada día se realizan estudios ya sea a materiales puzolánicos que puedan ser incorporados en la producción del cemento o bien en la elaboración de hormigones con sustituciones parciales de cemento, y en ocasiones incorporando aditivos químicos conjuntamente con dichas sustituciones, tales estudios han permitido demostrar su efectividad así como se menciona en [4], en a Martirena (2004), donde indica que el uso de materiales cementicios suplementarios, no solo contribuyen en la reducción de emisiones contaminantes, sino también en la disminución del calor de hidratación y la porosidad capilar, además ayuda en el mejoramiento de las resistencias mecánicas con reducciones del contenido de cemento portland, así como en la durabilidad de las estructuras de hormigón armado.

De esta manera, la sustitución parcial del cemento por un material puzolánico en este caso zeolita natural definida en [5], como un mineral químicamente compuesto por aluminio-silicatos hidratados que se encuentran en la naturaleza como rocas blandas de fácil extracción, se presenta como una alternativa que permitiría disminuir el uso de cemento portland en hormigones.

La utilización de zeolita natural en morteros y hormigones puede mitigar incluso evitar ciertos fenómenos muy importantes por su carácter destructivo, como la reacción álcalis-sílice y álcalis-carbonato, ambos responsables de la fisuración y expansión en estructuras hormigonadas. [1]

En Latinoamérica la utilización de zeolitas naturales en el sector de la construcción es poco conocida ya que las investigaciones se han enfocado en materiales de uso común que reemplacen parcialmente al cemento, pero cabe mencionar que Cuba es uno de los países que utiliza este mineral en la elaboración de morteros y hormigones, como se indica en [2], debido a la inexistencia de fuentes tradicionalmente conocidas y comercializadas que se encuentran referidas en las normas internacionales como son las cenizas volantes y las micro sílices, lo que ha orillado a la utilización de tobas zeolitizadas para la producción de cemento demostrando ser efectivos.

En Ecuador se comenzó con las primeras investigaciones de zeolita natural a finales de los años 90 y con aplicaciones masivas en el año 2001 [5], la utilizan principalmente en la agricultura como fertilizante de suelos, nutrición animal, eliminación de amonio en piscicultura y en conservación de granos.

La obtención de zeolita natural en nuestro país empieza por su extracción en cantera, como se señala en [6], este proceso se lo realiza a cielo abierto por estar clasificado como un mineral no metálico que aflora en la superficie, para luego ser sometido a un proceso de trituración física en el que no interviene elemento químico alguno.

Ecuador no reporta el empleo generalizado de este material en la elaboración de hormigón, pese a que investigaciones realizadas muestran ventajas en la utilización de este material, así como indica Carlos Saltos Arteaga en su Tesis [7], donde analizó probetas de hormigón elaboradas con adiciones de zeolita natural en un 5%, 10%, 20% y 30% con respecto al peso de cemento, y concluyó que la zeolita como adición mineral en el hormigón ayuda a mejorar la resistencia a la compresión (aproximadamente el 10%), específicamente las probetas que contenían el 10%, demostrando que el cemento portland con un 10% de zeolita adicionada con respecto a su peso constituye un buen cemento puzolánico.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Analizar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón dosificadas para una resistencia a la compresión de 240 kg/cm² empleando en su composición zeolita natural y una mezcla de zeolita-cal, en reemplazo parcial del cemento.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la variación en la resistencia a la compresión del hormigón al incorporar zeolita natural en sustitución del 10%, 20% y 30% del contenido de cemento.
- Determinar la variación en la resistencia a la compresión del hormigón al incorporar la mezcla zeolita-cal en sustitución del 10%, 20% y 30% del contenido de cemento.
- Comparar la variación de la resistencia a la compresión en probetas elaboradas con hormigón tradicional, hormigón con adición de zeolita natural y hormigón con adiciones de la mezcla zeolita-cal en reemplazo parcial del cemento a los 7, 14 y 28 días.
- Realizar un análisis comparativo costo – beneficio del hormigón realizado con zeolita natural, mezcla zeolita-cal y uno tradicional.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 Hormigón tradicional

Es un material de construcción conocido también como concreto, se lo obtiene de la mezcla de cuatro componentes que son: agregado fino (arena), agregado grueso (ripio), cemento y agua.

Según la norma NTE INEN 694 [8], el hormigón es un material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos; en el hormigón de cemento hidráulico, el aglutinante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua.

2.1.1.1 Propiedades del hormigón

Las propiedades mecánicas del hormigón depende de las proporciones y calidad de materiales que se utilicen para su elaboración, además se pueden adicionar productos químicos (aditivos), adiciones minerales, entre otras posibilidades, para obtener características específicas de diseño.

2.1.1.1.1 Propiedades del hormigón fresco

Se denomina hormigón fresco desde el momento que se realiza la mezcla de los componentes, este estado se mantiene hasta que se produzca su endurecimiento. Las propiedades que se va a verificar en el hormigón en este estado fresco son las siguientes:

2.1.1.1.1 Consistencia

Se mide en términos de asentamiento, y representa la capacidad que tiene el hormigón fresco para deformarse.

Para Jiménez [9], la consistencia es la menor o mayor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse, que varía con multitud de factores: cantidad de agua de amasado, tamaño máximo, granulometría y forma de los áridos, etc.; el que más influye es la cantidad de agua de amasado.

Dicho asentamiento se determina a través de varios procedimientos entre ellos el más conocido “Cono de Abrams”, que consiste en colocar y sujetar el cono sobre una placa rígida mientras se introduce el hormigón en tres capas, cada capa se compacta con 25 golpes proceso que se lo realiza con una varilla de punta redonda, de acuerdo a la norma NTE INEN 1578 [10], equivalente a ASTM C 143, con la finalidad de medir el asentamiento que se produce después de retirar el cono.

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos, fluidos y líquidos, como se indica:

Tabla N° 1. Consistencia del hormigón de acuerdo su asentamiento

Consistencia	Asentamiento en Cono de Abrams (cm)
Seca (S)	0 a 2
Plástica (P)	3 a 5
Blanda (B)	6 a 9
Fluida (F)	10 a 15
Líquida (L)	≥ 16

Fuente: P. Jiménez [9].

2.1.1.1.2 Trabajabilidad o manejabilidad

Esta propiedad hace alusión precisamente a la facilidad o dificultad con que el hormigón pueda ser puesto en obra.

Como se indica en [11], la trabajabilidad es la cantidad de trabajo interno útil necesario para producir la compactación, el trabajo interno útil se refiere al trabajo o energía requerida para vencer a la fricción interna entre las partículas del hormigón; en la práctica es difícil de medir la trabajabilidad tal como se ha denominado y no existe una prueba aceptable para medir esta propiedad.

La trabajabilidad depende, entre otros factores, de los siguientes:

- De la cantidad de agua de amasado, cuando mayor sea esta, mayor será la trabajabilidad.
- Contenido de agregado fino, a mayor cantidad de agregado fino corresponde más agua de amasado necesaria y, por tanto mejora la trabajabilidad pero disminuye la resistencia.
- La trabajabilidad es mayor con áridos redondeados que con áridos procedentes de trituración. [12]

2.1.1.1.3 Homogeneidad

Es la cualidad en la cual los componentes del hormigón se encuentran regularmente distribuidos en la mezcla que dependerá básicamente del amasado.

La mala homogeneidad en una mezcla produce la segregación del hormigón que es la separación de los agregados gruesos y finos, o la decantación cuando los agregados gruesos se quedan al fondo y los finos se van para arriba esto produce un hormigón de baja resistencia. [13]

Esta propiedad se evalúa visualmente durante el amasado del hormigón, se la cataloga como:

- Homogénea si los componentes están regularmente distribuidos en la mezcla, se logra con un buen amasado.
- No homogénea si los componentes están dispersos en la mezcla, se produce por irregularidades en el amasado y exceso de agua.

2.1.1.1.4 Densidad en estado fresco

Se define como la masa por unidad de volumen, propiedad que nos permite conocer la carga que representa el hormigón fresco, importante cuando se realiza cálculos sobre cargas actuantes en un encofrado.

En [9], se indica que es un dato de gran interés como índice de la uniformidad del hormigón en el transcurso de una obra, y se ve afectado por la granulometría de los agregados, contenido de cemento o del agua de amasado.

Para evaluar esta propiedad se debe obtener el peso del hormigón fresco colocado en el cilindro y dividir este valor para el volumen del cilindro.

2.1.1.1.2 Propiedades del hormigón endurecido

Desde el momento en que las partículas del cemento inician su proceso de hidratación comienzan las reacciones de endurecimiento, se manifiestan inicialmente con el fraguado y continúan luego con la ganancia de resistencia. Siendo la resistencia a la compresión (f_c) una de las propiedades, utilizada por los ingenieros para el diseño de estructuras.

2.1.1.1.2.1 Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión se mide fracturando especímenes de hormigón en una máquina de ensayo de compresión y se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2), megapascuales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/plg^2 o psi). [14]

La resistencia a la compresión del hormigón se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, de acuerdo al procedimiento establecido en NTE INEN 1573 [15], el ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros hasta que ocurra la falla del espécimen.

De acuerdo a ACI [16], un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 15 cm por 30 cm o de al menos tres probetas de 10 cm por 20 cm, preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días de edad o a la edad de ensayo establecida para la determinación de $f'c$.

El nivel de resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactorio si cumple con los dos requisitos:

- Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a $f'c$.
- Ningún resultado de ensayo de resistencia es menor que $f'c$ por más 35 kg/cm² cuando $f'c$ es 350 kg/cm² o menor; o por más de 0.10 $f'c$ cuando $f'c$ es mayor a 350 kg/cm² . [16]

Se evalúa a los 28 días, porque el desarrollo de la resistencia a esta edad es avanzado (95-105%), se pueden usar otras edades para las pruebas, con el fin de determinar la relación entre la resistencia a los 28 días, a continuación se presenta los porcentajes de resistencia de acuerdo a su edad.

Tabla N° 2. Porcentajes de resistencia a la compresión, de acuerdo a su edad

Edad	Límites	
	Mín. (%)	Máx. (%)
7	65	75
14	80	90
21	88	98
28	95	105

34	100	110
56	115	125

Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, UTA [17]

2.1.1.1.2.2 Resistencia a la compresión característica

Se define como resistencia característica f_{ck} , del hormigón aquel valor que presenta un grado de confianza del 95%, es decir el 95% de las probetas deben presentar resistencias mayores o iguales a la resistencia promedio f'_{cm} .

2.1.1.1.2.3 Densidad del hormigón endurecido

Es la masa por unidad de volumen, depende principalmente de la cantidad y propiedades de los agregados y del método de compactación que se emplee.

Los hormigones se pueden clasificar según las diferentes densidades que posean en: ligeros, normales y pesados. A continuación se especifican cada una de estas clasificaciones (Schmitt, Heinrich y Heene, Andreas, 2004). [18]

- Hormigón ligero, con una densidad de 2000 kg/m^3 como máximo, para su elaboración se emplea áridos ligeros como la piedra pómez, las arcillas expandidas y las escorias, también se usa granulados productores de poros o materiales espumantes.
- Hormigón normal, con una densidad de más de 2000 kg/m^3 a 2800 kg/m^3 como máximo, con arena y grava como áridos.
- Hormigón de alta densidad o pesado, con una densidad superior a 2800 kg/m^3 , los áridos se componen de espato pesado y magnetita.

2.1.2 Cemento

Ligante hidráulico, es decir una sustancia que mezclada con el agua, está en condiciones de endurecer ya sea en el aire, como debajo del agua. Existen varias formas de clasificarlo:

- Por su Fraguado: Pueden ser rápidos o lentos, dependiendo si su fraguado termina antes o después de una hora.
- Por su Composición Química: Naturales, portland, escorias, puzolánicos y aluminosos.
- Por sus Aplicaciones: De alta resistencia inicial y resistente a los sulfatos. [12]

2.1.2.1 Cemento portland

Es un cemento hidráulico que está hecho de la combinación de un material calcáreo (piedra caliza y yeso) y una base de sílice y alúmina, como arcilla o esquisto. El proceso de manufactura consiste en moler las materias primas hasta lograr un polvo muy fino, mezclarlas perfectamente en proporciones establecidas y someterlas en un gran horno rotatorio a una temperatura de aproximadamente 1400° C; como consecuencia el material se incrusta y se funde parcialmente hasta convertirse en escorias. Cuando la escoria se enfría, se muele hasta convertirla en un polvo fino que con la posterior adición de yeso nos da como resultado el cemento portland, que es él que se comercializa a nivel mundial. [19]

2.1.2.2 Densidad real del cemento

La densidad del cemento hidráulico está definida como la masa de un volumen unitario de los sólidos, debe estar comprendida en el rango de 2.90 - 3.15 gr/cm³ y se determina de acuerdo a la norma INEN 156 [20].

El ensayo consiste en determinar la relación entre la masa de cemento (150 -200 gr) y el volumen del líquido no reactivo que esta masa desplaza en el picnómetro de 500 cm³.

2.1.3 Agregados

Cuando nos referimos a agregados, se entiende que tratamos tanto del agregado fino (arena) como agregado grueso (ripió), materiales que ocupan alrededor de un 75 % del volumen total del hormigón, de esta manera se define a los agregados o áridos como material granular conformado por arenas, gravas o piedra triturada.

Los agregados cumplen en el hormigón tres funciones fundamentales:

- Disminuye los cambios volumétricos (retracción) propios de la pasta de cemento, durante el fraguado.
- Abaratar el costo del hormigón por unidad de volumen al ser un material barato en comparación con el cemento.
- Ejercen una influencia positiva en la resistencia a la compresión. [21]

2.1.3.1 Agregado fino

De acuerdo a NTE INEN 694 [22], considera agregado fino o arena al material que pasa por el tamiz 3/8" y que la mayor parte de sus partículas pasa por el tamiz N° 4 y son retenidas en su mayoría en el tamiz N° 200.

2.1.3.2 Agregado grueso

En términos generales se determina agregado grueso al material cuyas partículas tengan un tamaño mayor a 5 mm, y según NTE INEN 694 [22], considera agregado grueso o ripió al material que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz N° 4.

2.1.3.3 Condición de humedad de los agregados

Representa el contenido de agua en las partículas de los agregados, se consideran las siguientes condiciones:

- Seco al horno (SH): Condición en la cual las partículas del agregado han sido secados por calentamiento en un horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Saturado superficialmente seco (SSS): Condición en la cual los poros permeables de las partículas del árido se llenan con agua, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.
- Humedad natural: Cuando no hay humedad libre o superficial, y parte de los poros internos de la partícula están llenos de agua. Condición que depende del ambiente en que se encuentren los agregados.
- Saturado superficie húmeda (SSH): Cuando hay humedad superficial, la partícula esta visiblemente mojada, y todos sus poros están llenos de agua. [12]

La condición, saturado superficialmente seco (SSS) se considera como una “condición de equilibrio”, que permite determinar la densidad real, capacidad de absorción de los agregados y dosificación del hormigón.

La condición humedad natural, es la condición en la que se analizará la granulometría y la densidad aparente en condición compactada y suelta de los agregados.

2.1.3.4 Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

2.1.3.4.1 Granulometría de los agregados

Mediante el análisis granulométrico se obtiene la distribución por tamaños de partículas correspondiente a una muestra de material (agregado fino o grueso), proceso que se lo realiza mediante la utilización de tamices de la serie de Tyler.

2.1.3.4.1.1 Granulometría del agregado fino

El agregado fino para ser empleado en el hormigón debe cumplir con lo especificado en la norma NTE INEN 696 [23], equivalente a la norma ASTM C-33, a continuación se presenta los porcentajes límites dentro de los cuales el agregado fino deberá estar comprendido.

Tabla N° 3. Granulometría del agregado fino.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA.
ASTM	INEN	
3/8"	9.50 mm	100
N° 4	4.75 mm	95 - 100
N° 8	2.36 mm	80 - 100
N° 16	1.18 mm	50 - 85
N° 30	600 μ m	25 - 60
N° 50	300 μ m	10 - 30
N° 100	150 μ m	2 - 10
N° 200	75 μ m	-

Fuente: INEN 872 [24]

El ensayo NTE INEN 696, para agregado fino consiste en ubicar de forma descendente los tamices presentados en la tabla N° 3, colocar la muestra de agregado fino que como mínimo es 300 gr, llevar a la tamizadora durante 5 minutos y pesar el material contenido en cada tamiz. Estos datos deberán ser tabulados en una tabla en la que se determina el porcentaje del material que pasa en cada tamiz, para ser evaluado en una gráfica en la que consta el límite inferior y superior de porcentaje que pasa.

- Módulo de finura del agregado fino:

Este módulo es el indicador de finura del agregado fino, valor que corresponde a la centésima parte de la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, y N° 100, este resultado debe estar comprendido en el rango de 2.30 - 3.10 de acuerdo a lo que se indica en NTE INEN 872 [24], para que el agregado pueda ser utilizado en la elaboración de hormigón.

2.1.3.4.1.2 Granulometría del agregado grueso

El agregado grueso para ser empleado en el hormigón debe cumplir con lo especificado en la norma NTE INEN 696 [23], equivalente a la norma ASTM C-33, a continuación

se presenta los límites de porcentaje dentro de los cuales el agregado grueso deberá estar comprendido.

Tabla N° 4. Granulometría agregado grueso

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA.
ASTM	INEN	
2"	53.00 mm	100
1 ½"	37.50 mm	95-100
1"	26.50 mm	-
¾"	19.00 mm	35-70
½"	13.20 mm	-
3/8"	9.50 mm	10-30
N° 4	4.75 mm	0-5

Fuente: INEN 872[24]

El ensayo NTE INEN 696, para agregado grueso consiste en ubicar de forma descendente los tamices presentados en la tabla N° 4, colocar la muestra de agregado grueso que de acuerdo a la experiencia puede variar entre 5000 y 10000 gr, tamizar la muestra, pesar el material retenido en cada tamiz y determinar el porcentaje de material que pasa por cada tamiz, estos datos analizar en la gráfica elaborada con los límites de porcentaje que pasa.

- Tamaño nominal máximo del agregado grueso:

Es el tamaño del tamiz ASTM, anterior al primer tamiz que retuvo el 15% o más del material analizado.

El tamaño nominal máximo (TNM) es el indicador de que en la muestra analizada no se encontrará partículas superiores a las de ese tamiz. De acuerdo a [12], el TNM debe estar en el rango de : $3/4" \leq \text{TNM} \leq 2"$, para considerar al material apto para elaborar hormigón.

NTE INEN 696 proporciona una tabla en la que indica la masa de la muestra de agregado grueso que debe ser ensayado, correspondiente al TNM, el TNM es un parámetro que se obtiene después de realizar la granulometría del agregado por lo que este ensayo se deberá repetir si la masa de la muestra no corresponde al del TNM.

2.1.3.4.2 Densidad real y capacidad de absorción de los agregados.

La densidad representa la relación entre la masa de las partículas del árido, saturado superficialmente seco (SSS), y el volumen que ocupa el agregado, incluyendo los poros presentes en dicho agregado.

La capacidad de absorción es el incremento en la masa del agregado debido a la existencia de poros en las partículas del material que absorben agua, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

- Densidad real del agregado fino:

NTE INEN 856 [25], para la densidad real y capacidad de absorción del agregado Fino.

El ensayo consiste en determinar la relación entre la masa del agregado fino en condición SSS y el volumen de agua que esta masa desplaza en el picnómetro de 500 cm³. Para este ensayo se debe sumergir la muestra durante 24 horas en agua, para luego ser secada a temperatura ambiente hasta obtener la condición SSS, esta condición se evalúa con el cono y el compactador establecidos en la norma.

- Densidad real del agregado grueso:

NTE INEN 857 [26], para la densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.

Relación existente entre la masa y volumen de la muestra en condición SSS, este ensayo se realiza mediante una canastilla que se debe pesar en el aire y sumergida en agua, también se deberá tomar los pesos de la canastilla con agregado en el aire y sumergida, de este modo se obtendrá los datos necesarios para determinar esta densidad. Para lograr la condición SSS se debe sumergir por 24 horas la muestra de agregado y luego retirar el agua en la superficie de cada partícula.

- **Capacidad de absorción del agregado fino y grueso:**

Se obtiene de la relación entre la masa de la muestra de agregado en condición SSS menos la masa de la muestra seca al horno (SH) y la masa de la muestra seca al horno (SH), este valor expresado en porcentaje.

2.1.3.4.3 Densidad aparente suelta y compactada de los agregados

La densidad aparente expresa la relación que existe entre la masa y el volumen que ocupa el agregado en condición humedad natural.

Para determinar estas densidades se debe seguir los procedimientos establecidos en NTE INEN 858 [27]:

- **Densidad aparente compactada de los agregados**

Este ensayo consiste en colocar agregado dentro de un molde metálico del cual sabemos su volumen y peso, este agregado se coloca en tres capas y cada capa será compactada con 25 golpes de la varilla de compactación distribuidos uniformemente sobre la superficie, la tercera capa debe ser enrasada con la ayuda de la varilla, y tomar el peso del molde más agregado.

- **Densidad aparente suelta de los agregados**

En este ensayo, se coloca agregado en un molde metálico del que se conoce volumen y peso, el agregado se coloca sin compactar y se enrasa la superficie, el molde más

agregado deben ser pesados, de este modo se obtiene la masa por unidad de volumen del agregado incluyendo los vacíos.

- **Densidad aparente compactada de la mezcla de agregados**

Para este ensayo se mezcla agregados en diferentes porcentajes, este material se coloca en un molde metálico del que se conoce volumen y peso para así obtener la relación existente entre la masa y el volumen, el procedimiento consiste en colocar la mezcla de agregados en tres capas, cada compactada con 25 golpes de varilla; con la finalidad de obtener el porcentaje óptimo de agregado fino y grueso a emplearse en la dosificación del hormigón.

El porcentaje óptimo se obtiene, restando un 4% del porcentaje de agregado fino correspondiente al porcentaje aparente máximo, lo cual produce que el porcentaje de agregado grueso aumente en un 4%.

2.1.4 Agua

2.1.4.1 Agua de amasado

El agua representa uno de los componentes más importantes en la elaboración del hormigón, ya que es el componente que activa el cemento para formar el material aglomerante que envolverá a los áridos, las características del agua influirán directamente sobre las propiedades del hormigón, principalmente en su resistencia.

En nuestro medio es común el uso del agua potable y en general se dice que al hormigón se le debe añadir el agua que un ser humano pueda consumir, por lo que se expresó anteriormente el agua que se emplee en el hormigón deberá estar libre de impurezas o agentes nocivos que puedan ocasionar problemas al hormigón o al acero de refuerzo

En la norma NTE INEN 2617 [28], se indica que es permitido el uso del agua potable como agua de mezcla del hormigón sin la realización de ensayos para verificar el

cumplimiento de los requisitos de esa norma. Por lo que se confirma que el uso de agua potable es correcto.

2.1.4.2 Agua de curado

El agua para amasar y curar es satisfactoria si es potable, el agua de curado, evita la desecación, mejora la hidratación del cemento y disminuye la retracción, durante la etapa de endurecimiento del hormigón.

Para que se cumpla satisfactoriamente el proceso de curado se deberá cumplir con NTE INEN 2528 [29], en esta norma se indica que una cámara de curado, debe tener una temperatura de $23.0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.1.5 Dosificación del hormigón

Existen varios métodos de diseño de mezclas de hormigón que han sido desarrollados bajo normas específicas, con el fin de cumplir requerimientos tanto físicos como mecánicos, dichos métodos consisten en determinar las proporciones en volumen o peso de material que deberá emplearse en la elaboración del hormigón.

Los métodos más utilizados en nuestro medio son:

- Método del ACI 211.1 (Instituto Americano del Concreto)
- Método de la Densidad Óptima

En este estudio el método a utilizar será el de la densidad óptima, debido a que es el método que se ha puesto en práctica y ha demostrado cumplir con las resistencias a la compresión diseñadas.

Se considera además, que es un método aplicable al diseño de mezclas con agregados de “deficiente” granulometría, de acuerdo con las normas Norteamericanas, y por tanto no aconsejable para ser empleado en el método de diseño del ACI [30], bajo este

concepto resulta adecuado emplear el método de la densidad óptima que fue desarrollado con materiales de la región por la Universidad Central del Ecuador.

2.1.5.1 Método de la densidad óptima

La base de este método de diseño de mezclas, es la de determinar la densidad óptima de la mezcla de agregados y la cantidad de pasta necesaria para llenar los espacios vacíos existentes en esta mezcla, esta pasta además deberá recubrir cada partícula de agregado constituyendo enlaces entre ellas, para obtener un hormigón con una resistencia a la compresión especificada, por lo que se requiere obtener las características de los agregados y el cemento.

Para obtener la dosificación de materiales a emplear en el hormigón mediante este método, se necesita establecer la resistencia a la compresión f'_c a los 28 días de edad y el asentamiento. El procedimiento para dosificar el hormigón por el método de la densidad óptima es el siguiente:

2.1.5.1.1 Relación agua/cemento (w/c)

La relación agua/cemento es el cociente entre la cantidad de agua y de cemento presentes en un volumen dado de hormigón.

La importancia de la relación agua / cemento fue descubierta hace 60 años por Duff A. Abrams, después de haber estudiado un gran número de hormigones de diferentes composiciones, anunció la ley que expresa que con un agregado dado, la resistencia depende sólo de la relación agua / cemento. [31]

Esta íntima relación tiene que ver con el endurecimiento del cemento, debido a que en el proceso de hidratación del cemento se fija, para su endurecimiento, una cantidad de agua correspondiente a una relación $w/c = 0.4$, el agua suplementaria no está fijada y ocupa en la pasta de cemento endurecido cierto volumen en forma de poros capilares. [31]

Esta relación influye en los siguientes aspectos:

- Aumento o disminución de la resistencia a la compresión
- Impermeabilidad del hormigón
- Resistencia a agentes climáticos
- Cambios volumétricos por curado

La relación agua/cemento se determina de acuerdo a la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días, utilizando la Tabla N° 5.

Tabla N° 5. Resistencia a la compresión en función a la relación agua/cemento.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'c$ A LOS 28 DÍAS.		RELACIÓN AGUA/CEMENTO
Mpa	kg/cm ²	(w/c)
45	450	0.37
42	420	0.40
40	400	0.42
35	350	0.46
32	320	0.50
30	300	0.51
28	280	0.52
25	250	0.55
24	240	0.56
21	210	0.58
18	180	0.60

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales UCE Quito- Ecuador. [32]

2.1.5.1.2 Densidad real de la mezcla de los agregados.

$$\text{Ec. 1 [32]} : \text{DRM} = (\text{DRA} * \text{POA}) + (\text{DRR} * \text{POR})$$

Donde:

DRM: Densidad Real de la Mezcla de Agregados

DRA: Densidad Real del Arena

DRR: Densidad Real del Ripio

POA: Porcentaje Óptimo del Arena

POR: Porcentaje Óptimo del Ripio

2.1.5.1.3 Porcentaje óptimo de vacíos

$$\text{Ec. 2 [32]} : \text{POV} = \left(\frac{\text{DRM} - \text{DOM}}{\text{DRM}} \right) * 100$$

Donde:

POV: Porcentaje Óptimo de Vacíos

DRM: Densidad Real de la Mezcla de Agregados

DOM: Densidad Óptima de la Mezcla

2.1.5.1.4 Cantidad de pasta de cemento (CP)

Corresponde al porcentaje de pasta de cemento y agua que cubrirá el porcentaje óptimo de vacíos, añadiéndose el 2% más de pasta para recubrir todas las partículas de los agregados y para darle al hormigón mejor trabajabilidad, se debe elegir la ecuación de acuerdo al asentamiento requerido con la siguiente Tabla:

Tabla N° 6. Cantidades de pasta de cemento en porcentaje.

Asentamiento en cm	Cantidad de Pasta en %
0 – 3	POV + 2% + 3% (POV)
3 – 6	POV + 2% + 6% (POV)
6 – 9	POV + 2% + 8% (POV)
9 – 12	POV + 2% + 11% (POV)
12 – 15	POV + 2% + 13% (POV)

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales UCE Quito- Ecuador. [32]

La cantidad de pasta en porcentaje deberá multiplicarse por 1000 dm³, así se obtendrá la cantidad de pasta correspondiente a 1000 dm³ equivalente a 1m³ de hormigón.

2.1.5.1.5 Cantidad de cemento

$$CP = W + C$$

$$CP = \frac{W}{1} + \frac{C}{DRC}$$

$$CP = C \left(\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC} \right)$$

$$\text{Ec. 4 [32]} : C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

Donde:

W: Agua

C: Cemento

$\frac{W}{C}$: Relación Agua/Cemento

2.1.5.1.6 Cantidad de agua, arena y ripio

$$\text{Ec. 5 [32]} : W_i = \left(\frac{W}{C} \right) * C$$

$$\text{Ec. 6 [32]} : A_i = (100 - CP) * POA * DRA$$

$$\text{Ec. 7 [32]} : R_i = (100 - CP) * POR * DRR$$

Donde:

W_i : Cantidad de agua inicial

A_i : Cantidad de arena inicial

R_i : Cantidad de ripio inicial.

Finalmente al obtener las cantidades de los materiales, se debe dividir dichas cantidades para la cantidad de cemento, así se obtendrá la dosificación. Este método de diseño considera que los agregados se encuentran en estado SSS, por lo cual se hace una corrección por humedad.

2.1.5.1.7 Corrección por humedad

Esta corrección se debe realizar por el contenido de humedad natural en el agregado fino y grueso, esto hace que las cantidades obtenidas de agua, arena y ripio varíen.

El contenido de humedad se refiere al agua presente en los agregados, correspondiente a las características ambientales en las que se encuentren, se expresa en porcentaje y para determinar este parámetro se emplea el mismo procedimiento de la capacidad de absorción de los agregados, con la diferencia del agregado en condición humedad natural.

Para realizar la corrección por humedad se realiza lo siguiente:

1. Capacidad de absorción real de los agregados:

$$\text{Ec. 8: } CA_{\text{real}}\% = CA_{\text{SSS}}\% - CA_{\text{natural}}\%$$

Donde:

$CA_{\text{real}}\%$: Capacidad de absorción real del agregado.

$CA_{\text{SSS}}\%$: Capacidad de absorción del agregado en condición SSS.

$CH\%$: Contenido de humedad natural.

2. Contenido de humedad de los agregados de acuerdo a la cantidad de material:

$$\text{Ec. 9: } CH = CA_{\text{Real}}\% * \text{Material}$$

Donde:

CH : contenido de humedad del agregado

3. Cantidades de material corregidas:

$$\text{Ec. 10: } W = W_i + CH_{\text{arena}} + CH_{\text{ripio}}$$

$$\text{Ec. 11: } A = A_i - CH_{\text{arena}}$$

$$\text{Ec. 12: } R = R_i - CH_{\text{ripio}}$$

Donde:

W : Cantidad de agua

A : Cantidad de arena

R : Cantidad de ripio

2.1.6 Sustitución parcial del cemento

La sustitución consiste en reemplazar determinada cantidad de cemento portland por un material cuyas características proporcionen productos similares a los que se obtiene al emplear cemento, con la finalidad de reducir los niveles de uso de este material sin que estas variaciones perjudiquen, sino que ayuden o conserven las propiedades del producto final en este caso el hormigón.

Los materiales que sustituyen parcialmente al cemento en la elaboración de hormigón son materiales que presentan características puzolánicas o hidráulicas; o simplemente materiales que demuestren que al ser añadidos al hormigón, no modifiquen de forma negativa las propiedades del mismo.

Los materiales sustitutos que han demostrado efectividad por lo general son las puzolanas, así tenemos a las cenizas volantes, escorias granuladas, micro sílice y otras puzolanas naturales o calcinadas que han reportado ser las adiciones minerales más utilizadas por brindar al hormigón altas resistencias mecánicas, bajo calor de hidratación, impermeabilidad, entre otros beneficios.

En este estudio se sustituirá parcialmente al cemento portland por material puzolánico (zeolita), por lo que el material sustituto se considerará como parte de la matriz de pasta de cemento para determinar las cantidades necesarias de agregado fino y grueso.

Considerando estudios previos, se evaluará la sustitución parcial del cemento en los niveles de 10% 20% y 30%, por zeolita natural y la mezcla zeolita-cal (80% de zeolita y 20% de cal).

2.1.7 Puzolanas

2.1.7.1 Definición

Según se define en [33], en referencia a la norma ASTM C 618-80, las puzolanas son rocas naturales de origen volcánico de naturaleza sílico-aluminosas, por si solas no

tienen propiedades hidráulicas pero en presencia de agua e hidróxido cálcico, a la temperatura ambiente, son capaces de reaccionar y dar lugar a la formación de compuestos cementantes de la misma naturaleza que los que se originan en la hidratación del clínker portland.

2.1.7.2 Clasificación

Las puzolanas, según su origen se clasifican en dos grupos el de las naturales y el de las artificiales, aunque puede existir un grupo intermedio constituido por puzolanas naturales que se someten a tratamientos térmicos de activación. [34]

2.1.7.2.1 Puzolanas naturales

Según Mella (2004) [35], los materiales puzolánicos naturales están constituidos principalmente por rocas eruptivas, sin embargo también pueden ser de formación sedimentaria; en algún momento estos materiales estuvieron sometidos a agentes externos por lo cual también se consideran metamórficos, estas puzolanas pueden ser de origen mineral y orgánico.

Las puzolanas naturales de origen mineral:

Son productos de transformación del polvo y cenizas volcánicas que, como materiales pirolásticos incoherentes procedentes de erupciones explosivas, ricos en vidrio y en estado especial de reactividad, son aptos para sufrir acciones endógenas (zeolitización y cementación) o exógenas (agilización). Entre las principales puzolanas naturales tenemos:

- Las cenizas volcánicas
- Piedra pómez
- Tobas (zeolitas)
- Obsidiana. [36]

Las puzolanas naturales de origen orgánico:

Son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones silíceos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas diatomeas). [36]

2.1.7.2.2 Puzolanas artificiales

Las puzolanas artificiales, son subproductos de procesos industriales, en ocasiones es necesario un tratamiento para obtener la mayor reactividad de estas, de esta manera podemos mencionar a: cenizas volantes, arcillas activadas o calcinadas, humo de sílice, escorias de fundición y cenizas de residuos agrícolas (Neville 1999). [37]

2.1.8 Puzolana utilizada en el estudio

2.1.8.1 Zeolita natural

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos hidratados, con cationes alcalinos y alcalino-térreos, y con una ordenación tridimensional (tectosilicatos) donde predomina una estructura abierta que les aporta gran capacidad para incorporar y ceder agua y cationes, sin cambios importantes en la estructura cristalina, constituyen el grupo mineral más variado y extenso de los que forman la corteza terrestre (Bosch, P. y Schifter, I. 1997). [38]

Esta familia de silicatos es conocida desde el siglo XVIII, el nombre de zeolita es de origen griego, zeo “que hierve” y lithos “piedra”, con el que fueron caracterizadas por el barón sueco Cronstedt, en el año 1756 [38], hace referencia al hecho de que son los únicos representantes de la familia de los silicatos que ebulen al ser calcinados y poseen densidades en el rango de 1.9 a 2.8 gr/cm³. [39]

- Características de intercambio catiónico.
- Canales de tamaño molecular uniformes en los cristales deshidratados.
- Conductividad eléctrica.
- Adsorción de gases y vapores.
- Características catalíticas. [40]

2.1.8.3 Tipos de zeolitas naturales

Las zeolitas se encuentran en una variedad de yacimientos sedimentarios en todo el mundo, y son comunes en rocas que se han generado total o parcialmente por transformación de materiales volcánicos [5], de esta manera las zeolitas naturales deben ser y son de hecho abundantes en lugares de la corteza terrestre donde la actividad volcánica ha sido predominante en el pasado.

A pesar de su variedad, sólo ocho zeolitas naturales son suficientemente abundantes en yacimientos sedimentarios para ser de interés como materia prima industrial éstas son: analcima, chabazita, clinoptilolita, erionita, heulandita, laumontita, mordenita y phillipsita (Hawkins D.B., 1969), siendo la clinoptilolita probablemente la más abundante zeolita en la naturaleza. (Sheppard, R.A., 1984) [5].

2.1.8.3.1 Zeolita tipo clinoptilolita

La clinoptilolita es el mineral zeolítico de la familia de la heulandita, se forman por la transformación de cenizas volcánicas de grano fino, arrastradas por el viento desde el volcán en erupción y depositadas en la tierra en lagos salinos someros o en costas marinas próximas, las capas de ceniza pura varían de potencia entre pocos centímetros a cientos de metros, las cenizas vítreas reaccionan con el agua salina circundante y se transforman en cristales micrométricos de zeolitas, probablemente mediante mecanismos de disolución – precipitación. (Ming, D. y Mumpton, F.A. 1993) [38]

2.1.8.4 Aplicaciones

Según Mumpton (1978) [5], las principales aplicaciones de zeolitas son:

- **Control ambiental:** Gestión de desechos radiactivos, tratamiento de efluentes de aguas residuales, tratamiento de aguas residuales agrícolas, limpieza total de gases emanados de chimeneas, producción de oxígeno.
- **Conservación de energía:** Gasificación de carbón, purificación de gas natural, usos en energía solar, producción de petróleos.
- **Agricultura:** Fertilización y remediación de suelos, adsorción de pesticidas, fungicidas y herbicidas, adsorción de metales pesados de los suelos, nutrición animal; tratamiento de excremento animal.
- **Minería y metalurgia:** Adsorción de metales pesados de efluentes, adsorción de metales en procesos metalúrgicos
- **Aplicaciones varias:** En la industria del papel, construcción, aplicaciones médicas, detergentes, control de malos olores, camas de animales, etc.

2.1.8.5 Zeolita en Ingeniería

Las diferentes propiedades de las zeolitas han logrado despertar el interés de los ingenieros, por lo que han desarrollado estudios en las diferentes áreas, con el fin de aprovechar los recursos disponibles en la naturaleza, se reporta la utilización de zeolita natural en [40]:

Tratamiento de agua: Ribera & Piña (2002) consideran a la zeolita natural como uno de los mejores minerales disponibles en la naturaleza para la filtración de agua.

Elaboración de hormigones: La zeolita natural como materia prima ofrece grandes oportunidades para el desarrollo de futuros materiales de construcción, pueden utilizarse para sustituir hasta un 40% del cemento portland para la obtención del hormigón ligero con propiedades específicas, se obtienen resistencias a la compresión entre 50 y 300 kg/cm² y densidad entre 500 y 1500 kg/m³ (Rosell et al, 2006).

En esta área se han realizado varios estudios en los cuales se ha demostrado lo siguiente:

- El empleo de zeolitas en los diseños de mezclas, tanto de morteros como de hormigones, disminuye la permeabilidad de las estructuras, cerrándose así el acceso de los sulfatos desde el exterior.
- La presencia de zeolitas en la composición de las probetas de morteros garantiza la humedad duradera en el proceso de reacción, por su propiedad de retención liberación de líquidos, por lo cual no sólo contribuirá a la perfecta hidratación de los silicatos de reacción más lenta, como los bicálcicos, sino también a la correcta saturación de las partículas del cemento.
- El uso de zeolitas en morteros y hormigones puede mitigar, incluso evitar, ciertos fenómenos muy importantes por su carácter destructivo, como la reacción álcalis-sílice y álcalis carbonato, ambos responsables de la fisuración y expansión en estructuras hormigonadas. [1]

Sumado a estas ventajas, la más importante, la resistencia a la compresión de acuerdo al nivel de sustitución que se emplee, conserva los resultados esperados en comparación a una mezcla tradicional como se señala en [1], y en algunos casos dicha resistencia incrementa como se señala en [1], [3] y [7].

2.1.8.6 Producción de zeolita

Básicamente la producción de este mineral consiste en su extracción y comercialización, no es posible encontrar un reporte completo de los niveles de producción mundial de zeolita natural, debido a que algunos países comercializadores no publican reportes de producción de zeolitas; sin embargo en [40], se menciona que en 1997 la producción mundial de este mineral alcanzo las 3.625 millones de toneladas, liderada por China con un 70 % de producción, seguida por Cuba (15%), Alemania (4%), Japón (4%), Corea del Sur (3%), y el resto repartido en más de 8 países que no superan las cien toneladas anuales (Nazareno, 2002).

Respecto al consumo y usos, las zeolitas naturales, en muchas de sus aplicaciones compiten con varios minerales, incluso las zeolitas sintéticas. La tabla N° 7 muestra los usos finales de los principales países productores de zeolitas naturales.

Tabla N° 7. Principales productores de zeolita natural - Usos y aplicaciones.

País	Usos y Aplicaciones
China	Construcción
Cuba	Agricultura/construcción
Alemania	Construcción
Japón	Agricultura/construcción
Rusia	Tratamiento de líquidos reactivos
Estados Unidos	Catalizadores

Fuente: E. Leiva, 2013[40]

2.1.8.7 Zeolita natural en Ecuador

Según (F. Morante *et al.* 2004) [5], las características geológicas de Ecuador, con amplio desarrollo de rocas volcánicas y volcanógeno - sedimentarias en yacimientos de rocas de diferentes edades, fue lo que permitió inferir la presencia de zeolitas naturales a partir de la alteración del vidrio volcánico.

De acuerdo a los estudios geológicos, de muestreo y caracterización realizados en el Parque Tecnológico de la ESPOL (Guayaquil) y sectores aledaños, se determinó que en la costa de Ecuador las rocas poseen alteración zeolítica en distintas proporciones, se evaluó además el empleo de estos minerales en distintas áreas, concluyendo que son minerales aptos para utilizarse en agricultura y pecuaria, en estas y otras aplicaciones deberá elaborarse estudios complementarios que confirmen su efectividad.

2.1.8.7.1 Tipo de zeolita

De acuerdo a la investigación realizada (F. Morante *et al.* 2004) [5], se llegó a determinar que en Ecuador los únicos tipos de zeolitas encontrados son clinoptilolita y heulandita, que por lo general coexisten en proporciones diferentes.

En nuestro país existen actualmente varias empresas privadas dedicadas a la explotación y comercialización de zeolita natural tipo clinoptilolita, entre las más conocidas:

- Zeonatec
- Zeolitas S.A.
- Biomarsa Kravets
- Crilarsa C.A

Para la elaboración de las probetas experimentales se empleará la zeolita natural comercializada por CRILARSA C.A, una empresa con 17 años de experiencia en la comercialización de este producto.

Tabla N° 8. Composición química de zeolita natural, tipo clinoptilolita.

Composición Declarada	
Óxido de Sílice	68.65 %
Óxido de Aluminio	7.84 %
Óxido de Hierro	1.72 %
Óxido de Magnesio	0.40 %
Óxido de Calcio	0.20 %
Óxido de Sodio	0.022 %
Óxido de Potasio	0.013 %

Fuente: CRILARSA C.A.

2.1.8.7.2 Proceso de producción

Se indica en [6], el proceso de producción de las zeolitas naturales consta de:

Extracción: Se extrae el mineral en la cantera mediante el uso de una retroexcavadora de oruga con brazo mecánico con puntas de desgarre, explotación que se realiza a cielo abierto por ser un mineral no metálico que se somete a un proceso de trituración física y no interviene ningún elemento químico.

Molienda: Se inicia el proceso de trituración en la planta, primero se procede con la fase de limpieza del material, mediante el uso de una zaranda vibratoria con la que se elimina cualquier material extraño, el siguiente proceso es alimentar a la trituradora de

mandíbula y mediante bandas transportadores llevar el material a los molinos de impacto hasta lograr la granulación deseada.

Envasado: Se envasa en sacos de polipropileno laminado o plastificado de acuerdo al peso que puede ser de 25 kg o 50 kg, de acuerdo a la necesidad del cliente, con la finalidad de aislar el material del ambiente externo y también para evitar que pequeñas partículas o polvo salgan del saco al exterior.

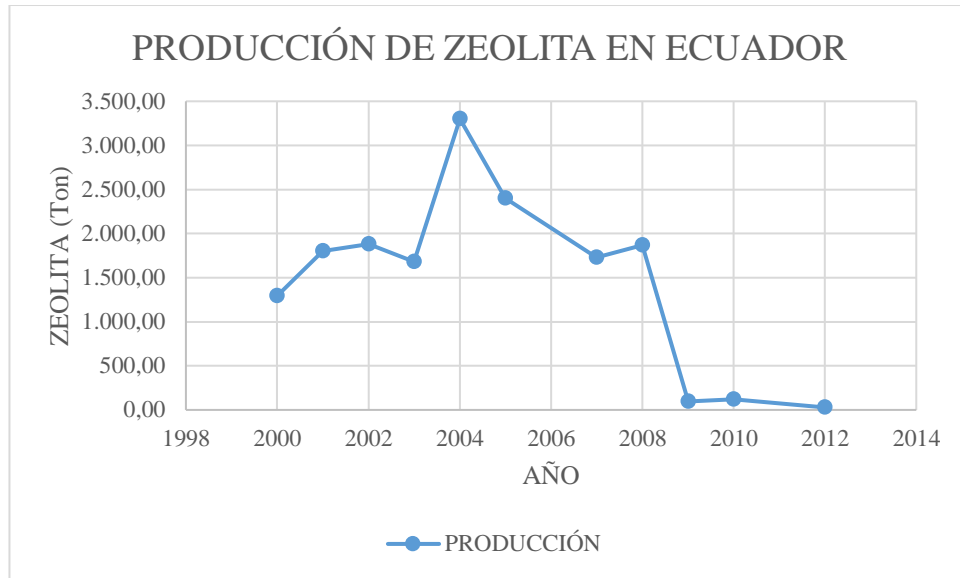
Como se indica en el proceso de producción de zeolita natural no se emiten agentes contaminantes; lo contrario sucede en la fabricación de cemento portland que provoca una emisión considerable de CO₂, que llega a ser el 5% del balance total de emisiones mundiales, es decir que fabricar una tonelada de cemento portland supone una emisión de una tonelada de CO₂, sin embargo el uso de cementos con adiciones puede reducir drásticamente este tipo de emisiones, incluso a un 40%. [41]

De esta manera el uso de zeolita natural como sustituto parcial del cemento en la elaboración de hormigón podría significar un ahorro energético y una reducción en las emisiones de CO₂, debido a que en su producción no interviene la utilización de elementos químicos ni requiere de ningún proceso de activación térmica por lo que no se emiten gases contaminantes.

2.1.8.7.3 Niveles de producción

A continuación se muestra un gráfico sobre los niveles de producción de zeolitas en Ecuador:

Gráfico N° 2. Producción de zeolita natural en Ecuador.



Fuente: Agencia de Regulación y Control Minero 2015. [42]

Como se puede observar, en Ecuador se comenzó a producir zeolitas en escalas industriales a partir del año 2000, sin embargo de acuerdo a otro estudio su producción inicio en el año 1998, se observa un incremento significativo a partir de aquella fecha y teniendo un descenso significativo durante los últimos años.

2.1.8.7.4 Aplicación

El empleo de este mineral en nuestro país se da principalmente en el área:

- **Agrícola:** Banano, arroz, caña de azúcar y flores lo utilizan como fertilizante y lo denominan “fertilizante inteligente”, ya que libera lentamente los nutrientes y cuando las plantas lo requieren.
- **Acuícola:** Camarones, se coloca en las piscinas para eliminar amonio del agua, lo cual disminuye la necesidad de recambio o incorporación de agua fresca.
- **Agropecuaria:** Cama y nutrición de pollos y ganado.

Además de estas aplicaciones se promueve su uso en cemento y concreto:

- Como aditivo anticorrosivo para cementos.
- Como aditivo sellador, para prevenir lixiviación de aguas contaminadas

- Como aditivo aligerante y aislador.
- Aumentar la durabilidad y dureza del concreto. [43]

2.1.9 Aglomerante cal - puzolana

Como se ha indicado anteriormente, las puzolanas naturales por si solas no tienen propiedades hidráulicas pero en presencia de cal y agua, constituyen un material aglomerante, la presencia de cal conduce al incremento de iones OH (hidróxidos), cuya tarea es romper los enlaces silicios en la puzolana, y con ello acelerar la formación de compuestos similares a los que se generan durante la hidratación del clínker del cemento portland. [44]

La cal es un producto químico natural que se obtiene de la roca caliza, cuando es sometida a altas temperaturas (alrededor de 1000°C) hasta obtener cal viva; en esa fase tiene lugar la transformación del calcio: de carbonato a óxido por desprendimiento del dióxido de carbono (CO₂) contenido en la piedra, a este producto se agrega agua o humedad (apagar la cal), transformándose en un material hidratado denominado hidróxido de calcio. [45]

El hidróxido de calcio o cal hidratada es el producto que generalmente se comercializa y el que se emplea en la industria de la construcción para la elaboración de morteros de cal, estucos, pinturas, hormigones, estabilización de suelos, mezclas asfálticas, restauraciones, entre otras. Por esta razón en este estudio se utilizara este tipo de cal y se evaluarán los niveles de 10%, 20% y 30% de sustitución de cemento, por la mezcla cal-zeolita en proporción 20% de cal y 80% de zeolita, esta proporción de la mezcla en una investigación previa demostró mantener la resistencia a la compresión.

2.1.9.1 Efectos de la cal en el hormigón:

- Incremento de la plasticidad de la mezcla, las partículas finas de cal ocupan los espacios vacíos entre los granos de cemento y limitan el flujo de agua, de

este modo incrementan la retención de agua en el hormigón fresco. (Swamy, 1986; Malhotra y Mehta, 1996).

- La cal hace más compacto al hormigón, debido a que sus partículas son más finas que las del cemento, por lo que rellena los vacíos dejados por este material, disminuye las eflorescencias y evita los agrietamientos. [44]

2.2 HIPÓTESIS

La sustitución parcial del cemento con zeolita y la mezcla zeolita-cal en un hormigón influye en la resistencia a la compresión.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable independiente

La sustitución parcial del cemento.

2.3.2 Variable dependiente

Resistencia a la compresión

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo exploratorio

Como se indica en [46], los estudios exploratorios se efectúan, normalmente cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes, es decir cuando la revisión de la literatura reveló que únicamente hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio.

Esta investigación será exploratoria, debido a que no se cuenta con información específica sobre la influencia en las propiedades en estado fresco y endurecido del hormigón al emplear zeolita natural y la mezcla zeolita-cal como materiales sustitutos parciales del cemento, por lo que se explorará tanto en el nivel de sustitución del cemento como en las características del hormigón.

3.1.2 Tipo descriptivo

De acuerdo a [47], un estudio descriptivo busca caracterizar algo para describirlo de forma apropiada, por lo general se recurre a medir alguna o varias de sus características, en el que se debe estar familiarizado con el objeto de estudio para saber qué y cómo se va a medir lo que nos interesa.

Esta investigación será de tipo descriptivo, porque busca determinar algunas de las propiedades que presenta el hormigón elaborado con materiales sustitutos parciales del cemento, con la finalidad de describir a este tipo de hormigones de forma apropiada.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

En este caso la población será, probetas cilíndricas que se realizarán conforme a lo dispuesto en NTE INEN 1576 [48], para ser ensayadas posteriormente y determinar su resistencia a la compresión.

3.2.2 Muestra

Conforme a la norma NTE INEN 1855-2 [49], para el ensayo de resistencia a la compresión se deben elaborar por lo menos dos cilindros por cada edad que se necesite analizar, pero para resultados más confiables se deberán elaborar tres cilindros.

Para esta investigación se elaborará tres cilindros de ensayo por cada porcentaje de sustitución del cemento (10%, 20% y 30%), para las siguientes edades: 7, 14 y 28 días.

Se realizará 63 cilindros de ensayos conforme al siguiente detalle:

Tabla N° 9. Número de probetas cilíndricas del estudio.

Hormigón	Porcentaje de Sustitución	Edad en Días		
		7	14	28
Hormigón Tradicional.	0%	3	3	3
Hormigón con Zeolita en sustitución parcial del cemento.	10%	3	3	3
	20%	3	3	3
	30%	3	3	3
Hormigón con Zeolita-Cal en sustitución parcial del cemento.	10%	3	3	3
	20%	3	3	3
	30%	3	3	3
Subtotal Cilindros		21	21	21
Total de Cilindros		63		

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

3.3 OPERACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable independiente

Tabla N° 10. Operacionalización de variable independiente

La sustitución parcial del cemento

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>La sustitución parcial consiste en reemplazar determinada cantidad de cemento portland por un material cuyas características proporcionen productos similares a los que se obtiene al emplear cemento, con el fin de reducir los niveles de uso de cemento sin modificar las características del hormigón de diseño.</p> <p>Como material sustituto se presenta a la zeolita y la mezcla zeolita-cal, a la zeolita se la define como un aluminosilicato, cristalino hidratado, pertenece a los</p>	Propiedades en estado fresco	- Consistencia	¿Cuál es el asentamiento que presenta el hormigón con la sustitución parcial del cemento?	<ul style="list-style-type: none"> - Investigación Bibliográfica - Observación de laboratorio - Ficha de registro
		- Trabajabilidad	¿Existe trabajabilidad el hormigón con la sustitución parcial del cemento sí o no?	<ul style="list-style-type: none"> - Investigación Bibliográfica - Observación de laboratorio - Ficha de registro
		- Homogeneidad	¿El hormigón con la sustitución parcial del cemento, presenta una distribución uniforme de los componentes, para considerarse homogénea?	<ul style="list-style-type: none"> - Investigación Bibliográfica - Observación de laboratorio - Ficha de registro

<p>tectosilicatos donde predomina una estructura abierta que les aporta gran capacidad para incorporar y ceder agua y cationes, sin cambios importantes en la estructura cristalina, al igual que otras puzolanas reaccionan con la cal.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Densidad en estado fresco 	<p>¿Cuál es la densidad del hormigón con la sustitución parcial del cemento en estado fresco?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Investigación Bibliográfica - Observación de laboratorio - Ficha de registro
	<p>Propiedades en estado endurecido</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la compresión 	<p>¿Cómo influye la sustitución parcial de cemento en la resistencia a la compresión de diseño?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Observación de laboratorio - Ficha de registro
		<ul style="list-style-type: none"> - Densidad en estado endurecido 	<p>¿Cuál es la densidad del hormigón con la sustitución parcial del cemento, en estado endurecido?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Observación de laboratorio - Ficha de registro
	<p>Puzolana</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Composición química y física - Pruebas de laboratorio 	<p>¿Qué materiales puzolánicos pueden sustituir parcialmente al cemento?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Investigación Bibliográfica

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

3.3.2 Variable dependiente

Tabla N° 11. Operacionalización de variable dependiente

Resistencia a la Compresión

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>Resistencia a la Compresión:</p> <p>La resistencia a la compresión se puede definir como la carga axial máxima que puede resistir el hormigón, normalmente se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2), se determina mediante un ensayo destructivo, en probetas cilíndricas estandarizadas, debe elaborarse 2 o 3 cilindros con la misma muestra de hormigón para ser ensayados a la misma edad.</p>	<p>Propiedad del hormigón en estado endurecido</p>	<p>Ensayo de resistencia a la compresión</p>	<p>¿Cómo influye la sustitución parcial del cemento por un material puzolánico en la resistencia a la compresión?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Norma NTE INEN 1573 - Ficha de Registro - Ensayo de laboratorio

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla N° 12. Plan de recolección de información

Preguntas Básicas	Explicación
1. ¿Qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - El comportamiento del hormigón con la sustitución parcial del cemento - Determinar la resistencia a la compresión
2. ¿Sobre qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - Los componentes del hormigón: agregado grueso, agregado fino, cemento, agua, material puzolánico (zeolita) y cal.
3. ¿Sobre qué aspectos?	<ul style="list-style-type: none"> - Características de los materiales empleados. - Propiedades del hormigón fresco: consistencia, trabajabilidad, homogeneidad y densidad. - Resistencia a la compresión del hormigón al emplear zeolita natural en reemplazo parcial del cemento. - Resistencia a la compresión del hormigón al emplear la mezcla zeolita-cal en reemplazo parcial del cemento.
4. ¿Quién evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - Egresada: Yadira Valenzuela - Tutor: Ing. Mg. Diego Chérrez
5. ¿A quiénes evalúan?	<ul style="list-style-type: none"> - A las 9 probetas elaboradas con hormigón tradicional, 27 probetas elaboradas con zeolita y 27 probetas elaboradas con la mezcla zeolita-cal, en reemplazo parcial del cemento.
6. ¿Dónde evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica del Ambato.
7. ¿Cómo y con qué?	<ul style="list-style-type: none"> - Mediante ensayos de laboratorio normalizados proporcionados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM) - Con la utilización de: <ul style="list-style-type: none"> o Materiales (agregado fino, agregado grueso, cemento, zeolita y cal). o Herramienta menor, concretera, moldes metálicos para cilindros, cámara de curado y máquina de compresión.

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 Plan de procesamiento

Los datos recogidos se transforman siguiendo ciertos procedimientos:

- Revisión crítica de la información recogida; es decir limpieza de información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc. [50]
- Tabulación o cuadros de las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido.
- Elaboración de gráficas de acuerdo a los resultados.

3.5.2 Plan de análisis

- Análisis de los resultados, destacando tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos e hipótesis.
- Interpretación de los resultados, con apoyo del marco teórico.
- Verificación de hipótesis.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1.1 Material utilizado

Agregados: El agregado fino y el agregado grueso pertenecen a la cantera “La Península”.

Cemento: Cemento Portland Puzolánico Tipo IP “Selvalegre”.

Zeolita: Zeolita natural tipo Clinoptilolita, con el nombre comercial de “Zeolite Activo” proporcionado por CRILARSA CA, ubicada en el kilómetro 22 vía la costa Guayaquil - Ecuador.

Cal: Cal Hidratada “Súper Cal Imperial”.

4.1.2 Ensayos previos a dosificar

Los ensayos se realizarán conforme a los lineamientos establecidos en las normas NTE INEN y ASTM, con la finalidad de obtener información necesaria para la dosificación del hormigón.

- **Agregado fino:** Análisis granulométrico, densidad aparente suelta, densidad aparente compactada, densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.
- **Agregado grueso:** Análisis granulométrico, densidad aparente suelta, densidad aparente compactada, densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.
- **Mezcla de agregados fino y grueso:** Densidad aparente compactada de la mezcla.
- **Cemento:** Densidad real del cemento Selvalegre.

Tabla N° 13. Análisis granulométrico del agregado fino

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.” <u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO</u></p>						
PESO DE LA MUESTRA:			1000	gr	NORMA: NTE INEN 696	
TAMIZ (plg)	TAMIZ (mm)	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
3/8"	9,50	0	0	0,00	100,00	100
# 4	4,75	0	0	0,00	100,00	95 – 100
# 8	2,36	118,00	118,00	11,80	88,20	80 – 100
# 16	1,18	206,60	324,60	32,46	67,54	50 – 85
# 30	0,6	182,10	506,70	50,67	49,33	25 – 60
# 50	0,3	178,10	684,80	68,48	31,52	10 – 30
# 100	0,15	139,90	824,70	82,47	17,53	2 – 10
# 200	0,08	105,20	929,90	92,99	7,01	-
FUENTE		68,00	997,90	99,79	0,21	-
MÓDULO DE FINURA				2,46		

Gráfico N° 3. Curva granulométrica del agregado fino

ABERTURA TAMIZ (mm)	% QUE PASA (Real)	LÍMITE SUPERIOR (%)	LÍMITE INFERIOR (%)
0,075	8	10	5
0,15	18	20	10
0,3	32	40	20
0,6	51	60	30
1,18	68	85	45
2,36	88	100	75
4,75	100	100	95
9,50	100	100	100

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 14. Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”				
<u>DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO</u>				
MASA RECIPIENTE: 10 kg			NORMA: NTE INEN 858	
VOLUMEN RECIPIENTE: 20,25 dm ³				
DENSIDAD APARENTE	AGREGADO + RECIPIENTE (kg)	AGREGADO (kg)	DENSIDAD APARENTE (kg/dm³)	DENSIDAD APARENTE PROMEDIO
SUELTA	40,80	30,80	1,52	1,52
	40,60	30,60	1,51	
COMPACTAD A	44,40	34,40	1,70	1,70
	44,30	34,30	1,69	

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 15. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>				
<p style="text-align: center;">TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”</p>				
<p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</u></p>				
PESO DE LA MUESTRA:	222.9	gr	NORMA: NTE INEN 856	
<p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO</u></p>				
DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
m1	Masa del Picnómetro	gr	153,40	
m2	Masa del Picnómetro + Muestra SSS	gr	376,30	
m3	Masa del Picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	789,60	
m4 = m3 - m2	Masa Agua Añadida	gr	413,30	
m5	Masa Picnómetro + 500cc Agua	gr	651,70	
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cc Agua	gr	498,30	
da = m6 / 500cc	Densidad del Agua	gr / cm ³	1,00	
m7 = m6 - m4	Masa del Agua Desalojada por la Muestra	gr	85,00	
Msss = m2 - m1	Masa del Agregado	gr	222,90	
Vsss = m7/da	Volumen de Agua Desalojada	cm ³	85,29	
DRA = Mss / Vsss	Densidad del Agregado fino	gr / cm ³	2,61	
<p style="text-align: center;"><u>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</u></p>				
DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA	
			1	2
m8	Masa del Recipiente	gr	31,60	30,90
m9	Masa del Recipiente + Muestra SSS	gr	143,00	134,80
m10 = m9 - m8	Masa de la Muestra SSS	gr	111,40	103,90
m11	Masa del Recipiente + Muestra Seca	gr	141,20	133,20
m12 = m11 - m8	Masa de la Muestra Seca	gr	109,60	102,30
CA = ((m10 - m12)/m12)*100	Capacidad de Absorción	%	1,64	1,56
CA = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de Absorción Promedio	%	1,60	

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 16. Análisis granulométrico del agregado grueso

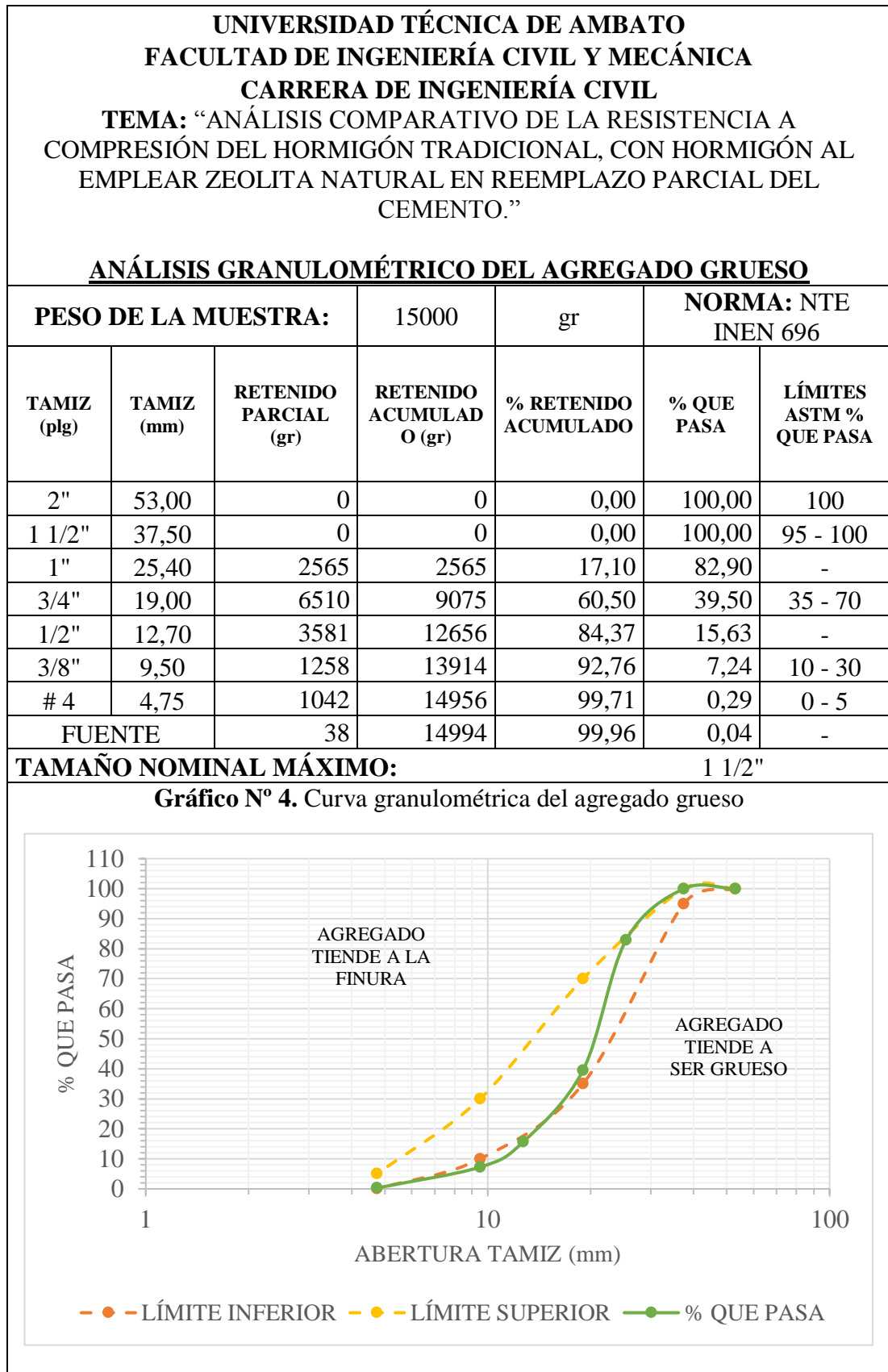


Tabla N° 17. Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”				
<u>DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO</u>				
MASA RECIPIENTE: 10 kg		NORMA: NTE INEN 858		
VOLUMEN RECIPIENTE: 20,29 dm³				
DENSIDAD APARENTE	AGREGADO + RECIPIENTE (kg)	AGREGADO (kg)	DENSIDAD APARENTE (kg/dm ³)	DENSIDAD APARENTE PROMEDIO
SUELTA	38,60	28,60	1,41	1,41
	38,40	28,40	1,40	
COMPACTADA	40,70	30,70	1,52	1,52
	40,80	30,80	1,52	

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 18. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”				
<u>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</u>				
PESO DE LA MUESTRA:	2189 gr		NORMA: NTE INEN 857	
<u>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO</u>				
DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
m1	Masa de la Canastilla en el Aire	gr	1258	
m2	Masa de la Canastilla en el Agua	gr	1100	
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el Aire	gr	3447	
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el Agua	gr	2457	
da	Densidad del Agua	gr / cm ³	1	
m5 = m3 - m1	Masa de la Muestra SSS en el Aire	gr	2189	
m6 = m4 - m2	Masa de la Muestra SSS en el Agua	gr	1357	
V _{sss} = (m5 - m6) / da	Volumen del Agregado	cm ³	832	
DR = m5 / VR	Densidad Real del Ripio.	gr / cm ³	2,63	
<u>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</u>				
DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA	
			1	2
m7	Masa del Recipiente	gr	32,40	31,80
m8	Masa del Recipiente + Muestra SSS	gr	221,40	225,40
m9 = m8 - m7	Masa de la Muestra SSS	gr	189,00	193,60
m10	Masa del Recipiente + Muestra Seca	gr	217,90	221,80
m11 = m10 - m7	Masa de la Muestra Seca	gr	185,50	190,00
CA = ((m9 - m11) / m11) * 100	Capacidad de Absorción	%	1,89	1,89
CA = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de Absorción Promedio	%	1,89	

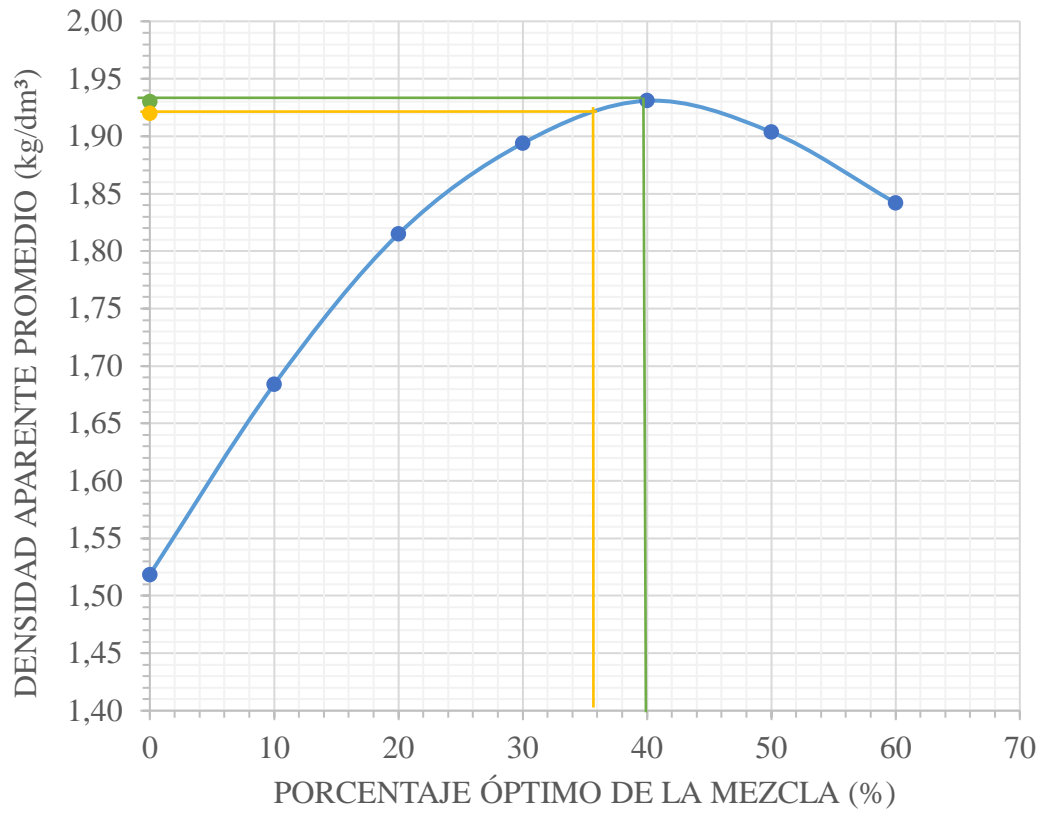
Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 19. Densidad aparente compactada de la mezcla de agregados

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.” DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA</p>								
<p>MASA DEL RECIPIENTE (kg): 10kg VOLUMEN RECIPIENTE (dm³): 20.29dm³</p>					<p>NORMA: NTE INEN 858</p>			
% MEZCLA		CANTIDAD (kg)		A. FINO AÑADIDO (kg)	AGREGADO + RECIPIENTE (kg)	AGREGADO (kg)	DENSIDAD APARENTE DE LA MEZCLA (kg/dm ³)	DENSIDAD APARENTE PROMEDIO
A. GRUESO	A. FINO	A. GRUESO	A. FINO	A. FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100%	0%	40	0	0	40,70	30,70	1,52	1,52
					40,80	30,80	1,52	
90%	10%	40	4,44	4,44	44,00	34,00	1,68	1,68
					44,20	34,20	1,69	
80%	20%	40	10,00	5,56	46,70	36,70	1,81	1,81
					46,80	36,80	1,82	
70%	30%	40	17,14	7,14	48,30	38,30	1,89	1,89
					48,40	38,40	1,90	
60%	40%	40	26,67	9,53	49,00	39,00	1,93	1,93
					49,20	39,20	1,94	
50%	50%	40	40,00	13,33	48,40	38,40	1,90	1,90
					48,70	38,70	1,91	
40%	60%	40	60,00	20,00	47,20	37,20	1,84	1,84
					47,40	37,40	1,85	
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO FINO							40%	
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO							60%	
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO FINO							36%	
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO							64%	
DENSIDAD MÁXIMA DE LA MEZCLA							1,93	
DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA							1,92	

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Gráfico N° 5. Porcentaje óptimo de la mezcla vs. Densidad aparente promedio



Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 20. Densidad real del cemento

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”				
<u>DENSIDAD REAL DEL CEMENTO</u>				
ORIGEN: Cemento Portland Puzolánico Tipo IP "Selvalegre"			NORMA: NTE INEN 156	
DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
m1	Masa del Picnómetro	gr	166,10	153,70
m2	Masa del Picnómetro + Cemento	gr	339,90	368,80
m3	Masa del Picnómetro + Cemento + Gasolina	gr	663,60	682,50
m4 = m3 - m2	Masa Gasolina Añadida	gr	323,70	313,70
m5	Masa del Picnómetro + 500 cm ³ Gasolina	gr	534,00	523,20
m6 = m5 - m1	Masa 500 cm ³ Gasolina	gr	367,90	369,50
dg = m6 / 500 cm ³	Densidad de la Gasolina	gr/cm ³	0,736	0,739
m7 = m6-m4	Masa Gasolina Desalojada por el Cemento	gr	44,20	55,80
mc = m2-m1	Masa de Cemento	gr	173,80	215,10
VG = vc = m7 / dg	Volumen de Gasolina desalojada = Volumen de cemento Añadido	cm ³	60,07	75,51
DRC = mc / vc	Densidad Real del Cemento	gr/cm ³	2,893	2,849
DPC	Densidad Promedio	gr/cm ³	2,871	

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 21. Densidad real de la zeolita natural

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”				
<u>DENSIDAD REAL DE LA ZEOLITA NATURAL</u>				
ORIGEN: Zeolita Natural de CRILARSA CA.			NORMA: NTE INEN 156	
DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
m1	Masa del Picnómetro	gr	153,30	150,40
m2	Masa del Picnómetro + Zeolita	gr	337,40	349,20
m3	Masa del Picnómetro + Zeolita + Gasolina	gr	647,40	652,60
m4 = m3 - m2	Masa Gasolina Añadida	gr	310,00	303,40
m5	Masa del Picnómetro + 500 cm ³ Gasolina	gr	523,20	518,00
m6 = m5 - m1	Masa 500 cm ³ Gasolina	gr	369,90	367,60
dg = m6 / 500 cm ³	Densidad de la Gasolina	gr/cm ³	0,740	0,735
m7 = m6 - m4	Masa Gasolina Desalojada por la Zeolita	gr	59,90	64,20
mc = m2 - m1	Masa de Zeolita	gr	184,10	198,80
VG = vc = m7 / dg	Volumen de Gasolina desalojada = Volumen de zeolita añadido	cm ³	80,97	87,32
DRC = mc / vc	Densidad Real de la Zeolita	gr/cm ³	2,274	2,277
DPZ	Densidad Promedio	gr/cm ³	2,275	

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

La densidad real de la zeolita natural se encuentra dentro del rango establecido de 1.9 - 2.8 gr/cm³. [39]

Esta densidad se considera solo como dato informativo, ya que no interviene en la dosificación.

4.1.3 Dosificación del Hormigón

4.1.3.1 Método de la Densidad Óptima

Tabla N° 22. Método de la densidad óptima

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.” <u>MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA</u>			
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS			
PARÁMETROS		VALORES	UNIDADES
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	f _c	240,00	kg/cm ²
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	DRC	2,87	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DE LA ARENA	DRA	2,61	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DEL RIPIO	DRR	2,63	gr/cm ³
DENSIDAD SUELTA DE LA ARENA	DSA	1,52	gr/cm ³
DENSIDAD SUELTA DEL RIPIO	DSR	1,41	gr/cm ³
PORCENTAJE ÓPTIMO DE LA ARENA	POA	36,00	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DEL RIPIO	POR	64,00	%
DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA	DOM	1,92	gr/cm ³
RESUMEN DEL MÉTODO			
PROCESO		VALORES	UNIDADES
1. DENSIDAD REAL DE LA MEZCLA	DRM	2,625	kg/dm ³
2. PORCENTAJE ÓPTIMO DE VACÍOS	POV	26,85	%
3. CANTIDAD DE PASTA	CP	309,96	dm ³
4. RELACIÓN AGUA CEMENTO	W/C	0,56	
5. CANTIDAD DE CEMENTO	C	341,25	Kg
6. CANTIDAD DE AGUA	W	191,10	Lts
7. CANTIDAD DE ARENA	A	649,21	Kg
8. CANTIDAD DE RIPIO	R	1161,92	Kg

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

A continuación se detalla el procedimiento del método para 1 m³ de hormigón.

1. Densidad Real de la Mezcla

$$\begin{aligned} \text{Ec. 1 [32]} : \text{ DRM} &= (\text{DRA} * \text{POA}) + (\text{DRR} * \text{POR}) \\ \text{ DRM} &= (2.61 \text{ gr/cm}^3 * 36\%) + (2.63 \text{ gr/cm}^3 * 64\%) \\ \text{ DRM} &= 2.63 \text{ gr/cm}^3 \rightarrow 2.63 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

2. Porcentaje Óptimo de Vacíos

$$\begin{aligned} \text{Ec. 2 [32]} : \text{ POV} &= \frac{(\text{DRM} - \text{DOM})}{\text{ DRM}} * 100 \\ \text{ POV} &= \frac{(2.63 \text{ kg/dm}^3 - 1.92 \text{ kg/dm}^3)}{2.63 \text{ kg/dm}^3} * 100 \\ \text{ POV} &= 26.85 \% \end{aligned}$$

3. Cantidad de Pasta

Pasta en función del asentamiento ver Tabla N° 8

$$\begin{aligned} \text{Ec. 3 [32]} : \text{ CP} &= \text{ POV} + 2\% + 8\%(\text{POV}) \\ \text{ CP} &= 26.85 \% + 2\% + 8\%(26.85) \\ \text{ CP} &= 30.996\% \\ \text{ CP} &= 30.996\% * 1000 \text{ dm}^3 \\ \text{ CP} &= 309.96 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

4. Relación Agua Cemento

Ver Tabla N° 7

$$240 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 0.56$$

5. Cantidad de Cemento

$$\begin{aligned} \text{Ec. 4 [32]} : \text{ C} &= \frac{\text{ CP}}{\frac{\text{ W}}{\text{ C}} + \frac{1}{\text{ DRC}}} \\ \text{ C} &= \frac{309.96 \text{ dm}^3}{0.56 + \frac{1}{2.87 \text{ kg/dm}^3}} \\ \text{ C} &= 341.25 \text{ kg} \end{aligned}$$

6. Cantidad de Agua

$$\begin{aligned} \text{Ec. 5 [32]} : \text{ W} &= \frac{\text{ W}}{\text{ C}} * \text{ C} \\ \text{ W}_i &= 0.56 * 341.25 \text{ kg} \\ \text{ W}_i &= 191.10 \text{ lts} \end{aligned}$$

7. Cantidad de Arena

$$\begin{aligned} \text{Ec. 6 [32]} : A_i &= (1000 - CP) * DRA * POA \\ A_i &= (1000 - 309.96 \text{ dm}^3) * 2.61\text{kg/dm}^3 * 36\% \\ A_i &= 649.21 \text{ kg} \end{aligned}$$

8. Cantidad de Ripio

$$\begin{aligned} \text{Ec. 7 [32]} : R_i &= (1000 - CP) * DRR * POR \\ R_i &= (1000 - 309.96 \text{ dm}^3) * 2.63\text{kg/dm}^3 * 64\% \\ R_i &= 1161.92 \text{ kg} \end{aligned}$$

Las cantidades de material presentadas corresponden a material cuyas condiciones de humedad son Saturado Superficialmente Seco (SSS), si el agregado no cumple con esta condición de humedad se deberá realizar una corrección por humedad así:

1. Capacidad de absorción real de los agregados:

$$\begin{aligned} \text{Ec. 8: } CA_{\text{real}}\% &= CA_{\text{SSS}}\% - CH \% \\ CA_{\text{real}}\% &= 1.60 \% - 1.1 \% \\ \text{Arena} \rightarrow CA_{\text{real}}\% &= 0.50 \% \\ CA_{\text{real}}\% &= 1.89 \% - 0.8 \% \\ \text{Ripio} \rightarrow CA_{\text{real}}\% &= 1.09 \% \end{aligned}$$

2. Contenido de humedad de los agregados de acuerdo a la cantidad de material:

$$\begin{aligned} \text{Ec. 9: } CH &= CA_{\text{Real}}\% * \text{Material} \\ \text{Arena} \rightarrow CH &= 0.50 \% * 649.21 \text{ kg} = 3.27 \text{ kg} \\ \text{Ripio} \rightarrow CH &= 1.09 \% * 1161.92 \text{ kg} = 12.67 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Cantidades de material corregidas:

$$\text{Ec. 10: } W = W_i + CH_{\text{arena}} + CH_{\text{ripio}}$$

$$W = 9.12 \text{ kg} + 0.16 \text{ kg} + 0.60 \text{ kg}$$

$$W = 9.88 \text{ kg}$$

$$\text{Ec. 11: } A = A_i - CH_{\text{arena}}$$

$$A = 30.98 \text{ kg} - 0.16$$

$$A = 30.82 \text{ kg}$$

$$\text{Ec. 12: } R = R_i - CH_{\text{ripio}}$$

$$R = 55.44 \text{ kg} - 0.60 \text{ kg}$$

$$R = 54.84 \text{ kg}$$

Tabla N° 23. Dosificación al peso para 1m³ de hormigón

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”						
DOSIFICACIÓN AL PESO PARA 1M ³ DE HORMIGÓN						
MATERIAL		VALORES	UNIDADES	DOSIFICACIÓN		
CEMENTO	C	341,25	kg	1,00		
AGUA	W	191,10	lts	0,56		
ARENA	A	649,21	kg	1,90		
RIPIO	R	1161,92	kg	3,40		
DENSIDAD DEL HORMIGÓN		2343,48	kg/m ³			
CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE 1M ³ DE HORMIGÓN						
C.A. %	C.H. %	CA %	CH kg	MATERIAL CORREGIDO		UNIDADES
-	-	-	-	C	341.25	kg
-	-	-	-	W	207.04	lts
1.60	1.10	0.50	3.27	A	645.95	kg
1.89	0.80	1.09	12.67	R	1149.24	kg

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Para el estudio se elaborarán 63 probetas cilíndricas de acuerdo al detalle presentado en la tabla N° 9, siguiendo el procedimiento de NTE INEN 1576 [48], a continuación se detalla las cantidades de material para 9 cilindros correspondientes al hormigón tradicional:

Tabla N° 24. Dosificación al peso para 9 cilindros de hormigón tradicional

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”						
DOSIFICACIÓN AL PESO PARA 9 CILINDROS DE HORMIGÓN						
Diámetro	0.15	m	Número de cilindros de ensayo		9	
Altura	0.30	m	Volumen de hormigón		0.0477	m ³
Volumen	0.0053	m ³				
MATERIAL			VALORES	UNIDADES	DOSIFICACIÓN	
CEMENTO			C	16.28	kg	1.00
AGUA			W	9.12	lts	0.56
ARENA			A	30.98	kg	1.90
RIPIO			R	55.44	kg	3.40
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
CA %	CH %	CA real %	CH kg	MATERIAL CORREGIDO		UNIDADES
-	-	-	-	C	16.28	kg
-	-	-	-	W	9.88	lts
1.60	1.10	0.50	0.16	A	30.82	kg
1.89	0.80	1.09	0.60	R	54.84	kg

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1 Propiedades del hormigón en estado fresco

Tabla N° 25. Propiedades en estado fresco del hormigón tradicional

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”</p> <p style="text-align: center;"><u>CILINDROS DE HORMIGÓN TRADICIONAL</u></p>										
NÚMERO DE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	MASA DEL RECIPIENTE (kg)	MASA DE RECIPIENTE + HORMIGÓN (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (cm) Y CONSISTENCIA	HOMOGENEIDAD
1	26/01/2017	10.20	23.30	12.90	0.0055	2363.46	2387.24	SI	6 BLANDA	SI
2		10.20	23.20	13.00	0.0054	2400.67				
3		11.60	24.60	13.00	0.0055	2356.94				
4		11.20	24.40	13.20	0.0055	2386.96				
5		11.40	24.40	13.00	0.0054	2413.39				
6		11.60	24.50	12.90	0.0055	2351.09				
7		11.70	24.60	12.90	0.0054	2394.83				
8		11.50	24.50	13.00	0.0054	2403.84				
9		11.30	24.20	12.90	0.0053	2413.95				

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 26. Propiedades en estado fresco del hormigón con zeolita natural en sustitución del 10% del cemento.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”</p> <p style="text-align: center;"><u>CILINDROS DE HORMIGÓN CON ZEOLITA EN SUSTITUCIÓN DEL 10% DEL CEMENTO</u></p>										
NÚMERO DE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	MASA DEL RECIPIENTE (kg)	MASA DE RECIPIENTE + HORMIGÓN (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m³)	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (cm) Y CONSISTENCIA	HOMOGENEIDAD
10	26/01/2017	11.60	24.50	12.90	0.0055	2351.09	2371.56	SI	6 BLANDA	SI
11		11.50	24.60	13.10	0.0055	2365.78				
12		11.20	24.10	12.90	0.0055	2363.46				
13		11.50	24.60	13.10	0.0055	2396.95				
14		11.60	24.40	12.80	0.0055	2348.22				
15		11.60	24.40	12.80	0.0054	2382.56				
16		11.50	24.60	13.10	0.0055	2375.07				
17		11.60	24.50	12.90	0.0054	2369.68				
18		11.60	24.60	13.00	0.0054	2391.20				

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 27. Propiedades en estado fresco del hormigón con zeolita natural en sustitución del 20% del cemento.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”</p> <p style="text-align: center;"><u>CILINDROS DE HORMIGÓN CON ZEOLITA EN SUSTITUCIÓN DEL 20% DEL CEMENTO</u></p>										
NÚMERO DE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	MASA DEL RECIPIENTE (kg)	MASA DE RECIPIENTE + HORMIGÓN (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m³)	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (cm) Y CONSISTENCIA	HOMOGENEIDAD
19	30/01/2017	10.20	23.20	13.00	0.0055	2381.78	2370.81	SI	6 BLANDA	SI
20		10.20	22.90	12.70	0.0054	2345.27				
21		11.60	24.60	13.00	0.0055	2356.94				
22		11.40	24.50	13.10	0.0055	2368.87				
23		11.40	24.20	12.80	0.0054	2376.26				
24		11.30	24.20	12.90	0.0055	2351.09				
25		11.60	24.40	12.80	0.0054	2376.26				
26		11.60	24.40	12.80	0.0054	2366.86				
27		11.40	24.30	12.90	0.0053	2413.95				

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 28. Propiedades en estado fresco del hormigón con zeolita natural en sustitución del 30% del cemento.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”</p> <p style="text-align: center;"><u>CILINDROS DE HORMIGÓN CON ZEOLITA EN SUSTITUCIÓN DEL 30% DEL CEMENTO</u></p>										
NÚMERO DE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	MASA DEL RECIPIENTE (kg)	MASA DE RECIPIENTE + HORMIGÓN (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m³)	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (cm) Y CONSISTENCIA	HOMOGENEIDAD
28	30/01/2017	11.40	24.30	12.90	0.0055	2351.09	2345.30	SI	5 PLÁSTICA	SI
29		11.60	24.20	12.60	0.0055	2275.49				
30		11.40	24.10	12.70	0.0055	2326.82				
31		11.60	24.40	12.80	0.0055	2342.06				
32		11.40	24.40	13.00	0.0055	2384.91				
33		11.60	24.40	12.80	0.0054	2382.56				
34		11.60	24.40	12.80	0.0055	2320.68				
35		11.40	24.20	12.80	0.0054	2351.31				
36		11.40	24.30	12.90	0.0054	2372.80				

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 29. Propiedades en estado fresco del hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 10% del cemento.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”</p> <p style="text-align: center;"><u>CILINDROS DE HORMIGÓN CON LA MEZCLA ZEOLITA-CAL (80%Z+20%C) EN SUSTITUCIÓN DEL 10% DEL CEMENTO</u></p>										
NÚMERO DE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	MASA DEL RECIPIENTE (kg)	MASA DE RECIPIENTE + HORMIGÓN (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m³)	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (cm) Y CONSISTENCIA	HOMOGENEIDAD
37	02/02/2017	10.30	23.20	12.90	0.0054	2369.68	2381.65	SI	5 PLÁSTICA	SI
38		10.20	23.20	13.00	0.0054	2400.67				
39		11.60	24.50	12.90	0.0054	2394.83				
40		11.60	24.40	12.80	0.0055	2345.14				
41		11.30	24.20	12.90	0.0054	2394.83				
42		11.40	24.20	12.80	0.0054	2366.86				
43		11.50	24.40	12.90	0.0054	2394.83				
44		11.60	24.40	12.80	0.0054	2366.86				
45		11.50	24.40	12.90	0.0054	2401.17				

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 30. Propiedades en estado fresco del hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 20% del cemento.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”</p> <p style="text-align: center;"><u>CILINDROS DE HORMIGÓN CON LA MEZCLA ZEOLITA-CAL (80%Z+20%C) EN SUSTITUCIÓN DEL 20% DEL CEMENTO</u></p>										
NÚMERO DE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	MASA DEL RECIPIENTE (kg)	MASA DE RECIPIENTE + HORMIGON (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m³)	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (cm) Y CONSISTENCIA	HOMOGENEIDAD
46	02/02/2017	11.40	24.40	13.00	0.0055	2369.31	2363.45	SI	5 PLÁSTICA	SI
47		11.60	24.50	12.90	0.0055	2329.66				
48		11.40	24.20	12.80	0.0055	2345.14				
49		11.60	24.40	12.80	0.0055	2342.06				
50		11.40	24.40	13.00	0.0055	2384.91				
51		11.60	24.40	12.80	0.0054	2382.56				
52		11.60	24.60	13.00	0.0055	2356.94				
53		11.40	24.40	13.00	0.0054	2388.05				
54		11.40	24.40	13.00	0.0055	2372.42				

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 31. Propiedades en estado fresco del hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 30% del cemento.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”</p> <p style="text-align: center;"><u>CILINDROS DE HORMIGÓN CON LA MEZCLA ZEOLITA-CAL (80%Z+20%C) EN SUSTITUCIÓN DEL 30% DEL CEMENTO</u></p>										
NÚMERO DE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	MASA DEL RECIPIENTE (kg)	MASA DE RECIPIENTE + HORMIGON (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m³)	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (cm) Y CONSISTENCIA	HOMOGENEIDAD
55	06/02/2017	11.40	24.30	12.90	0.0055	2351.09	2343.15	SI	5 PLÁSTICA	SI
56		11.60	24.40	12.80	0.0055	2311.60				
57		11.40	24.20	12.80	0.0055	2345.14				
58		11.60	24.30	12.70	0.0055	2323.76				
59		11.40	24.30	12.90	0.0055	2366.57				
60		11.60	24.30	12.70	0.0054	2363.95				
61		11.60	24.40	12.80	0.0055	2320.68				
62		11.40	24.30	12.90	0.0054	2369.68				
63		11.40	24.20	12.80	0.0055	2335.92				

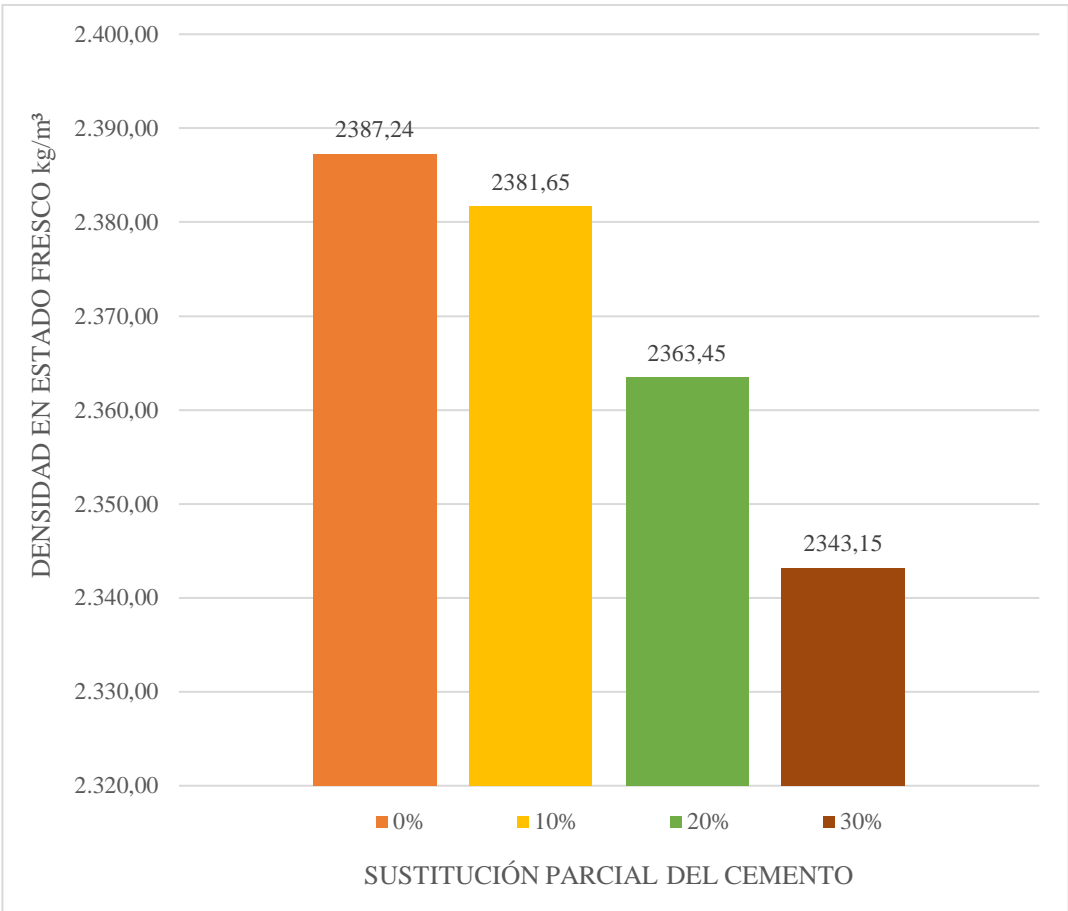
Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Gráfico N° 6. Densidad en estado fresco Vs. Porcentaje de zeolita en sustitución



Sustituyendo el 10%, 20% y 30% de cemento por zeolita, la densidad en estado fresco se reduce en un 0.66 %, 0.69 % y 1.76 % respectivamente, en comparación con el hormigón tradicional.

Gráfico N° 7. Densidad en estado fresco Vs. Porcentaje de zeolita-cal en sustitución



Sustituyendo el 10%, 20% y 30% de cemento por la mezcla zeolita-cal, la densidad en estado fresco se reduce en un 0.23 %, 1.00 % y 1.85 % respectivamente, en comparación con el hormigón tradicional.

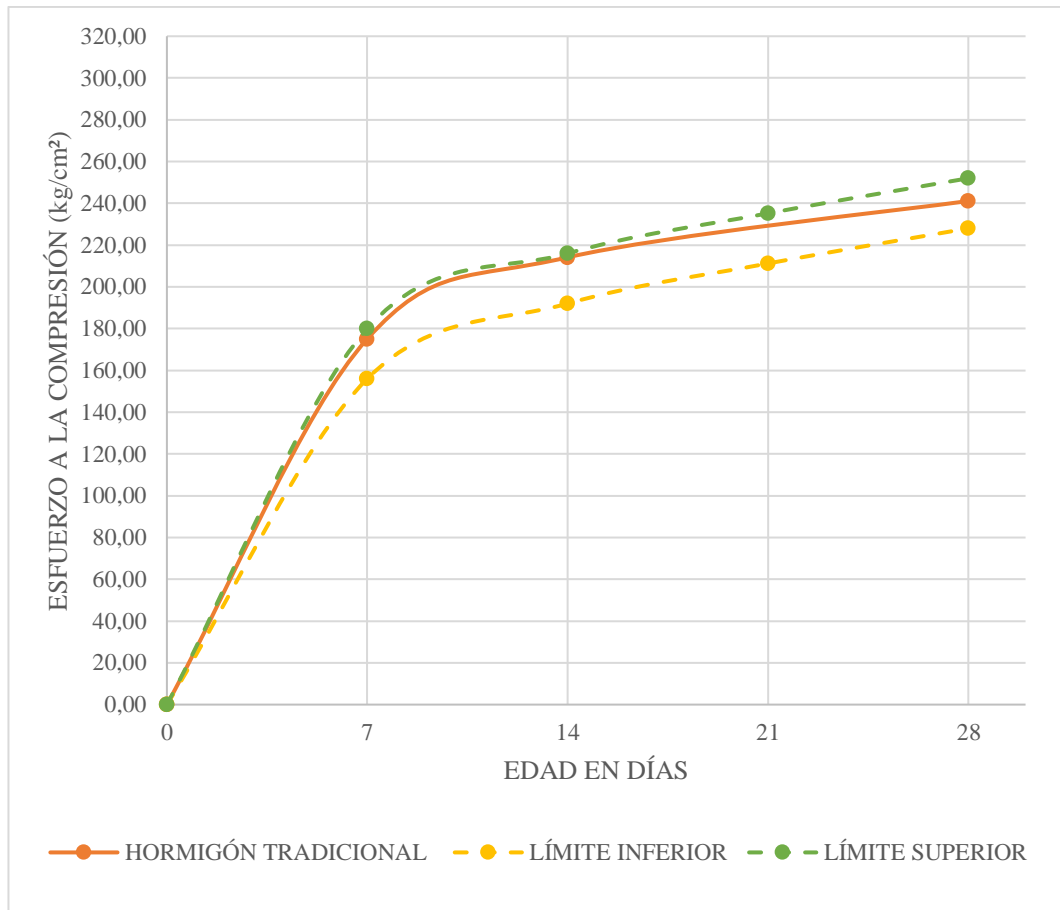
4.2.2 Propiedades del hormigón en estado endurecido

Tabla N° 32. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón tradicional

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DENSIDAD DE CILINDROS DE HORMIGÓN TRADICIONAL</p>															
NÚMERO DE PROBETA	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA DEL CILINDRO (kg)	CARGA		ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm ²)	LÍMITE INFERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)	LÍMITE SUPERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESIÓN (%)	ESFUERZO A COMPRESIÓN PROMEDIO (%)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
						KN	kg								
1	7	15.20	181.46	0.0054	12.90	309.30	31539.32	173.81	156	175.09	180	72.42	72.95	2369.69	2390.16
2		15.20	181.46	0.0054	13.10	311.70	31784.05	175.16				72.98		2406.43	
3		15.18	180.98	0.0054	13.00	312.90	31906.41	176.30				73.46		2394.36	
4	14	15.32	184.33	0.0055	13.10	383.20	39074.90	211.98	192	214.14	216	88.32	89.22	2368.88	2376.97
5		15.32	184.33	0.0055	13.20	388.30	39594.95	214.80				89.50		2386.96	
6		15.30	183.85	0.0055	13.10	388.80	39645.94	215.64				89.85		2375.07	
7	28	15.30	183.85	0.0055	13.10	427.50	43592.18	237.10	228	241.11	252	98.79	100.46	2375.07	2392.18
8		15.20	181.46	0.0054	13.00	430.00	43847.10	241.64				100.68		2388.06	
9		15.12	179.55	0.0054	13.00	430.70	43918.48	244.60				101.92		2413.40	
Límites de esfuerzo a compresión a los 7 días: 65% - 75%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 14 días: 80% - 90%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 28 días : 95% - 105%															

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Gráfico N° 8. Edad Vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón Tradicional



Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

A los 7, 14 y 28 días de edad se obtuvo un hormigón con una resistencia a la compresión de 175.09 kg/cm², 214.14 kg/cm² y 241.11 kg/cm² respectivamente.

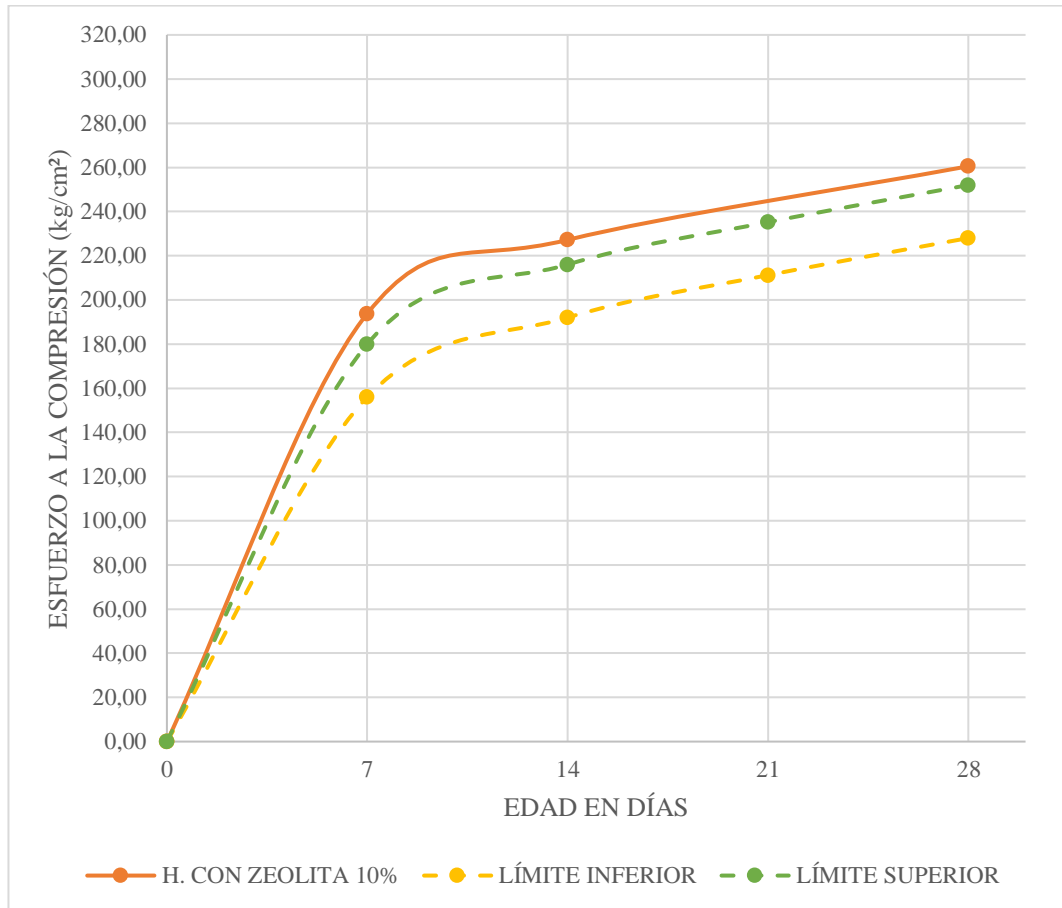
El hormigón tradicional se encuentra dentro de los límites establecidos en [17], con tendencia al límite superior, demostrando cumplir con la resistencia a la compresión de diseño, $f'c$ 240 kg/cm².

Tabla N° 33. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con zeolita natural en sustitución del 10% del cemento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO” RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DENSIDAD DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON ZEOLITA EN SUSTITUCIÓN DEL 10% DEL CEMENTO															
NÚMERO DE PROBETA	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA DEL CILINDRO (kg)	CARGA		ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm ²)	LÍMITE INFERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)	LÍMITE SUPERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESIÓN (%)	ESFUERZO A COMPRESIÓN PROMEDIO (%)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
						kN	kg								
10	7	15.28	183.37	0.0055	13.00	346.00	35281.62	192.40	156	193.80	180	80.17	80.75	2363.12	2360.22
11		15.31	184.09	0.0055	12.90	345.30	35210.24	191.26				79.69		2335.76	
12		15.22	181.94	0.0055	13.00	352.80	35975.02	197.73				82.39		2381.79	
13	14	15.28	183.37	0.0055	13.10	406.20	41420.21	225.88	192	227.19	216	94.12	94.66	2381.30	2371.11
14		15.30	183.85	0.0055	13.00	411.60	41970.85	228.28				95.12		2356.94	
15		15.30	183.85	0.0055	13.10	410.00	41807.70	227.40				94.75		2375.07	
16	28	15.20	181.46	0.0054	13.00	460.40	46946.99	258.72	228	260.52	252	107.80	108.55	2388.06	2381.64
17		15.22	181.94	0.0055	13.00	472.30	48160.43	264.71				110.30		2381.79	
18		15.30	183.85	0.0055	13.10	465.40	47456.84	258.12				107.55		2375.07	
Límites de esfuerzo a compresión a los 7 días: 65% - 75%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 14 días: 80% - 90%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 28 días : 95% - 105%															

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Gráfico N° 9. Edad Vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con zeolita natural en sustitución del 10% del cemento.



Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

A los 7, 14 y 28 días de edad se obtuvo un hormigón con una resistencia a la compresión de 193.80 kg/cm², 227.19 kg/cm² y 260.52 kg/cm² respectivamente.

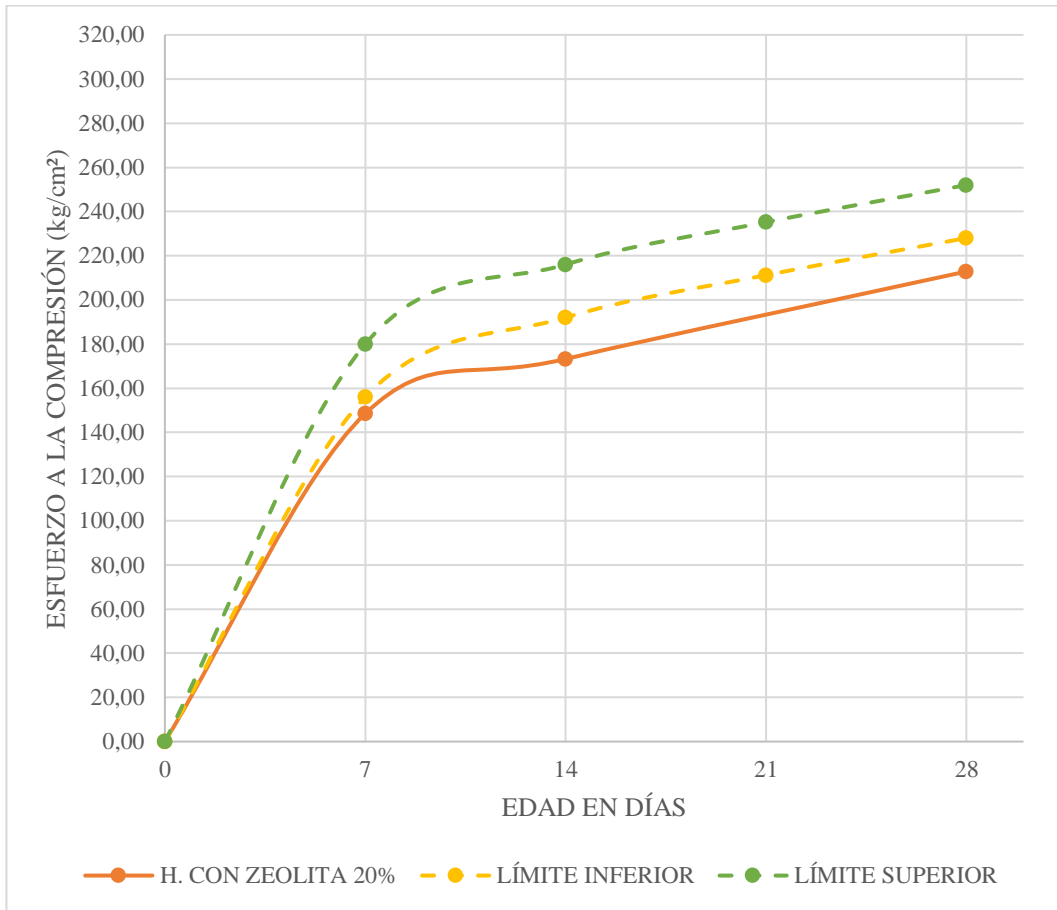
El hormigón elaborado con la sustitución del 10% de cemento por zeolita natural supera en 5.75%, 4.66% y 3.55% (7, 14 y 28 días) al límite superior establecido en [17].

Tabla N° 34. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con zeolita natural en sustitución del 20% del cemento.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”</p> <p style="text-align: center;"><u>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DENSIDAD DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON ZEOLITA EN SUSTITUCIÓN DEL 20% DEL CEMENTO</u></p>															
NÚMERO DE PROBETA	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA DEL CILINDRO (kg)	CARGA		ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm ²)	LÍMITE INFERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)	LÍMITE SUPERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESIÓN (%)	ESFUERZO A COMPRESIÓN PROMEDIO (%)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
						kN	kg								
19	7	15.12	179.55	0.0054	12.90	265.50	27073.04	150.78	156	148.49	180	62.82	61.87	2394.83	2379.21
20		15.15	180.27	0.0054	12.80	264.00	26920.08	149.33				62.22		2366.87	
21		15.18	180.98	0.0054	12.90	258.00	26308.26	145.36				60.57		2375.94	
22	14	15.18	180.98	0.0054	12.80	290.20	29591.69	163.51	192	173.25	216	68.13	72.19	2357.52	2363.44
23		15.28	183.37	0.0055	13.00	318.90	32518.23	177.33				73.89		2363.12	
24		15.20	181.46	0.0054	12.90	318.40	32467.25	178.92				74.55		2369.69	
25	28	15.21	181.70	0.0055	12.90	376.70	38412.10	211.41	228	212.86	252	88.09	88.69	2366.57	2373.79
26		15.32	184.33	0.0055	13.00	389.90	39758.10	215.68				89.87		2350.79	
27		15.15	180.27	0.0054	13.00	373.90	38126.58	211.50				88.13		2403.85	
Límites de esfuerzo a compresión a los 7 días: 65% - 75%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 14 días: 80% - 90%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 28 días : 95% - 105%															

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Gráfico N° 10. Edad vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con zeolita natural en sustitución del 20% del cemento.



Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

A los 7, 14 y 28 días de edad se obtuvo un hormigón con una resistencia a la compresión de 148.49 kg/cm^2 , 173.25 kg/cm^2 y 212.86 kg/cm^2 respectivamente.

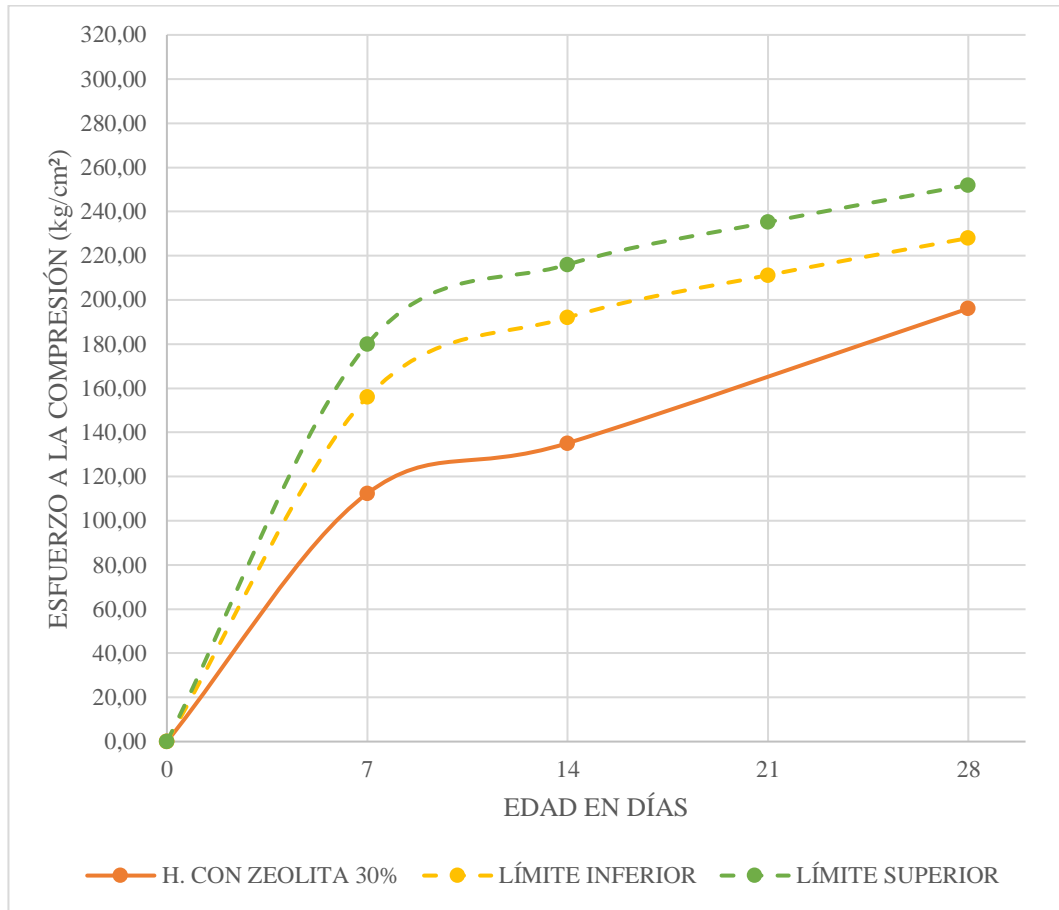
El hormigón elaborado con la sustitución del 20% de cemento por zeolita natural se encuentra bajo el límite inferior establecido en [17], en 3.13%, 7.81% y 6.31% a los 7, 14 y 28 días respectivamente con lo que se demuestra que este porcentaje no cumpliría con la resistencia a la compresión de diseño, $f'c \text{ } 240 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla N° 35. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con zeolita natural en sustitución del 30% del cemento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO” RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DENSIDAD DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON ZEOLITA EN SUSTITUCIÓN DEL 30% DEL CEMENTO															
NÚMERO DE PROBETA	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA DEL CILINDRO (kg)	CARGA		ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm ²)	LÍMITE INFERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)	LÍMITE SUPERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESIÓN (%)	ESFUERZO A COMPRESIÓN PROMEDIO (%)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
						kN	kg								
28	7	15.22	181.94	0.0055	12.90	184.00	18762.48	103.13	156	112.33	180	42.97	46.81	2363.47	2369.67
29		15.16	180.50	0.0054	12.80	185.70	18935.83	104.90				43.71		2363.74	
30		15.22	181.94	0.0055	13.00	230.10	23463.30	128.96				53.74		2381.79	
31	14	15.22	181.94	0.0055	13.00	237.90	24258.66	133.34	192	135.14	216	55.56	56.31	2381.79	2367.60
32		15.30	183.85	0.0055	12.90	250.20	25512.89	138.77				57.82		2338.81	
33		15.16	180.50	0.0054	12.90	236.00	24064.92	133.32				55.55		2382.21	
34	28	15.20	181.46	0.0054	12.90	356.80	36382.90	200.50	228	196.10	252	83.54	81.71	2369.69	2367.83
35		15.18	180.98	0.0054	12.80	351.20	35811.86	197.88				82.45		2357.52	
36		15.12	179.55	0.0054	12.80	334.40	34098.77	189.91				79.13		2376.27	
Límites de esfuerzo a compresión a los 7 días: 65% - 75%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 14 días: 80% - 90%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 28 días : 95% - 105%															

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Gráfico N° 11. Edad vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con zeolita natural en sustitución del 30% del cemento.



Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

A los 7, 14 y 28 días de edad se obtuvo un hormigón con una resistencia a la compresión de 112.33 kg/cm^2 , 135.14 kg/cm^2 y 196.10 kg/cm^2 respectivamente.

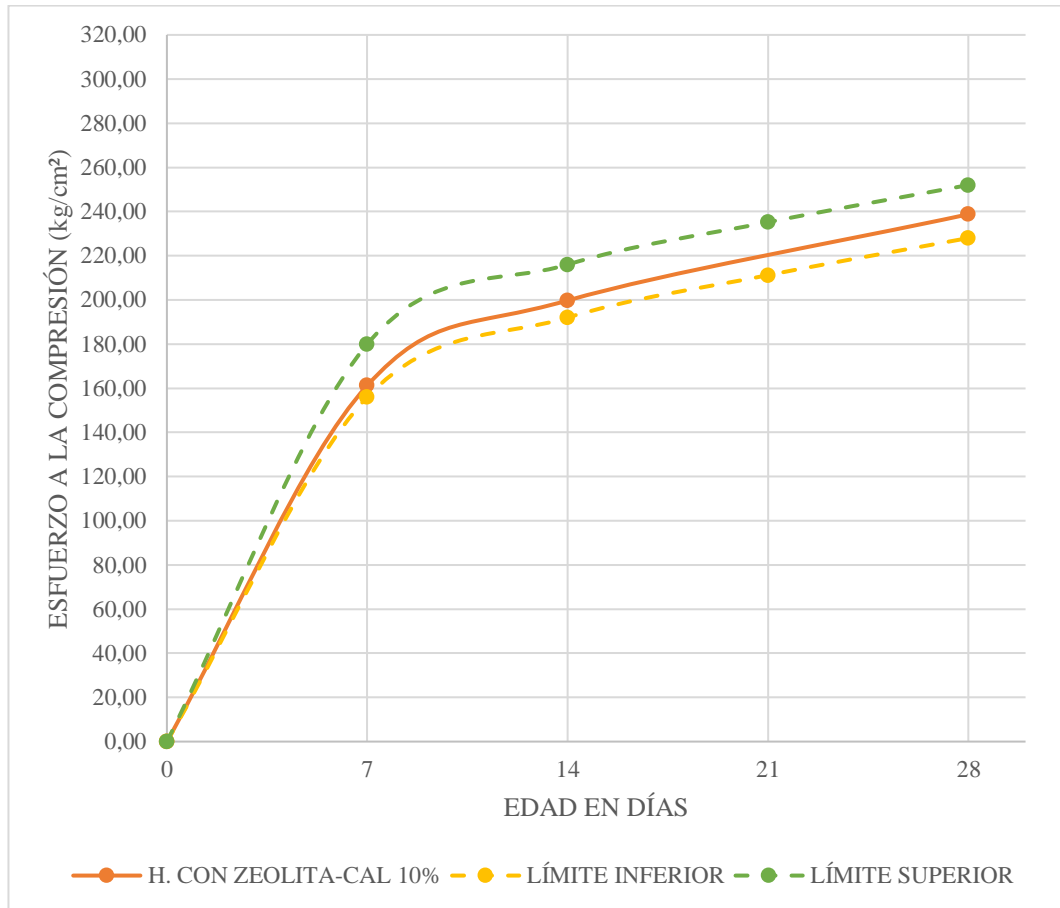
El hormigón elaborado con la sustitución del 30% de cemento por zeolita natural se encuentra bajo el límite inferior establecido en [17], en 18.19%, 23.69% y 13.29% a los 7, 14 y 28 días respectivamente con lo que se demuestra que este porcentaje no cumpliría con la resistencia a la compresión de diseño, $f'c \text{ } 240 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla N° 36. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 10% del cemento.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”</p> <p style="text-align: center;"><u>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DENSIDAD DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON LA MEZCLA ZEOLITA-CAL (80%Z+20%C) EN SUSTITUCIÓN DEL 10% DEL CEMENTO</u></p>															
NÚMERO DE PROBETA	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA DEL CILINDRO (kg)	CARGA		ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm ²)	LÍMITE INFERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)	LÍMITE SUPERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESIÓN (%)	ESFUERZO A COMPRESIÓN PROMEDIO (%)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
						kN	kg								
37	7	15.28	183.37	0.0055	13.00	293.50	29928.20	163.21	156	161.24	180	68.00	67.19	2363.12	2360.22
38		15.31	184.09	0.0055	12.90	283.00	28857.51	156.75				65.31		2335.76	
39		15.22	181.94	0.0055	13.00	292.20	29795.63	163.77				68.24		2381.79	
40	14	15.32	184.33	0.0055	13.00	366.90	37412.79	202.96	192	199.75	216	84.57	83.23	2350.79	2360.94
41		15.30	183.85	0.0055	13.00	363.60	37076.29	201.66				84.03		2356.94	
42		15.30	183.85	0.0055	13.10	350.90	35781.27	194.62				81.09		2375.07	
43	28	15.10	179.08	0.0054	12.90	425.20	43357.64	242.12	228	238.77	252	100.88	99.49	2401.18	2389.30
44		15.23	182.18	0.0055	13.00	422.30	43061.93	236.38				98.49		2378.66	
45		15.20	181.46	0.0054	13.00	423.20	43153.70	237.82				99.09		2388.06	
Límites de esfuerzo a compresión a los 7 días: 65% - 75%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 14 días: 80% - 90%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 28 días : 95% - 105%															

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Gráfico N° 12. Edad vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 10% del cemento.



Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

A los 7, 14 y 28 días de edad se obtuvo un hormigón con una resistencia a la compresión de 161.24 kg/cm^2 , 199.75 kg/cm^2 y 238.77 kg/cm^2 respectivamente.

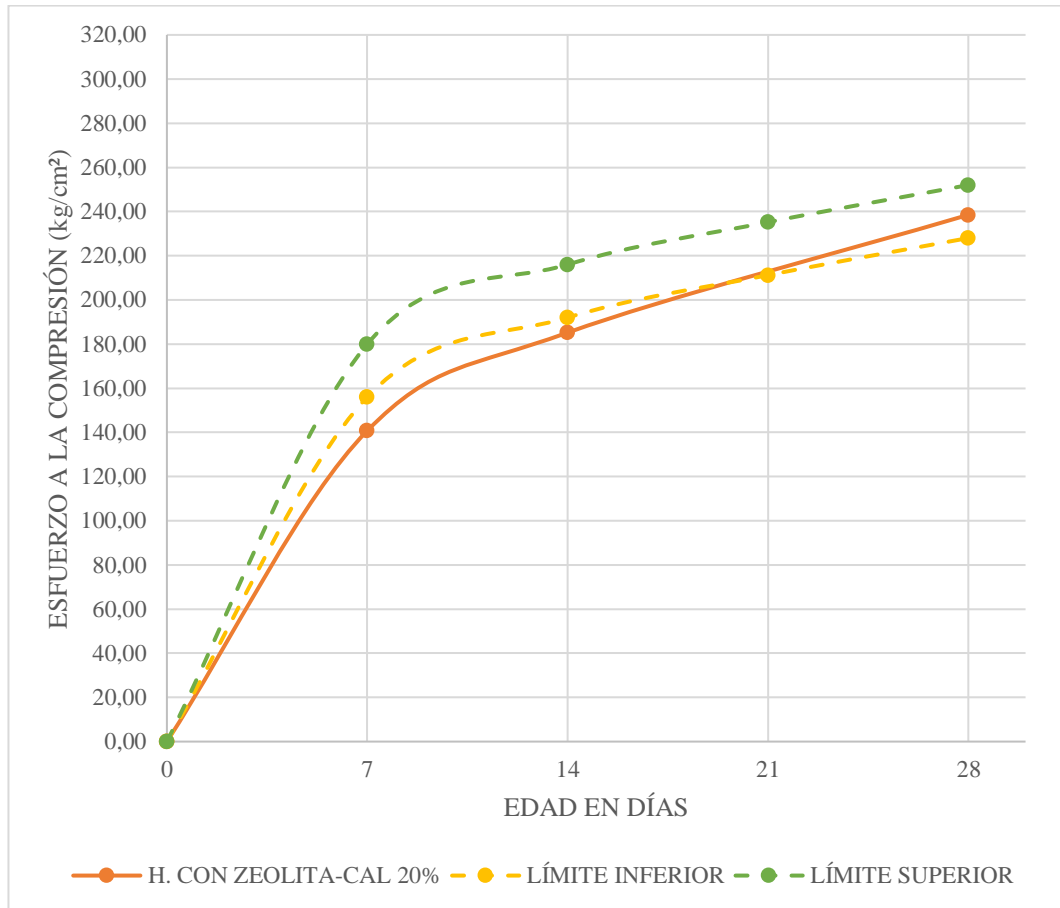
El hormigón elaborado con la sustitución del 10% de cemento por la mezcla zeolita-cal se encuentra dentro del límite superior e inferior establecidos en [17], a los 7, 14 y 28 días con lo que se demuestra que este porcentaje cumpliría con la resistencia a la compresión de diseño, $f'c \text{ } 240 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla N° 37. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 20% del cemento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO” <u>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DENSIDAD DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON LA MEZCLA ZEOLITA-CAL (80%Z+20%C) EN SUSTITUCIÓN DEL 20% DEL CEMENTO</u>															
NÚMERO DE PROBETA	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA DEL CILINDRO (kg)	CARGA		ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm ²)	LÍMITE INFERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)	LÍMITE SUPERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESIÓN (%)	ESFUERZO A COMPRESIÓN PROMEDIO (%)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
						kN	kg								
46	7	15.18	180.98	0.0054	12.90	249.80	25472.11	140.74	156	140.75	180	58.64	58.65	2375.94	2361.59
47		15.20	181.46	0.0054	12.80	249.30	25421.12	140.09				58.37		2351.32	
48		15.18	180.98	0.0054	12.80	251.00	25594.47	141.42				58.93		2357.52	
49	14	15.25	182.65	0.0055	12.70	324.80	33119.86	181.33	192	185.18	216	75.55	77.16	2317.68	2360.83
50		15.14	180.03	0.0054	12.80	326.60	33303.40	184.99				77.08		2369.99	
51		15.12	179.55	0.0054	12.90	333.20	33976.40	189.23				78.84		2394.83	
52	28	15.20	181.46	0.0054	12.80	434.3	44285.57	244.05	228	238.51	252	101.69	99.38	2351.32	2371.19
53		15.05	177.89	0.0053	12.70	405.5	41348.84	232.43				96.85		2379.69	
54		15.10	179.08	0.0054	12.80	419.8	42807.01	239.04				99.60		2382.57	
Límites de esfuerzo a compresión a los 7 días: 65% - 75%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 14 días: 80% - 90%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 28 días : 95% - 105%															

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Gráfico N° 13. Edad vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 20% del cemento.



Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

A los 7, 14 y 28 días de edad se obtuvo un hormigón con una resistencia a la compresión de 140.75 kg/cm², 185.18 kg/cm² y 238.51 kg/cm² respectivamente.

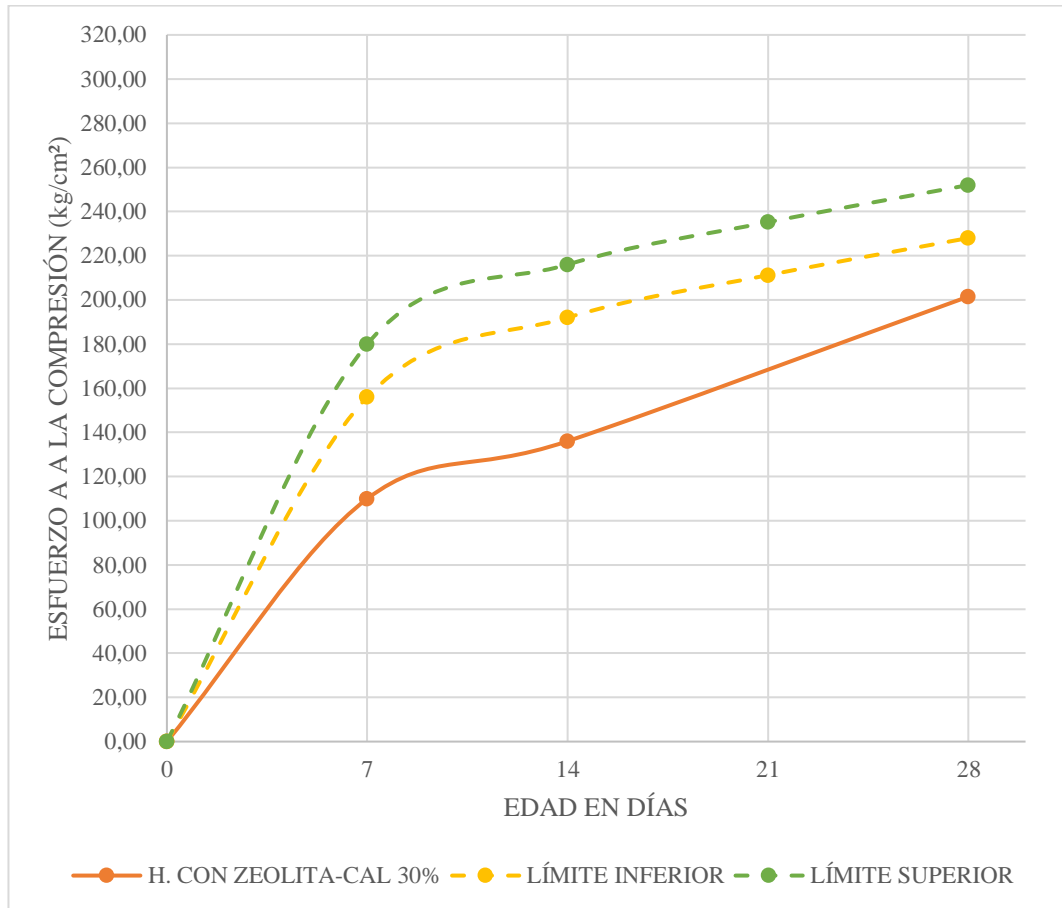
El hormigón elaborado con la sustitución del 20% de cemento por la mezcla zeolita-cal de cemento se encuentra bajo el límite inferior establecido en [17], en 6.35% y 2.84% a los 7 y 14 días respectivamente, pero a los 28 días se mantiene dentro de los límites antes mencionados con lo que se demuestra que este porcentaje no cumpliría con la resistencia a la compresión de diseño, f'_c 240 kg/cm².

Tabla N° 38. Resistencia a la compresión y densidad de hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 30% del cemento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”															
<u>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DENSIDAD DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON LA MEZCLA ZEOLITA-CAL (80%Z+20%C) EN SUSTITUCIÓN DEL 30% DEL CEMENTO</u>															
NÚMERO DE PROBETA	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA DEL CILINDRO (kg)	CARGA		ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm ²)	LÍMITE INFERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)	LÍMITE SUPERIOR (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESIÓN (%)	ESFUERZO A COMPRESIÓN PROMEDIO (%)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
						kN	kg								
55	7	15.20	181.46	0.0054	12.90	195.70	19955.53	109.97	156	109.96	180	45.82	45.82	2369.69	2370.94
56		15.15	180.27	0.0054	12.80	196.00	19986.12	110.87				46.20		2366.87	
57		15.12	179.55	0.0054	12.80	192.00	19578.24	109.04				45.43		2376.27	
58	14	15.20	181.46	0.0054	12.90	231.90	23646.84	130.32	192	136.04	216	54.30	56.68	2369.69	2369.95
59		15.24	182.41	0.0055	12.80	242.30	24707.33	135.45				56.44		2338.99	
60		15.10	179.08	0.0054	12.90	250.00	25492.50	142.35				59.31		2401.18	
61	28	15.30	183.85	0.0055	12.90	359.10	36617.43	199.17	228	201.50	252	82.99	83.96	2338.81	2355.44
62		15.10	179.08	0.0054	12.80	346.70	35353.00	197.42				82.26		2382.57	
63		15.28	183.37	0.0055	12.90	373.90	38126.58	207.92				86.63		2344.94	
Límites de esfuerzo a compresión a los 7 días: 65% - 75%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 14 días: 80% - 90%															
Límites de esfuerzo a compresión a los 28 días : 95% - 105%															

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Gráfico N° 14. Edad vs. Esfuerzo a la compresión: Hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución del 30% del cemento.



Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

A los 7, 14 y 28 días de edad se obtuvo un hormigón con una resistencia a la compresión de 109.96 kg/cm², 136.04 kg/cm² y 201.50 kg/cm² respectivamente.

El hormigón elaborado con la sustitución del 30% de cemento por la mezcla zeolita-cal se encuentra bajo el límite inferior establecido en [17], en 19.18%, 23.32% y 11.04% a los 7, 14 y 28 días respectivamente con lo que se demuestra que este porcentaje no cumpliría con la resistencia a la compresión de diseño, f'_c 240 kg/cm².

Tabla N° 39. Resumen de resistencias a la compresión.

HORMIGÓN f'c = 240 kg/cm ²	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)			LÍMITES EN %			OBSERVACIONES		
	7	14	28	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
	DÍAS	DÍAS	DÍAS	65% - 75%	80% - 90%	95% - 105%			
TRADICIONAL	175.09	214.14	241.11	72.95	89.22	100.46	Dentro de los límites	Dentro de los límites	Dentro de los límites
SUSTITUCIÓN AL 10% DE ZEOLITA	193.80	227.19	260.52	80.75	94.66	108.55	Mayor en 7.76% al hormigón tradicional y en 5.75% al límite superior.	Mayor en 5.41% al hormigón tradicional y en 4.66% al límite superior.	Mayor en 8.05% al hormigón tradicional y en 3.55% al límite superior.
SUSTITUCIÓN AL 20% DE ZEOLITA	148.49	173.25	212.86	61.87	72.19	88.69	Menor en 11.03% al hormigón tradicional y en 3.13% al límite inferior.	Menor en 16.96% al hormigón tradicional y en 7.81% al límite inferior.	Menor en 11.72% al hormigón tradicional y en 6.31% al límite inferior.
SUSTITUCIÓN AL 30% DE ZEOLITA	112.33	135.14	196.10	46.81	56.31	81.71	Menor en 26.03% al hormigón tradicional y en 18.19% al límite inferior.	Menor en 32.76% al hormigón tradicional y en 23.69% al límite inferior.	Menor en 18.67% al hormigón tradicional y en 13.29% al límite inferior.
SUSTITUCIÓN AL 10% DE ZEOLITA-CAL	161.24	199.75	238.77	67.19	83.23	99.49	Dentro de los límites. Menor en 5.74% al hormigón tradicional.	Dentro de los límites. Menor en 5.97% al hormigón tradicional.	Dentro de los límites. Menor en 0.97% al hormigón tradicional.
SUSTITUCIÓN AL 20% DE ZEOLITA-CAL	140.75	185.18	238.51	58.65	77.16	99.38	Menor en 14.24% al hormigón tradicional y en 6.35% al límite inferior.	Menor en 12.01% al hormigón tradicional y en 2.84% al límite inferior.	Dentro de los límites. Menor en 1.08% al hormigón tradicional.
SUSTITUCIÓN AL 30% DE ZEOLITA-CAL	109.96	136.04	201.50	45.82	56.68	83.96	Menor en 27.01% al hormigón tradicional y en 19.18% al límite inferior.	Menor en 32.39% al hormigón tradicional y en 23.32% al límite inferior.	Menor en 16.43% al hormigón tradicional y en 11.04% al límite inferior.

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

4.2.3 Análisis costo - beneficio

Para el análisis costo-beneficio se calculará el volumen de hormigón correspondiente a tres locales comerciales con 95.82 m² de construcción y el análisis de precios unitarios de 1 m³ de hormigón, de este modo se obtendrá el costo total del volumen de hormigón necesario para construcción de la estructura, con estos datos se establecerá el hormigón que presente mejores resultados en función de su economía y resistencia a la compresión.

En el análisis de precios unitarios se evaluará el costo de materiales, el costo de elaboración (equipo y mano de obra) más indirectos que se generen en la producción del rubro, en este caso se determinará el costo de producción de 1 m³ de hormigón tradicional con una resistencia a la compresión de 240 kg/cm², 1 m³ de hormigón con la sustitución del 10% de cemento por zeolita y 1 m³ de hormigón con la sustitución del 10% de cemento por la mezcla zeolita-cal se eligieron estos hormigones ya que cumplen con la resistencia de diseño.

Tabla N° 40. Precio unitario de hormigón $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$, Replanteo

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	1			UNIDAD	m^3
	HORMIGÓN SIMLE $f'c = 180$				
DETALLE:	kg/cm^2				
I. EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C = A*B$	R	$D = C*R$
Herramienta menor 5% de M.O.					1.56
Concretera	1.00	5.00	5.00	1.00	5.00
SUBTOTAL (M)					6.56
II. MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C = A*B$	R	$D = C*R$
Maestro de obra C1	1.00	3.82	3.82	1.00	3.82
Albañil D2	2.00	3.45	6.90	1.00	6.90
Peón E2	6.00	3.41	20.46	1.00	20.46
SUBTOTAL (N)					31.18
III. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	$C = A*B$	
Cemento Selvalegre	Saco	6.70	8.00	53.60	
Arena	m^3	0.65	10.63	6.91	
Ripio	m^3	0.95	13.75	13.06	
Agua	m^3	0.24	0.85	0.20	
SUBTOTAL (O)					73.78
IV. TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTAN CIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	$C = A*B$
SUBTOTAL (P)					0.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					111.52
COSTO INDIRECTO 20%					22.30
OTROS ESPECÍFICOS					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					133.82

Son: Ciento treinta y tres dólares con ochenta y dos centavos.

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 41. Precio unitario de hormigón f'c = 210 kg/cm², Losa

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	2			UNIDAD	m ³
	HORMIGÓN SIMLE				
DETALLE:	f'c = 210 kg/cm ²				
I. EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D = C*R
Herramienta menor 5% de M.O.					1.56
Concretera	1.00	5.00	5.00	1.00	5.00
Vibrador	1	4.3	4.30	1	4.30
SUBTOTAL (M)					10.86
II. MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D = C*R
Maestro de obra C1	1.00	3.82	3.82	1.00	3.82
Albañil D2	2.00	3.45	6.90	1.00	6.90
Peón E2	6.00	3.41	20.46	1.00	20.46
SUBTOTAL (N)					31.18
III. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A*B	
Cemento Selvalegre	Saco	7.21	8.00	57.68	
Arena	m ³	0.65	10.63	6.91	
Ripio	m ³	0.95	13.75	13.06	
Agua	m ³	0.25	0.85	0.21	
SUBTOTAL (O)					77.86
IV. TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCI A	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A*B
SUBTOTAL (P)					0.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					119.90
COSTO INDIRECTO 20%					23.98
OTROS ESPECÍFICOS					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					143.88

Son: Ciento cuarenta y tres dólares con ochenta y ocho centavos.

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 42. Precio unitario de hormigón tradicional $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	3			UNIDAD	m^3
DETALLE:	HORMIGÓN SIMLE $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$				
I. EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C = A*B$	R	$D = C*R$
Herramienta menor 5% de M.O.					1.73
Concretera	1.00	5.00	5.00	1.00	5.00
Vibrador	1.00	4.30	4.30	1.00	4.30
SUBTOTAL (M)					11.03
II. MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C = A*B$	R	$D = C*R$
Maestro de obra C1	1.00	3.82	3.82	1.00	3.82
Albañil D2	3.00	3.45	10.35	1.00	10.35
Peón E2	6.00	3.41	20.46	1.00	20.46
SUBTOTAL (N)					34.63
III. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	$C = A*B$	
Cemento Selvalegre	Saco	7.80	8.00	62.40	
Arena	m^3	0.65	10.63	6.91	
Ripio	m^3	0.95	13.75	13.06	
Agua	m^3	0.19	0.85	0.16	
SUBTOTAL (O)					82.53
IV. TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCI A	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	$C = A*B$
SUBTOTAL (P)					0.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					128.20
COSTO INDIRECTO 20%					25.64
OTROS ESPECÍFICOS					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					153.83

Son: Ciento cincuenta y tres dólares con ochenta y tres centavos.

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 43. Precio unitario de hormigón con zeolita en sustitución de 10% del cemento.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	4			UNIDAD	m ³
DETALLE:	HORMIGÓN SIMLE f'c = 240 kg/cm ² , Sustitución de cemento por zeolita al 10%				
I. EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D = C*R
Herramienta menor 5% de M.O.					1.73
Concreteira	1.00	5.00	5.00	1.00	5.00
Vibrador	1.00	4.30	4.30	1.00	4.30
SUBTOTAL (M)					11.03
II. MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D = C*R
Maestro de obra C1	1.00	3.82	3.82	1.00	3.82
Albañil D2	3.00	3.45	10.35	1.00	10.35
Peón E2	6.00	3.41	20.46	1.00	20.46
SUBTOTAL (N)					34.63
III. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A*B	
Cemento Selvalegre	Saco	7.02	8.00	56.16	
Arena	m ³	0.65	10.63	6.91	
Ripio	m ³	0.95	13.75	13.06	
Agua	m ³	0.19	0.85	0.16	
Zeolita Natural	Saco	0.78	10.00	7.80	
SUBTOTAL (O)					84.09
IV. TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCI A	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A*B
SUBTOTAL (P)					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					129.76
COSTO INDIRECTO 20%					25.95
OTROS ESPECÍFICOS					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					155.71

Son: Ciento cincuenta y cinco dólares con setenta y un centavos.

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Tabla N° 44. Precio unitario de hormigón con la mezcla zeolita-cal en sustitución de 10% del cemento.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	5		UNIDAD m ³		
DETALLE:	HORMIGÓN SIMLE f'c = 240 kg/cm ² , Sustitución de cemento por zeolita-cal al 10%				
I. EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D = C*R
Herramienta menor 5% de M.O.					1.73
Concreteira	1.00	5.00	5.00	1.00	5.00
Vibrador	1.00	4.30	4.30	1.00	4.30
SUBTOTAL (M)					11.03
II. MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D = C*R
Maestro de obra C1	1.00	3.82	3.82	1.00	3.82
Albañil D2	3.00	3.45	10.35	1.00	10.35
Peón E2	6.00	3.41	20.46	1.00	20.46
SUBTOTAL (N)					34.63
III. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A*B	
Cemento Selvalegre	Saco	7.02	8.00	56.16	
Arena	m ³	0.65	10.63	6.91	
Ripio	m ³	0.95	13.75	13.06	
Agua	m ³	0.19	0.85	0.16	
Zeolita Natural	Saco	0.62	10.00	6.20	
Cal	Saco	0.16	9.00	1.44	
SUBTOTAL (O)					83.93
IV. TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCI A	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A*B
SUBTOTAL (P)					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					129.60
COSTO INDIRECTO 20%					25.92
OTROS ESPEC'IFICOS					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					155.51

Son: Ciento cincuenta y cinco dólares con cincuenta y un centavos.

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Una vez establecido el precio unitario correspondiente a 1 m³ de hormigón tradicional, 1 m³ de hormigón con la sustitución del 10% de cemento por zeolita y 1 m³ de hormigón con la sustitución del 10% de cemento por la mezcla zeolita-cal, se procede a determinar el volumen de hormigón necesario para los elementos estructurales presentados en el anexo B, a continuación se describe la cuantificación del volumen de hormigón:

Tabla N° 45. Detalle de volumen de hormigón

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”							
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES			NÚMERO	TOTAL	UNIDAD
		a	b	c			
REPLANTILLO, f'c= 180 kg/cm ²	P1	1.20	1.20	0.07	11.00	1.11	m ³
ZAPATAS f'c= 240 kg/cm ²	P1	1.20	1.20	0.30	11.00	4.75	m ³
CADENAS DE AMARRE f'c= 240 kg/cm ²	Eje A-B	0.20	0.30	3.70	3.00	0.67	m ³
	Eje B-C	0.20	0.30	3.85	4.00	0.92	m ³
	Eje 1-2	0.20	0.30	3.70	2.00	0.44	m ³
	Eje 2-3	0.20	0.30	4.25	3.00	0.77	m ³
	Eje 3-4	0.20	0.30	4.25	3.00	0.77	m ³
COLUMNAS f'c= 240 kg/cm ²	A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, y C4	0.30	0.30	4.13	11.00	4.09	m ³
VIGAS f'c= 240 kg/cm ²	Eje A-B	0.25	0.30	3.70	3.00	0.83	m ³
	Eje B-C	0.25	0.30	3.85	4.00	1.16	m ³
	Eje 1-2	0.25	0.30	3.70	2.00	0.56	m ³
	Eje 2-3	0.25	0.30	4.25	3.00	0.96	m ³
	Eje 3-4	0.25	0.30	4.25	3.00	0.96	m ³
LOSA, f'c 210 kg/cm ²	Tablero A-C y 2-4, c: Volumen de hormigón en 1m ² de losa	8.30	9.40	0.10	1.00	8.11	m ³
	Tablero B-C y 1-2, c: Volumen de hormigón en 1m ² de losa	4.00	4.45	0.10	1.00	1.85	m ³
HORMIGÓN f'c= 180 kg/cm ²						1.11	m ³
HORMIGÓN f'c= 210 kg/cm ²						9.97	m ³
HORMIGÓN f'c= 240 kg/cm ²						16.86	m ³

Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

De acuerdo a los elementos estructurales descritos anteriormente el volumen total de hormigón es 27.93 m³, suponiendo que se emplea hormigón tradicional el costo sería el siguiente:

HORMIGÓN	VOL. HORMIGÓN m ³	P. UNITARIO \$	P. TOTAL \$
HORMIGÓN f'c = 180 kg/cm ²	1.11	133.82	148.38
HORMIGÓN f'c = 210 kg/cm ²	9.97	143.88	1433.85
HORMIGÓN f'c = 240 kg/cm ²	16.86	153.83	2593.60
COSTO TOTAL			4175.82

Con los resultados obtenidos tanto de precios unitarios y volumen de hormigón con una resistencia a la compresión de 240 kg/cm² se efectúa el siguiente análisis:

Tabla N° 46. Costos del hormigón

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”					
VOLUMEN DE HORMIGÓN f'c = 240 kg/cm ²				16.86	m ³
HORMIGÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN kg/cm ²	P.UNITARIO \$	P. TOTAL \$	DIFERENCIA \$	INCREMENTO EN %
TRADICIONAL	241.11	153.83	2593.64	-	-
CON 10% DE ZEOLITA	260.52	155.71	2625.20	31.56	1.22
CON 10% DE ZEOLITA - CAL	238.77	155.51	2621.97	28.32	1.10

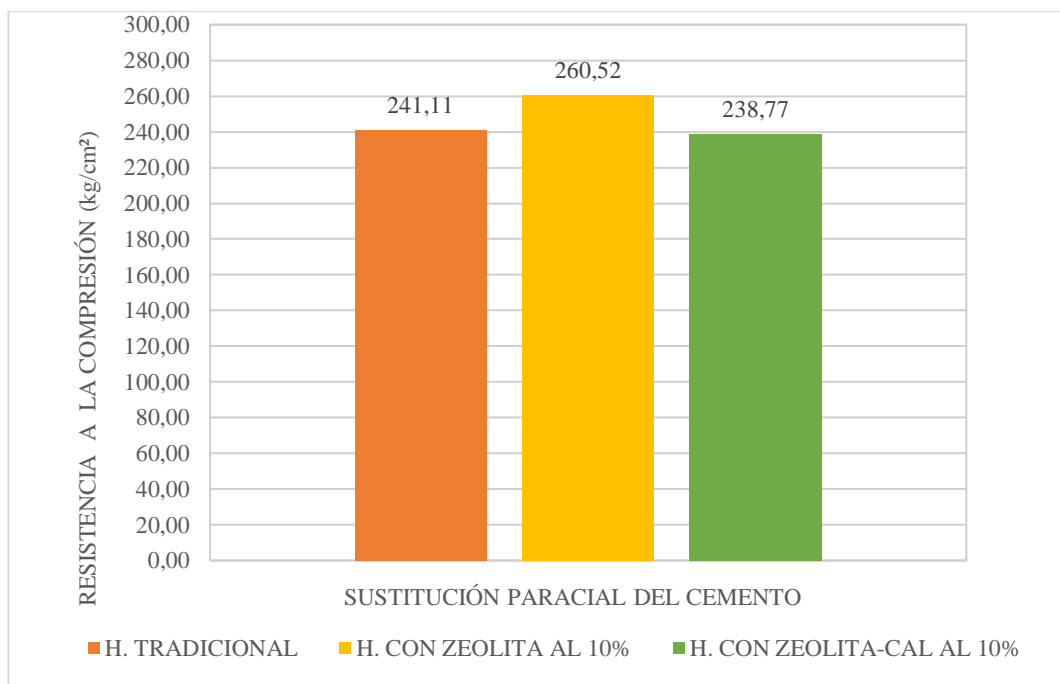
Elaborado por: Egda. Yadira Guadalupe Valenzuela Romero

Para 16.86 m³ de hormigón tradicional ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$) se requiere \$ 2593.64 y con la sustitución de 10% de cemento por zeolita el costo se eleva a \$ 2625.20 lo que equivale a un incremento de 1.22 % con respecto al hormigón tradicional, mientras que en la resistencia a la compresión se registra un incremento de 8.05% de 241.11 kg/cm² a 260.52 kg/cm², es decir este incremento económico se justificaría.

Al emplear zeolita y cal en la elaboración de hormigón de forma consecuente el costo se eleva, esto fue lo que sucedió en el hormigón con la sustitución de 10% de cemento por la mezcla zeolita-cal ya que el costo es \$ 2621.97 equivalente a un incremento de 1.10 % en comparación al hormigón tradicional, con una resistencia a la compresión dentro de los límites establecidos pero menor en 0.97% al hormigón tradicional de 241.11 kg/cm² a 238.7711 kg/cm² por lo que el incremento económico no se justificaría.

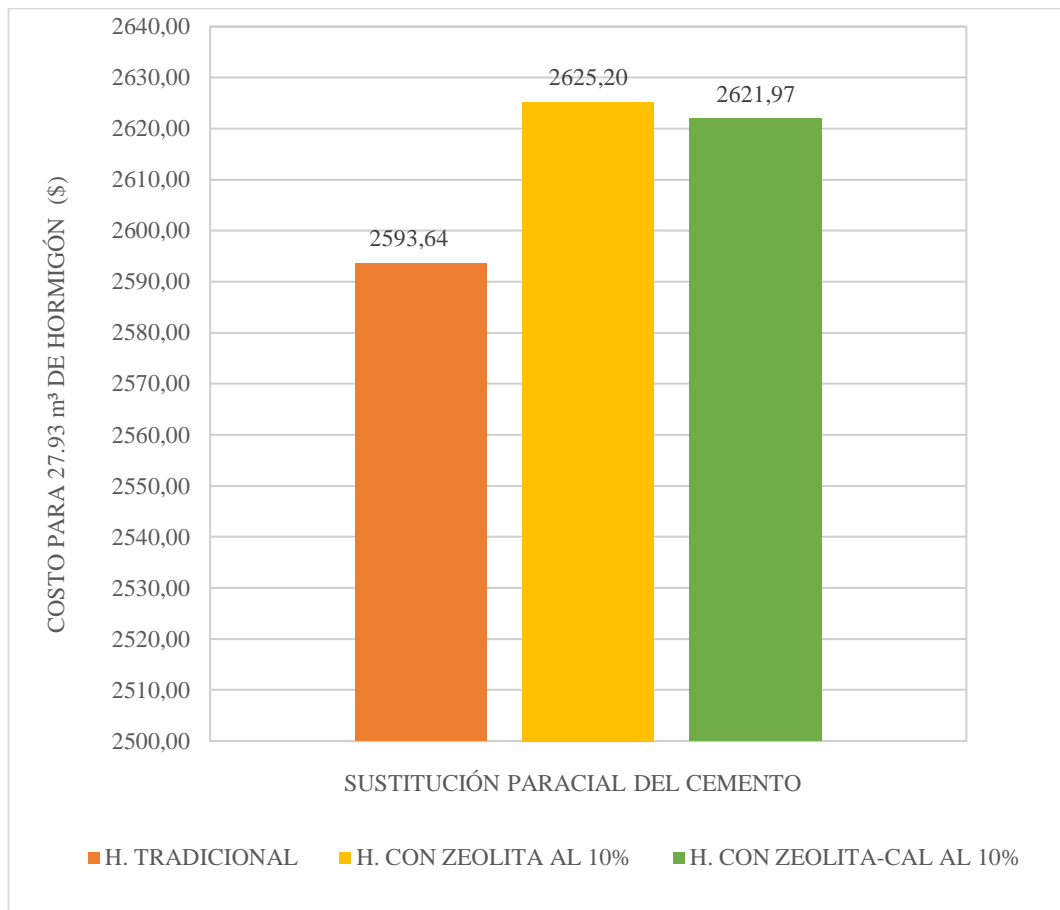
A continuación se presenta de forma gráfica la variación de la resistencia a la compresión, en el hormigón elaborado con zeolita y zeolita-cal como materiales sustitutos del 10% de cemento.

Gráfico N° 15. Resistencia a la compresión: Hormigón con zeolita y zeolita-cal en sustitución del 10% de cemento.



En la gráfica N° 16 se indica la diferencia económica que se presenta en 16.86 m³ de: hormigón tradicional, hormigón con zeolita y hormigón con zeolita-cal en sustitución del 10% de cemento.

Gráfico N° 16. Costo: Hormigón con zeolita y zeolita-cal en sustitución del 10% de cemento.



4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

En el presente trabajo experimental se planteó la siguiente hipótesis “La sustitución parcial del cemento con zeolita y la mezcla zeolita-cal en un hormigón influye en la resistencia a la compresión.”

Se evidencia que la sustitución parcial del cemento por zeolita, si influyen en la resistencia a la compresión, determinándose que la sustitución de 10% del cemento por zeolita natural incrementa la resistencia a la compresión con respecto al hormigón tradicional en las edades de 7, 14 y 28 días.

Así mismo la mezcla zeolita-cal en sustitución de 10% del cemento, influye en la resistencia a la compresión demostrándose que este hormigón se mantiene dentro de los límites establecidos en [17], es decir se obtiene un hormigón apto ya que cumple con el diseño propuesto.

Al sustituir con 20% y 30% tanto de zeolita y la mezcla zeolita-cal se produce una reducción en la resistencia a la compresión en comparación al hormigón tradicional, de igual forma con estos porcentajes no se alcanza el límite inferior presentado en [17].

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El hormigón tradicional presenta un asentamiento de 6 centímetros que se traduce en una consistencia blanda, al sustituir el cemento por el 10% y 20% de zeolita la consistencia se mantiene.
- El hormigón con sustitución de cemento por el 30% de zeolita cambia su consistencia a plástica.
- El hormigón con sustitución de cemento por el 10%, 20% y 30% de zeolita y cal cambia su consistencia a plástica.
- El hormigón tradicional que en estado fresco tiene una densidad de 2387.24 kg/m³, al sustituir el 10%, 20% y 30% de cemento por zeolita presenta densidades entre 2371.56 kg/m³ y 2345.30 kg/m³, kg/m³.
- El hormigón con sustitución de 10%, 20% y 30% de cemento por zeolita y cal, en estado fresco presenta densidades entre 2381.65 kg/m³ y 2343.15 kg/m³.
- Al sustituir el 10% de cemento por zeolita, se obtuvo el mejor incremento en la resistencia a la compresión del hormigón, la resistencia aumentó en 8,05 % de 241,11 kg/cm² a 260,52 kg/cm².
- Al sustituir el 20% y 30% de cemento por zeolita, se redujo la resistencia a la compresión del hormigón en 11.72% y 18.67% respectivamente, con decrementos de 241,11 kg/cm² a 212.86 kg/cm² y de 241,11 kg/cm² a 196.10 kg/cm².
- Al sustituir el 10% y 20% de cemento por zeolita y cal, se obtuvieron resistencias a la compresión del hormigón de 238.77 kg/cm² y 238.51 kg/cm² respectivamente, mismas que son aceptables a razón de que la resistencia de diseño es de 240 kg/cm².
- Al sustituir el cemento por zeolita y cal en un 30%, se reduce la resistencia a la compresión en 16.43 % de 241,11 kg/cm² a 201.50 kg/cm².

- Se evidencia que elevar el nivel de sustitución a 20% y 30% de cemento por zeolita y zeolita-cal, representa una reducción en la resistencia a la compresión por lo cual no se debería trabajar con estos porcentajes.
- El hormigón con los tres porcentajes de sustitución de cemento por zeolita en estado endurecido a los 28 días presenta densidades entre 2367.83 kg/m³ y 2381.64 kg/m³, con lo que se reduce en 0.44% y 1.02% en comparación al hormigón tradicional.
- El hormigón con los tres porcentajes de sustitución de cemento por zeolita y cal en estado endurecido a los 28 días presenta densidades entre 2355.44 kg/m³ y 2389.30 kg/m³, con lo que se reduce en 0.12% y 1.54% en comparación al hormigón tradicional.
- En una estructura de una planta con un área de 95.82 m² (anexo B), donde se emplearían 16.86 m³ de hormigón f[']c=240 kg/m³, el costo de hormigón tradicional sería de \$ 2593.64.
- Si para la estructura de una planta con un área de 95.82 m² (anexo B), se emplearía hormigón con zeolita en sustitución de 10% de cemento, el costo se elevaría en 1.22% de \$ 2593.64 a \$ 2625.20 lo cual se justificaría ya que se obtiene un hormigón con una resistencia a la compresión superior al hormigón de diseño e incluso al límite superior en las edades evaluadas.
- Si para la estructura de una planta con un área de 95.82 m² (anexo B), se emplearía hormigón con zeolita y cal en sustitución de 10% de cemento, el costo se elevaría en 1.10 % de \$ 2593.64 a \$ 2621.97 lo cual sería un gasto innecesario ya que se obtiene un hormigón que cumple con la resistencia a la compresión de diseño pero no proporciona ventajas con respecto al hormigón tradicional.

5.2 RECOMENDACIONES

- El agregado fino y grueso a emplear se debe mantener en un lugar seco y fresco así se conservará las condiciones de humedad del agregado para todas las muestras, así se evitará la variación de resultados por efectos de humedad.
- Realizar la compra de zeolita a través de la página web de Crilarsa con quince días de anticipación, debido a que el producto se distribuye desde la ciudad de Guayaquil y en la ciudad de Ambato no se comercializa.
- Obtener las cantidades de material a utilizarse en probetas establecidas más el 10% adicional con respecto a las cantidades iniciales, debido a la pérdida de hormigón durante la elaboración de los especímenes.
- Humedecer la concretera previo a la mezcla de materiales, así se evitará que el material se adhiera a la superficie de la concretera.
- Para el ensayo de asentamiento el operador debe conocer el procedimiento establecido en la norma INEN 1578 [10], así se evitará errores.
- Realizar el ensayo de asentamiento de cada mezcla de hormigón, para verificar que se cumpla con el asentamiento planteado.
- Presentándose los mejores resultados con la sustitución de 10% de zeolita por cemento, se recomienda seguir con estudios relacionados al tema con la finalidad de conocer la influencia que pueda tener en las propiedades del hormigón, la sustitución parcial o adición de estos materiales en porcentajes alrededor de 10%.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Costafreda, B. Calvo y J. Parra. “Contribución de la zeolita natural a las resistencias mecánicas de Cementos, Morteros y Hormigones”, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, España, 2011. [En línea]. Disponible: http://oa.upm.es/8127/1/Jorge_Costafreda_Mustelier_Trabajo_ampliado.pdf [Nov. 20, 2016].
- [2] M. Rosell *et al.* “Influencia de la Adición de Zeolita en las propiedades micro y macro estructurales en pastas y morteros”, Centro Técnico para el Desarrollo de Materiales de Construcción, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, España. [En línea]. Disponible: http://oa.upm.es/6912/1/Jorge_Costafreda_Mustelier_Trabajo_ampliado_1.pdf [Nov. 24, 2016].
- [3] M. Rosell, R. Gayoso y B. Calvo. “Zeolita como aditivo mineral activo en hormigones de altas prestaciones”, Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción y Universidad Politécnica de Madrid, España, 2006. [En línea]. Disponible: <http://www.zeocat.es/docs/construcaditivohormigon.pdf> [Dic. 10, 2016].
- [4] J. Dopico, *et al.* “Efecto de la adición mineral cal-zeolita sobre la resistencia a la compresión y la durabilidad de un hormigón”, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba, Agosto 2009. [En línea]. Disponible: <http://www.scielo.cl/pdf/ric/v24n2/art05.pdf> [Dic. 15, 2016].
- [5] F.E. Morante, B.C. Pérez y L. C. López. “Las Zeolitas de la Costa de Ecuador (Guayaquil): Geología, Caracterización y Aplicaciones” Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, España, 2004. [En línea]. Disponible: <http://oa.upm.es/740/1/06200413.pdf> [Dic. 20, 2016].
- [6] M. Echeverría. “Estandarización del proceso de explotación y transformación de Zeolita natural de la empresa Zeonatec S.A. en el cantón Isidro Ayora de la provincia del Guayas”, Tesis de Título, Ing. Industrial, Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3790/1/04%20IND%20023%20TE SIS.pdf> [Dic. 20, 2016].

- [7] C. O. Saltos. “Efectos de la adición de zeolita en las propiedades mecánica de un hormigón convencional de cemento Pórtland Tipo I”, Tesis de Título, Ing. Civil, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Ecuador 2005. [En línea]. Disponible: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3388/1/5911.pdf> [Dic. 20, 2016].
- [8] NTE INEN 694: *Hormigón y Áridos para elaborar Hormigón. Terminología*, Quito, 2010.
- [9] P. Jiménez, A. García y F. Moran. *Hormigón Armado*. Barcelona: Gustavo Gili, S.A., 1981, pp. 90-91
- [10] NTE INE 1578: *Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación del Asentamiento*, Quito, 2010.
- [11] A. Neville y J. Brooks. *Tecnología del Concreto*. México: Trillas, 1998, pp. 65-71
- [12] S. Medina, “*Ensayo de Materiales II*”, Ecuador, 2014.
- [13] E. Morales, et al. “Módulo estático de elasticidad del hormigón, en base a su resistencia a la compresión: $f'c = 21$ y 28 Mpa, fabricado con materiales de la mina de Guayllabamba-pichincha y cemento Selvalegre”, Tesis de Título, Ing. Civil, Universidad Central del Ecuador Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática, Ecuador, 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/245/1/T-UCE-0011-8.pdf> [En. 10, 2017].
- [14] National Ready Mixed Concrete Association, “CIP-35 Prueba de resistencia a la compresión del concreto”. Internet: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip35es.pdf> [En. 10, 2017].
- [15] NTE INEN 1573: *Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*, Quito, 2010.

- [16] ACI 318S-11. *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*, 2011, pp. 76-77.
- [17] Laboratorio Ensayo de Materiales, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica UTA.
- [18] Y. Herrera, “Antecedentes Hormigón Alta Densidad”. Internet: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8326/03.pdf?sequence=4> [Febr. 2, 2017].
- [19] A. Neville y J. Brooks. *Tecnología del Concreto*. México: Trillas, 1998, pp. 14-31
- [20] NTE INEN 156: *Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad*, Quito, 2009.
- [21] A. Villarino, “El Hormigón”, Escuela Politécnica Superior de Ávila, Ciencia y Tecnología de los Materiales. Internet: <http://ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/ciencia-y-tecnologia-de-los-materiales/contenido/TEMA%206-%20EL%20HORMIGON.pdf> [Febr. 12, 2017].
- [22] NTE INEN 694: *Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología*, Quito, 2010
- [23] NTE INEN 696: *Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos Fino y Grueso*, Quito, 2011.
- [24] NTE INEN 872: *Áridos para el Hormigón. Requisitos*, Quito, 2011.
- [25] NTE INEN 856: *Áridos. Determinación de la Densidad. Densidad Relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino*, Quito, 2010.
- [26] NTE INEN 857: *Áridos. Determinación de la Densidad. Densidad Relativa*, Quito, 2010
- [27] NTE INEN 858: *Áridos. Determinación de la Masa Unitaria (Peso Específico) y el Porcentaje de Vacíos*, Quito, 2010.
- [28] NTE INEN 2617: *Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para Mezcla. Requisitos*, Quito, 2012.


- [29] *NTE INEN 2528: Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y Hormigón. Requisitos*, Quito, 2010.
- [30] M. Conrado, J. Rojas, “Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Guayllabamba”, Tesis de Título, Ing. Civil, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Ecuador 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/512/1/T-UCE-0011-22.pdf> [Mzo. 4, 2017].
- [31] “La relación agua cemento” Traducción del Bulletin du Ciment N° 7 – Julio 1978 – Suiza Internet: <http://www.arquitectogustavo.com.ar/Archs/relacion%20agua%20cemento-ICPA.pdf> [Mzo. 6, 2017].
- [32] M. Coro, “Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera san roque, para $f'c = 28$ MPa”, Tesis de Título, Ing. Civil, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Ecuador 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2574/1/T-UCE-0011-89.pdf> [Mzo. 6, 2017].
- [33] T. Villalba. “Caracterización del origen y uso de puzolana localizada en las cercanías de Carapeguá, departamento de Paraguari”, Tesis de Título, Lcdo. En Ciencias Mención Geología, Universidad Nacional de Asunción, Departamento de Geología Paraguay, 2013. [En línea]. Disponible: <http://www.geologiadelparaguay.com/Puzolana.pdf> [Mzo. 11, 2017].
- [34] A. Salazar. “¿Qué es una Puzolana?”, Corporación Construir, Colombia, 2002. Internet: <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf> [Mzo. 11, 2017].
- [35] V. Rosales, “Geología y caracterización Física de Puzolanas de la zona Oriental de Guatemala”, Tesis de Título, Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala, 2012. [En línea]. Disponible: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3364_C.pdf [Febr. 21, 2017].

- [36] L. Quiñonez, “Evaluación experimental del efecto de la sustitución de cemento portland por la adición mineral 2T 1.5 en la resistencia a compresión de mezclas de concreto”, Tesis de Título, Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala, 2014. [En línea]. Disponible: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3775_C.pdf [Febr. 21, 2017].
- [37] H. Álvarez. “Síntesis y caracterización de las propiedades físico mecánicas de geopolímeros a partir de puzolana para su aplicación en la industria” Tesis de Título, Geólogo, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Fisicoquímica, Escuela de Geología, Colombia, 2010. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1102/2/133488.pdf> [Febr. 21, 2017].
- [38] J. Costafreda. “Tectosilicatos con características Especiales: las Zeolitas Naturales” Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, España 2011. [En línea]. Disponible: http://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos_Costafreda.pdf [Febr. 21, 2017].
- [39] R. Torres, “Uso de zeolita y humus en el cultivo de zanahoria amarilla (*Daucus carota* L.)”, Tesis de Título, Ing. Agrónomo, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ecuador 2015. [En línea]. Disponible: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18318/1/Tesis112%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20367.pdf> [Febr. 21, 2017].
- [40] E. Leiva. “Caracterización Geotécnica de la zeolita proveniente de las tobas de Quinamávida Colbún Región del Maule, Chile”, Tesis de Título, Ing. Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción Facultad de Ingeniería, Chile, 2013. [En línea]. Disponible: <http://civil.ucsc.cl/investigacion/memorias/2013EladioLeiva.pdf> [Mzo. 23, 2017].
- [41] V. Yepes, “¿Cuánto CO₂ se emite cuando empleamos hormigón?”, Universidad Politécnica de Valencia, Internet: <http://horsost.blogs.upv.es/2014/11/08/cuanto-co2-se-emite-cuando-empleamos-hormigon/> [Mzo. 30, 2017].
- [42] Agencia de Regulación y Control Minero 2015, Estadística Minera 2015, Internet: <http://www.controlminero.gob.ec/> [Abr. 2, 2017].

- [43] Crilarsa CA, productos, zeolita, zeolita en cemento y concreto, Internet:
<http://www.crilarsa.com/zeolitas-en-cementos-y-hormigones-1.html> [Abr. 2, 2017].
- [44] J.J. Dopico. (Dic. 2008). “Desarrollo de hormigones con aglomerante cal-puzolana fina como material cementicio suplementario”, *Ingeniería de Construcción* [En línea] Vol. 23 No 3, pp. 171-178. [En línea]. Disponible:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732008000300005
[Nov. 22, 2016].
- [45] J. Saavedra. “La Cal”, Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Tecnología de los Materiales, Perú, 2013. Internet:
http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/semana_5_la_cal_2013.pdf
[Nov. 22, 2016].
- [46] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista. *Metodología de la Investigación* México: McGraw - Hill, 1991, pp. 59.
- [47] A. del Cid, et al. *Investigación, Fundamento y Metodología*. México: Prentice Hall PEARSON, 2011, pp. 33-34.
- [48] NTE INEN 1576: *Hormigón de Cemento Hidráulico, Elaboración y curado en obra de Especímenes para Ensayo*, Quito, 2011.
- [49] NTE INEN 1855-2: *Hormigones. Hormigón preparado en obra, Requisitos*, Quito, 2002.
- [50] L. Herrera, G. Naranjo y A. Medina. *Tutoría de la Investigación Científica*. Quito: Diemerino Editores, 2004, pp. 125-126.

ANEXOS

A. IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ENSAYOS REALIZADOS AL AGREGADO GRUESO	
	
Análisis granulométrico del Agregado Grueso	Densidad aparente suelta del Agregado Grueso
	
Densidad Aparente Compactada del Agregado Grueso	Densidad Real del Agregado Grueso



Capacidad de Absorción del Agregado Grueso
ENSAYOS REALIZADOS AL AGREGADO FINO



Análisis Granulométrico del Agregado Fino

Densidad aparente suelta del Agregado Fino



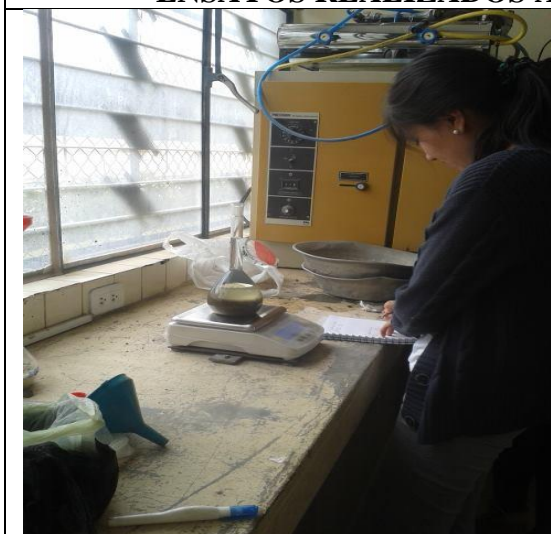
Densidad aparente compactada del Agregado Fino

Densidad real del Agregado Fino



Capacidad de Absorción del Agregado Fino

ENSAYOS REALIZADOS AL: CEMENTO Y ZEOLITA



Densidad Real del Cemento





Densidad Real de la Zeolita

ENSAYO REALIZADO A LA MEZCLA DE AGREGADOS



Mezcla de Agregados Fino y Grueso: Densidad Aparente Compactada

ELABORACIÓN DE HORMIGÓN



Peso de Zeolita

Peso de cal



Peso de Ripio



Materiales a emplear



Adición de Zeolita Natural



Adición de Cal



Adición de Agua



Mezcla de materiales



Ensayo de asentamiento



Elaboración de Probeta Cilíndrica

Peso de Probeta Cilíndrica



Probetas Cilíndricas Elaboradas



Desencofrado de Probetas Cilíndricas



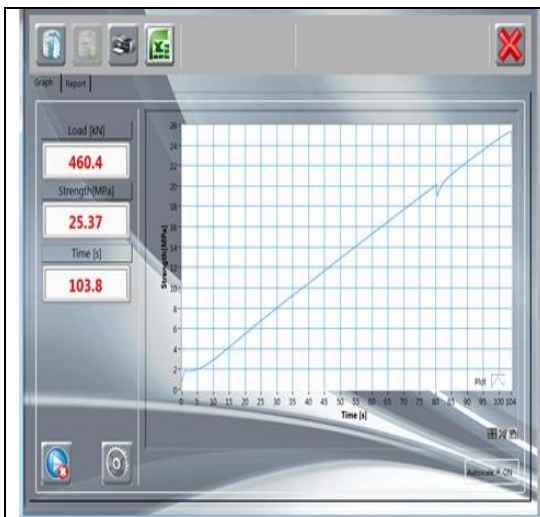
Probetas Cilíndricas en la cámara de curado



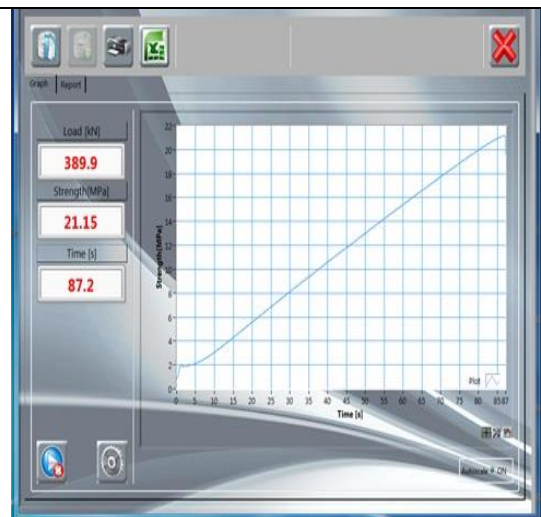
Obtención de Datos



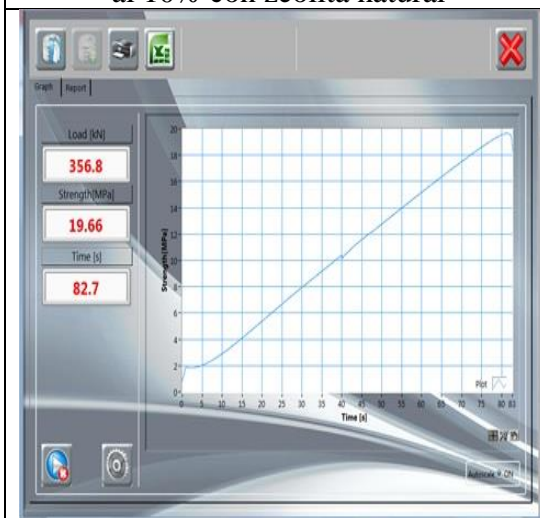
Ensayo de Resistencia a la Compresión



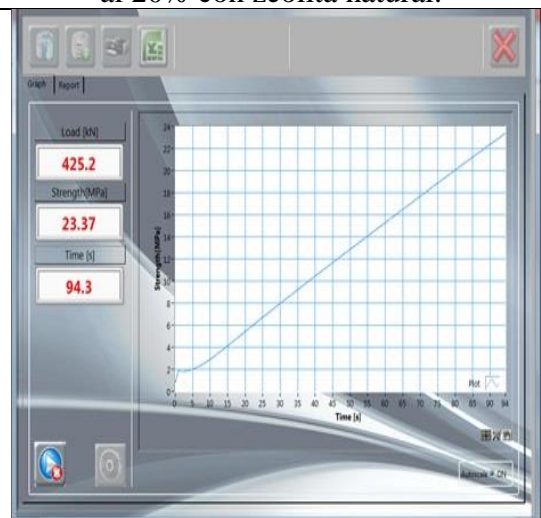
Resistencia a los 28 días – Sustitución al 10% con zeolita natural



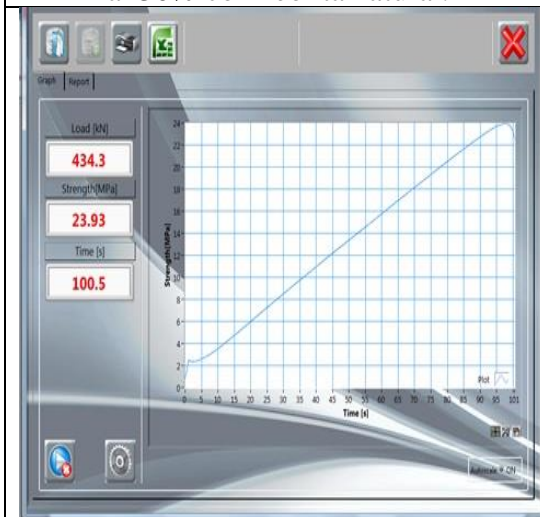
Resistencia a los 28 días – Sustitución al 20% con zeolita natural.



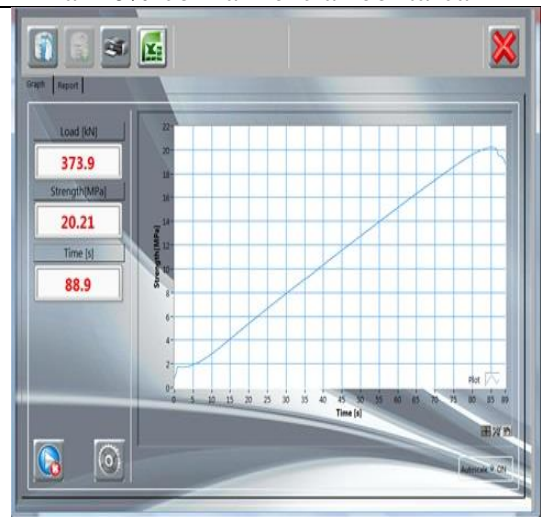
Resistencia a los 28 días – Sustitución al 30% con zeolita natural.



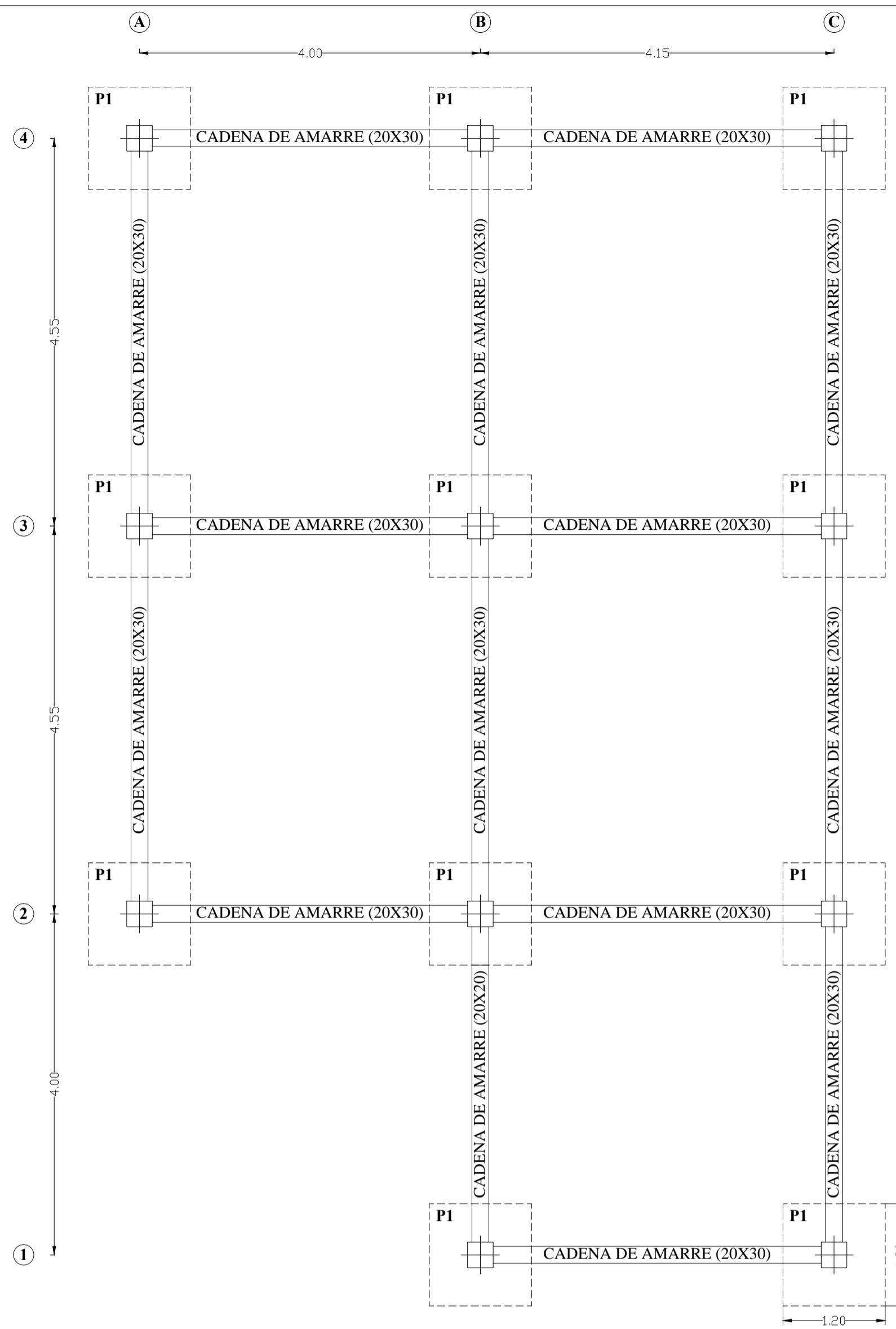
Resistencia a los 28 días – Sustitución al 10% con la mezcla zeolita-cal



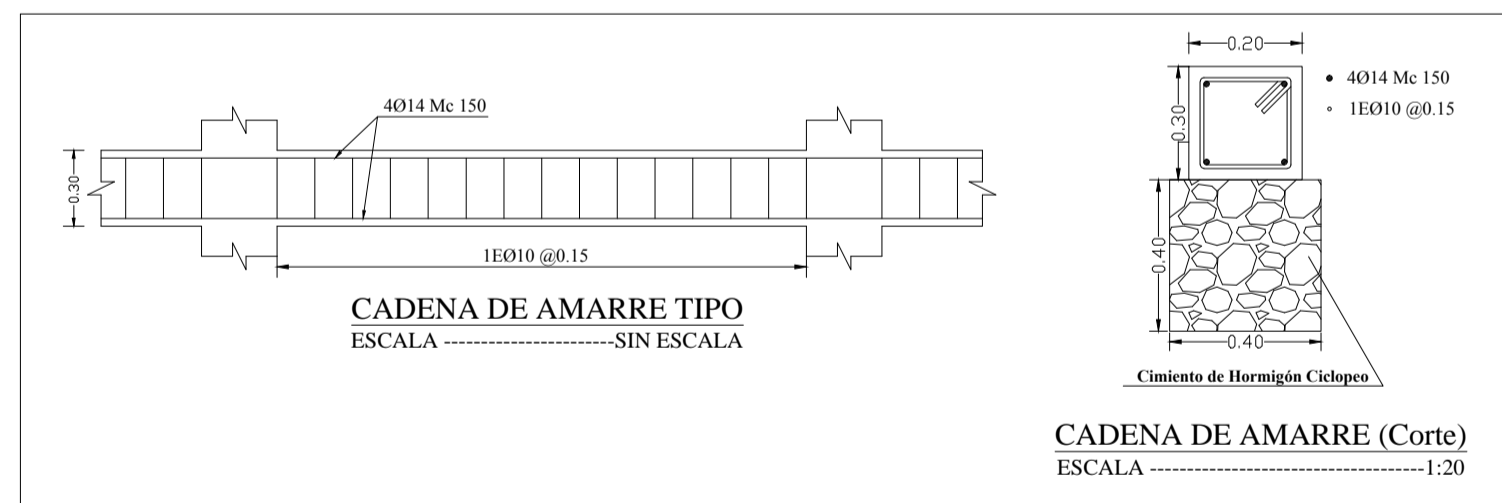
Resistencia a los 28 días – Sustitución al 20% con la mezcla zeolita-cal



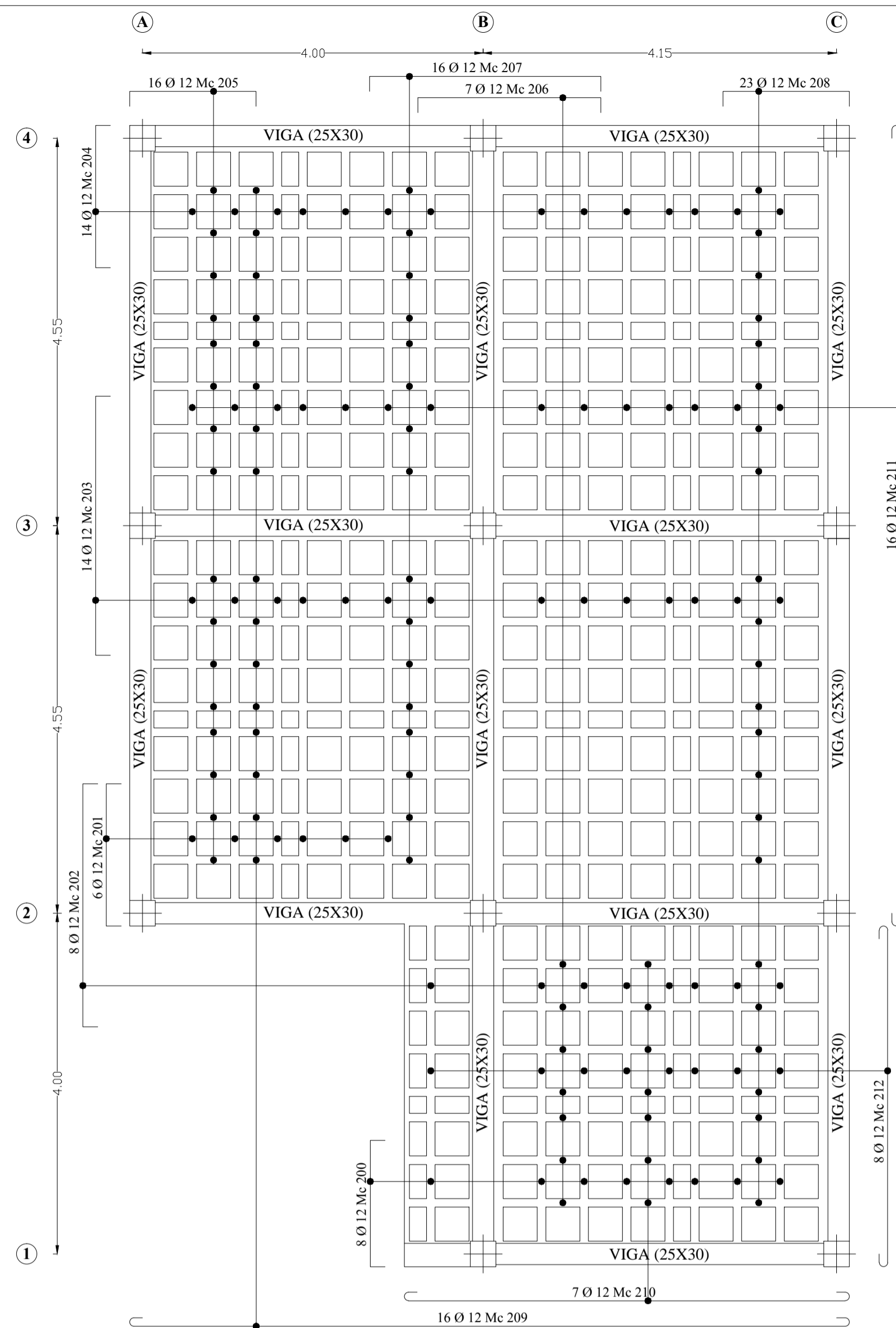
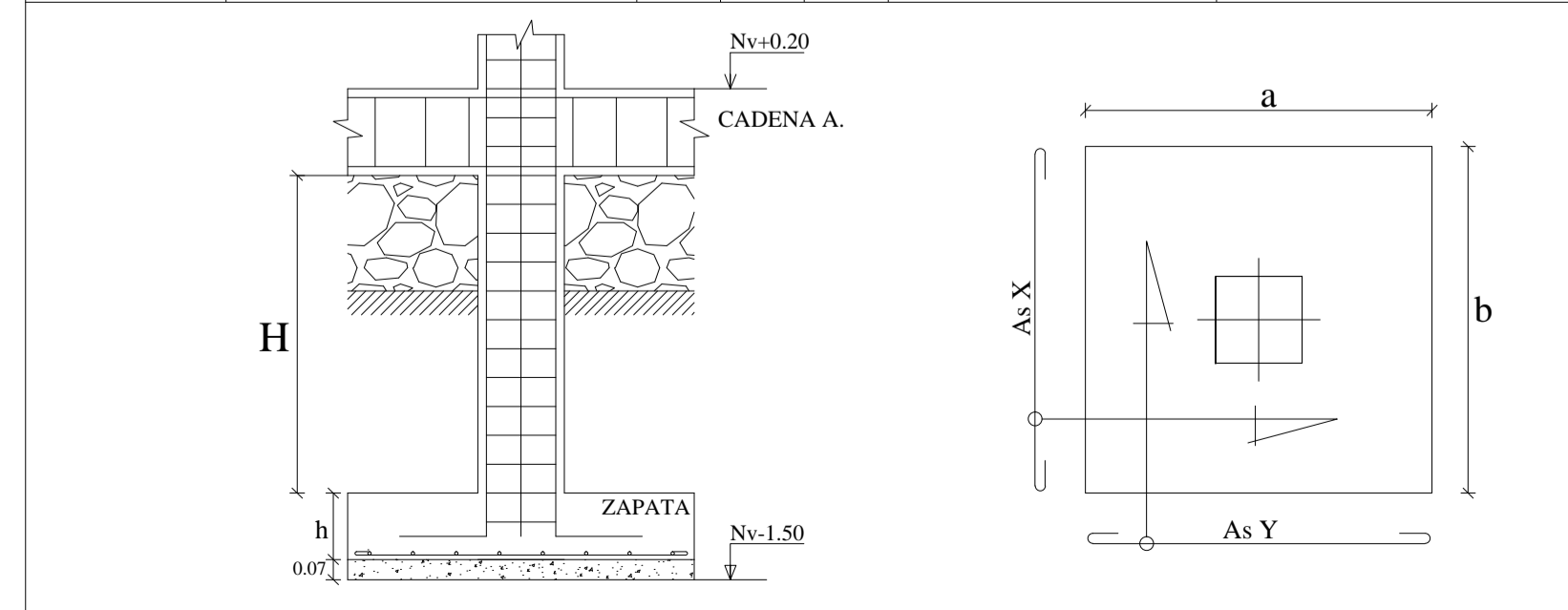
Resistencia a los 28 días – Sustitución al 30% con la mezcla zeolita-cal



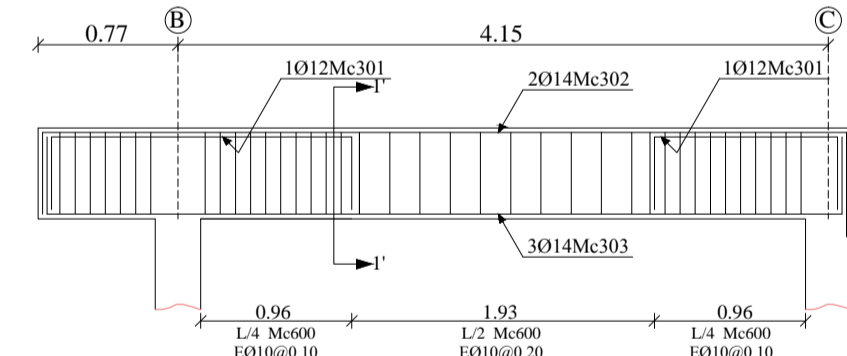
PLANTA DE CIMENTACIÓN Nv+0.20
ESCALA 1:50



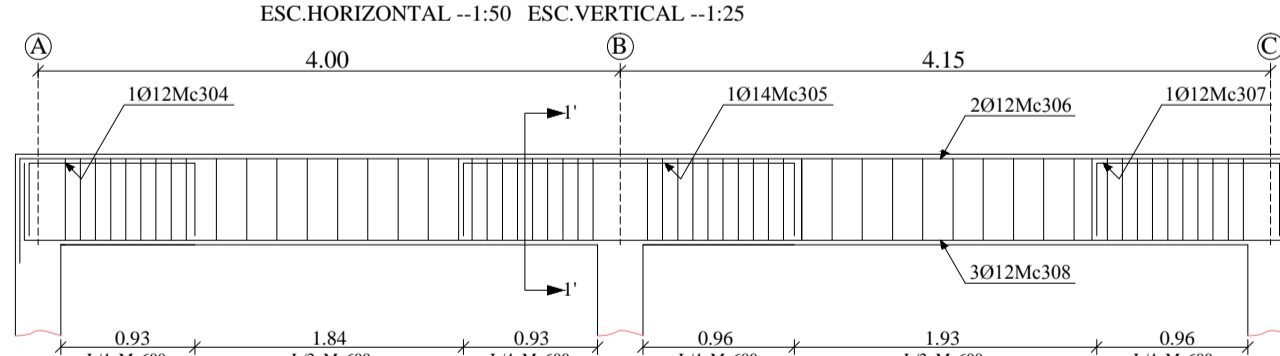
TIPO	UBICACIÓN	a	b	c	As X	As Y
P1	1B,1C,2A,2B,2C,3A,3B,3C,4A,4B,4C	1.20	1.20	0.30	1012@0.15 Mc 500	1012@0.15 Mc 500



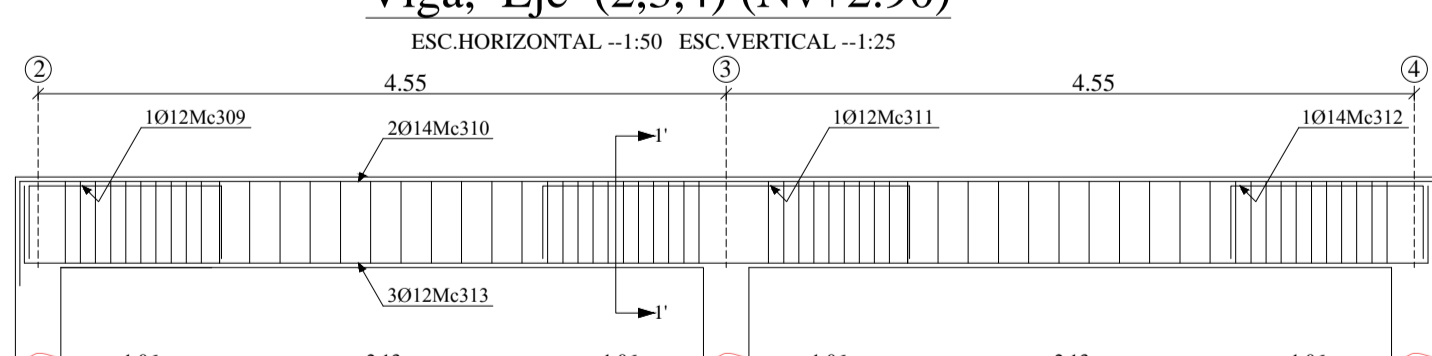
ARMADO DE LOSA Nv+2.90
ESCALA 1:50



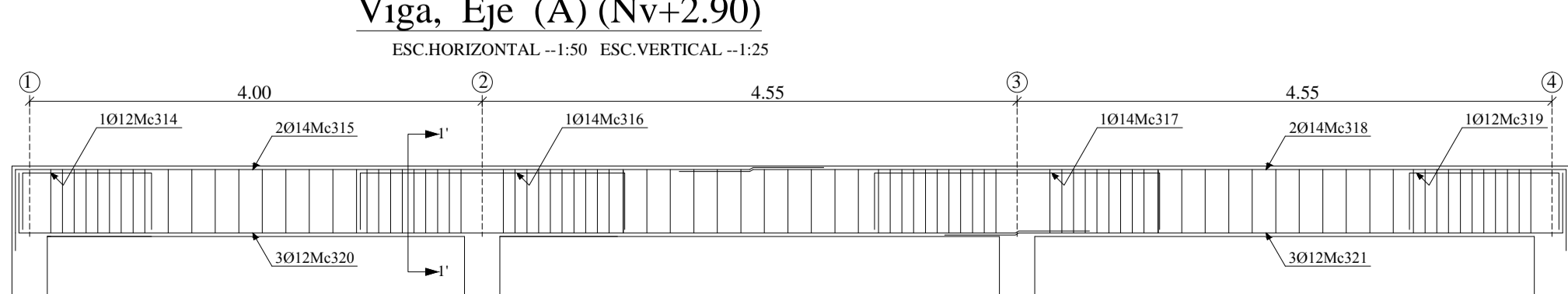
Viga, Eje (1) (Nv+2.90)
ESC.HORIZONTAL --1:50 ESC.VERTICAL --1:25



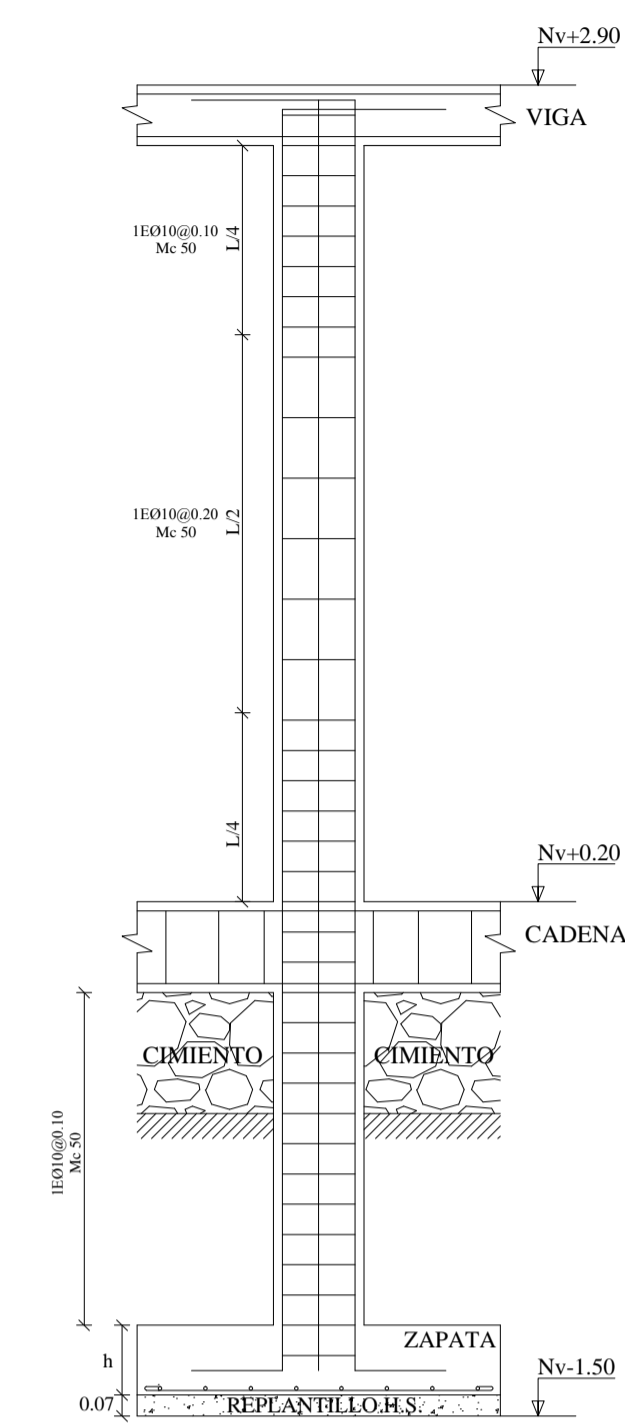
Viga, Eje (2,3,4) (Nv+2.90)
ESC.HORIZONTAL --1:50 ESC.VERTICAL --1:25



Viga, Eje (A) (Nv+2.90)
ESC.HORIZONTAL --1:50 ESC.VERTICAL --1:25

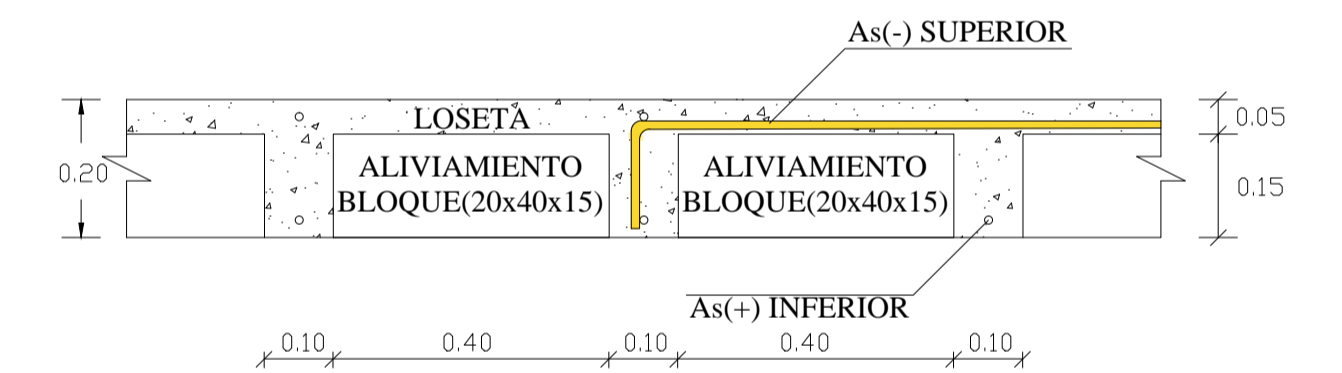


Viga, Eje (B,C) (Nv+2.90)
ESC.HORIZONTAL --1:50 ESC.VERTICAL --1:25



CORTE DE COLUMNA TIPO

CUADRO DE COLUMNAS	
COLUMNAS	1B,1C,2A,2B,2C,3A,3B,3C,4A,4B,4C
	9Ø12 Mc 20 1EØ10Mc50 @0.10y20
	9Ø12 Mc 20 1EØ10Mc50 @0.10y20
	9Ø12 Mc 20 1EØ10Mc50 @0.10y20



CORTE DE LOSA TIPO

ESCALA 1:10

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

PROYECTO:
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN AL EMPLEAR ZEOLITA NATURAL EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.

CONTIENE: ANEXO B, PLANO ESTRUCTURAL
ESCALAS: INDICADAS

REALIZADO: EGDA.YADIRA VALENZUELA
LÁMINA: 1/1
FECHA: MAYO 2017