

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO
EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, AL COMBINAR
AGREGADOS GRUESOS: BASALTO NORMAL CON
BASALTO VESICULAR**

PRESENTADO POR:

**DOUGLAS FABRICIO PALACIOS RUÍZ
RUTH IDALIA ROMERO HENRRÍQUEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

ING. ANÍBAL RODOLFO ORTIZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO(A) CIVIL

Título :
**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO
EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, AL COMBINAR
AGREGADOS GRUESOS: BASALTO NORMAL CON
BASALTO VESICULAR**

Presentado por :
**DOUGLAS FABRICIO PALACIOS RUÍZ
RUTH IDALIA ROMERO HENRRÍQUEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :
**INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA
ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA
(Q.D.D.G.)
ING. SAÚL BARTOLOMÉ CEA SERVELLÓN
(Docente Asesor Externo)**

San Salvador, octubre de 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA
(Q.D.D.G.)

ING. SAÚL BARTOLOMÉ CEA SERVELLÓN
(Docente Asesor Externo)

AGRADECMIENTOS

Damos gracias principalmente a Dios todopoderoso, porque él ha hecho posible que este trabajo de Graduación llegue a su fin exitosamente, además porque nos ha protegido durante la elaboración del mismo y ha permitido que exista una buena comunicación y entendimiento entre nosotros.

Queremos agradecer, además, a nuestros profesores y también coordinadores de esta investigación, **Ingra. Lesly E. Mendoza**, **Ing. José Miguel Landaverde Quijada** e **Ing. Saúl Bartolomé Cea Servellón**, por su comprensión, colaboración y por compartir sus conocimientos con nosotros, convirtiéndose así, en un apoyo fundamental por el cual ha sido posible la culminación de este trabajo.

Queremos agradecer a la **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR** por permitirnos ser parte de la familia de estudiantes y darnos la oportunidad de capacitarnos como profesionales de la ingeniería civil de nuestro país.

Damos las gracias a **LA CANTERA SA. DE CV.** Por el apoyo brindado, la donación de los agregados utilizados en esta investigación y el traslado de los mismos, especialmente al **Ing. Saúl Cea**, quien desinteresadamente apoyo a la realización de este trabajo.

Agradecemos al Ing. Ramón Evelio López, por su incondicional apoyo y colaboración.

Agradecimientos especiales al Técnico Carlos Morataya y David Mejía por su apoyo, paciencia y confianza en el área de laboratorio.

A nuestro amigo Luis Palacios, que nos dio su apoyo en todo momento de forma desinteresada y darnos consejos para el desarrollo de esta investigación, muchas gracias Luisin se te quiere. A nuestros amigos: Tatiana Alvarenga, Juan Nuila, Evelyn Hernández, Francisco Duarte y Ángel Flores. por apoyarnos en el desarrollo del trabajo de laboratorio.

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO por permitirme llegar a cumplir una de las metas más importante de mi vida.

EN MEMORIA DE MI PADRE BAUDILIO PALACIOS MEJIA que me brindó su apoyo y amor hasta el último día que diosito le permitió estar con nosotros y por su buen ejemplo de un hombre de fe.

A MI MADRE MELIDA NOHEMI RUIZ DE PALACIOS que con su gran amor me guio y me dio todo su amor y apoyo desde el momento que vine al mundo

EN MEMORIA DE MI ABUELA EUSEBIA MEJIA DE PALACIOS “la chevita” que me dio su amor de madre incondicionalmente nos cuidó a mí y mi hermana desde pequeños.

A MI ABUELO MANUEL DE JESUS PALACIOS “mito” por ser como un padre, por sus consejos, su apoyo, su amor. Te quiero abuelo.

A MI HERMANA DAMARIS PALACIOS “toistito” por brindarme su apoyo y cuidarme cuando más lo necesito, estar en buenas y malas y ser la mejor hermana, te quiero.

A MI AMIGO LUIS PALACIOS por haberme poyado, no solo en este trabajo, si no que en toda mi carrera universitaria y ser un gran compañero y amigo.

A RUTH IDALIA ROMERO HENRRIQUEZ, mi novia, mi mejor amiga y compañera de tesis que me ha apoyado en buenas y malas, que con mucha paciencia, amor y cariño hemos logrado esta etapa. Te amo mi sequita.

AL ING. MIGUEL LARA Y A LA FAMILIA INOCCENTI por darme la oportunidad de trabajar mientras realizaba mi trabajo de investigación y darme consejos como profesional de la ingeniería.

Douglas Fabricio Palacios Ruíz.

DEDICATORIA

A MI PADRE DIOS por su infinito amor, por ser quien dirige mi vida, mis decisiones y por permitirme culminar con éxito parte de mis metas.

A MI MADRE MARIA DOLORES HENRRIQUEZ, por tu gran amor, tu esfuerzo y desvelos para que yo logre mis metas, por estar siempre orando por mí y enseñarme lo importante de la vida, porque lo que soy como persona es gracias a ti, tus ejemplos de amor, fe y servicio, y el darlo todo por mí. Tú eres la razón principal de este esfuerzo. Te amo mami, para mi eres lo más valioso.

A MIS HERMANO JUAN JOSÉ Y DELMY ROXANA HENRRIQUEZ, por su apoyo incondicional, por preocuparse para que yo esté bien, por todo el amor que me tienen. A mi cuñado William Álvarez por todo el apoyo que me brindó en mis estudios para que sobresaliera. Los quiero mucho.

A MI ABUELA ROSELA PALACIOS por todo su amor, por consentirme, por preocuparse tanto por mí, por todas las veces que me esperó con su deliciosa comida. La quiero mucho.

A MIS TÍOS MARCELINO Y SILVIA MARISOL DE PALACIOS por su apoyo a lo largo de mis estudios y el cariño que me tienen como hija. A mis primos Joel, Kevin y Marcela Palacios, por el cariño y soportar las regañadas que les he dado, los quiero un montón.

A MI NOVIO DOUGLAS PALACIOS RUIZ por luchar conmigo desde el día que lo conocí, su apoyo incondicional, el amor tan grande que me ha demostrado tener. A su hermana Damaris Palacios Ruiz, su madre Nohemí Ruiz y su abuelo Manuel Palacios por el cariño y apoyo en este trayecto de mi vida. Se les quiere mucho.

A TODA MI FAMILIA por sus oraciones, su cariño y estar siempre conmigo cuando más lo he necesitado. Les amo.

A MIS AMIGOS JOVANY RIVAS Y TATIANA ALAVARENGA porque han estado orando por el logro de mis metas, por el apoyo que me han dado, sus consejos y todo el cariño que me tienen. Son los mejores amigos que Dios me ha regalado.

A LOS HERMANOS DE LA COMUNIDAD MISIONEROS DE JESÚS por todas sus oraciones, por creer en mí, por todo el apoyo y cariño que me han brindado.

DEDICATORIA

«Uno recuerda con aprecio a sus maestros brillantes, pero con gratitud a aquellos que tocaron nuestros sentimientos.»

Carl Gustav Jung.

Para el **ing. José Miguel Landaverde Quijada**, quien ha partido a la Gloria de Dios.

Quienes lo conocimos nos quedamos envueltos en una atmósfera llena de gratos recuerdos y vivencias compartidas. Ing. Landaverde, fue un profesional dedicado en su totalidad a educar, un docente muy admirado por aquellos que tuvimos el privilegio de tenerlo como profesor y amigo. Personalmente sentimos una inmensa gratitud por todo el apoyo que nos brindó, la paciencia que todos los días nos demostró y nunca se dio por vencido en este trabajo de graduación.

Estamos tan seguros que su alma descansa en paz y que tenemos la certeza que esa misma paz llegará también a todos nosotros. Por siempre le extrañaremos, con mucho cariño:

Douglas Fabricio Palacios Ruíz

Ruth Idalia Romero Henríquez.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCION	XXIV
CAPITULO I: ANTEPROYECTO	2
1.1 Introducción	2
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Planteamiento del problema	6
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo general	8
1.4.2 Objetivos específicos	8
1.5 Alcances	9
1.6 Limitaciones.....	11
1.7 Justificación	12
CAPITULO II: CONCRETO DE PESO NORMAL Y SUS COMPONENTES.....	15
2.1 Introducción	15
2.2 Generalidades del concreto.....	15
2.3 Antecedentes.....	18
2.4 Basalto vesicular.....	19
2.4.1 Generalidades.....	19
2.4.2 Formación del basalto vesicular	20
2.4.3 Antecedentes geograficos y geologicos de la cantera San diego La Libertad.....	23
2.5 Componentes del concreto de peso normal	25
2.5.1 Cemento.....	25

2.5.2	Agregados	26
2.5.3	Agua	29
2.6	Propiedades del concreto de peso normal en estado fresco	29
2.7	Concreto de peso normal en estado endurecido	32
CAPITULO III: METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		35
3.1	Introducción	35
3.2	Generalidades	36
3.3	Metodología del trabajo experimental en laboratorio.....	37
3.3.1	Parámetros fijos y variables	37
3.3.1.1	Parámetros fijos	37
3.3.1.2	Parámetros variables	40
3.3.2	Caracterización de los componentes de la mezcla	41
3.3.3	Diseño de las mezclas y reproducción de mezclas con basalto vesicular.....	43
3.3.3.1	Etapas No 1: Diseño de mezcla de referencia.....	44
3.3.3.2	Etapas No 2: Elaboración de mezclas combinando agregado normal con vesicular	45
3.4	Propiedades a estudiar a las mezclas	46
3.5	Identificación y cantidad de especímenes a elaborar por mezcla.	47
CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO Y DISEÑOS DE MEZCLAS		52
4.1	Introducción	52
4.2	Caracterización de los materiales.....	53
4.2.1	Agregado grueso.....	53

4.2.1.1	Granulometría	53
4.2.1.2	Gravedad específica y absorción	56
4.2.1.3	Densidad Bulk y contenido de vacíos	59
4.2.2	Agregado fino	61
4.2.2.1	Granulometría	61
4.2.2.2	Gravedad específica y absorción	64
4.2.2.3	Impurezas orgánicas	65
4.3	Etapa I: diseño de mezcla de referencia.....	66
4.3.1	Diseño teórico de las mezclas preliminares	67
4.3.2	Resultados de los ensayos en mezclas preliminares	77
4.4	Etapa II: Elaboración de Mezclas combinando agregado normal con vesicular	84
CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPETACIÓN DE RESULTADOS DE MEZCLAS DEFINITIVAS.....		96
5.1	Introducción	96
5.2	Análisis del comportamiento del concreto en estado fresco	96
5.2.1	Revenimiento.	97
5.2.2	Temperatura del concreto en estado fresco	100
5.2.3	Peso volumétrico del concreto fresco y contenido de aire	105
5.3	Análisis del comportamiento del concreto en estado endurecido	110
5.3.1	Peso volumétrico del concreto endurecido.....	117
5.3.2	Resistencia a la compresión del concreto.....	125
5.3.3	Análisis de Resultados del concreto en estado fresco y endurecido	143

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	146
6.1 Conclusiones.....	146
6.1.1 Conclusiones específicas:	146
6.1.1.1 Concreto en estado fresco	146
6.1.1.2 Concreto en estado endurecido	147
6.1.2 Conclusiones generales:.....	148
6.2 Recomendaciones.....	149
6.3 Referencias Bibliográficas	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No 2.1. Investigaciones destinadas a determinar la influencia de diferentes agregados en las propiedades del concreto.	18
Tabla No 3.1. Ensayos a realizar a los agregados gruesos: Basalto “normal” y “vesicular”	42
Tabla No 3.2. Ensayos a realizar al agregado fino para concreto de peso normal	43
Tabla No 4.1. Tamaños estándar de agregado grueso.....	53
Tabla No 4.2. Resultados de ensayos granulométricos y grado de cumplimiento con límites granulométricos de agregado grueso de tipo basalto normal	54
Tabla No 4.3. Comparación con los límites granulométricos y el porcentaje que pasa para cada ensayo del agregado grueso de tipo basalto vesicular.....	55
Tabla No 4.4. Resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción del agregado grueso de tipo basalto normal.....	57
Tabla No 4.5. Resultados de ensayos de gravedad específica y absorción del agregado grueso de tipo basalto vesicular.	57
Tabla No 4.6. Resultados de los ensayos de Densidad de Bulk suelta y varillada y contenido de vacíos para agregado grueso de tipo basalto normal	59
Tabla No 4.7. Resultados de los ensayos de Densidad de Bulk suelta y varillada y contenido de vacíos para agregado grueso de tipo basalto vesicular	60
Tabla No 4.8. Límites granulométricos para agregado fino	62
Tabla No 4.9. Resultados del Análisis por tamizado para agregado fino correspondiente al ensayo No 1 y No 2	62
Tabla No 4.10. Comparación con los límites granulométricos y el porcentaje que acumulado que pasa para cada ensayo del agregado fino.....	63

Tabla No 4.11. Resultados de los ensayos de absorción y gravedad específica de agregado fino	64
Tabla No 4.12. Parámetros de diseño para mezclas preliminares.....	67
Tabla No 4.13. Agua de Mezclado y cantidad de aire atrapado	68
Tabla No 4.14. Resistencia de diseño requerida cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar.....	69
Tabla No 4.15. Dependencia entre la relación agua / cemento y la resistencia a la compresión del concreto.	70
Tabla No 4.16. Volumen de agregado grueso por volumen volumétrico de concreto	71
Tabla No 4.17. Cantidad de materiales para 1m ³ para la primera mezcla preliminar	73
Tabla No 4.18. Cantidad de materiales para 1m ³ para la segunda mezcla preliminar	73
Tabla No 4.19. Cantidad de materiales para 1m ³ para la tercera mezcla preliminar	73
Tabla No 4.20. Peso húmedo del agregado grueso y fino de las tres mezclas preliminares	74
Tabla No 4.21. Ajuste por humedad y absorción	75
Tabla No 4.22. Mezcla corregida para 1m ³ de concreto correspondiente a cada mezcla preliminar	75
Tabla No 4.23. Materiales reducidos a la mezcla de laboratorio.....	77
Tabla No 4.24. Resultados de los ensayos realizados al concreto fresco para cada mezcla preliminar	78
Tabla No 4.25. Comparación del grado de cumplimiento de cada una de las mezclas preliminares en relación al valor de trabajabilidad obtenido	78

Tabla No 4.26. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en mezclas preliminares	80
Tabla No 4.27. Análisis ante los resultados de los ensayos realizados al concreto en estado fresco y endurecido de las mezclas preliminares.....	83
Tabla No 4.28. Cantidad de materiales para 1m ³ para la mezcla de referencia	85
Tabla No 4.29. Ajuste por humedad y absorción (mezcla de referencia).....	86
Tabla No 4.30. Corrección de agua de mezclado (mezcla de referencia)	86
Tabla No 4.31. Materiales corregidos para 1m ³ de concreto y reducidos para la mezcla de laboratorio, correspondiente a la mezcla A (mezcla de referencia).	86
Tabla No 4.32. Cantidad de materiales para 1m ³ para la mezcla B.....	87
Tabla No 4.33. Ajuste por humedad y absorción (mezcla B)	87
Tabla No 4.34. Corrección de agua de mezclado (mezcla B).....	88
Tabla No 4.35. Materiales corregidos para 1m ³ de concreto y reducidos para la mezcla de laboratorio, correspondiente a la mezcla B.....	88
Tabla No 4.36. Cantidad de materiales para 1m ³ para la mezcla C	89
Tabla No 4.37. Ajuste por humedad y absorción (mezcla C).....	89
Tabla No 4.38. Corrección de agua de mezclado (mezcla C).....	90
Tabla No 4.39. Materiales corregidos para 1m ³ de concreto y reducidos para la mezcla de laboratorio, correspondiente a la mezcla C	90
Tabla No 4.40. Cantidad de materiales para 1m ³ para la mezcla D	91
Tabla No 4.41. Ajuste por humedad y absorción (mezcla D).....	91
Tabla No 4.42. Corrección de agua de mezclado (mezcla D).....	92
Tabla No 4.43. Materiales corregidos para 1m ³ de concreto y reducidos para la mezcla de laboratorio, correspondiente a la mezcla D.	92
Tabla No 4.44. Cantidad de materiales para 1m ³ para la mezcla E.....	93

Tabla No 4.45. Ajuste por humedad y absorción (mezcla E)	93
Tabla No 4.46. Corrección de agua de mezclado (mezcla E).....	94
Tabla No 4.47. Materiales corregidos para 1m ³ de concreto y reducidos para la mezcla de laboratorio, correspondiente a la mezcla E.....	94
Tabla No 5.1. Resultados de los ensayos de revenimiento realizados a cada mezcla	97
Tabla No 5.2. Análisis de resultado de ensayos de trabajabilidad del concreto en estudio	99
Tabla No 5.3. Resultados de los ensayos de temperatura realizados a cada mezcla	100
Tabla No 5.4. Análisis de resultado de ensayos de temperatura del concreto en estudio	104
Tabla No 5.5. Resultados de los ensayos de peso volumétrico realizados al concreto fresco por mezcla.....	105
Tabla No 5.6. Análisis de resultado de ensayos de peso volumétrico del concreto en estudio	106
Tabla No 5.7. Resultados de los ensayos de Contenido de Aire (gravimétrico)	108
Tabla No 5.8. Análisis de resultado del contenido de aire del concreto en estudio	109
Tabla No 5.9. Resultados de los ensayos de peso volumétrico endurecido y resistencia a la compresión de la mezcla “A”	112
Tabla No 5.10. Resultados de los ensayos de peso volumétrico endurecido y resistencia a la compresión para la mezcla “B”.....	113
Tabla No 5.11. Resultados de los ensayos de peso volumétrico y resistencia a la compresión para la mezcla “C”	114

Tabla No 5.12. Resultados de los ensayos de peso volumétrico y resistencia a la compresión realizados a la mezcla “D”	115
Tabla No 5.13. Resultados de los ensayos de peso volumétrico y resistencia a la compresión realizados a la mezcla “E”	116
Tabla No 5.14. Cálculo de la media aritmética de la población de resultados de peso volumétrico del concreto endurecido, para el análisis de resultados	117
Tabla No 5.15. Análisis de resultado del peso volumétrico del concreto en estudio endurecido	123
Tabla No 5.16. Cálculo de la media aritmética de la población de resultados de resistencia a la compresión del concreto, para el análisis de resultados	126
Tabla No 5.17. Resultados de resistencia a la compresión de la mezcla “A” a las edades de 7 y 28 días.....	132
Tabla No 5.18. Resultados de resistencia a la compresión de la mezcla “B, C, D y E” a las edades de 7, 28 y más días	134
Tabla No 5.19. Análisis de resultado de ensayos de resistencia a la compresión del concreto en estudio	140
Tabla No 5.20. Resumen del análisis de resultados de las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No 2.1. Componentes del concreto.	16
Figura No 2.2. Variación en las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto	17
Figura No 2.3. Clasificación de las rocas según su origen.	20
Figura No 2.4. Formación de las rocas ígneas.	21
Figura No 2.5. Ubicación geográfica de la cantera San Diego.	23
Figura No 2.6. Esquema estratigráfico correspondiente a la cantera San Diego, pertenece a la formación del bálsamo	24
Figura No 2.7. Tipos de basaltos: (A) Basalto normal, (B) Basalto vesicular....	29
Figura No 2.8. Propiedades principales del concreto en estado fresco	31
Figura No 3.1. Nomenclatura para la identificación de cilindros en mezclas preliminares	48
Figura No 3.2. Ejemplo de identificación de cilindros.....	49
Figura No 3.3. Nomenclatura para las cinco mezclas de la etapa II de laboratorio	49
Figura No 3.4. Ejemplo de identificación de cilindros.....	50
Figura No 4.1. Curvas Granulométricas del agregado grueso de tipo basalto normal.....	54
Figura No 4.2. Curvas Granulométricas del agregado grueso de tipo basalto vesicular.....	55
Figura No 4.3. Curvas Granulométricas del agregado fino	63
Figura No 4.4. Impurezas orgánicas en agregado fino ASTM C40.....	65
Figura No 4.5. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 7 días para mezclas preliminares	81

Figura No 4.6. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días para mezclas preliminares	82
Figura No 5.1. Comportamiento de los resultados de ensayos de Revenimientos por mezcla elaborada	98
Figura No 5.2. Comportamiento de los resultados de los ensayos de Temperaturas del concreto fresco de cada mezcla elaborada	101
Figura No 5.3. Gráfico de Variación de la temperatura, para la mezcla A vs la Mezcla B	102
Figura No 5.4. Gráfico de Variación de la temperatura, para la mezcla A vs la Mezcla C.....	102
Figura No 5.5. Gráfico de Variación de la temperatura, para la mezcla A vs la mezcla D.....	103
Figura No 5.6. Gráfico de Variación de la temperatura, para la mezcla A vs la mezcla E	103
Figura No 5.7. Comportamiento de los resultados del peso volumétrico del concreto fresco.	106
Figura No 5.8. Carta de control de calidad de resultados del peso volumétrico del concreto endurecido, mezcla A.....	118
Figura No 5.9. Carta de control de calidad de resultados del peso volumétrico del concreto endurecido, mezcla B.....	119
Figura No 5.10. Carta de control de calidad de resultados del peso volumétrico del concreto endurecido, mezcla C.....	120
Figura No 5.11. Carta de control de calidad de resultados del peso volumétrico del concreto endurecido, mezcla D.....	121
Figura No 5.12. Carta de control de calidad de resultados del peso volumétrico del concreto endurecido, mezcla E.....	122

Figura No 5.13. Comportamiento de los resultados del peso volumétrico promedios del concreto endurecido.....	124
Figura No 5.14. Carta de control de calidad de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, mezcla A.	127
Figura No 5.15. Carta de control de calidad de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, mezcla B.	128
Figura No 5.16. Carta de control de calidad de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 279 días, mezcla C.	129
Figura No 5.17. Carta de control de calidad de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 275 días, mezcla D.	130
Figura No 5.18. Carta de control de calidad de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 268 días, mezcla E.	131
Figura No 5.19. Curvas de tendencia de resistencia a la compresión, para la mezcla A.....	133
Figura No 5.20. Curvas de tendencia de resistencia del concreto, para las mezclas A y B.	135
Figura No 5.21. Curvas de tendencia de resistencia del concreto, para las mezclas A y C.....	136
Figura No 5.22. Curvas de tendencia de resistencia del concreto, para las mezclas A y D.....	137
Figura No 5.23. Curvas de tendencia de resistencia del concreto, para las mezclas A y E.	138
Figura No 5.24. Resistencia a la compresión del concreto endurecido a la edad de 28 días.....	142

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene la finalidad de “EVALUAR DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, AL COMBINAR AGREGADOS GRUESOS: BASALTO NORMAL CON BASALTO VESICULAR. Para describir todo lo relacionado con esta investigación, se divide en 6 etapas, detalladas a continuación: En la primera se definen todos aquellos antecedentes que están relacionados con nuestro tema de estudio; además, se plantean los objetivos, alcances, limitaciones y justificación de esta investigación. En la segunda etapa, se describe de forma general el concreto de peso normal, además de la formación (desde el punto de vista geológico) y las características que presenta el basalto vesicular. En la tercera etapa se describe la metodología para el desarrollo de la investigación, definiendo los parámetros que deberán cumplir los materiales a utilizar, y se enlistan las propiedades a determinar a las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido. En la cuarta etapa se muestran los resultados de la caracterización de los componentes del concreto, el diseño de una mezcla preliminar que se selecciona, diseñando tres mezclas con diferentes relaciones a/c; se presenta el análisis de los resultados de las mezclas, para seleccionar aquella que cumpla con los criterios de diseño, para tomarla como de referencia. La quinta etapa comprende el análisis de resultados de cada propiedad evaluada en estado fresco y endurecido, comparando los resultados de las mezclas con adición de basalto vesicular con el comportamiento

que presenta un concreto sin el empleo de este tipo de basalto. Finalmente se realiza las respectivas conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I

CAPITULO I: ANTEPROYECTO

1.1 Introducción

El Salvador se encuentra dentro de una cordillera de volcanes, la cual se puede observar a través de su mapa geológico y toda la abundancia de materiales de origen volcánico en nuestro medio, donde muchos de ellos no son de uso común en la construcción. La presente investigación expone la factibilidad del uso del basalto vesicular como material de origen volcánico, para ser empleado como agregado grueso en el concreto, evaluando para esto, su desempeño en el concreto.

En el desarrollo de la investigación se ha recolectado información acerca de los principales conceptos teóricos y temas de investigación acerca del concreto, utilizando diferentes tipos de agregados, sirviendo como base para realizar este trabajo de graduación.

Se plantean los objetivos, los cuales son la base para el desarrollo de este estudio y la mención de alcances y limitaciones; detallamos la justificación, la cual fundamenta la verdadera importancia para tener una resolución al problema planteado en esta investigación.

1.2 Antecedentes

El basalto ha sido utilizado como materia prima para la elaboración del concreto, siendo ampliamente utilizado como agregado grueso, producto de la trituración de dicha roca. Esta roca debido a su proceso de formación, puede presentar en

algunas zonas del lugar donde se presenta, la característica de ser vesicular. Este agregado puede afectar o bien limitar su uso tanto por, la disminución de la resistencia como por otras propiedades de importancia del concreto, ya sea en su estado plástico o endurecido. En una mezcla normal de concreto, el porcentaje en volumen de los agregados (arena y grava) se encuentra en el rango de 60-75, por lo que, considerando su volumen en la mezcla se debe conocer la calidad que posee la grava, para que se dé un buen desempeño.

Algunas de las funciones que desempeñan los agregados, en la masa del concreto se destacan:

- Es un material de relleno, permitiendo mezclas económicas.
- Controlan los cambios volumétricos
- Aportan parte de la resistencia a la compresión del concreto.

El agregado grueso es generalmente un material triturado obtenido de diferentes fuentes seleccionadas y analizadas en laboratorios; deben poseer ciertas características particulares para su uso en el concreto; actualmente se requieren agregados que deben consistir en partículas duras y limpias, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento.

Sin embargo, como se mencionó antes, debido al origen de los basaltos, en ocasiones se pueden encontrar en las canteras basaltos de tipo vesicular, que presenta la característica de tener abundantes poros a causa de los gases que

trae el magma, y a la rapidez de su enfriamiento al llegar a la superficie de forma efusiva. Este material en las canteras no le dan un uso comercial dado las características que poseen y por la consideración de que el resultado en su comportamiento podría ser de baja calidad; sin embargo, se tienen antecedentes de investigaciones realizadas sobre el uso de agregados vesiculares, en la Universidad de Kansas (EEUU).

La investigación de la Universidad de Kansas “Measurement of the pore size distribution of limestone aggregates in concrete pavement cores: phase I “. Basó su estudio en evaluar el comportamiento de pavimentos de concreto, debido al daño por el hielo y deshielo que es una de las formas comunes de disminución de resistencia en Kansas. La fractura en ellos es una forma de daño del hielo y deshielo causada por los agregados con una pobre durabilidad al hielo y deshielo y se cree que los poros en los agregados menores al diámetro de 10 micras, contribuyen a esa pobre durabilidad. La metodología fue estudiar los agregados gruesos, cuyo origen geológico es la roca caliza, la que poseía diferentes grados de porosidad, Se usó la técnica del Microscopio electrónico de barrido, con lo que, se cuantificó la distribución de los poros en los agregados, Se diseñaron dos mezclas de concreto de diferentes rendimientos de campo, resultando para la primera: un área total menor y un número menor de poros por debajo del área de $1.0 \mu\text{m}^2$, pero un mayor porcentaje de poros pequeños. Para la segunda mezcla: tenían una mayor porosidad total y una mayor cantidad de poros pequeños por debajo de $1.5 \mu\text{m}^2$ de área.

Otra investigación que se puede mencionar es la realizada por la universidad nacional de San Agustín (PERU), "Concreto estructural liviano con escoria y ceniza volcánicas del distrito de Yura"; Basó su estudio en determinar si es factible emplear materiales de origen volcánico (escoria y ceniza volcánicas del distrito de Yura, material liviano) como agregados para concreto estructural liviano. En la investigación se analizaron las propiedades físicas y químicas de la escoria y ceniza volcánica y analizaron las propiedades físicas y mecánicas del concreto elaborado con dichos materiales. Durante la investigación mantuvieron constante la disposición de la granulometría y variando la cantidad de cemento para obtener diferentes niveles de resistencia mecánica.

En referencia al comportamiento del concreto, se determinó que las mezclas que poseían escoria presentaban las siguientes características:

- Contenido de aire: debido a la naturaleza porosa de la escoria volcánica resultó relativamente alto respecto al concreto con agregado normal.
- conductividad térmica: las mezclas con escoria poseían una mayor conductividad, respecto al concreto con agregado normal.
- Absorción y resistencia: En comparación al concreto normal, el concreto con escoria volcánica posee una mayor absorción, así mismo la relación de absorción y la resistencia a compresión es inversamente proporcional para ambos concretos. Para el concreto de escoria volcánica la edad en la que relativamente el concreto alcanza un máximo de resistencia mecánica no es

28 días, sino más. Concluyendo que la escoria es apta física y químicamente para la construcción de concreto estructural de la cual cumplen las resistencias mínimas de compresión sugeridas por el ACI-211.

Dada la demanda que posee el uso de los agregados en el concreto, y con el afán de usar mejor los recursos disponibles, se pretende investigar el comportamiento que tiene el empleo del agregado proveniente del basalto vesicular en las mezclas de concreto, con el fin de determinar su posible uso en la industria de la construcción.

1.3 Planteamiento del problema

El concreto es un material importante que el hombre ha descubierto para utilizarlo en las construcciones de obras civiles, con la finalidad de ofrecer mayor seguridad y durabilidad en las mismas. Este material es una mezcla de arena, grava, roca triturada, u otros agregados, unidos por medio de una pasta de cemento y agua. Dado el volumen que ocupan los agregados en una mezcla de concreto, son los materiales que mayor demanda tienen, el impacto que presentan ante los recursos naturales es importante; esta es la razón por la que se requiere realizar investigaciones de otros materiales, que pueden ser sustitutos de la materia prima basalto sano en la elaboración del concreto, por lo que esta investigación, se enfoca en determinar el comportamiento del basalto vesicular en el concreto de resistencia normal.

El Salvador por poseer una cordillera de volcanes lo convierte en una fuente de rocas ígneas, tales como: basalto, andesita, granito, riolita, dasitas, etc. que no todas poseen las características que se requieren para ser usados como fuentes de agregados para el concreto, como es el caso del basalto vesicular.

Se tienen en nuestro medio, canteras que poseen estos materiales vesiculares y a la fecha no se emplea en la elaboración de mezclas del concreto dada las características citadas. Este recurso es muy abundante y se encuentra subutilizado, relegado a ser usado en balastros para calles, en drenes, entre otros. Sus características físicas demuestran que las densidades que poseen pueden ser utilizadas para mezclas de concreto de peso normal, sin embargo, el hecho de poseer muchos poros, lo hace poco considerado para la elaboración de concreto.

A la fecha no existe ningún antecedente del uso del basalto vesicular, para la elaboración de mezclas de concreto en el país, por lo que con este trabajo se pretende realizar una investigación que permita demostrar el comportamiento del concreto a partir de la adición de agregado grueso vesicular en diferentes proporciones; y con los resultados obtenidos determinar si es factible su uso en la industria de la construcción.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido, al combinar agregados gruesos basalto normal con basalto vesicular.

1.4.2 Objetivos específicos

- Hacer una investigación teórica para conocer las propiedades físicas del basalto vesicular y los usos que ha tenido en la industria de la construcción.
- Determinar las propiedades del agregado grueso de tipo basalto vesicular y verificar si estos cumplen con las normas de calidad de agregados (ASTM C33, Especificación Estándar de agregados para concreto), comparando éstas con las del basalto normal para la elaboración de concreto.
- Diseñar mezclas de concreto, según el comité del ACI 211, en la cual se usarán mezclas con diferentes porcentajes de agregado tipo vesicular como sustitución parcial de agregado grueso sano, variando desde 0 hasta 100% de sustitución
- De las mezclas a elaborar se estudiarán las siguientes propiedades en estado fresco: revenimiento, temperatura, contenido de aire y peso volumétrico.
- De las mezclas a elaborar se estudiará la siguiente propiedad en estado endurecido: resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7 y 28 días.

- Analizar e interpretar los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido.
- Determinar la influencia que tiene la adición de basalto vesicular en las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido.

1.5 Alcances

Este trabajo de investigación es de carácter experimental, descriptivo y correlacional. Experimental ya que se caracterizará el concreto con el empleo de basalto de tipo vesicular como agregado grueso, recurso no empleado hasta la fecha. Descriptivo porque los resultados obtenidos se analizarán y explicarán. Finalmente es correlacional, porque el concreto obtenido con agregado de tipo basalto normal se contextualizará respecto al concreto obtenido de mezclas de agregados con el agrado grueso de tipo basalto vesicular.

- Se desarrollará en base a una mezcla de concreto de referencia, diseñada según la norma ACI 211, que contendrá 100% de grava basáltica sana, con una resistencia esperada a los 28 días de 210 Kg/cm². Se utilizará cemento ASTM C 1157, tipo GU y arena limpia.
- Se realizarán diferentes diseños de mezclas de concreto con variación en los porcentajes de basalto vesicular a utilizar.
 1. 100% de agregado grueso de tipo basalto
 2. Al menos dos valores intermedios sustituyendo parte del agregado grueso por grava de tipo vesicular.
 3. 100% de agregado grueso de tipo basalto vesicular

- Se verificará la influencia del uso del basalto vesicular en la elaboración de concreto en estado fresco y en estado endurecido en base a los siguientes ensayos:
 - Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico (ASTM C143),
 - Método de ensayo estándar para la medición de la temperatura del concreto fresco (ASTM C1064),
 - Método estándar para la densidad (peso volumétrico), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto basado en (ASTM C138).
 - Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto (ASTM C39).
- El número de especímenes cilíndricos de concreto que se elaborarán, para esta investigación en cada diseño de mezcla, será de al menos 20 pares; de los cuales, se ensayarán 6 pares a la edad de 7 días y 14 pares a la edad de 28 días.

1.6 Limitaciones

- A pesar de la variedad de tipos de cemento con los que contamos en el país, la investigación se realizara con un solo tipo de cemento (ASTM C1157, tipo GU).
- El basalto vesicular como agregado grueso en nuestra investigación será proveniente de un solo banco de materiales, por lo tanto, las propiedades y resultados obtenidos estarán sujetos solamente a dichos agregados.
- Se seleccionarán al menos dos combinaciones de agregado grueso tipo basalto vesicular y agregado grueso de tipo basalto normal, para la elaboración del concreto y analizar su comportamiento.
- Las mezclas a realizar en esta investigación se elaborarán con los materiales de uso frecuente en la elaboración del concreto: agregado grueso, agregado fino, cemento y agua; sin la adición de aditivo
- La investigación se limita a un solo grado de resistencia a la compresión, la que será de 210Kg/cm².
- Se determinará la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto en estado endurecido únicamente a las edades de 7 y 28 días.
- Dado que el tipo de agregado grueso basalto vesicular no se produce normalmente, se solicitará su trituración al encargado de la cantera que lo provea.

1.7 Justificación

El agregado en el concreto es de mucha importancia ya que lo constituye entre el 60% - 75% del volumen de éste, su influencia en las propiedades del concreto tiene un efecto importante no solo en su acabado si no que en su calidad final. En nuestro medio el agregado grueso es el resultante de la trituración en las canteras, de rocas tipo basalto; sin embargo, en algunas áreas de éstas, se pueden encontrar materiales que debido a su formación, pueden tener algunas diferencias desde el punto de vista geológico, como es el caso del basalto vesicular; que si bien posee las mismas características mineralógicas de los basaltos, este presenta una mayor cantidad de poros, producto de su formación desde el punto de vista geológico; el cual es seleccionado y desechado como materia para la producción de balastro; sin embargo, existe la hipótesis de que este recurso, podría ser utilizado como agregado grueso, para la elaboración de mezclas de concreto, y aplicarlo en elementos que no requieran ser sometidos a grandes esfuerzo, lo que proporciona la pauta para iniciar, investigaciones sobre la factibilidad de utilizar este tipo de material en la fabricación de concreto liviano. Resolver la hipótesis implica plantear varias líneas de investigación, las que podrían comenzar estudiando, la incidencia que tendría su empleo en un 100%, o utilizándolo combinado con agregado grueso normal, y con ello evaluar como es el comportamiento del concreto en estado fresco como endurecido, a partir de los resultados, poder determinar las ventajas y desventajas de su uso.

Lo anterior ha llevado a la creación de la siguiente investigación: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.” Donde se pretende evaluar, como es el efecto de utilizar este material en la fabricación de concreto, de tal manera de obtener evidencia de su comportamiento, y con ello evaluar la factibilidad de su uso.

CAPÍTULO II

CAPITULO II: CONCRETO DE PESO NORMAL Y SUS COMPONENTES

2.1 Introducción

En el presente capítulo se hace una descripción general del concreto de peso normal y sus componentes, resaltando la importancia de investigar el uso de recursos disponibles para la elaboración de concreto en el área de la construcción. Y debido a que el basalto tipo vesicular es un agregado disponible para la elaboración de concreto, presentamos una descripción general de su formación geológica en la zona donde dicho agregado se encuentra disponible.

En este capítulo, además, se describe cada uno de los componentes que conforman el concreto, ya que la calidad de éste tiene dependencia de cada uno de ellos, por lo que se describe su función en el concreto y requisitos que deben de cumplir.

Además, para determinar la calidad del concreto se le estudiarán ciertas propiedades en estado fresco y endurecido; en este capítulo se presentan las propiedades del concreto que se tomarán en cuenta para cumplir los objetivos establecidos en el capítulo anterior.

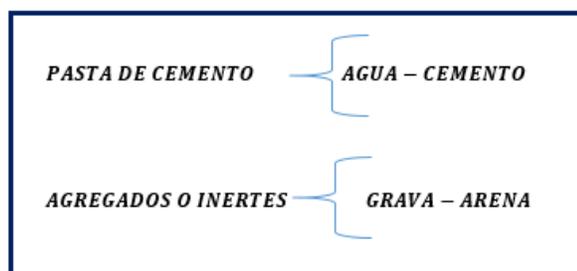
2.2 Generalidades del concreto

El concreto básicamente se produce a partir de un diseño de mezcla de dos componentes: agregados y pasta. Ver figura No 2.1

La pasta, compuesta de cemento Portland y agua la cual une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa volumétrica con el grado

requerido de manejabilidad, que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica, hasta que al cabo de algunas horas se torna rígido y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido semejante a una roca, hasta adquirir las propiedades de resistencia, durabilidad y apariencias adecuadas.

Figura No 2.1. Componentes del concreto.

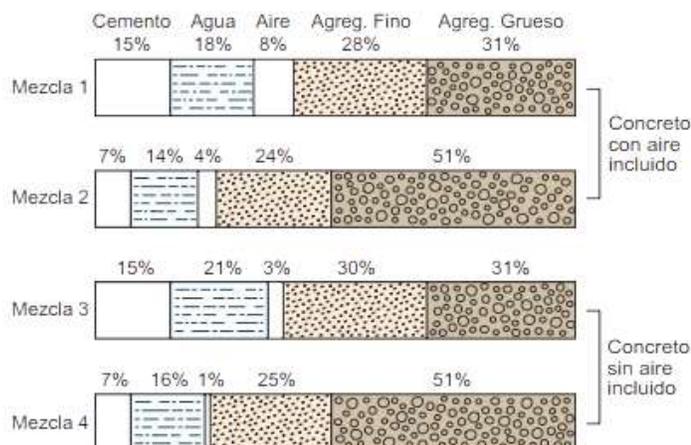


Fuente: Autores

La pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación). Algunas veces se añaden ciertas sustancias llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto, además se pueden introducir de manera simultánea otro participante, representado por el aire.

Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40% del volumen total del agregado. Siendo esta la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de éste. En la figura No 2.2 se puede observar que el volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua entre el 14 y el 21%. El contenido de aire en concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Figura No 2.2. Variación en las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto



Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas de agregados finos.

Fuente: Lesly E. Mendoza Mejía, TECNOLOGIA DEL CONCRETO CAPITULO No I, GENERALIDADES DEL CONCRETO

Un proporcionamiento correcto al combinar la pasta y agregados para satisfacer los requisitos de una estructura en particular o de una serie de estructuras a un costo mínimo debería producir concreto con las siguientes características como mínimo:

- Trabajabilidad adecuada para un adecuado mezclado, transporte, colocación, compactación y acabado.
- Adecuada resistencia mecánica y resistencia a la degradación.

El concreto es el material de construcción de mayor uso; por lo que posee una gran demanda cada uno de sus componentes, uno de ellos es el basalto vesicular que para esta investigación se quiere determinar su influencia en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

2.3 Antecedentes

El afán de usar mejor los recursos disponibles, estudiarlos, analizarlos para su uso en la elaboración del concreto, proporciona una variedad de posibles investigaciones en relación a la influencia que poseen estos recursos en las propiedades del concreto, como es el caso del uso del agregado grueso proveniente del basalto tipo vesicular. A continuación, se presentan dos investigaciones que determinaron la influencia producida por diferentes tipos de agregados en las propiedades del concreto. Mas, sin embargo, solo servirán de referencia, ya que debido a las características de los materiales y a su origen geológico, presentan marcadas diferencias con el material que se empleará en esta investigación.

En la tabla No 2.1 se enlistan las investigaciones encontradas con una breve descripción de su metodología.

Tabla No 2.1. Investigaciones destinadas a determinar la influencia de diferentes agregados en las propiedades del concreto.

Investigación	Descripción
Trabajo de graduación: "CONCRETO ESTRUCTURAL LIVIANO CON ESCORIA Y CENIZA VOLCÁNICAS DEL DISTRITO DE YURA" por Alberto Mijaíl Tupa Ortiz. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de San Agustín, Perú (2018).	Emplearon escoria y ceniza volcánica como agregados para la elaboración de concreto estructural liviano; analizando las propiedades físicas y químicas de estos agregados, así también analizaron las propiedades físicas y mecánicas del concreto elaborado con estos agregados y así contextualizarlo respecto al concreto normal; el diseño de las mezclas se basó en el método ACI 211.2.

Reporte: "MEDIDA DE LA DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE POROS DE AGREGADO CALIZO EN NUCLEOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO: FASE I" por Kyle A. Riding, Ph.D., P.E., Asad Esmaily, Ph.D., P.E., Mohammadreza Mirzahosseini. Universidad de Kansas, abril 2012.

Retoman una metodología para preparar los agregados gruesos de tipo calizo tomados de núcleos de concreto con diferentes rendimientos de campo, para la examinación mediante escaneo microscopio electrónico. Ya que se cree que los poros en los agregados menores al diámetro de 10micra, contribuye a una pobre durabilidad en pavimentos de concreto debido al daño por hielo y deshielo en Kansas. Por lo que desarrollaron un software para cuantificar la distribución de poros en este tipo de agregado.

Fuente: Autores.

2.4 Basalto vesicular

Para el presente trabajo de investigación se usará como parte del agregado grueso, agregado de tipo vesicular, es por esto que se realizará una reseña de cómo es su formación, para posteriormente describir la geología, y las características que presenta el agregado a utilizar.

2.4.1 Generalidades

Las rocas son el material más común y abundante de la Tierra. Estas constan de cristales o granos más pequeños denominados minerales. Los minerales son compuestos químicos o en algunas ocasiones elementos únicos, cada uno de ellos con su propia composición y sus propiedades físicas.

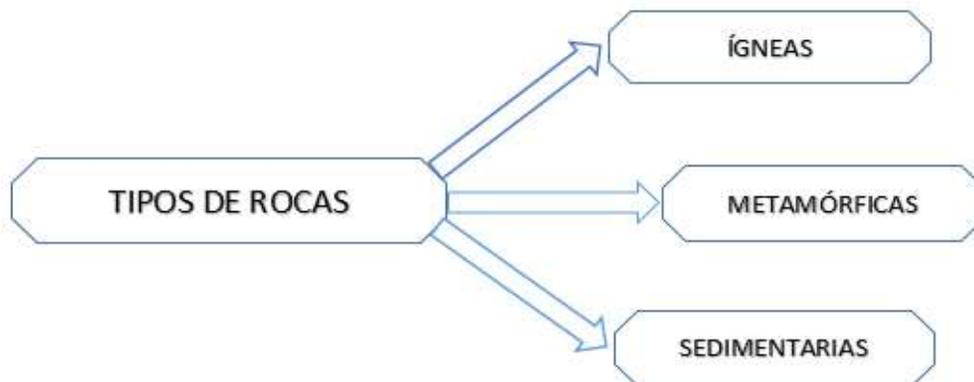
La naturaleza y el aspecto de una roca están fuertemente influidos por los minerales que la componen. Además, la textura de una roca, es decir, el tamaño,

la forma o la disposición de los minerales que la constituyen, también tiene un efecto significativo en su aspecto. La composición mineral y la textura de una roca, a su vez, son el reflejo de los procesos geológicos que la crearon.

2.4.2 Formación del basalto vesicular

La clasificación de las rocas se establece a partir de su composición mineral y textura, a estos se les une las características genéticas, composición química, forma y estructura del yacimiento. Las rocas se dividen en tres grandes grupos según su origen: ígneas, sedimentarias y metamórficas, ver en la figura No 2.3.

Figura No 2.3. Clasificación de las rocas según su origen.



Fuente: autores.

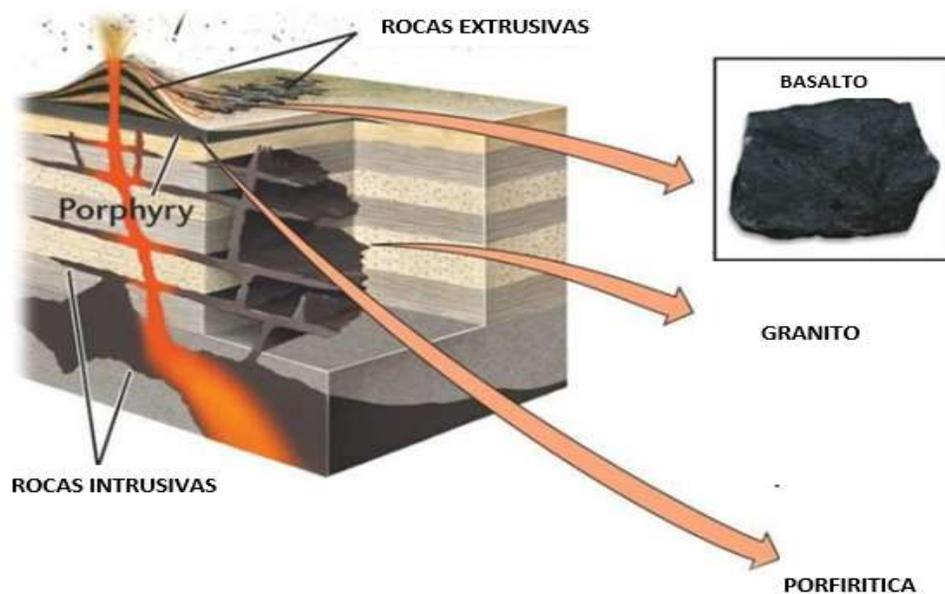
En este trabajo de investigación solamente nos enfocaremos en el conocimiento de las rocas ígneas.

Las **rocas ígneas** se forman cuando la roca fundida, llamada magma, se enfría y se solidifica. El magma es roca fundida que se puede formar a varios niveles de profundidad en el interior de la corteza de la Tierra y el manto superior. A medida que se enfría el magma, se van formando y creciendo los cristales de

varios minerales. Cuando el magma permanece en el interior profundo de la corteza, se enfría lentamente durante miles de años. Esta pérdida gradual de calor permite el desarrollo de cristales relativamente grandes antes de que toda la masa se solidifique por completo.

A veces el magma se abre paso hacia la superficie de la tierra, como durante una erupción volcánica, dado que se enfría con rapidez en un ambiente de superficie, la roca fundida se solidifica muy deprisa y no hay tiempo suficiente para que crezcan grandes cristales. Antes bien, se produce la formación simultánea de muchos cristales pequeños.

Figura No 2.4. Formación de las rocas ígneas.



Fuente: adaptación propia, tomada del manual de geología capítulo 7. Rocas ígneas universidad de Colombia sede Mazinales. <http://roca-teca.com/INTRUSIVAS.html>

Las rocas ígneas que se forman en la superficie terrestre se denominan volcánicas y suelen ser de grano fino. Un ejemplo abundante e importante es **el**

basalto, (ver figura No 2.4), que es comúnmente usado luego de procesarlo como agregado para elaboración de concreto en la construcción.

En una roca ígnea, **la textura** se utiliza para describir el aspecto general de la roca en función del tamaño, forma y ordenamiento de sus cristales

La textura es una característica importante porque revela datos sobre el ambiente en el que se formó la roca.

Las rocas ígneas, que se forman en la superficie (**el basalto**) donde el enfriamiento es relativamente rápido, poseen una estructura de grano muy fino denominada **afaníticas**.

En muchas rocas afaníticas se pueden observar los huecos dejados por las burbujas de gas que escapan conforme se solidifica el magma. Esas aberturas esféricas o alargadas se denominan **vesículas**, y son más abundantes en la parte superior de las coladas de lava. Es en la zona superior de una colada de lava donde el enfriamiento se produce lo bastante deprisa, conservando así las aberturas producidas por las burbujas de gas en expansión.

En esta investigación se empleará el basalto vesicular como sustituto parcial de agregado grueso, el cual se ha encontrado presencia en la cantera San Diego; a continuación, se presenta una descripción de la geología de dicho lugar.

2.4.3 Antecedentes geograficos y geologicos de la cantera San diego La Libertad.

La cantera SAN DIEGO se encuentra ubicada en el Km 57.5 de la carretera Litoral, San Diego, departamento de La Libertad a 2Km al oriente del Puerto de La Libertad, (ver figura No 2.5). Con un volumen de banco para esta cantera de 15, 000,000m³.

Figura No 2.5. Ubicación geográfica de la cantera San Diego.

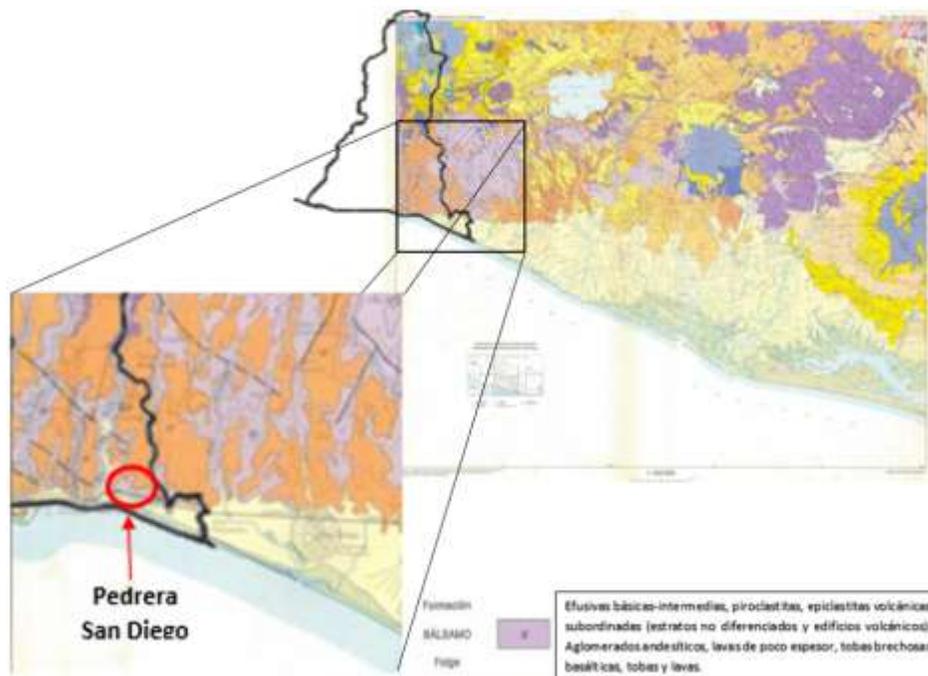


Fuente: Autores, tomada de google maps.

Según información proporcionada por la cantera, ésta se encuentra en una de las formaciones geológicas identificadas como el Bálsamo, perteneciente al periodo terciario, (ver figura No 2.6); teniendo al basalto como una de las unidades estratigráficas, a parte de la unidad estratigráfica del Lahar y de la Toba. Se ha observado basalto masivo duro a muy duro y sobre estos materiales se tienen basaltos vesiculares.

El área donde se ubica la cantera posee un volcanismo variable, siendo el Lahar la unidad litológica más antigua depositándose en un evento muy rápido, el basalto se derramó sobre esta superficie en un evento más prolongado. Este basalto está compuesto por varios derrames sucesivos que pueden presentar una composición y/o textura ligeramente diversa. Así, el porcentaje de gases también es variable, lo que determina el grado de vesicularidad de la lava. Otro factor que condiciona la presencia de vesículas es la profundidad. Las capas más superficiales van a liberar más gases por efecto de la descompresión. Esto no significa que no surjan capas vesiculares a niveles más profundos.

Figura No 2.6. Esquema estratigráfico correspondiente a la cantera San Diego, pertenece a la formación del bálsamo.



Fuente: adaptación propia, tomada de Pagina web del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

El basalto vesicular proveniente de la cantera San Diego ha sido el componente de interés en esta investigación para la elaboración de concreto; así mismo se encuentran otros componentes muy importantes que se describen a continuación.

2.5 Componentes del concreto de peso normal

El concreto es una mezcla compuesta por cemento portland, agregados grueso, agregados finos y agua, a continuación, se describen cada uno de ellos.

2.5.1 Cemento

El cemento presenta las propiedades de adherencia y cohesión que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí. Los cementos portland son cementos hidráulicos, cuando éstos se mezclan con el agua forman una pasta fluida; éstos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua.

Se fabrican diferentes tipos de cemento portland para satisfacer a varios requisitos físicos y químicos para aplicaciones específicas. Los cementos portland se producen de acuerdo con las especificaciones ASTM C 150 o ASTM C 1157.

Los cementos fabricados de acuerdo con los requisitos de la C-1157 se clasifican en seis tipos, éstos son: GU, HE, MS, HS, MH y LH. Estos cementos satisfacen los requisitos de ensayos de desempeño físico.

El cemento de uso general tipo GU es el cemento que se utilizará para este trabajo de investigación en la etapa de laboratorio, como elemento esencial para

la elaboración de cilindros de concreto utilizando basalto normal y vesicular como agregado grueso. Este cemento es adecuado para todas las aplicaciones que no requieran propiedades especiales, el uso de este cemento incluye pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes tuberías, productos de concreto prefabricado y otras aplicaciones.

2.5.2 Agregados

También llamados áridos, son materiales inertes que se combinan con la fase continua del concreto (pasta), su importancia radica en que ocupan cerca del 60% al 75% del volumen de una mezcla típica de concreto e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido. Para su selección hay que tener presente que sus propiedades difieren considerablemente de una a otra.

Los agregados para concreto deben de cumplir en ser partículas:

- Limpias
- Duras
- Resistentes
- Durables
- Libres de productos químicos absorbidos, revestimientos de arcilla u otros materiales que pueden afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento.

Los agregados para concretos de peso normal deben atender a los requisitos de la ASTM C 33, el cual provee requisitos para características de los agregados.

Las características de importancia en los agregados para concreto:

- Granulometría, afecta bien la trabajabilidad, porosidad, durabilidad del concreto. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y presentan una curva granulométrica suave, producirán los resultados más satisfactorios.
- Peso volumétrico y vacíos. La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla.
- Peso específico (densidad relativa). La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.6 y 2.9.
- Absorción y humedad superficial, influye en la relación agua – cemento. Con esto el agua total del concreto se puede controlar y las masas correctas de los materiales de la mezcla se pueden determinar.
- Resistencia al desgaste y al derrapamiento, frecuentemente se usa como un índice general de su calidad.
- Materiales perjudiciales y reactividad con los álcalis.

Función de los agregados:

Entre las funciones principales de los agregados, se tienen:

- Forman una trabazón con la pasta, de tal manera que se genera una superficie de adherencia que disminuye los cambios de volumen.
- Son un relleno relativamente económico para el material cementante, si se toma en cuenta que los agregados son más económicos que el cemento.
- Reducen los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, así como los cambios de humedad en la pasta de cemento.
- Aportan parte de la resistencia propia a la resistencia a la compresión del concreto

Clasificación:

Los agregados naturales para concreto se clasifican de acuerdo a su tamaño en:

- Agregados finos (arena), material que pasa la malla 4.75mm (malla No 4) y es retenido en la malla No 200.
- Agregados gruesos (grava) material retenido en la malla 4.75mm (malla No4).

Para el tipo de agregado grueso en este trabajo de investigación son de dos tipos; de los cuales, se hace un análisis a simple vista de su textura superficial, siendo una de éstas **vesicular**, ver figura No 2.7.

Figura No 2.7. Tipos de basaltos: (A) Basalto normal, (B) Basalto vesicular.



Fuente: Autores, Cantera San Diego La Libertad

2.5.3 Agua

El agua de mezcla tiene las siguientes funciones:

- Reaccionar con el cemento en el proceso de hidratación
- Actuar como agente dispersante del polvo de cemento
- Actuar como lubricante para incrementar la trabajabilidad de la mezcla.
- Formar burbujas para la inclusión de aire.

Es bastante común utilizar el agua potable para fabricar concreto sin ninguna verificación previa, suponiendo que toda agua que es potable también es apropiada para elaborar concreto.

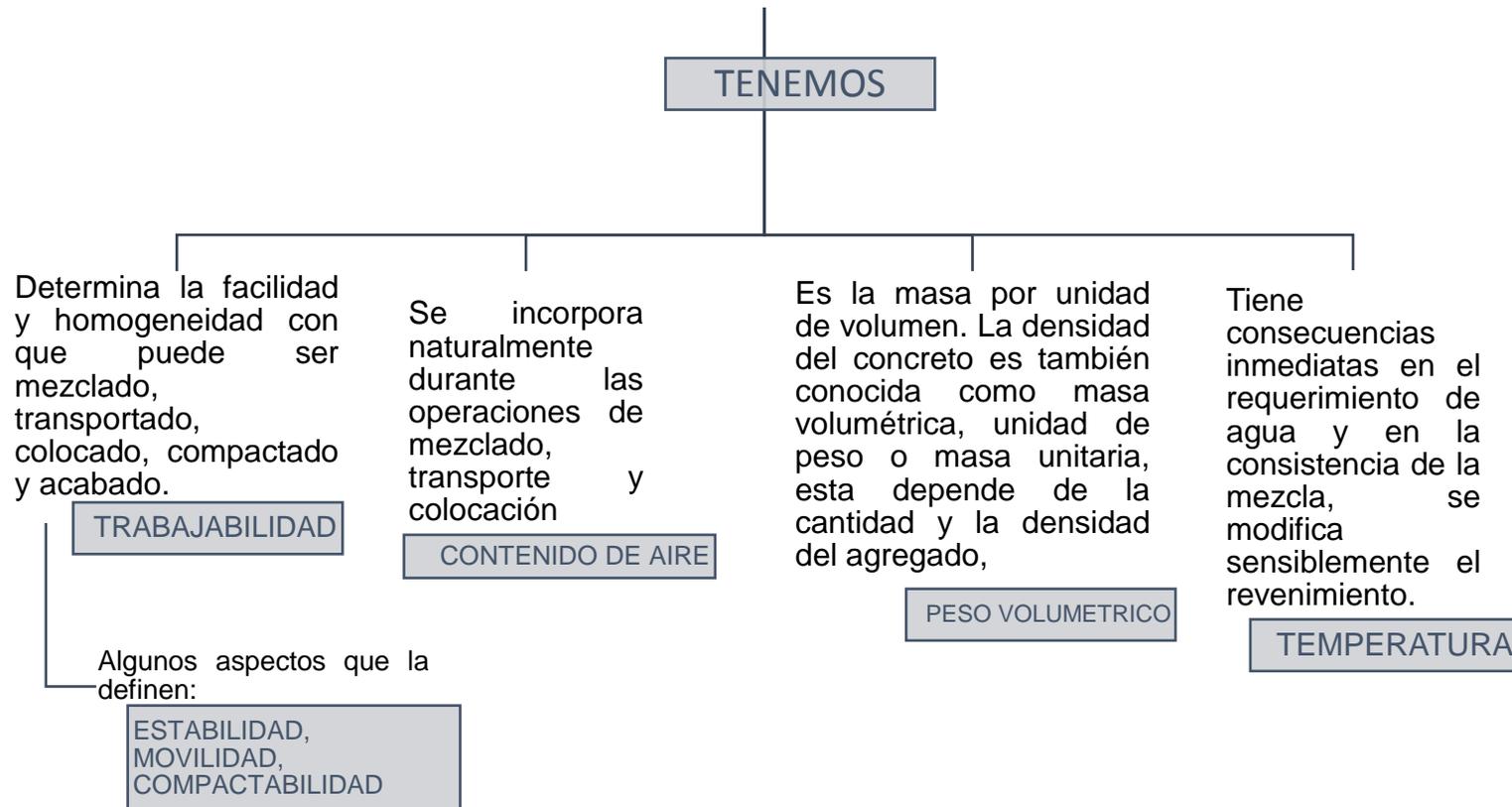
2.6 Propiedades del concreto de peso normal en estado fresco

Son muchas las propiedades del concreto en estado fresco que interesan y pueden ser críticas, no solo por su relación con el manejo del concreto fluido, sino porque pueden servir como señal anticipada de las propiedades que pueda tener el material al endurecer posteriormente. Las propiedades principales del concreto

en estado fresco y que serán objeto de estudio en este trabajo, se pueden observar en la figura No 2.8.

Figura No 2.8. Propiedades principales del concreto en estado fresco.

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO



2.7 Concreto de peso normal en estado endurecido

El concreto endurecido es aquel que tras el proceso de hidratación ha pasado del estado plástico al estado rígido. Éste después de que ha fraguado empieza a ganar resistencia y se endurece. Entre las propiedades del concreto endurecido tenemos:

- Resistencia mecánica
- Durabilidad
- Elasticidad
- Impermeabilidad
- Resistencia al desgaste
- Propiedades térmicas
- Propiedades acústicas

La resistencia mecánica del concreto endurecido es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos. La resistencia a la compresión es uno de sus comportamientos más destacados, ésta depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se expresa en términos de la relación agua/cemento. Algunos factores que afectan la resistencia en el concreto endurecido son:

- Relación agua/cemento
- Contenido y tipo de cemento

- Condiciones del curado
- Granulometría y resistencia del agregado
- Tamaño máximo nominal del agregado
- Curado del concreto

Una de las clasificaciones del concreto endurecido es por su peso, el concreto de peso normal contiene una resistencia a la compresión de 204 a 400 kg/cm².

CAPÍTULO III

CAPITULO III: METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Introducción

En la presente investigación, se busca conocer cómo influye la adición de agregado grueso de tipo basalto vesicular en las propiedades, tanto en estado fresco como endurecido del concreto de peso normal. Ante esto se realizará una investigación, a través de la elaboración de diferentes mezclas de concreto, empleando agregado vesicular en diferentes proporciones, evaluando ciertas propiedades del concreto en estado fresco y endurecido; y con esto determinar la influencia que tiene el empleo de este material en el concreto.

Se presenta la descripción de la metodología experimental que se llevará a cabo en laboratorio, la cual comprende la caracterización de los componentes de las mezclas de concreto a elaborar, así como la forma en que se diseñará y seleccionará la mezcla preliminar y definitiva; además, la reproducción de las mezclas donde se combinarán agregado normal y vesicular, lo cual se describe a continuación:

- Definición de parámetros requeridos para el diseño de mezclas.
- Caracterización de los componentes del concreto. Se determinarán las características específicas de los agregados, que servirán para el diseño de la mezcla preliminar.
- Diseño de mezclas de concreto y reproducción de mezclas con basalto vesicular:

- **Diseño de mezcla de referencia:** Esta consiste en realizar mezclas preliminares; con las cuales, se pretende seleccionar la mezcla de referencia que cumpla con los parámetros de trabajabilidad y resistencia, para llevar a cabo la elaboración de las diferentes mezclas con adición de basalto vesicular.
- **Elaboración de Mezclas combinando agregado normal con vesicular:** Partiendo de los parámetros de la mezcla de referencia se elaborarán cuatro mezclas con diferentes porcentajes de sustitución de agregado normal por vesicular.

El método de diseño de mezclas a aplicar en el presente capítulo, se basa en el comité ACI 211 “practica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo”.

3.2 Generalidades

Como se mencionó en el capítulo No 1, el alcance de esta investigación es determinar la influencia que tienen la utilización de agregado grueso de tipo basalto vesicular, en algunas propiedades en estado fresco y endurecido del concreto; por lo cual, se pretende realizar cinco mezclas diferentes a partir de un diseño que cumpla ciertos requisitos. Se tendrá como mezcla de referencia aquella que contendrá 100% de agregado grueso de tipo basalto normal, mientras que las cuatro restantes contendrán diferentes porcentajes de agregado grueso tipo vesicular como sustitución parcial de agregado grueso sano, variando desde 25% hasta 100% de sustitución; los componentes de cada mezcla de

concreto serán: cemento hidráulico tipo GU (“Especificación Estándar para Cementos Hidráulicos”, ASTM C-1157) como material aglutinante, agregado grueso de tamaño máximo nominal (Grava 3/4” normal y vesicular, que cumple los requisitos de ASTM C 33), agregado fino (Arena de río lavada, que cumple los requisitos de ASTM C 33), agua y se ha considerado no emplear aditivo en esta investigación.

3.3 Metodología del trabajo experimental en laboratorio

El alcance que se tiene para esta etapa es definir los procedimientos a seguir para la ejecución de la investigación, los cuales siguen un orden sistemático para el correcto desarrollo de cada uno de estos.

Definición de parámetros requeridos para el diseño de mezclas:

3.3.1 Parámetros fijos y variables

Para realizar un mejor análisis de resultados se detallan a continuación los parámetros fijos y variables que se utilizarán en el diseño de mezclas en nuestro trabajo de investigación.

3.3.1.1 Parámetros fijos

En este trabajo de graduación se precisará los diferentes parámetros fijos en los cuales se asumirá que no tendrán cambios que afecten la realización de las diferentes fases de la investigación.

Cemento

El cemento que se utilizará es de origen local, del tipo de cemento GU, elaborado con base en la norma “Especificación Estándar para Cementos Hidráulicos, ASTM C-1157, que es de uso general ya que es el adecuado para para todas las aplicaciones donde las propiedades especiales de los otros tipos no sean necesarias.

Agua

La norma ASTM C-1602 indica los requisitos de calidad del agua para la elaboración de concreto hidráulico, para esta investigación se utilizará agua potable, proveniente de la red pública de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados) que abastece al Laboratorio de Suelos y Materiales “Mario Ángel Guzmán Urbina” de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador (UES).

Agregado fino

El agregado fino que se utilizará en todas las mezclas de la presente investigación es arena natural lavada de río proporcionada por La Cantera S.A. de C.V. de San Diego, La Libertad.

Método de Proporcionamiento de las mezclas

Las proporciones de los componentes de la mezcla patrón se obtendrán mediante la metodología propuesta por el Comité ACI 211 “practica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo”.

Para el diseño de la mezcla se mantendrán fijo lo siguiente:

- Condiciones de exposición
- Contenido de aire
- Revenimiento
- Contenido de agua
- Relación a/c
- Resistencia a la compresión ($f'c$)

Resistencias a la compresión en estudio.

La resistencia a la compresión en estudio para la elaboración de las mezclas se fijará de acuerdo al rango de resistencias que corresponden a concretos de resistencia normal, esta será la siguiente: 210 kg/cm², la que servirá para el proporcionamiento y diseño de la mezcla referencia y para las combinaciones.

Revenimiento

Para el diseño de la mezcla de referencia, este parámetro se considera fijo, con valor de 4 pulgadas y una tolerancia de ± 1 pulgadas.

Relación agua/cemento

La elección de la relación agua-material cementante (ligante) se basa en los requisitos de resistencia a compresión y se considera constante entre cada mezcla.

3.3.1.2 Parámetros variables

Los parámetros variables son aquellos en los que esta investigación no tendrán control sobre ellos y que pueden variar significativamente ya sea por factores internos (que pueden generarse por la adición de basalto vesicular a las mezclas donde se utilice este) o externos (aspectos ambientales), dichos parámetros se detallan a continuación:

Temperatura del concreto

Durante la realización de cada una de las mezclas y por la adición de basalto vesicular este parámetro podría sufrir variaciones.

Contenido de humedad de los agregados:

Este parámetro podría variar por las condiciones de exposición, Sin embargo, se realizarán las respectivas correcciones para no alterar la relación a/c.

Contenido de aire:

Aunque este parámetro se mantiene fijo para el diseño, es posible que el contenido de aire pueda sufrir cambios debido a la influencia del basalto vesicular.

Peso volumétrico del concreto en estado fresco

Este parámetro se considera que podría sufrir cambios, debido a la adición de basalto de tipo vesicular, pues se espera que en aquellas mezclas que contengan basalto vesicular el peso volumétrico del concreto fresco puede disminuir.

Revenimiento

Aunque este parámetro se considera fijo en la etapa de diseño de la mezcla, se espera que en las mezclas donde se ha empleado basalto de tipo vesicular en diferentes proporciones, los resultados de los ensayos de revenimiento, podrían proporcionarnos diferencias con respecto al valor de diseño.

El agregado grueso:

Será proveniente de una sola fuente de producción, La cantidad a emplear en los diseños será el mismo, solo se modificará el porcentaje de agregado grueso sano versus vesicular, el que será variado para los cuatro tipos de mezclas (combinaciones) a desarrollar. Éste será de procedencia de La Cantera S.A. de C.V. de San Diego, La Libertad que tendrá un tamaño máximo nominal (TMN) de 3/4", de numero de tamaño 57.

3.3.2 Caracterización de los componentes de la mezcla

Todo diseño de concreto obedece a características específicas de trabajabilidad, y resistencia (cuando este no se diseña por durabilidad), por lo que es importante determinar las propiedades que sean necesarias para el diseño; además es requerido la caracterización de los componentes (agregados, cemento), determinando su graduación, gravedades específicas, absorciones, humedades, entre otras; a continuación, se mencionan las propiedades de los componentes a investigar:

Agregado grueso

En esta investigación el agregado grueso se presenta con dos variantes: Basalto “normal” y “vesicular”; para ambos materiales se estudiarán ciertas propiedades a través de ensayos de laboratorio descritos en la tabla No 3.1:

Tabla No 3.1. Ensayos a realizar a los agregados gruesos: Basalto “normal” y “vesicular”

Norma ASTM	Ensayo	
C-127	Método de ensayo estándar para densidad, gravedad específica y absorción de agregados gruesos	Absorción Gravedad específica
C-136	Método de ensayo estándar para análisis por tamiz de agregados gruesos y finos	Análisis granulométrico
C-29	Método de ensayo estándar para densidad Bulk y vacíos en los agregados	Peso volumétrico
C-566	Método de ensayo estándar para la determinación del contenido total evaporable en agregados mediante secado	Contenido de humedad

Fuente: Autores.

Agregado fino

La arena a utilizar será natural y se le realizarán los ensayos descritos en la tabla No 3.2:

Tabla No 3.2. Ensayos a realizar al agregado fino para concreto de peso normal.

Norma ASTM	Ensayo	
C-128	Método de Ensayo Normalizado para Determinar Densidad, Densidad Relativa y la Absorción de agregados Finos	Absorción Gravedad específica
C-136	Método de ensayo estándar para análisis por tamiz de agregados gruesos y finos	Análisis granulométrico
C -40	Método de ensayo estándar para la determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto	Impurezas orgánicas
C-566	Método de ensayo estándar para la determinación del contenido total evaporable en agregados mediante secado	Contenido de humedad

Fuente: Autores.

3.3.3 Diseño de las mezclas y reproducción de mezclas con basalto vesicular

Con las propiedades de los agregados determinadas en la etapa anterior se procederá al diseño de las mezclas preliminares, (estos diseños se realizarán utilizando agregado grueso de basalto normal), el diseño se basa en el procedimiento recomendado por el comité del ACI 211.1. Se diseñarán y se elaborarán tres mezclas preliminares, luego se seleccionará la mezcla preliminar, que cumpla con los requisitos establecidos de resistencia y trabajabilidad. Posteriormente a partir del diseño seleccionado, se realizarán sustituciones parciales de agregado grueso por basalto vesicular. Este trabajo se pretende realizar en dos etapas, las cuales se describen a continuación:

3.3.3.1 Etapa No 1: Diseño de mezcla de referencia.

Esta etapa se busca obtener una mezcla de referencia que servirá de base para la investigación. Se buscará una mezcla que cumpla con requisitos de resistencia a la compresión y trabajabilidad, solo utilizando basalto normal:

- Resistencia a la compresión ($f'c$) será de: 210 Kg/cm²,
- Se diseñarán tres mezclas preliminares con diferentes relaciones agua/cemento con el objetivo de seleccionar el valor de relación agua/cemento de cuya mezcla cumpla con los requisitos de resistencia a la compresión y revenimiento.

Para las muestras preliminares, se le medirá al concreto en estado fresco los siguientes parámetros:

- Trabajabilidad, la cual se medirá con el ensayo de revenimiento (ASTM C-143, Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto fresco) y se considerará un revenimiento de 4 pulgadas con una tolerancia de ± 1 pulgada.
- Peso volumétrico del concreto fresco (ASTM C 138, Método de ensayo estándar para la densidad (peso volumétrico), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto).
- Temperatura a las mezclas

Para el concreto en estado endurecido se estudiará:

- Para cada mezcla preliminar se ensayarán según la norma ASTM-C39 (Método de Ensayo Estándar para la determinación de la Resistencia a la

Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto) tres cilindros a las edades de 7 días y tres cilindros a 28 días

Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados de las mezclas preliminares se analizarán y se seleccionará el valor de relación agua/cemento de cuya mezcla preliminar haya cumplido con los requisitos de revenimiento y resistencia a la compresión a 28 días; cuyo valor se utilizará para la elaboración de las mezclas de la siguiente etapa.

3.3.3.2 Etapa No 2: Elaboración de mezclas combinando agregado normal con vesicular

Definida la mezcla de referencia, el valor de relación agua/cemento y su correspondiente proporcionamiento en la etapa No 1, se procederá de la siguiente forma:

- Se elaborarán cinco mezclas con las siguientes características:
 - Mezcla A (100% de basalto normal),
 - Mezcla B (75% de basalto normal y 25% vesicular),
 - Mezcla C (50% de basalto normal y 50% vesicular),
 - Mezcla D (25% de basalto normal y 75% vesicular), y
 - Mezcla E (100% de basalto vesicular),
- La mezcla A será la mezcla de referencia que servirá de comparación para evaluar el comportamiento de las restantes, ya que no tendrá sustitución de agregado grueso por basalto vesicular y siempre mantendrá constante sus demás componentes.

- Se elaborarán 20 pares para cada mezcla, ensayando a compresión 6 pares a 7 días y 14 pares a 28 días;
- Se ensayarán un total de 200 cilindros de concreto para las cinco mezclas
- Para cada combinación se harán correcciones de humedad y absorción para no alterar la relación a/c.

3.4 Propiedades a estudiar a las mezclas

En esta etapa se describen los ensayos que se realizarán para el concreto tanto en estado fresco como endurecido, los que servirán para determinar las propiedades requeridas en esta investigación, las que se describen a continuación:

Para cada una de las mezclas se le medirá al concreto en estado fresco los parámetros siguientes:

- Trabajabilidad, la cual se medirá con el ensayo de revenimiento (ASTM C-143). Este parámetro será medido 2 veces para cada mezcla que se elabore.
- Peso volumétrico del concreto en estado fresco, ASTM C-138 (Método de ensayo estándar para la densidad (peso volumétrico), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto). Este parámetro será medido 2 veces para cada mezcla que se elabore.
- Temperatura, ASTM C1064 (Método de ensayo estándar para la medición de la temperatura del concreto fresco). Este parámetro será medido 2 veces para cada mezcla que se elabore.

- Ensayo de contenido de aire, ASTM C-138 (Método de ensayo estándar para la densidad (peso volumétrico), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto). Este parámetro será medido 2 veces para cada mezcla que se elabore.

Para el concreto en estado endurecido se estudiará:

- Resistencia a la compresión en cilindros, ensayando los especímenes a edades de 7 y 28 días, ASTM C39 (Método de Ensayo Estándar para la determinación de la Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de concreto).

3.5 Identificación y cantidad de especímenes a elaborar por mezcla.

La resistencia a la compresión será medida en cilindros de 30cm de alto y 15cm de diámetro, la elaboración y el curado de los especímenes será según lo especificado por la norma C-192 “Práctica estándar para la elaboración y curado de especímenes de concreto elaborados en laboratorio”.

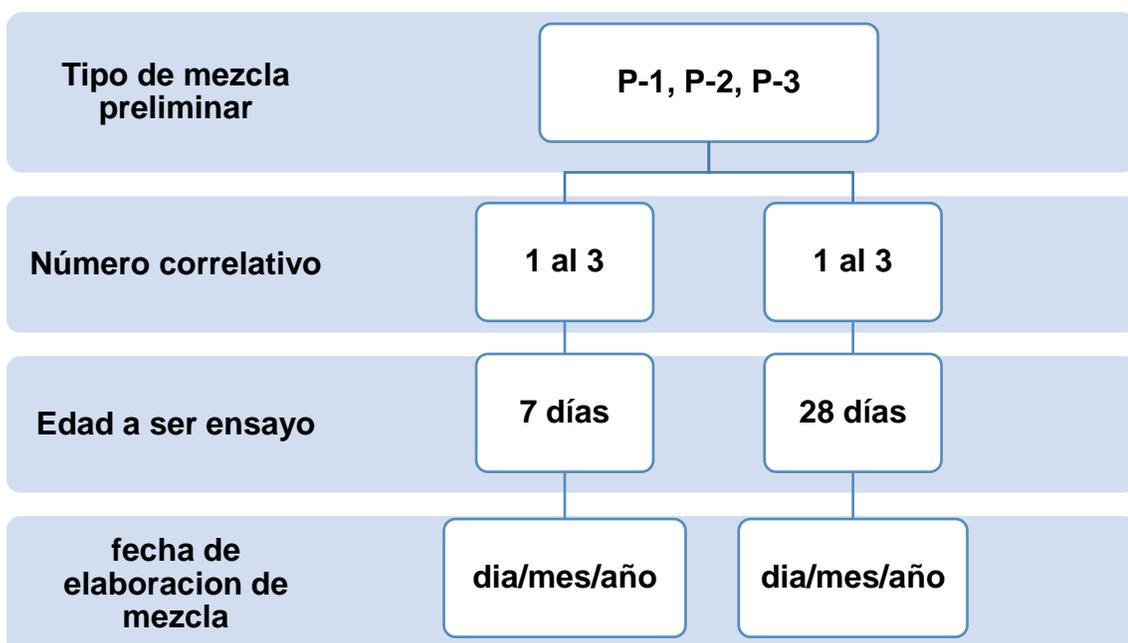
Identificación de los especímenes: La nomenclatura a utilizar para la identificación de los especímenes será la siguiente:

- Tendrán un código que corresponda a La mezcla a la que pertenece, (P1,2,3 para mezcla preliminar y A, B, C, D y E para definitivas)
- El número correlativo del espécimen,
- la edad a la que será ensayada y
- la fecha en que es elaborado el espécimen.

- A continuación, se explica la identificación que se les dará a estos especímenes por etapa a la que pertenece.
- **Identificación para las mezclas preliminares**

En la figura No 3.1 se muestra el cómo se identificarán los especímenes para las mezclas preliminares.

Figura No 3.1. Nomenclatura para la identificación de cilindros en mezclas preliminares.



Fuente: Autores

Un ejemplo de identificación de los cilindros de concreto para la etapa No 1 se muestra en la figura No 3.2.

Figura No 3.2. Ejemplo de identificación de cilindros



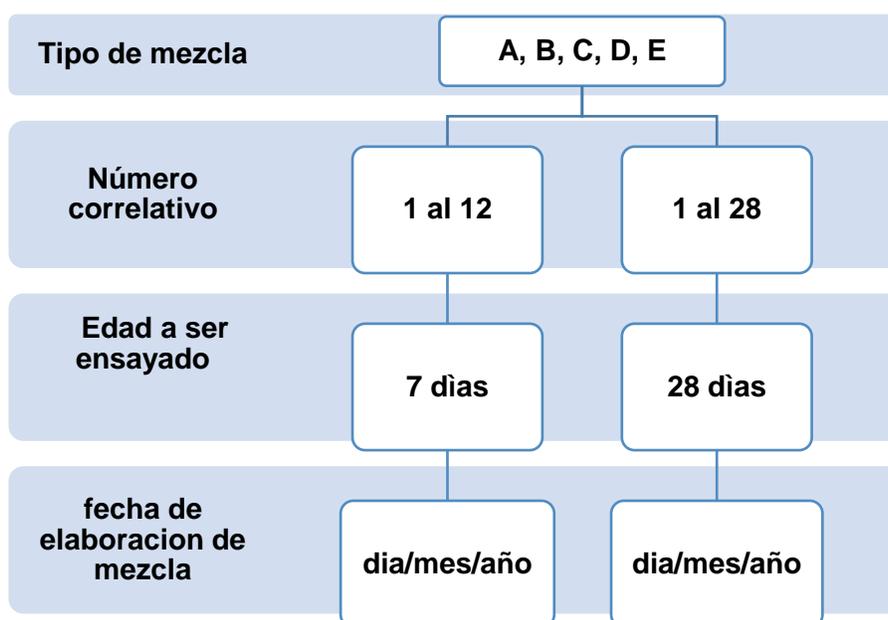
- Pertenece a la mezcla "P-1"
- Número correlativo: 2
- Edad a la que será ensayado: 28 días.
- Fecha que se hizo la mezcla: 10 de septiembre de 2019.

Fuente: Autores

- **Identificación para las cinco mezclas de la etapa dos**

En la figura No 3.3 se muestra el cómo se identificarán los especímenes para estas mezclas.

Figura No 3.3. Nomenclatura para las cinco mezclas de la etapa II de laboratorio.



Fuente: Autores.

Un ejemplo de identificación de los cilindros de concreto se muestra en la figura No 3.4.

Figura No 3.4. Ejemplo de identificación de cilindros.



- Pertenece a la mezcla "A"
- Número correlativo: 3
- Edad a la que será ensayado: 7 días.
- Fecha que se hizo la mezcla: 5 de septiembre de 2019.

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO Y DISEÑOS DE MEZCLAS

4.1 Introducción

El presente capítulo trata sobre la caracterización de los componentes y el diseño de las mezclas, tanto la de referencia como las que poseen combinaciones (basalto vesicular y normal). Y con ello determinar la influencia que tiene el uso de agregado grueso de tipo vesicular en mezclas de concreto.

Este capítulo se desarrolla en dos etapas: la primera en la que se determinaron las características de los componentes a utilizar en la elaboración del diseño de las mezclas de concreto: agregado fino (arena natural) y agregado grueso (basalto vesicular y normal). A éstos se les realizaron ensayos granulométricos, gravedad específica y absorción, densidad y presencia de impurezas orgánicas (arena).

La segunda etapa: donde como primer paso se realizará el diseño de una mezcla de referencia (usando en este agregado grueso sin presencia de basalto vesicular), para lo cual se evaluarán tres mezclas, seleccionando aquella que cumpla con los requisitos de revenimiento y resistencias establecidos en el capítulo No 3, ésta será la mezcla de referencia. Como segundo paso se reproducirá el diseño de la mezcla de referencia, pero sustituyendo una parte de agregado grueso normal por agregado grueso de tipo basalto vesicular, esto se realizará para cinco mezclas que se reproducirán a partir de la mezcla de

referencia, y con esto se podrá determinar cómo influye la presencia de basalto vesicular en las mezclas de concreto.

4.2 Caracterización de los materiales

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de los agregados que se utilizarán para el diseño de mezclas.

4.2.1 Agregado grueso

4.2.1.1 Granulometría

- **Granulometría del agregado grueso**

Para evaluar si el agregado grueso cumple con los requisitos granulométricos establecidos en ASTM C 33, se ha investigado que el agregado corresponde a una granulometría de tamaño No 57, tanto para el agregado de tipo basalto normal y vesicular, el cual fue proporcionado por la empresa La Cantera, de donde procede el agregado. En la tabla No 4.1 se muestran para este número de granulometría los límites granulométricos que debe de satisfacer.

Tabla No 4.1. Tamaños estándar de agregado grueso.

Cantidades más finas que cada malla de laboratorio (abertura cuadrada), peso %								
No de tamaño	Tamaño Nominal, mm (pulg).	37.5 mm (1 1/2-in.)	25.0mm (1-in.)	19.0-mm (3/4-in.)	12.5-mm (1/2-in.)	9.5-mm (3/8in.)	4.75-mm (No 4)	2.36-mm (No 8)
57	25.0–4.75 mm (1in–No4)	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5

Fuente: ASTM C33-03, Especificación estándar de agregados para concreto

- **Agregado grueso de tipo Basalto normal**

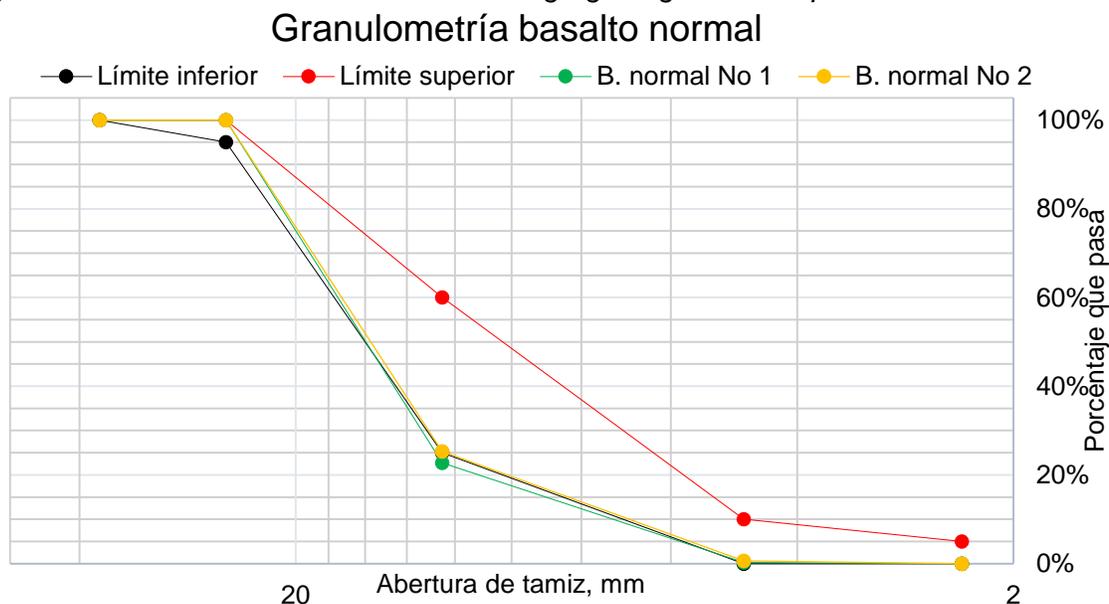
En la tabla No 4.2 se muestran los resultados del análisis granulométrico (según ASTM C 136) y el grado de cumplimiento respecto a los límites granulométricos presentados en la tabla No 4.1. para el agregado grueso de tipo basalto normal. La figura No 4.1. Representa las curvas granulométricas para el agregado grueso de tipo basalto normal.

Tabla No 4.2. Resultados de ensayos granulométricos y grado de cumplimiento con límites granulométricos de agregado grueso de tipo basalto normal.

Malla No	Porcentaje acumulado que pasa, % ensayo No 1	Porcentaje acumulado que pasa, % ensayo No 2	Valor promedio %	Límites	Grado de cumplimiento
1"	100.0	100.0	100	100	Cumple
3/4"	81.1	79.6	80.4	90 a 100	No cumple
3/8"	6.9	8.6	7.8	20-55	No cumple
No 4	0.3	0.6	0.45	0-10	Cumple
No 8	0.0	0.0	0	0-5	Cumple

Fuente: Autores.

Figura No 4.1. Curvas Granulométricas del agregado grueso de tipo basalto normal.



Fuente: Autores

- **Agregado grueso de tipo Basalto vesicular**

La figura No 4.2. Representa los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos para el agregado grueso de tipo basalto vesicular. Y en la tabla No 4.3. se muestra el grado de cumplimiento respecto a los límites granulométricos presentados en la tabla No 4.1.

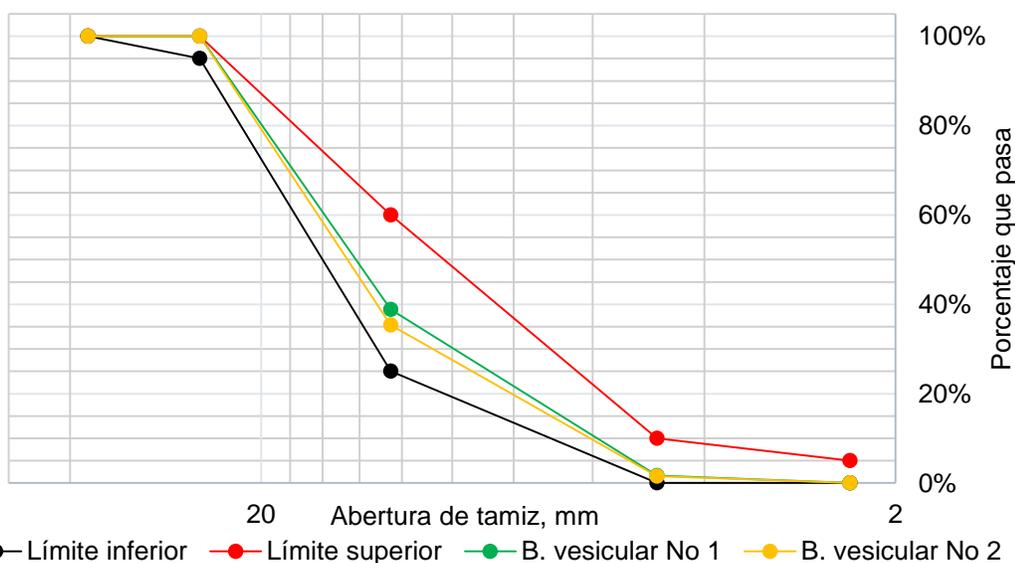
Tabla No 4.3. Comparación con los límites granulométricos y el porcentaje que pasa para cada ensayo del agregado grueso de tipo basalto vesicular.

Malla No	Porcentaje acumulado que pasa % Ensayo No 1	Porcentaje acumulado que pasa % Ensayo No 2	Valor promedio %	Límites	Grado de cumplimiento
1 1/2	100.0	100.0	100.0	100	Cumple
1"	100.0	100.0	100.0	95 a 100	Cumple
3/4"	90.2	89.7	89.9
1/2"	38.9	35.4	37.1	25 a 60	Cumple
No 4	1.7	1.5	1.6	0 a 10	Cumple
No8	0.0	0.0	0.0	0 a 5	Cumple

Fuente: Autores

Figura No 4.2. Curvas Granulométricas del agregado grueso de tipo basalto vesicular.

Granulometría basalto vesicular



Fuente: Autores.

Análisis:

Al comparar las curvas granulométricas de la grava normal y vesicular con los límites que especifican el tamaño No 57, se puede observar en la curva de la figura No 4.1 para el basalto normal, que la distribución de tamaños posee un rango que no cumplen con el límite especificado, como lo es el porcentaje que pasa en la malla $\frac{1}{2}$ ", que se encuentran por debajo del límite inferior. Es decir, la grava es más gruesa en esos tamaños. A diferencia de la grava normal, la curva granulométrica de la grava vesicular, de la figura No 4.2, cumple con todos los requisitos granulométricos del tamaño No 57; también se puede determinar que las gravas en análisis (normal y vesicular) tienen un tamaño máximo de 1" y un tamaño máximo nominal malla de $\frac{3}{4}$ ".

4.2.1.2 Gravedad específica y absorción

Gravedad específica y absorción del agregado grueso

En este apartado se presentan los resultados de los ensayos de absorción y gravedad específica de agregados gruesos tanto para basalto normal como vesicular, éstos han sido determinados según el método de ensayo ASTM C127.

- **Basalto normal**

En la tabla No 4.4 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio para el agregado grueso de tipo basalto normal.

Tabla No 4.4. Resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción del agregado grueso de tipo basalto normal.

Gravedad específica y absorción			
Densidad Relativa (Gravedad Específica seca) (OD)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
2.58	2.58	2.58	2.58
Densidad Relativa (Gravedad Específica saturada superficialmente seca) (SSD)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
2.61	2.61	2.61	2.61
Gravedad específica aparente (G_{AP})			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
2.66	2.66	2.67	2.66
Absorción %			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
1.07% ^A	1.18%	1.22%	1.20%

Fuente: Autores.

- **Basalto vesicular**

En la tabla No 4.5 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de gravedad específica y absorción del agregado grueso de tipo basalto vesicular

Tabla No 4.5. Resultados de ensayos de gravedad específica y absorción del agregado grueso de tipo basalto vesicular.

Gravedad específica y absorción			
Densidad Relativa (Gravedad Específica seca) (OD)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
2.51	2.51	2.51	2.51
Densidad Relativa (Gravedad Específica saturada superficialmente seca) (SSD)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
2.54	2.53	2.54	2.54
Gravedad específica aparente (G_{AP})			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
2.57	2.57	2.57	2.57
Absorción %			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
0.95%	0.98%	0.92%	0.95%

Fuente: Autores.

Análisis:

La gravedad específica aparente para un basalto que es usado en un concreto de peso normal se debe encontrar entre 2.4 a 2.9, según la PCA capítulo 5: Agregados para concreto; por lo que el valor promedio de 2.58 de densidad relativa obtenido para el basalto normal, y de 2.51 para el basalto vesicular son resultados que se encuentran dentro de los límites permitidos de agregados para concreto. El agregado grueso generalmente tiene niveles de absorción que varían del 0.2% al 4% según la PCA capítulo 5: Agregados para concreto. Por lo que el valor promedio obtenido de 1.20% (basalto normal) y 0.95% para basalto vesicular se pueden considerar como adecuados para ser usados como agregados para mezclas de concreto. Si se analizan los resultados del basalto normal y vesicular se encuentran las siguientes variaciones: La gravedad específica seca OD del agregado normal es mayor que la del agregado vesicular, de igual manera los valores de absorción obtenidos presentan variación entre ambos tipos de agregado.

Los valores que se usarán para el diseño de las mezclas de concreto serán:

- Grava normal: Densidad Relativa (Gravedad Específica seca) (OD): 2.58

% de absorción: 1.20

- Grava vesicular:

Densidad Relativa (Gravedad Específica seca) (OD): 2.51

% de absorción: 0.95

4.2.1.3 Densidad Bulk y contenido de vacíos

En este apartado se presentan los resultados de los ensayos de densidad Bulk y contenido de vacíos para agregado grueso.

- **Densidad Bulk y contenido de vacíos en agregado grueso.**

Para determinar el contenido de vacíos y el peso volumétrico de los agregados grueso de tipo basalto normal y vesicular se empleó el procedimiento de la norma ASTM C29.

En la tabla No 4.6 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para el agregado grueso de tipo basalto normal.

Tabla No 4.6. Resultados de los ensayos de Densidad de Bulk suelta y varillada y contenido de vacíos para agregado grueso de tipo basalto normal.

Densidad de Bulk y contenido de vacíos			
Densidad de Bulk, M_s suelta (Kg/m^3)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
1360	1350	1360	1360
Densidad de Bulk, M_v varillado (Kg/m^3)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
1420	1410	1420	1420
Contenido de vacíos suelto (%)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
47	48	47	47
Contenido de vacíos varillado (%)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
43	44	43	43

Fuente: Autores

En la tabla No 4.7 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de densidad de Bulk y contenido de vacíos para el agregado grueso tipo basalto vesicular.

Tabla No 4.7. Resultados de los ensayos de Densidad de Bulk suelta y varillada y contenido de vacíos para agregado grueso de tipo basalto vesicular

Densidad de Bulk y contenido de vacíos			
Densidad de Bulk, M_s suelto (Kg/m³)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
1330	1340	1330	1330
Densidad de Bulk, M_v varillado (Kg/m³)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
1400	1390	1390	1390
Contenido de vacíos suelto (%)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
47	47	47	47
Contenido de vacíos varillado (%)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
44	45	45	45

Fuente: Autores

El peso volumétrico aproximado de agregado grueso usado en concreto de peso normal varía desde aproximadamente 1,200 Kg/m³ a 1,760 Kg/m³ según el material didáctico de la materia de tecnología del concreto “Capítulo III- Agregados” de la Universidad de El Salvador. Por lo que el peso volumétrico promedio (suelto) de 1360kg/m³ que correspondiente a la grava de tipo normal es aceptable y el peso volumétrico promedio (suelto) de 1330kg/m³ que corresponde a la grava de tipo vesicular es aceptable.

Los contenidos de vacíos pueden variar entre aproximadamente 30% a 45% para el agregado grueso, según el material didáctico de la materia de tecnología del

concreto “Capítulo III-Agregados” de la Universidad de El Salvador; por lo tanto, el valor promedio de 43% obtenido y presentado en la tabla No 4.6 para la grava normal y el valor promedio de 45% obtenido y presentado en la tabla No 4.7 son aceptable para ambas gravas.

Además, los valores que se usarán para el diseño de mezclas de concreto serán:

Grava normal:

Peso volumétrico suelto (Kg/m^3): 1360

Peso volumétrico varillado (Kg/m^3): 1420

Grava vesicular:

Peso volumétrico suelto (Kg/m^3): 1330

Peso volumétrico varillado (Kg/m^3): 1390

4.2.2 Agregado fino

4.2.2.1 Granulometría

Para este estudio se utilizará una arena natural lavada de río, suministrada por la empresa La cantera

- **Granulometría del agregado fino**

Para el agregado fino (arena natural lavada de río) se tomaron los límites granulométricos establecidos por ASTM C33 que se muestran en la tabla No 4.8.

Tabla No 4.8. Límites granulométricos para agregado fino.

Tamaño de malla	Porcentaje que pasa
3/8"	100
No 4	95 a 100
No 8	80 a 100
No 16	50 a 85
No 30	25 a 60
No 50	5 a 30
No 100	0 a 10

Fuente: ASTM C33-03, Especificación estándar de agregados para concreto

En la tabla No 4.9 se muestran los resultados del análisis por tamizado para el agregado fino para los ensayos No 1 y No 2.

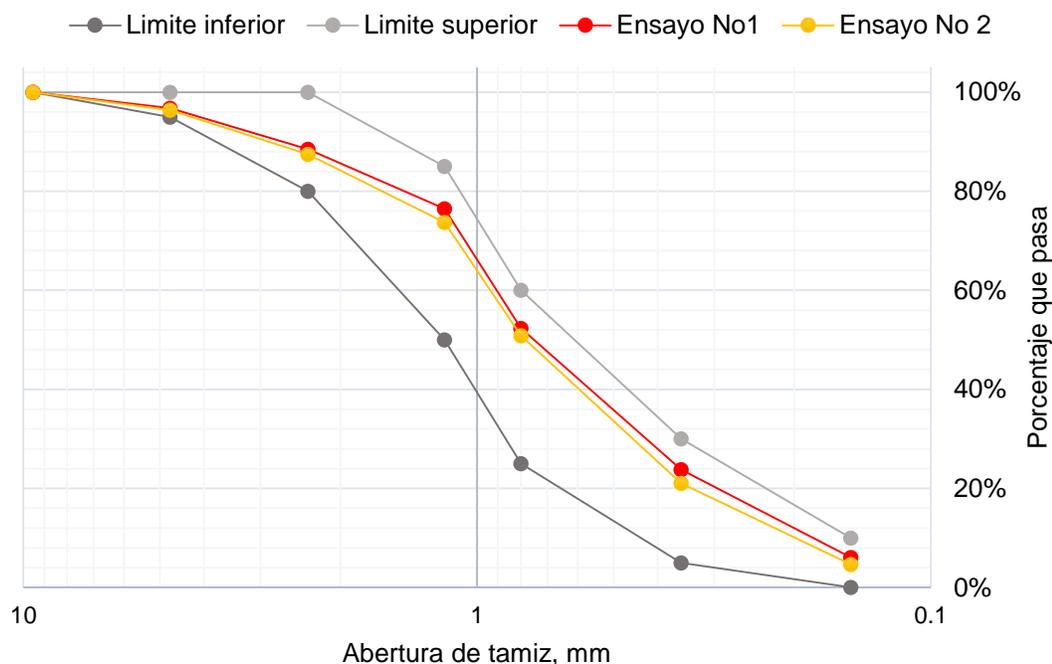
Tabla No 4.9. Resultados del Análisis por tamizado para agregado fino correspondiente al ensayo No 1 y No 2.

Análisis por tamizado		
Malla No	Porcentaje acumulado que pasa %, ensayo No 1	Porcentaje acumulado que pasa %, ensayo No 2
3/8"	100.0	100.0
No 4	96.8	96.4
No 8	88.5	87.5
No 16	76.4	73.7
No 30	52.3	50.8
No 50	23.8	21.0
No 100	6.0	4.6
Pasa No100	0.0	0.0
Módulo de finura	MD ₁ = 2.56	MD ₂ = 2.66
Promedio MD	MD= 2.61	

Fuente: Autores.

La figura No 4.3. Presenta los resultados obtenidos de las curvas granulométricas para el agregado fino para los ensayos No 1 y No 2. Y en la tabla No 4.10. se muestra el grado de cumplimiento respecto a los límites granulométricos presentados en la tabla No 4.8.

Figura No 4.3. Curvas Granulométricas del agregado fino
Granulometría agregado fino



Fuente: Autores

Tabla No 4.10. Comparación con los límites granulométricos y el porcentaje que acumulado que pasa para cada ensayo del agregado fino.

Análisis por tamizado

Malla No	Porcentaje acumulado que pasa, ensayo No 1	Porcentaje acumulado que pasa, ensayo No 2	Límites	Grado de cumplimiento
3/8"	100.0	100.0	100	Cumple
No 4	96.8	96.4	95 a 100	Cumple
No 8	88.5	87.5	80 a 100	Cumple
No 16	76.4	73.7	50 a 85	Cumple
No 30	52.3	50.8	25 a 60	Cumple
No 50	23.8	21.0	5 a 30	Cumple
No 100	6.0	4.6	0 a 10	Cumple
Módulo de finura	MD ₁ = 2.56		MD ₂ = 2.66	
Promedio MD	MD= 2.61			

Fuente: Autores.

Análisis:

Al comparar los resultados de los ensayos con los requisitos de ASTM C 33, se puede concluir que esta arena es bien graduada, ya que las curvas granulométricas se encuentran dentro de los límites de la tabla No 4.8; además, el valor de MD promedio es de 2.61.

4.2.2.2 Gravedad específica y absorción

- **Gravedad específica y absorción del agregado fino**

La absorción y gravedad específica de agregados finos han sido determinadas según el método de ensayo ASTM C128. En la tabla No 4.11 se presentan los resultados obtenidos de esta propiedad para el agregado fino.

Tabla No 4.11. Resultados de los ensayos de absorción y gravedad específica de agregado fino.

Gravedad específica y absorción			
Densidad Relativa, OD (Gravedad Específica) (Secado en Horno, OD)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
2.45	2.44	2.44	2.44
Densidad Relativa, SSD (Gravedad Específica) (Saturada Superficialmente Seca, SSD)			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
2.54	2.53	2.53	2.53
Densidad Aparente Relativa GPA (Densidad Aparente, G_{PA})			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
2.68	2.67	2.67	2.67
Absorción %			
Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Promedio
3.56%	3.56%	3.37%	3.50%

Fuente: Autores.

La gravedad específica aparente para el agregado natural usado en concreto de peso normal se debe encontrar entre 2.4 a 2.9, según la PCA capítulo 5: Agregados para concreto; por lo que, el valor promedio de 2.53 obtenido para el agregado fino, se encuentra dentro del rango sugerido.

Para el diseño de mezcla se tomarán los siguientes valores:

Densidad Relativa, OD (Gravedad Específica) (Secado en Horno, OD): 2.44

% de absorción de la arena: 3.50%

4.2.2.3 Impurezas orgánicas

Para determinar presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino se llevó a cabo el ensayo ASTM C40, la figura No 4.4 muestra los resultados obtenidos.

Figura No 4.4. Impurezas orgánicas en agregado fino ASTM C40.



Fuente: Autores

Al comparar los resultados con la carta de colorimetría este corresponde al color No 2.

Según ASTM C33, El agregado fino debe estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. Por lo que, los agregados que se sometan a los ensayos para determinar impurezas orgánicas y produzcan un color más oscuro que el estándar, (Color No 3) serán rechazados. Y ya que el agregado fino corresponde al color No 2, que es un color más claro que el estándar, se puede considerar que el agregado fino no tiene impurezas que pueda dañar la hidratación del cemento.

Como se mencionó en el capítulo III para la metodología experimental en laboratorio, esta investigación se realizará en dos etapas. Iniciando con la etapa No 1, diseñando tres mezclas con diferente relación agua/cemento con el objetivo de seleccionar aquella mezcla que cumpla con los requisitos de resistencia a la compresión a 28 días y trabajabilidad; estas mezclas serán elaboradas solamente con agregado grueso de tipo basalto normal.

Y teniendo ya los resultados de la caracterización de los componentes del concreto podemos proceder al diseño de las mezclas preliminares, que se detalla a continuación.

4.3 Etapa I: diseño de mezcla de referencia

Esta etapa consiste en diseñar tres mezclas (mezclas preliminares) con diferentes relaciones agua/cemento para una resistencia de diseño de 210.Kg/cm², y valor de revenimiento de 4”

4.3.1 Diseño teórico de las mezclas preliminares

A continuación, en la tabla No 4.12 se presentan los parámetros de diseño, así como las características de los agregados y cemento a usar en las mezclas preliminares de concreto.

Tabla No 4.12. Parámetros de diseño para mezclas preliminares

Parámetros de diseño, mezclas preliminares	
Resistencia	$f'_c = 210 \frac{kg}{cm^2}$
Contenido de aire	Condiciones normales de exposición (Sin aire incluido)
Cemento	
Clasificación	Portland C1157 tipo GU
Gravedad específica	$G_s = 2.9$
Agregado grueso	
Gravedad específica seca	$G_{s_{seca}} = 2.58$
% Absorción	$Abs = 1.20$
% de Humedad	$\omega_1 = 1.34$
	$\omega_2 = 1.32$
	$\omega_3 = 1.28$
Peso volumétrico varillado	$\gamma = 1420 kg/m^3$
Peso volumétrico suelto	$\gamma = 1360 kg/m^3$
Tamaño máximo nominal	TMN = 3/4"
Agregado fino	
Gravedad específica seca	$G_{s_{seca}} = 2.44$
% de Humedad	$\omega = 12.09$
	$\omega_2 = 12.03$
	$\omega_3 = 12.91$
% de Absorción	$Abs = 3.50$
Módulo de finura	2.61

Fuente: Autores

Para el diseño se seguirán los pasos que establece el ACI 211.1, para establecer la dosificación para $1 m^3$ de mezcla, luego estas cantidades se reducirán a tamaño de laboratorio.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- I. Selección de revenimiento
- II. El valor de revenimiento para diseñar es: 10cm (4"). La tolerancia a usar será de ± 1 Pulgada. (4 ± 1 Pulg.)
- III. Elección del tamaño máximo de agregado.

El tamaño máximo del agregado a utilizar en la mezcla de concreto es 1", cuyo TMN es 3/4", parámetro obtenido de los ensayos granulométricos del agregado grueso normal. Ver apartado No 4.2.1.1

IV. Determinación de la cantidad de Agua de mezclado y contenido de aire atrapado.

En la tabla No 4.13 se presenta los valores de agua de mezclado en función del valor de revenimiento y el TMN del agregado, para mezclas de concreto sin aire incluido.

Tabla No 4.13. Agua de Mezclado y cantidad de aire atrapado.

Agua, kg/m³ de concreto para los tamaños, máximos nominales de agregados indicados. Para concreto sin aire incluido.								
Revenimiento, cm	9.6 mm (3/8")	12.5mm (1/2")	19mm (3/4")	25mm (1")	37.5mm (1 1/2")	50mm (2")	75mm (3")	150mm (6")
2.5-5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5-10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0-17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Fuente: ACI 211.1-91

Para un revenimiento seleccionado de 10cm (4 pulgadas) y un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " en el agregado grueso se tiene una cantidad de agua de mezclado de 205kg y 2% de aire atrapado para 1m^3 de concreto.

V. Resistencia del concreto y relación Agua/Cemento.

Para determinar la relación agua/cemento primero es necesario determinar la resistencia promedio requerida (f'_{cr}), que debido a no tener datos estadísticos es necesario usar lo que se establece en la tabla No 4.14, en la que se muestra la forma a proceder para calcular este parámetro la cual depende de la resistencia a la compresión f'_c especificada en la tabla No 4.12.

Tabla No 4.14. Resistencia de diseño requerida cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar.

Esfuerzo a compresión especificada f'_c (kg/cm²)	Esfuerzo promedio requerido a compresión f'_{cr} (kg/cm²)
Menos que 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 85$
Mayor que 350	$1.1f'_c + 50$

Fuente: ACI 211.1-91

Dado que la resistencia f'_c especificada es de 210 kg/cm², nuestra resistencia promedio requerida (f'_{cr}) será:

$$f'_{cr} = f'_c + 85 = 210 + 85 = 295\text{kg/cm}^2$$

Elegido ya el valor de la resistencia promedio requerida f'_{cr} , determinamos el valor de la relación agua/cemento apoyándonos de la tabla No 4.15.

Tabla No 4.15. Dependencia entre la relación agua / cemento y la resistencia a la compresión del concreto.

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm ² . F'cr	Relación a/c y la resistencia a la compresión requerida
	Concreto sin aire incluido
350	0.48
300	0.55
250	0.62
200	0.70

Fuente: Manual de PCA, adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3

Para un f'_{cr} de 295 kg/cm² y conociendo que es un concreto sin aire incluido, corresponde a un valor que no se encuentra directamente en la tabla No 4.15, por lo tanto, se interpolará para obtener el valor de la relación a/c.

Esfuerzo a compresión f'_{cr}	Relación a/c
300	0.55
295	a/c
250	0.62

$$\frac{0.62 - 0.55}{300 - 250} = \frac{a/c - 0.55}{300 - 295} \rightarrow (5) \frac{0.07}{50} + 0.55 = \frac{a}{c} = \mathbf{0.557}$$

$$\text{Relación agua/cemento} = 0.557$$

En esta primera etapa de laboratorio se elaborarán tres mezclas preliminares variando la relación a/c, como ya se determinó el primer valor de la relación agua/cemento, se procederá a determinar las dos relaciones faltantes, sumándole o restándole al primer valor determinado la cantidad de 0.01

Por lo tanto, se tiene:

- ⇒ Primera mezcla preliminar: $a/c_1 + 0.01 = 0.557 + 0.01 = 0.567$
- ⇒ Segunda mezcla preliminar: $a/c_2 = 0.557$
- ⇒ Tercera mezcla preliminar: $a/c_3 - 0.01 = 0.557 - 0.01 = 0.547$

VI. Cálculo del contenido de cemento mínimo.

Utilizando el valor obtenido de la relación agua/cemento para cada mezcla y el agua de mezclado determinado en el paso III (205kg), se procede a calcular cada contenido de cemento correspondiente:

$$\text{Primera mezcla preliminar: } a/c_1 = 0.57 \rightarrow c_1 = \frac{a}{0.567} = \frac{205kg}{0.567}$$

$$c_1 = 361.55kg/m^3$$

$$\text{Segunda mezcla preliminar: } a/c_2 = 0.56 \rightarrow c_2 = \frac{a}{0.557} = \frac{205kg}{0.557}$$

$$c_2 = 368.04kg/m^3$$

$$\text{Tercera mezcla preliminar: } a/c_3 = 0.55 \rightarrow c_3 = \frac{a}{0.547} = \frac{205kg}{0.547}$$

$$c_3 = 374.77kg/m^3$$

VII. Estimación del contenido de agregado grueso.

Para obtener el contenido de agregado grueso nos apoyaremos de la tabla No 4.16, la que requiere que se utilice el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino.

Tabla No 4.16. Volumen de agregado grueso por volumen volumétrico de concreto.

Tamaño máximo nominal del agregado en mm. (pulg)	Volumen de agregado varillado en seco por volumen volumétrico de concreto para distintos módulos de finura de la arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65

Fuente: ACI 211.1-91

Para un tamaño máximo nominal de 19mm (3/4") y un módulo de finura de 2.61 corresponde a un valor que no se encuentra directamente en la tabla No 4.16,

por lo tanto, se interpolará para obtener el factor de agregado y así este multiplicarlo con el peso volumétrico varillado ($1420\text{kg}/\text{m}^3$), para obtener la cantidad de agregado grueso seco por metro cúbico de concreto.

2.60	0.64
2.61	X
2.80	0.62

$$\frac{0.64 - x}{2.61 - 2.60} = \frac{0.64 - 0.62}{2.80 - 2.60} \rightarrow 0.01 \frac{0.02}{0.20} + 0.64 = x = \mathbf{0.639}$$

Volumen de agregado grueso:

$$P_{VV} = \frac{W}{V} \rightarrow W = V \times P_{VV} \rightarrow W = \mathbf{0.639 * 1420\text{kg}/\text{m}^3}$$

$W = 907.38 \text{ kg}/\text{m}^3$, en condición seca

Esta cantidad de agregado grueso se mantendrá constante para cada una de las mezclas preliminares.

VIII. **Estimación del contenido de agregado fino**

Ya obtenidos los valores de agua, cemento, aire y agregado grueso, el material restante que complementa el metro cúbico de concreto es el agregado fino (arena).

La cantidad de agregado fino se obtendrá por volumen absoluto. El volumen absoluto de cada componente se calculará dividiendo la masa conocida de cada uno de ellos por el producto de su masa específica relativa seca y la densidad del agua. Estos se muestran en las tablas No 4.17, No 4.18 y No 4.19 para cada una de las mezclas preliminares correspondientes.

Tabla No 4.17. Cantidad de materiales para 1m^3 para la primera mezcla preliminar

Primera mezcla preliminar ($\alpha/c_1 = 0.567$)			
Material	Peso (kg)	Gravedad específica	Volumen (m^3)
Agua	205	1.00	0.205
Cemento	361.55	2.90	0.125
Aire	2.0%	-	0.020
Grava seca	907.38	2.58	0.352
Arena seca	Y_1	2.44	X_1
Total			0.702

$X_1 = 1.000\text{m}^3 - 0.752\text{m}^3 = 0.298 \text{ m}^3$ de arena
 $Y_1 = 727.12\text{kg}$ de arena

Fuente: Autores.

Tabla No 4.18. Cantidad de materiales para 1m^3 para la segunda mezcla preliminar

Segunda mezcla preliminar ($\alpha/c_2 = 0.557$)			
Material	Peso (kg)	Gravedad específica	Volumen (m^3)
Agua	205	1.00	0.205
Cemento	368.04	2.90	0.127
Aire	2.0%	-	0.020
Grava seca	907.38	2.58	0.352
Arena seca	Y_2	2.44	X_2
Total			0.704

$X_2 = 1.000\text{m}^3 - 0.704\text{m}^3 = 0.296 \text{ m}^3$ de arena
 $Y_2 = 722.24\text{kg}$ de arena

Fuente: Autores.

Tabla No 4.19. Cantidad de materiales para 1m^3 para la tercera mezcla preliminar

Tercera mezcla preliminar ($\alpha/c_3 = 0.547$)			
Material	Peso (kg)	Gravedad específica	Volumen (m^3)
Agua	205	1.00	0.205
Cemento	374.77	2.90	0.129
Aire	2.0%	-	0.020
Grava seca	907.38	2.58	0.352
Arena seca	Y_3	2.44	X_3
Total			0.706

$X_3 = 1.000\text{m}^3 - 0.706\text{m}^3 = 0.294 \text{ m}^3$ de arena
 $Y_3 = 717.36\text{kg}$ de arena

Fuente: Autores.

IX. Corrección por humedad y absorción de agregados.

Dado que en los diseños teóricos realizados, los agregados se encuentran en condición seca, es necesario realizar ajustes de tal manera de considerar la humedad que estos poseen, en el momento de pesar los agregados (ya que sus masas incrementan con el porcentaje de agua) para verificar el diseño en

laboratorio, además de esto, es necesario realizar correcciones por humedad y absorción, de tal forma de no alterar la relación a/c de cada una de los diseños, por lo que para ello se requiere conocer la humedad que poseen los agregados al momento de la elaboración de la mezcla y con sus correspondientes valores de absorción, se procede a realizar la corrección del agua de mezclado.

Por lo que se procederá de la siguiente forma:

1. Para realizar la corrección por humedad y absorción, primeramente, calcularemos los pesos húmedos del agregado grueso y fino, auxiliándonos del contenido de humedad de cada agregado. En la tabla No 4.20 se muestran los resultados para cada mezcla preliminar.

Tabla No 4.20. Peso húmedo del agregado grueso y fino de las tres mezclas preliminares.

Mezcla	Material	Humedad (%)	Peso seco (kg)	Peso húmedo (kg)
No 1	Agregado Grueso (grava)	1.34	907.38	919.54
	Agregado Fino (arena)	12.09	728.66	816.75
No 2	Agregado Grueso (grava)	1.32	907.3 8	919.36
	Agregado Fino (arena)	12.03	723.19	810.19
No 3	Agregado Grueso (grava)	1.28	907.38	918.99
	Agregado Fino (arena)	12.91	717.53	810.17

Fuente: Autores.

2. Con los valores de los porcentajes de humedad y absorción de cada agregado, determinaremos si estos aportan o absorben agua a la mezcla. En la tabla No 4.21 se presenta si aportan o absorben agua cada uno de los agregados.

Tabla No 4.21. Ajuste por humedad y absorción

Mezcla	Material	Humedad, W. (%)	Absorción, Abs. (%)	W – Abs.	Conclusión
No 1	Grava	1.34	1.20	+ 0.14	Aporta agua
	Arena	12.09	3.50	+ 8.59	Aporta agua
No 2	Grava	1.32	1.20	+0.12	Aporta agua
	Arena	12.03	3.50	+8.53	Aporta agua
No 3	Grava	1.28	1.20	+0.08	Aporta agua
	Arena	12.91	3.50	+9.41	Aporta agua

Cantidad de agua que se le quitará

Material	1ª mezcla P. (kg)	2ª mezcla P. (kg)	3ª mezcla P. (kg)
Grava	1.27 (se le quita)	1.09 (se le quita)	0.73 (se le quita)
Arena	62.59 (se le quita)	61.69 (se le quita)	67.52 (se le quita)
Total	63.86	62.78	68.25

Fuente: Autores.

Tanto el agregado grueso (grava) como el agregado fino (arena) aportan agua a la mezcla, lo que significa que se debe de reducir el agua de mezclado. La tabla No 4.21 también presenta la cantidad de agua que se debe reducir a cada una de las mezclas preliminares aportada por cada agregado. En la Tabla No 4.22 se presentan las cantidades de cada componente de la mezcla de concreto ya corregido, correspondiente a cada mezcla preliminar.

Tabla No 4.22. Mezcla corregida para $1m^3$ de concreto correspondiente a cada mezcla preliminar.

Material	1ª Mezcla preliminar ($a/c_1 = 0.567$)	2ª Mezcla preliminar ($a/c_2 = 0.557$)	3ª Mezcla preliminar ($a/c_3 = 0.547$)
	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)
Cemento	361.55	368.04	374.77
Agua corregida	141.14	142.22	136.75
Grava húmeda	919.54	919.36	918.99
Arena húmeda	816.75	810.19	810.17
Aire	2%	2%	2%

Fuente: Autores

X. Reducción a la mezcla de laboratorio

Se elaborarán mezclas de concreto para preparar cilindros a ensayar. Ante esto, el volumen de mezcla que ya se calculó en los pasos anteriores de este capítulo se debe reducir al volumen de la cantidad de cilindros a elaborar; además de incluir un volumen considerado para realizar el ensayo de revenimiento y de peso volumétrico del concreto fresco.

Calculando entonces el volumen de mezcla de laboratorio, considerando lo siguiente:

- Se elaborarán 6 cilindros (por mezcla)
- Un ensayo de revenimiento
- Un ensayo de peso volumétrico
- Desperdicio del 15%

Volumen = 6 cilindros + 2 cilindros(para ensayos) + 15%

Volumen de 1 cilindro = $\frac{\pi}{4}D^2h$ → $D = 0.15m$; $h = 0.30m$

1. Volumen de 6 cilindros más ensayos:

$$V = 8 \left[\frac{\pi}{4} (0.15)^2 (0.30) \right] = 0.0424m^3$$

1. Volumen total:

$$V_t = 1.15(0.0424) = 0.0488m^3$$

Los pesos de los materiales para el volumen de laboratorio se obtienen al multiplicar el peso de los materiales para $1m^3$ por el volumen necesario para la mezcla de laboratorio (V_t). En la tabla No 4.23 se muestra como queda reducida cada una de las mezclas preliminares.

Tabla No 4.23. Materiales reducidos a la mezcla de laboratorio.

Materiales	1ª Mezcla preliminar	2ª Mezcla preliminar	3ª Mezcla preliminar
	($a/c_1 = 0.567$)	($a/c_2 = 0.557$)	($a/c_3 = 0.547$)
	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)
Cemento	17.64	17.96	18.29
Agua	6.89	6.94	6.67
Grava húmeda	44.87	44.86	44.85
Arena húmeda	39.86	39.54	39.54
Aire	2%	2%	2%

Fuente: Autores

4.3.2 Resultados de los ensayos en mezclas preliminares

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados al concreto fresco y endurecido para cada una de las mezclas preliminares. Para cada mezcla preliminar que se elaboró, se le determinó al concreto en estado fresco los siguientes ensayos: peso volumétrico, temperatura y revenimiento; seguido de esto se elaboraron los especímenes cilíndricos de concreto (6 cilindros por mezcla) para determinar su resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días (3 cilindros a 7 días y 3 cilindros a 28 días para cada mezcla).

Comportamiento del concreto en estado fresco de las mezclas preliminares.

El requisito que deberán cumplir las mezclas de concreto en estado fresco para poder ser seleccionada es tener una trabajabilidad de $4'' \pm 1''$ (valor de revenimiento)

En la Tabla No 4.24 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos realizados al concreto en estado fresco para las tres mezclas preliminares elaboradas.

Tabla No 4.24. Resultados de los ensayos realizados al concreto fresco para cada mezcla preliminar.

No de mezcla	Revenimiento Pulg. (mm)	Temperatura de la mezcla(°C)	Temperatura del ambiente (°C)	Peso volumétrico (kg/m ³)
1ª Mezcla preliminar ($a/c_1 = 0.567$)	4.25 (110)	27.0	29.0	2318
2ª Mezcla preliminar ($a/c_2 = 0.557$)	6.25 (160)	27.0	29.0	2180
3ª Mezcla preliminar ($a/c_3 = 0.547$)	5.00 (130)	29.5	31.0	2304

Fuente: Autores.

En la tabla No 4.25 se muestra el grado de cumplimiento de cada una de las mezclas preliminares en relación al valor de trabajabilidad obtenido

Tabla No 4.25. Comparación del grado de cumplimiento de cada una de las mezclas preliminares en relación al valor de trabajabilidad obtenido

No de mezcla	Revenimiento Pulg. (mm)	Requisito requerido, pulgadas (mm)	Grado de cumplimiento
1ª Mezcla preliminar ($a/c_1 = 0.567$)	4.25 (110)	4" \pm 1" (100 \pm 25)	Cumple
2ª Mezcla preliminar ($a/c_2 = 0.557$)	6.25 (160)	4" \pm 1" (100 \pm 25)	No cumple
3ª Mezcla preliminar ($a/c_3 = 0.547$)	5.00 (130)	4" \pm 1" (100 \pm 25)	Cumple

Fuente: Autores

En base a los resultados obtenidos en las pruebas de revenimiento en las distintas mezclas preliminares mostradas en la tabla No 4.25, se puede determinar que:

- Las mezclas preliminares: No 1 de relación a/c de 0.57, y la No 3 de relación a/c de 0.55, obtuvieron valores de revenimiento de 4.25" y 5.0", respectivamente, por lo que se puede considerar que éstas cumplieron con el requisito establecido, no así la mezcla preliminar No 2 de relación a/c de 0.56, que presentó un valor de revenimiento de 6.25".

- La temperatura del concreto fresco, no presenta variaciones notables, según lo que se observa en la Tabla No 4.24 para cada mezcla preliminar. Donde ninguna excede 32°C (según ASTM C94-13 sección 12.10).
- El peso volumétrico del concreto fresco presentados en la tabla No 4.24 para cada mezcla preliminar, muestran que la mezcla preliminar No 2, presentó el menor valor (2180kg/m³) y las mezclas 1 y 3 presentaron valores cercanos entre ellos 2318kg/m³ y 2304kg/m³, respectivamente.

Comportamiento del concreto en estado endurecido de mezclas preliminares.

El requisito que debe cumplir la mezcla a seleccionar será aquella que tenga una resistencia a la compresión igual o mayor a 210 kg/cm² (20.6MPa), a la edad de 28 días, para su determinación analizaremos los resultados que se presentan en la tabla No 4.26

En la tabla No 4.26 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión que se realizaron a las diferentes edades de 7 y 28 días para cada cilindro de concreto de cada mezcla preliminar elaborada. También se anexa los resultados de pesos volumétricos de cada cilindro y el tipo de fractura del espécimen

Tabla No 4.26. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en mezclas preliminares.

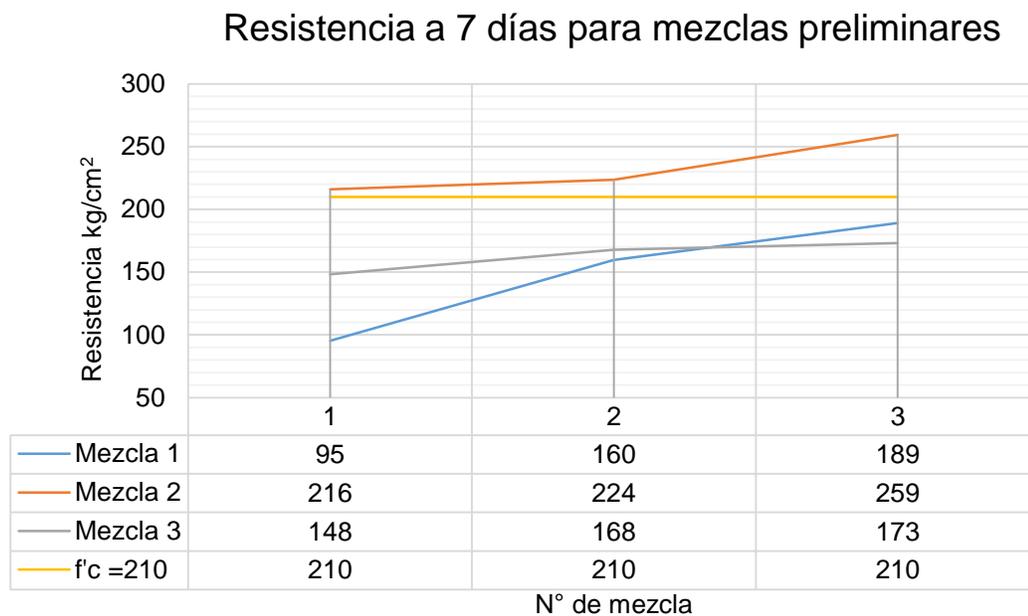
Mezcla	No Cilindro	Edad de ensayo (días)	f'c kg/cm ² (MPa)	f'c promedio kg/cm ² (MPa)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Peso volumétrico Promedio (kg/m ³)	Tipo de fractura
1 ^a Mezcla preliminar PM1 (a/c ₁ = 0.567)	1	7	95(9.3) ^A	175 (17.2)	2310	2300	Cono
	2	7	160(15.7)		2300		Cono
	3	7	189(18.6)		2300		Cono
	4	28	291(28.5)	304 (29.8)	2300	2300	Cono
	5	28	314(30.8)		2300		Cono
	6	28	306(30.0)		2300		Cono
2 ^a Mezcla preliminar PM2 (a/c ₂ = 0.557)	1	7	216(21.2)	233 (22.8)	2320	2310	Cono
	2	7	259(25.4)		2310		Cono
	3	7	224(21.9)		2300		Cono
	4	28	267(26.2) ^A	320 (31.3)	2300	2310	Cono
	5	28	313(30.7)		2320		Cono
	6	28	326(31.9)		2320		Cono
3 ^a Mezcla preliminar PM3 (a/c ₃ = 0.547)	1	7	168(16.5)	163 (16.0)	2280	2280	Cono
	2	7	148(14.5)		2290		Cono
	3	7	173(17.0)		2280		Cono
	4	28	246(24.1)	246 (24.1)	2300	2300	Diagonal
	5	28	243(23.8)		2300		Diagonal
	6	28	250(24.5)		2300		Diagonal

^A Este resultado no se tomará en cuenta en el cálculo del f'c promedio, debido a su dispersión con los demás resultados de f'c.

Fuente: Autores.

En la tabla No 4.26 se presentan los promedios de resistencia a la compresión correspondiente a cada mezcla preliminar según la edad a la que fue ensayado. Se realizaron 3 cilindros por edad para cada mezcla preliminar. Así mismo se muestran los promedios de los pesos volumétricos del concreto endurecido. Estos resultados ayudarán a una mejor interpretación y selección de la mezcla de referencia, tal como se estableció en el capítulo 3 cuando se describieron las dos etapas de laboratorio a realizar.

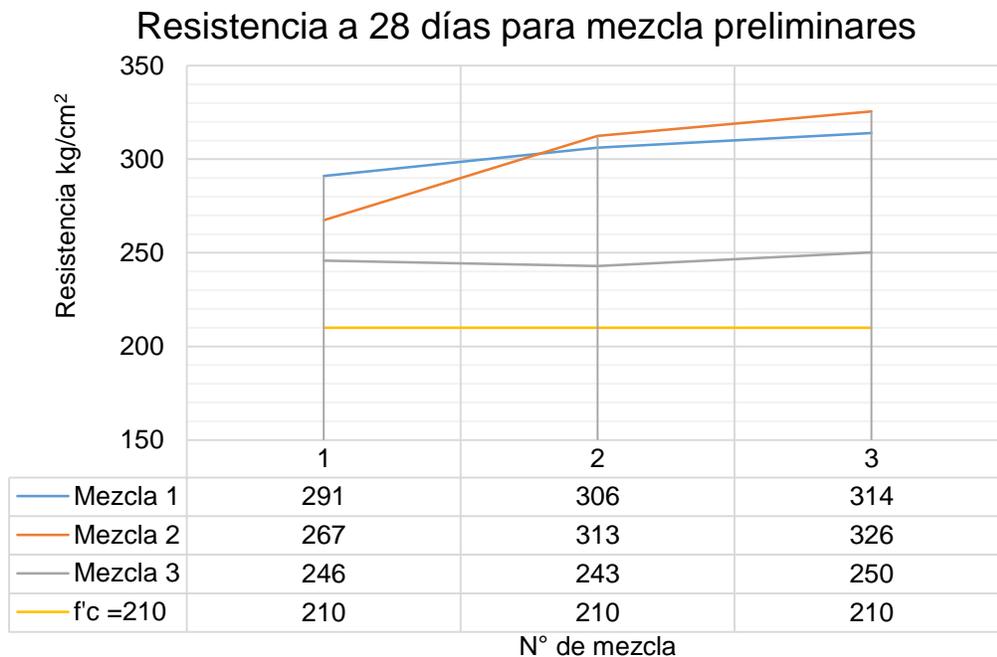
Figura No 4.5. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 7 días para mezclas preliminares



Fuente: Autores.

Como se puede observar en la figura No 4.5, para la edad de 7 días, el concreto correspondiente a la mezcla No 1, alcanza una resistencia promedio de 175 kg/cm² (17.2MPa), este resultado es mayor en un 71% de la resistencia de diseño (f'c); el concreto correspondiente a la mezcla 2 alcanza una resistencia promedio de 233.0 kg/cm² (22.8MPa), este resultado es mayor en un 111% de la resistencia de diseño (f'c); el concreto correspondiente a la mezcla 3 alcanza una resistencia promedio de 163.0 kg/cm² (16MPa), este resultado es mayor en un 78% de la resistencia de diseño (f'c).

Figura No 4.6. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días para mezclas preliminares



Fuente: Autores.

Como se puede observar en la figura No 4.6, para la edad de 28 días, el concreto correspondiente a la mezcla 1 alcanza una resistencia promedio de 304 kg/cm² (29.8MPa) este resultado es mayor en un 145% de la resistencia de diseño (f'c); el concreto correspondiente a la mezcla 2 alcanza una resistencia promedio de 319.0 kg/cm² (31.3MPa) este resultado es mayor en un 152% de la resistencia de diseño (f'c); el concreto correspondiente a la mezcla 3 alcanza una resistencia promedio de 246.0 kg/cm² (24.1MPa) este resultado es mayor en un 117% de la resistencia de diseño (f'c).

Con los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las mezclas preliminares se seleccionará la mezcla que haya cumplido con los requisitos de trabajabilidad (revenimiento) y resistencia a la compresión a 28 días; ya que será

la mezcla que se utilizará para la elaboración de las mezclas de la siguiente etapa. El diseño seleccionado será el que se reproducirá en las mezclas con combinaciones de agregado grueso normal y vesicular. En la tabla No 4.27 se presentan los análisis de cada mezcla preliminar, según los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, tanto en estado fresco como endurecido.

Tabla No 4.27. Análisis ante los resultados de los ensayos realizados al concreto en estado fresco y endurecido de las mezclas preliminares

No de mezcla	Concreto fresco	Concreto endurecido		Análisis
	Revenimiento Pulg. (mm)	f'c promedio kg/cm ² (MPa) a 7 días	f'c promedio kg/cm ² (MPa) a 28 días	
1 ^a Mezcla preliminar PM1 ($a/c_1 = 0.567$)	4.25 (110)	175 (17.2)	304 (29.8)	- Ha cumplido con los requisitos de revenimiento al encontrarse dentro de la tolerancia establecida. Su resistencia a la compresión a 28 días a superado el f'c en un 145%
2 ^a Mezcla preliminar PM2 ($a/c_2 = 0.557$)	6.25 (160)	233 (22.8)	320 (31.3)	- No ha cumplido con los requisitos de revenimiento al encontrarse fuera de la tolerancia establecida. Su resistencia a la compresión a 28 días a superado el f'c en un 152%
3 ^a Mezcla preliminar PM3 ($a/c_3 = 0.547$)	5.00 (130)	163 (16.0)	246 (24.1)	- Ha cumplido con los requisitos de revenimiento al encontrarse dentro de la tolerancia establecida. Su resistencia a la compresión a 28 días a superado el f'c en un 117%

Fuente: Autores

De acuerdo a los análisis realizados en la tabla No 4.27 y a los resultados de los ensayos realizados a las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido, se toma como mezcla de referencia a la tercera mezcla preliminar con una relación agua/cemento de 0.547, por cumplir con los requisitos de revenimiento y encontrarse con un valor de resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 246 kg/cm^2 (24.1MPa) que corresponde a una ganancia de resistencia con respecto a la de referencia de 117%, que desde el punto de vista económico resulta más factible en comparación a la mezcla No 1, que obtuvo una ganancia de resistencia a la edad de 28 días de 145% 304.0 kg/cm^2 (29.8MPa).

Por lo que ya se puede reproducir las 5 mezclas que tendrán combinación de agregado grueso: basalto vesicular y basalto normal. En el siguiente apartado se presentan las proporciones para cada mezcla.

4.4 Etapa II: Elaboración de Mezclas combinando agregado normal con vesicular

Seleccionada ya la mezcla que será nuestra mezcla de referencia, la cual corresponde a la primera mezcla a reproducir (mezcla "A"), se procede a determinar la proporción para cada mezcla a elaborar, tal como se describió en el capítulo 3. Para cada mezcla se elaborarán 20 pares de cilindros.

- Mezcla A (100% de basalto normal),

El diseño de la mezcla A corresponde al diseño teórico de la tercera mezcla preliminar que se realizó en el apartado 4.3.1 de este capítulo, que posee una

relación agua cemento de 0.547; por lo tanto, tomaremos los pesos (kg) que se obtuvieron para la tercera mezcla preliminar, la cual se presentan en la tabla No 4.28. Realizamos las correcciones de humedad y absorción de los agregados, la cual se presenta en la tabla No 4.29 correspondientes para 1m^3 de concreto para la mezcla de referencia.

Tabla No 4.28. Cantidad de materiales para 1m^3 para la mezcla de referencia

Mezcla A. = Tercera mezcla preliminar ($a/c_3 = 0.547$)			
Material	Peso (kg)	Gravedad específica	Cantidad de volumen (m^3)
Agua	205	1.00	0.205
Cemento	374.77	2.90	0.129
Aire	2.0%	-	0.020
Grava seca	907.38	2.58	0.352
Arena seca	717.36	2.44	0.294
Total			1.000

Fuente: Autores

Con los valores de los porcentajes de humedad y absorción de cada agregado, determinaremos si estos aportan o absorben agua a la mezcla. En la tabla No 4.29 se presenta si aportan o absorben agua cada uno de los agregados. Y en la Tabla No 4.30 se presentan los pesos de los agregados y agua de mezclado corregidos.

Tabla No 4.29. Ajuste por humedad y absorción (mezcla de referencia)

Mezcla	Material	Humedad, W. (%)	Absorción, Abs. (%)	W – Abs.	Conclusión
Mezcla A	Grava	0.87	1.20	-0.33	Quita agua
	Arena	1.36	3.50	-2.14	Quita agua

Fuente: Autores

Tabla No 4.30. Corrección de agua de mezclado (mezcla de referencia)

	Pesos secos, kg	Cantidad de agua, kg	Acción	Pesos húmedos, kg
Grava normal (100%)	907.38	2.99	Agregar	915.27
Arena	717.36	15.35	Agregar	727.12
Agua de mezcla	205.00kg			
Tanto el agregado grueso (grava normal) como el agregado fino (arena) quitan agua a la mezcla, lo que significa que se debe de agregar el agua de mezclado				
Agua corregida por humedad y absorción	205.00kg + 2.99kg + 15.35kg = 223.35kg			

Fuente: Autores

En la Tabla No 4.31 se presentan las cantidades de cada componente de la mezcla de concreto ya corregido y reducidos al volumen de laboratorio, correspondiente a la mezcla de referencia (mezcla A).

Tabla No 4.31. Materiales corregidos para 1m³ de concreto y reducidos para la mezcla de laboratorio, correspondiente a la mezcla A (mezcla de referencia).

Materiales	Peso, kg (1m ³)	Mezcla de laboratorio, kg (0.0854m ³)
Cemento	374.77	32.01
Agua corregida	223.35	19.07
Grava normal húmeda $\omega = 0.87\%$	915.27	78.16
Arena húmeda $\omega = 1.36\%$	727.12	62.10
Aire	2%	2%

Fuente: Autores

- Mezcla B (75% de basalto normal y 25% vesicular),

El proporcionamiento de la mezcla B resulta como se muestra en la tabla No 4.32, siempre tomando los pesos secos obtenidos en la tercera mezcla preliminar. Los resultados se encuentran para un m^3 , considerando los agregados secos, este diseño se corrigió considerando la humedad y absorción de los agregados.

Tabla No 4.32. Cantidad de materiales para $1m^3$ para la mezcla B

Mezcla B = Tercera mezcla preliminar ($a/c_3 = 0.547$)		
Material	Peso (kg)	Cantidad de grava seca (Kg)
Agua	205.00	
Cemento	374.77	
Aire	2.0%	
Grava normal seca (75%)	680.53	$907.38 \times 0.75 = 680.53$
Grava vesicular seca (25%)	226.84	$907.38 - 680.53 = 226.84$
Arena seca	717.36	

Fuente: Autores

En la tabla No 4.33 determinamos si estos agregados aportan o absorben agua a la mezcla:

Tabla No 4.33. Ajuste por humedad y absorción (mezcla B)

Mezcla	Material	Humedad, W. (%)	Absorción, Abs. (%)	W – Abs.	Conclusión
Mezcla B	Grava normal (75%)	0.75	1.20	-0.45	Quita agua
	Grava vesicular (25%)	0.24	0.95	-0.71	Quita agua
	Arena	4.47	3.50	+0.97	Agrega agua

Fuente: Autores

Y en la Tabla No 4.34 se presentan los pesos de los agregados y agua de mezclado corregidos.

Tabla No 4.34. Corrección de agua de mezclado (mezcla B)

	Pesos secos, kg	Cantidad de agua, kg	Acción	Pesos húmedos, kg
Grava normal (75%)	680.535	3.06	Agregar	685.64
Grava vesicular(25%)	226.845	1.61	Agregar	227.39
Arena	717.36	6.96	Quitar	749.43
Agua de mezcla	205.00kg			
El agregado grueso (grava normal y vesicular) quita agua de la mezcla y el agregado fino (arena) agrega agua a la mezcla. Por lo tanto hay que agregar y quitar respectivamente agua a la mezcla				
Agua corregida por humedad y absorción	205.00kg + 3.06kg + 1.61kg - 6.96kg = 202.71kg			

Fuente: Autores

En la Tabla No 4.35 se presentan las cantidades de cada componente de la mezcla de concreto ya corregido y reducidos al volumen de laboratorio, correspondiente a la mezcla B.

Tabla No 4.35. Materiales corregidos para 1m³ de concreto y reducidos para la mezcla de laboratorio, correspondiente a la mezcla B.

Material	Mezcla con agregados húmedos para 1m³	Mezcla reducida a tamaño Lab (0.0854m³)
	Peso (kg)	Peso (kg)
Cemento	374.77	32.01
Agua corregida	202.71	17.31
Grava normal (humedad: 0.75%)	685.64	58.55
Grava vesicular (humedad: 0.24%)	227.39	19.42
Arena húmeda (humedad: 4.47%)	749.43	64.00
Aire	2%	2%

Fuente: Autores

- Mezcla C (50% de basalto normal y 50% vesicular),

El proporcionamiento de la mezcla C es similar al de la mezcla B, con la diferencia que la cantidad de agregado grueso normal y vesicular es del 50% para ambos, como se muestra en la tabla No 4.36. Tomando los pesos secos obtenidos en la tercera mezcla preliminar y considerando los agregados secos, este diseño se corrigió considerando la humedad y absorción de los agregados.

Tabla No 4.36. Cantidad de materiales para $1m^3$ para la mezcla C

Mezcla C = Tercera mezcla preliminar ($a/c_3 = 0.547$)		
Material	Peso (kg)	Cantidad de grava seca (Kg)
Agua	205	
Cemento	374.77	
Aire	2.0%	
Grava normal seca (50%)	453.69	$907.38 \times 0.50 = 453.69$
Grava vesicular seca (50%)	453.69	$907.38 - 453.69 = 453.69$
Arena seca	717.36	

Fuente: Autores

En la tabla No 4.37 determinamos si estos agregados aportan o absorben agua a la mezcla:

Tabla No 4.37. Ajuste por humedad y absorción (mezcla C)

Mezcla	Material	Humedad, W. (%)	Absorción, Abs. (%)	W – Abs.	Conclusión
Mezcla C	Grava normal (50%)	0.79	1.20	-0.41	Quita agua
	Grava vesicular (50%)	0.22	0.95	-0.73	Quita agua
	Arena	4.34	3.50	+0.84	Agrega agua

Fuente: Autores

Y en la Tabla No 4.38 se presentan los pesos de los agregados y agua de mezclado corregidos.

Tabla No 4.38. Corrección de agua de mezclado (mezcla C)

	Pesos secos, kg	Cantidad de agua, kg	Acción	Pesos húmedos, kg
Grava normal (50%)	453.69	1.86	Agregar	457.27
Grava vesicular(50%)	453.69	3.31	Agregar	454.69
Arena	717.36	6.03	Quitar	748.49
Agua de mezcla		205.00kg		
El agregado grueso (grava normal y vesicular) quita agua de la mezcla y el agregado fino (arena) agrega agua a la mezcla. Por lo tanto hay que agregar y quitar respectivamente agua a la mezcla.				
Agua corregida por humedad y absorción	205.00kg + 1.86kg + 3.31kg - 6.03kg = 204.15kg			

Fuente: Autores

En la Tabla No 4.39 se presentan las cantidades de cada componente de la mezcla de concreto ya corregido y reducidos al volumen de laboratorio, correspondiente a la mezcla C.

Tabla No 4.39. Materiales corregidos para 1m³ de concreto y reducidos para la mezcla de laboratorio, correspondiente a la mezcla C.

Material	Mezcla con agregados húmedos para 1m³	Mezcla reducida a tamaño Lab. (0.0854m³)
	Peso (kg)	Peso (kg)
Cemento	374.77	32.01
Agua corregida	204.15	17.43
Grava normal (humedad: 0.79%)	457.27	39.05
Grava vesicular (humedad: 0.22%)	454.69	38.83
Arena húmeda (humedad: 4.34%)	748.49	63.92
Aire	2%	2%

Fuente: Autores

- Mezcla D (25% de basalto normal y 75% vesicular)

El proporcionamiento de la mezcla D es similar al de la mezcla B, con la diferencia que la cantidad de agregado grueso normal es del 25% y el agregado vesicular es del 75%, como se muestra en la tabla No 4.40. Tomando los pesos secos obtenidos en la tercera mezcla preliminar y considerando los agregados secos, se corrigió considerando la humedad y absorción de los agregados.

Tabla No 4.40. Cantidad de materiales para $1m^3$ para la mezcla D

Mezcla D = Tercera mezcla preliminar ($\alpha/c_3 = 0.547$)		
Material	Peso (kg)	Cantidad de grava seca (Kg)
Agua	205	
Cemento	374.77	
Aire	2.0%	
Grava normal seca (25%)	226.845	$907.38 \times 0.25 = 226.845$
Grava vesicular seca (75%)	680.535	$907.38 - 226.845 = 680.535$
Arena seca	717.36	

Fuente: Autores

En la tabla No 4.41 determinamos si estos agregados aportan o absorben agua a la mezcla:

Tabla No 4.41. Ajuste por humedad y absorción (mezcla D)

Mezcla	Material	Humedad, W. (%)	Absorción, Abs. (%)	W – Abs.	Conclusión
Mezcla D	Grava normal (25%)	0.76	1.20	-0.44	Quita agua
	Grava vesicular (75%)	0.21	0.95	-0.74	Quita agua
	Arena	2.75	3.50	-0.75	Quita agua

Fuente: Autores

Y en la Tabla No 4.42 se presentan los pesos de los agregados y agua de mezclado corregidos.

Tabla No 4.42. Corrección de agua de mezclado (mezcla D)

	Pesos secos, kg	Cantidad de agua, kg	Acción	Pesos húmedos, kg
Grava normal (25%)	226.845	1.00	Agregar	228.57
Grava vesicular(75%)	680.535	5.04	Agregar	681.96
Arena	717.36	5.38	Agregar	737.09
Agua de mezcla		205.00kg		
El agregado grueso (grava normal y vesicular) como el agregado fino (arena) quitan agua a la mezcla. Por lo tanto hay que agregar agua a la mezcla.				
Agua corregida por humedad y absorción	205kg + 1.00kg +5.04kg + 5.38kg = 216.41kg			

Fuente: Autores

En la Tabla No 4.43 se presentan las cantidades de cada componente de la mezcla de concreto ya corregido y reducidos al volumen de laboratorio, correspondiente a la mezcla D.

Tabla No 4.43. Materiales corregidos para 1m³ de concreto y reducidos para la mezcla de laboratorio, correspondiente a la mezcla D.

Material	Mezcla con agregados húmedos para 1m³	Mezcla reducida a tamaño Lab. (0.0854m³)
	Peso (kg)	Peso (kg)
Cemento	374.77	32.01
Agua corregida	216.41	18.48
Grava normal (humedad: 0.76%)	228.57	19.52
Grava vesicular (humedad: 0.21%)	681.96	58.24
Arena húmeda (humedad: 2.75%)	737.09	62.95
Aire	2%	2%

Fuente: Autores

- Mezcla E (100% de basalto vesicular)

El proporcionamiento de la mezcla D es similar al de la mezcla A, con la diferencia que se sustituye el 100% de agregado grueso normal por vesicular, como se muestra en la tabla No 4.44. Tomando los pesos secos obtenidos en la tercera mezcla preliminar y considerando los agregados secos, se corrigió considerando la humedad y absorción de los agregados.

Tabla No 4.44. Cantidad de materiales para 1m³ para la mezcla E

Material	Peso (kg)
Agua	205
Cemento	374.77
Aire	2.0%
Grava vesicular seca (100%)	907.38
Arena seca	717.36

Fuente: Autores

En la tabla No 4.45 determinamos si estos agregados aportan o absorben agua a la mezcla:

Tabla No 4.45. Ajuste por humedad y absorción (mezcla E)

Mezcla	Material	Humedad, W. (%)	Absorción, Abs. (%)	W – Abs.	Conclusión
Mezcla E	Grava vesicular (100%)	0.21	0.95	-0.74	Quita agua
	Arena	2.75	3.50	-0.75	Quita agua

Fuente: Autores

Y en la Tabla No 4.46 se presentan los pesos de los agregados y agua de mezclado corregidos.

Tabla No 4.46. Corrección de agua de mezclado (mezcla E)

	Pesos secos, kg	Cantidad de agua, kg	Acción	Pesos húmedos, kg
Grava vesicular(100%)	907.38	6.71	Agregar	909.29
Arena	717.36	5.38	Agregar	737.09
Agua de mezcla		205.00kg		
El agregado grueso (grava vesicular) como el agregado fino (arena) quitan agua a la mezcla. Por lo tanto hay que agregar agua a la mezcla.				
Agua corregida por humedad y absorción	205.00kg + 6.71kg + 5.38kg = 217.09kg			

Fuente: Autores

En la Tabla No 4.47 se presentan las cantidades de cada componente de la mezcla de concreto ya corregido y reducidos al volumen de laboratorio, correspondiente a la mezcla E.

Tabla No 4.47. Materiales corregidos para 1m³ de concreto y reducidos para la mezcla de laboratorio, correspondiente a la mezcla E.

Material	Mezcla con agregados húmedos para 1m³	Mezcla reducida a tamaño Lab. (0.0854m³)
	Peso (kg)	Peso (kg)
Cemento	374.77	32.01
Agua corregida	217.09	18.54
Grava vesicular (humedad: 0.21%)	909.29	77.65
Arena húmeda (humedad: 2.75%)	737.09	62.95
Aire	2%	2%

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPETACIÓN DE RESULTADOS DE MEZCLAS DEFINITIVAS

5.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados que permitirán evaluar el comportamiento en estado fresco y endurecido, de las mezclas de concreto con la inclusión de basalto del tipo vesicular.

Para evaluar el comportamiento del concreto en estado fresco se evaluaron parámetros como son: revenimiento, temperatura, peso volumétrico y contenido de aire. En estado endurecido: densidad, resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días.

El análisis se realizó comparando los resultados de las propiedades en estado fresco y endurecido de las mezclas con la adición de basalto vesicular en diferentes proporciones con el comportamiento que presenta un concreto sin el empleo de este tipo de basalto.

5.2 Análisis del comportamiento del concreto en estado fresco

Para la reproducción de cada una de las cinco mezclas, se realizaron 4 submezclas, respetando sus dosificaciones; a cada una se le realizaron ensayos al concreto fresco para determinar sus características, y se elaboraron 20 pares de cilindros necesarios para determinar la resistencia a la compresión a las diferentes edades; a continuación, se presentan los resultados de los ensayos

que se le realizaron al concreto en estado fresco y su respectivo análisis, comparando las características de cada una de las mezclas con la mezcla de referencia (mezcla A).

5.2.1 Revenimiento.

En la tabla No 5.1 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de revenimiento que se les realizaron a cada una de las mezclas a evaluar, así como su valor promedio.

Tabla No 5.1. Resultados de los ensayos de revenimiento realizados a cada mezcla.

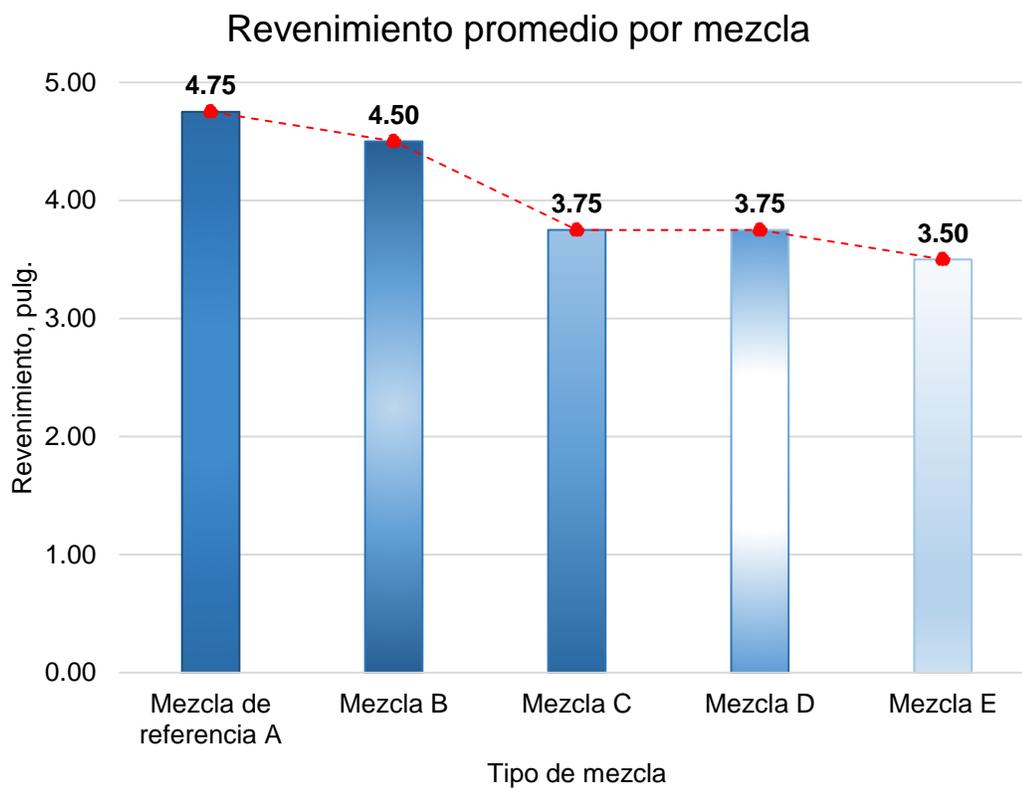
Resultados de Revenimiento por mezcla, pulg. (mm).					
No de bachada	Mezcla A, mezcla de referencia (100% normal)	Mezcla B 75% normal 25%vesicular	Mezcla C 50% normal 50%vesicular	Mezcla D 25% normal 75%vesicular	Mezcla E 100% vesicular
Bachada 1	4.75(120)	4.25(105)	3.75(95)	3.50(90)	3.25(80)
Bachada 2	5.00(125)	4.50(115)	3.00(75) ^A	3.75(95)	2.50(65) ^A
Bachada 3	6.00(150)^A	5.25(130) ^A	3.50(90)	3.50(90)	3.75(95)
Bachada 4	4.50(115)	4.75(120)	3.75(95)	3.75(95)	3.75(95)
Promedio	4.75(130)	4.50(115)	3.75(95)	3.75(95)	3.50(90)

^A Este resultado no se tomará en cuenta en el cálculo del promedio, debido a su dispersión con los demás resultados.

Fuente: Autores.

En la figura No 5.1 se presenta gráficamente el comportamiento de los resultados obtenidos de los ensayos de revenimiento de las mezclas evaluadas.

Figura No 5.1. Comportamiento de los resultados de ensayos de Revenimientos por mezcla elaborada



Fuente: Autores

Análisis:

Al comparar la mezcla de referencia (mezcla A) con las combinaciones, se determinó lo que se presenta en la tabla No 5.2

Tabla No 5.2. Análisis de resultado de ensayos de trabajabilidad del concreto en estudio

Análisis de resultados de ensayos de revenimiento					
Mezcla	Rango de valores (pulgadas)	Valor promedio	Conclusión en función de la mezcla de referencia	Tolerancia de diseño	Cumplimiento
Mezcla A (100% de basalto normal)	4.50" a 5.00"	4.75"	-		
Mezcla B (75% normal-25%vesicular):	4.25" y 4.75"	4.50"	Existió una disminución de un 5%		
Mezcla C (50% normal-50%vesicular):	3.50" y 3.75"	3.75"	Existió una disminución de un 21%	4" ±1", (3-5")	Se encuentran dentro de la tolerancia de diseño
Mezcla D (25% normal-75%vesicular):	3.50" y 3.75"	3.75"	Existió una disminución de un 21%		
Mezcla E (100% basalto vesicular):	3.25" y 3.75"	3.50"	Existió una disminución de un 26%		

Fuente: Autores

De acuerdo con los resultados de la tabla No 5.2 se puede observar que las 4 mezclas que combinan basalto vesicular se encuentran dentro de la tolerancia establecida en el diseño de mezcla, (de 4" ± 1").

Analizando el comportamiento entre mezclas y tomando como referencia la mezcla A, se puede determinar que hay una disminución en el valor revenimiento a medida se adiciona basalto vesicular, siendo la mezcla E (100% vesicular) la que presenta la mayor variación (26%).

Cuando se usa 100% de basalto vesicular se obtiene la mayor disminución de la trabajabilidad del concreto, sin embargo, para un valor de revenimiento de diseño

de 4 ± 1 , cada una de las mezclas ensayadas se encuentran dentro de la tolerancia; por lo tanto, desde el punto de vista de trabajabilidad, se podrían utilizar cualquier combinación de este tipo de basalto.

5.2.2 Temperatura del concreto en estado fresco

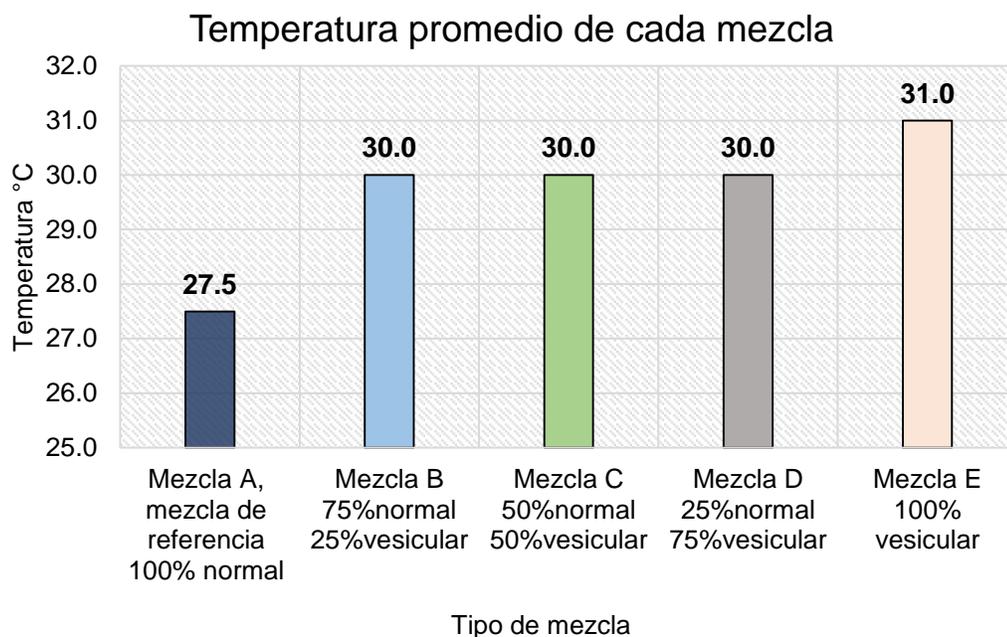
En la tabla No 5.3 se presentan los resultados que se obtuvieron de los ensayos de temperatura de cada una de las mezclas, y su correspondiente valor medio. En la figura No 5.2 se muestra un gráfico del comportamiento presentado al evaluar la temperatura de las mezclas elaboradas.

Tabla No 5.3. Resultados de los ensayos de temperatura realizados a cada mezcla.

Resultados de temperatura por mezcla, °C.					
No de Bachada	Mezcla A, mezcla de referencia 100% normal	Mezcla B 75%normal 25%vesicular	Mezcla C 50%normal 50%vesicular	Mezcla D 25%normal 75%vesicular	Mezcla E 100% vesicular
Bachada 1	27.0	30.0	29.0	29.0	31.5
Bachada 2	27.0	30.0	30.0	30.0	31.5
Bachada 3	27.0	30.0	30.5	30.0	31.5
Bachada 4	29.5	30.0	31.0	30.0	30.0
Promedio	27.5	30.0	30.0	30.0	31.0

Fuente: Autores.

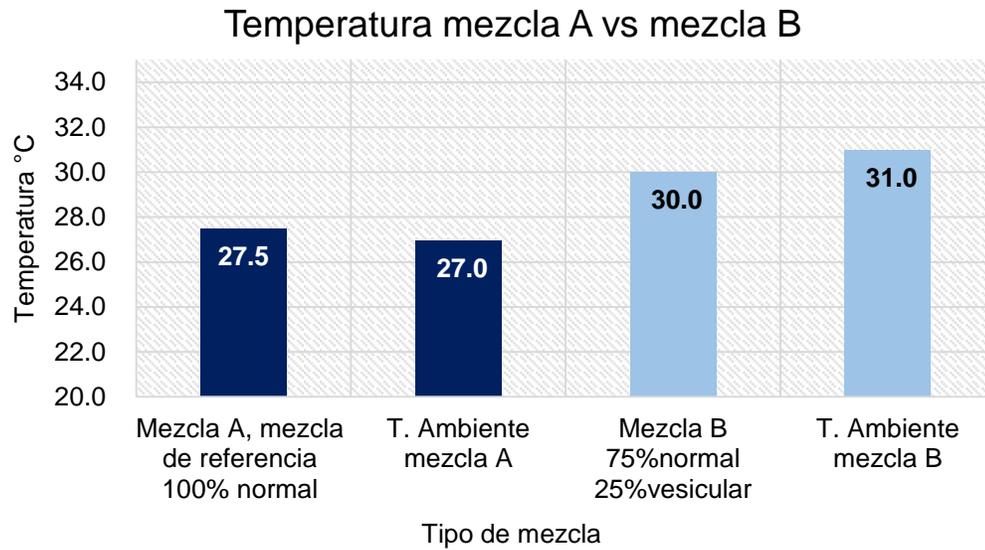
Figura No 5.2. Comportamiento de los resultados de los ensayos de Temperaturas del concreto fresco de cada mezcla elaborada



Fuente: Autores.

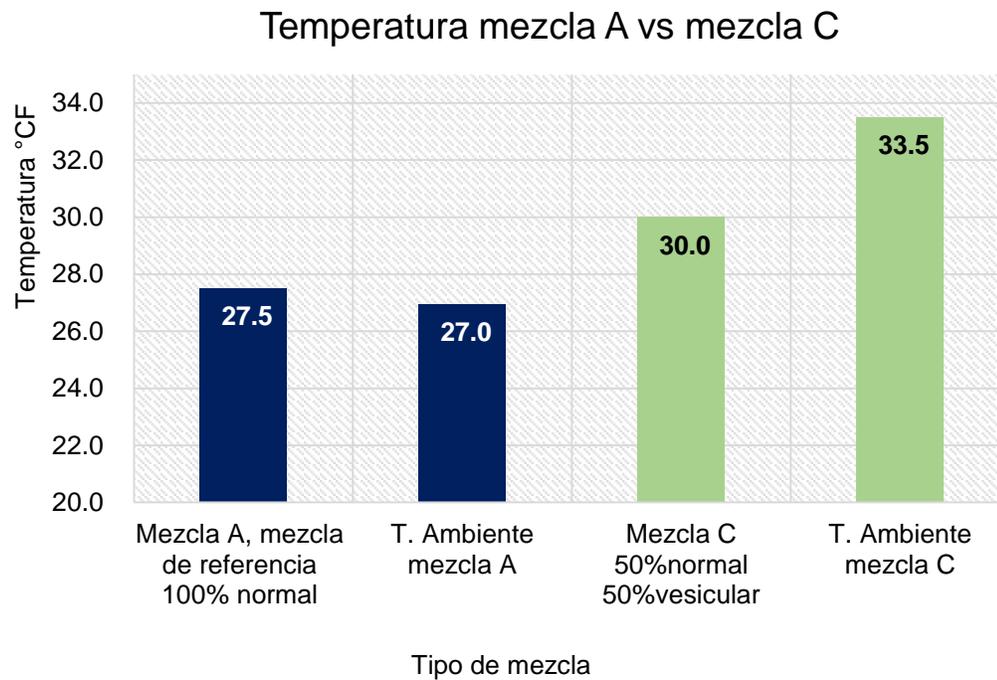
Para analizar cómo se comportó, la temperatura de las mezclas se realizó, además, comparaciones del resultado de cada una de las mezclas con la temperatura ambiente medida durante la ejecución de los ensayos, así como con el resultado de la mezcla A, su comportamiento se puede evaluar en los gráficos de las figuras No 5.3 al 5.6.

Figura No 5.3. Gráfico de Variación de la temperatura, para la mezcla A vs la Mezcla B



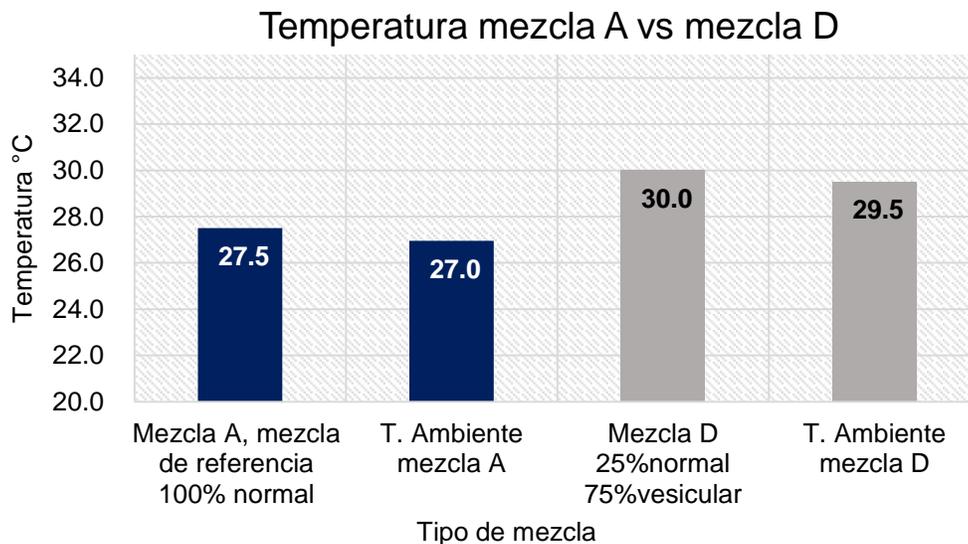
Fuente: Autores

Figura No 5.4. Gráfico de Variación de la temperatura, para la mezcla A vs la Mezcla C



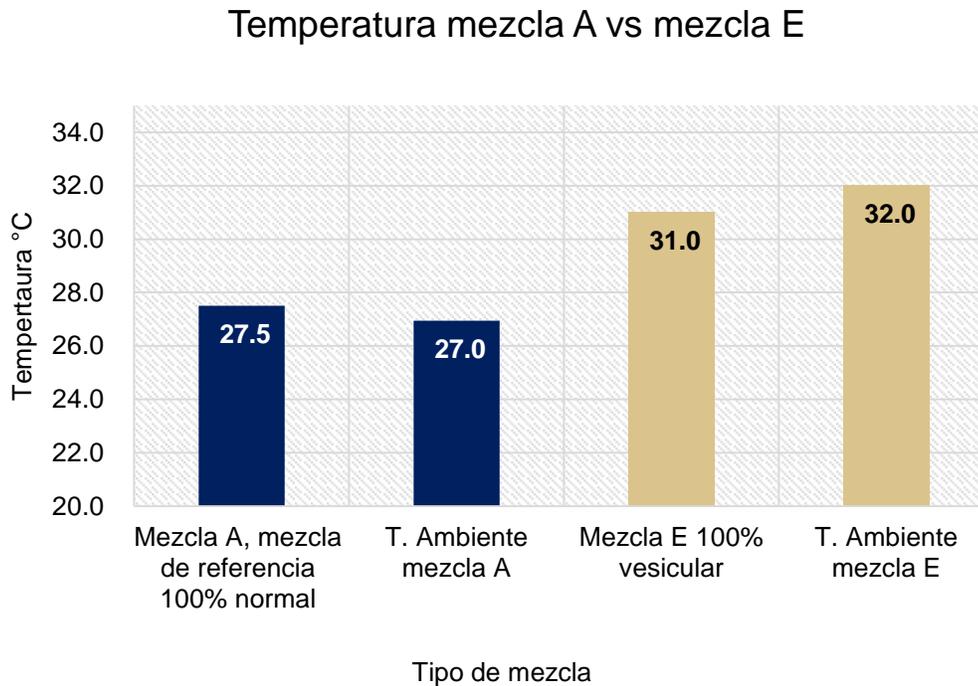
Fuente: Autores

Figura No 5.5. Gráfico de Variación de la temperatura, para la mezcla A vs la mezcla D



Fuente: Autores

Figura No 5.6. Gráfico de Variación de la temperatura, para la mezcla A vs la mezcla E



Fuente: Autores

Para evaluar el comportamiento de los resultados se comparará el valor medio de la temperatura de la mezcla A (27.5°C) con los resultados de las mezclas que tienen combinación de agregado normal con vesicular, obteniéndose los resultados de la tabla No 5.4.

Tabla No 5.4. Análisis de resultado de ensayos de temperatura del concreto en estudio

Comportamiento de resultados de Temperatura			
Mezcla	Rango de valores temperatura (°C)	Valor promedio	Conclusión en función de la mezcla de referencia
100% de basalto normal (A)	27.0 a 29.5C	27.5°C	-
Mezcla B (75% normal-25%vesicular):	30.0°C	30.0°C	Existió un aumento de un 9%
Mezcla C (50% normal-50%vesicular):	29.0 y 31.0°C	30.0°C	Existió un aumento de un 9%
Mezcla D (25% normal-75%vesicular):	29.0 a 30	30.0°C	Existió un aumento de un 9%
Mezcla E (100% basalto vesicular):	30.0 a 31.5°C	31.0°C	Existió un aumento de un 12%

Fuente: Autores

En base a los resultados obtenidos en la tabla No 5.4, se puede decir:

- El % de variación de la temperatura con respecto a la mezcla de referencia se encontró entre 9-12%.
- Al comparar los valores de temperatura obtenidos para cada mezcla con la temperatura ambiente, 4 de 5 de las mezclas presentaban temperaturas inferiores a la del ambiente.
- Por lo tanto, se puede afirmar que la adición de agregado grueso de tipo basalto vesicular como sustitución del basalto grueso normal no incrementa el comportamiento de la temperatura del concreto en estado fresco.

5.2.3 Peso volumétrico del concreto fresco y contenido de aire

En la tabla No 5.5 se presentan los resultados de los ensayos de peso volumétrico realizados al concreto fresco para cada una de las cinco mezclas elaboradas.

Tabla No 5.5. Resultados de los ensayos de peso volumétrico realizados al concreto fresco por mezcla.

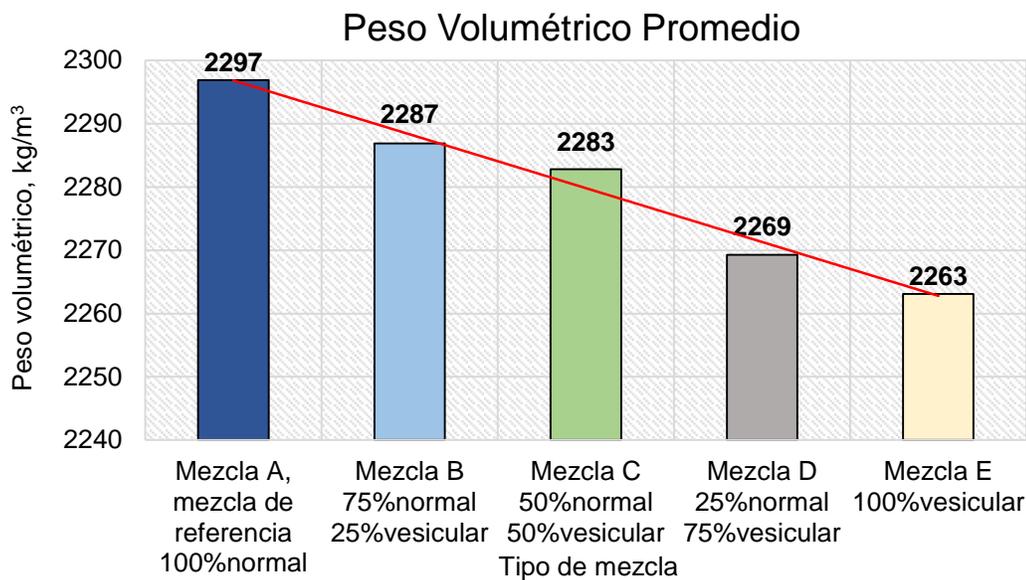
Pesos volumétricos del concreto fresco por mezcla elaborada, kg/m ³					
No de Bachada	Mezcla A, mezcla de referencia 100%normal	Mezcla B 75%normal 25%vesicular	Mezcla C 50%normal 50%vesicular	Mezcla D 25%normal 75%vesicular	Mezcla E 100% vesicular
Bachada 1	2296	2289	2283	2276	2269
Bachada 2	2293	2288	2281	2263	2263
Bachada 3	2301	2284	2292 ^A	2270	2263
Bachada 4	2298	2286	2284	2268	2257
Promedio	2297	2287	2283	2269	2263

^A Este resultado no se tomará en cuenta en el cálculo del peso volumétrico del concreto fresco, debido a su dispersión con los demás resultados.

Fuente: Autores

Para un mejor análisis se presenta la figura No 5.7 donde se muestra el comportamiento del peso volumétrico para cada mezcla en estudio. Además, se realizó un análisis comparativo, entre el resultado de la mezcla de referencia con las mezclas con presencia de basalto de tipo vesicular, obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla No 5.6

Figura No 5.7. Comportamiento de los resultados del peso volumétrico del concreto fresco.



Fuente: Autores.

Para el análisis comparativo entre el resultado de la mezcla de referencia y las mezclas con presencia de basalto de tipo vesicular, se elaboró la tabla No 5.6, en la que se muestra el comportamiento de este parámetro.

Tabla No 5.6. Análisis de resultado de ensayos de peso volumétrico del concreto en estudio

Comportamiento de resultados de Pesos volumétrico del concreto fresco			
Mezcla	Rango de valores Peso volumétrico kg/m³	Valor promedio kg/m³	Conclusión en función de la mezcla de referencia
Mezcla A (100% de basalto normal)	2293 a 2301	2297	-
Mezcla B (75% normal 25% vesicular):	2284 a 2289	2287	Existió una disminución de un 0.4%
Mezcla C (50% normal- 50% vesicular):	2281 a 2284	2283	Existió una disminución de un 0.6%
Mezcla D (25% normal- 75% vesicular):	2263 a 2276	2269	Existió una disminución de un 1.2%
Mezcla E (100% basalto vesicular):	2257 a 2269	2263	Existió una disminución de un 1.5%

Fuente: Autores

Se puede determinar que a partir del comportamiento de las mezclas presentadas en la figura No 5.7 y los resultados de la Tabla No 5.6, que el peso volumétrico del concreto fresco disminuye, a medida se adiciona basalto vesicular; sin embargo, la diferencia máxima se alcanza cuando se adiciona el 100% de basalto vesicular (mezcla E), disminuyendo en un 1.5%.

Por lo tanto, se puede afirmar que mientras más se adiciona basalto vesicular, el peso volumétrico tiende a disminuir. Sin embargo, al evaluar las variaciones presentadas por las 4 mezclas, estas se encuentran en el rango de 0.4% a 1.5%, que puede considerarse, que no representa un efecto considerable en el peso volumétrico del concreto fresco.

En términos generales se podría decir, que tomando en cuenta los resultados de peso volumétrico del concreto fresco, la adición de este tipo de agregado grueso (basalto vesicular) en las diferentes combinaciones usadas, no altera el peso volumétrico del concreto fresco, por lo que para esta característica en especial se podrían utilizar hasta en un 100% de basalto vesicular. Ya que su variación es pequeña.

Los resultados obtenidos en el contenido de aire por el método gravimétrico se detallan en la tabla No 5.7:

Tabla No 5.7. Resultados de los ensayos de Contenido de Aire (gravimétrico).

Tipo de mezcla	Bachada	Contenido de Aire, %
Mezcla A, 100% normal	1	1.9
	2	0.4 ^B
	3	0.9
	4	0.7
	Promedio	1.16
Mezcla B, 75% normal - 25% vesicular	1	0.6 ^B
	2	1.0
	3	1.1
	4	0.02 ^B
	Promedio	1.05
Mezcla C, 50% normal 50% vesicular	1	1.2
	2	1.5
	3	2.1
	4	0.6
	Promedio	1.6
Mezcla D, 25% normal 75% vesicular	1	1.5
	2	0.9
	3	0.5 ^B
	4	0.4 ^B
	Promedio	1.2
Mezcla E, 100 vesicular	1	0.1 ^B
	2	0.7
	3	0.8
	4	0.6
	Promedio	0.7

^B Este resultado no se tomará en cuenta en el cálculo del promedio del contenido de aire, debido a su dispersión con los demás resultados

Fuente: Autores

Al comparar el resultado del contenido de aire de la mezcla A, con las mezclas que tienen combinación de agregado normal con vesicular, se obtuvieron las variaciones que se presentan en la tabla No 5.8.

Tabla No 5.8. Análisis de resultado del contenido de aire del concreto en estudio

Comportamiento de resultados de Contenido de aire			
Mezcla	Rango de valores de contenido	Valor promedio	Conclusión en función de la mezcla de referencia
Mezcla A (100% de basalto normal)	0.7% hasta 1.9%,	1.2%;	-
Mezcla B (75%normal-25%vesicular):	1.0% y 1.1%	1.1%,	Existió una disminución de un 8.3%
Mezcla C (50%normal-50%vesicular):	1.2% hasta 2.1%	1.6%	Existió un aumento de un 33%
Mezcla D (25%normal-75%vesicular):	0.9% hasta 1.5%	1.2%,	No existió diferencia con respecto a la mezcla de referencia.
Mezcla E (100% basalto vesicular):	0.6% hasta 0.8%	0.7%,	Existió una disminución de un 42%

Fuente: Autores

En base a los resultados obtenidos para las diferentes mezclas se puede decir que la adición de agregado grueso de tipo basalto vesicular, mantiene el contenido de aire de las mezclas de concreto dentro de un rango de 0.7% a 1.6%, donde:

- Sustituyendo 25% de basalto vesicular el contenido de aire disminuye en un valor promedio de 8.3%.
- Con una sustitución del 50% de basalto vesicular el contenido de aire incremento en un valor promedio de 33%.
- Con la sustitución del 75% de basalto vesicular el valor promedio del contenido de aire no varía con respecto al promedio del contenido de aire de la mezcla de referencia el cual es de 1.2%.
- Sustituyendo el 100% Del agregado grueso normal por basalto vesicular se tiene una disminución en el valor promedio del contenido de aire de 42%.

Al observar la tabla No 5.8 el comportamiento de las mezclas de concreto, respecto al contenido de aire atrapado, no presenta un comportamiento definido, ya que con el 25% esta propiedad disminuye, con el 50% aumenta y con el 100% disminuye nuevamente.

Por lo que, este parámetro no se tomará en cuenta para el análisis, ya que los resultados no nos proporcionan una información que nos ayude a evaluar cómo es el comportamiento de esta propiedad al sustituir gradualmente basalto vesicular por basalto normal. Para solventar este problema, se recomienda que, en futuras investigaciones, se debe aumentar el número de ensayos, para tener mayor información y así poder tener un mejor criterio de análisis y así definir cómo es el comportamiento del contenido de aire del concreto a medida se les agrega basalto vesicular a las mezclas de concreto.

5.3 Análisis del comportamiento del concreto en estado endurecido

Uno de los objetivos de esta investigación es evaluar el comportamiento del concreto en estado endurecido con la adición de basalto vesicular como agregado grueso en las mezclas de concreto, para ello se evaluaron 12 cilindros de concreto a la edad de 7 días y 38 cilindros a la edad de 28 días, resultando un total de 40 cilindros por tipo de mezcla. Los resultados obtenidos de resistencias a compresión realizados según las edades de ensayo y de peso volumétrico del concreto endurecido, se muestran en las tablas de la No 5.9 a la 5.13, para cada mezcla elaborada

Los resultados de la mezcla C, D y E no se pudieron ensayar a la edad de 28 días, debido a que la fecha de ensayo, cayó durante el inicio de la pandemia Covid-19, en la que se cerraron las instalaciones de la universidad y se clausuró toda actividad académica a nivel presencial, permitiéndose reingresar a las instalaciones y realizar los ensayos a las edades de 279 días para la mezcla C, 275 días para la mezcla D y 268 días para la mezcla E, por lo que para estas mezclas, la resistencia alcanzada a la edad de 28 días, que sirvió para el análisis de resultados, se obtuvo graficando las curvas “edad-resistencia a la compresión” y posteriormente se interpoló el resultado, para cada mezcla, como se muestra en las gráficas presentadas en las figuras No 5.21 a la 5.23.

Tabla No 5.9. Resultados de los ensayos de peso volumétrico endurecido y resistencia a la compresión de la mezcla "A"

Resultados del Concreto en estado endurecido							
Mezcla A, mezcla de referencia 100% normal							
N° de mezcla	N° de cilindro	Edad (días)	Peso vol. del cilindro (kg/m ³)	Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Ganancia % ^A	Tipo de rotura
1	1	7	2290	170	16.7	81	Corte
	2	7	2260	148	14.5	70	Corte
	3	7	2290	196	19.3	93	Corte
	4	7	2270	206	20.2	98	Corte
	5	7	2270	194	19.0	92	Corte
	6	7	2270	198	19.4	94	Corte
	7	7	2280	183	18.0	87	Corte
	8	7	2260	181	17.8	86	Corte
	9	7	2290	167	16.4	80	Corte
	10	7	2280	203	19.9	96	Corte
	11	7	2280	191	18.8	91	Corte
	12	7	2270	204	20.0	97	Corte
2	1	28	2300	239	23.4	114	Corte
	2	28	2300	233	22.9	111	Corte
	3	28	2300	231	22.7	110	Corte
	4	28	2290	275	27.0	131	Corte
	5	28	2290	227	22.3	108	Corte
	6	28	2290	246	24.1	117	Corte
	7	28	2300	235	23.0	112	Corte
	8	28	2290	260	25.5	124	Corte
	9	28	2290	248	24.4	118	Columnar
	10	28	2290	262	25.7	125	Columnar
	11	28	2290	230	22.6	110	Corte
	12	28	2290	259	25.4	123	Corte
3	13	28	2280	245	24.0	117	Corte
	14	28	2280	239	23.5	114	Corte
	15	28	2270	255	25.0	121	Corte
	16	28	2270	243	23.8	116	Corte
	17	28	2280	197	19.4	94	Corte
	18	28	2280	248	24.4	118	Corte
	19	28	2280	260	25.5	124	Corte
	20	28	2290	288	28.3	137	Corte
4	21	28	2270	253	24.8	120	Corte
	22	28	2280	288	28.2	137	Corte
	23	28	2280	279	27.4	133	Corte
	24	28	2280	250	24.5	119	Corte
	25	28	2270	279	27.3	133	Corte
	26	28	2270	227	22.2	108	Corte
	27	28	2280	277	27.2	132	Corte
	28	28	2280	280	27.5	133	Corte

^A Este resultado corresponde a la ganancia que ha obtenido cada uno de los cilindros de la mezcla A respecto a la resistencia de diseño a la edad de 28 días ($210\text{kg/cm}^2=20.6\text{MPa}$)

Fuente: Autores.

Tabla No 5.10. Resultados de los ensayos de peso volumétrico endurecido y resistencia a la compresión para la mezcla "B".

Resultados del Concreto en estado endurecido							
Mezcla B 75%normal 25%vesicular							
N° de mezcla	N° de cilindro	Edad (días)	Peso vol. del cilindro (kg/m ³)	Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Ganancia % ^A	Tipo de rotura
1	1	7	2270	168	16.5	68	Columnar
	2	7	2270	171	16.8	69	Corte
	3	7	2270	182	17.9	74	Corte
	4	7	2280	162	15.9	66	Corte
	5	7	2260	156	15.3	63	Corte
	6	7	2260	191	18.7	77	Columnar
	7	7	2270	189	18.6	76	Columnar
	8	7	2260	189	18.5	76	Corte
	9	7	2270	190	18.6	77	Corte
	10	7	2270	189	18.6	76	Corte
	11	7	2270	166	16.3	67	Corte
	12	7	2260	188	18.5	76	Corte
2	1	28	2270	284	27.8	115	Columnar
	2	28	2270	296	29.0	119	Columnar
	3	28	2270	252	24.7	102	Corte
	4	28	2270	264	25.9	107	Corte
	5	28	2260	272	26.6	110	Corte
	6	28	2260	219	21.5	88	Corte
	7	28	2260	318	31.2	129	Corte
	8	28	2260	324	31.8	131	Columnar
	9	28	2260	273	26.8	110	Corte
	10	28	2270	269	26.4	109	Corte
	11	28	2270	308	30.3	124	Corte
	12	28	2270	242	23.8	98	Corte
3	13	28	2270	258	25.3	104	Corte
	14	28	2270	298	29.3	120	Corte
	15	28	2270	285	28.0	115	Corte
	16	28	2270	308	30.2	124	Corte
	17	28	2270	305	30.0	123	Corte
	18	28	2270	304	29.8	123	Corte
	19	28	2270	317	31.1	128	Corte
	20	28	2280	281	27.6	114	Corte
4	21	28	2270	316	31.0	127	Corte
	22	28	2270	322	31.5	130	Corte
	23	28	2270	325	31.9	131	Corte
	24	28	2270	326	32.0	132	Corte
	25	28	2270	327	32.1	132	Corte
	26	28	2270	284	27.9	115	Corte
	27	28	2270	320	31.4	129	Corte
	28	28	2270	259	25.4	105	Corte

^A Este resultado corresponde a la ganancia que ha obtenido cada uno de los cilindros de la mezcla B respecto al promedio de la resistencia a compresión de la mezcla A, a la edad de 28 días (23.4MPa)

Fuente: Autores.

Tabla No 5.11. Resultados de los ensayos de peso volumétrico y resistencia a la compresión para la mezcla "C".

Resultados del Concreto en estado endurecido							
Mezcla C 50%normal 50%vesicular							
N° de mezcla	N° de cilindro	Edad (días)	Peso vol. del cilindro (kg/m ³)	Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Ganancia % ^A	Tipo de rotura
1	1	7	2270	168	16.5	70	Corte
	2	7	2250	136	13.4	57	Corte
	3	7	2250	173	17.0	72	Corte
	4	7	2250	175	17.2	73	Corte
	5	7	2250	201	19.8	84	Columnar
	6	7	2260	164	16.1	69	Corte
	7	7	2250	193	18.9	81	Corte
	8	7	2250	210	20.6	88	Corte
	9	7	2250	214	21.0	90	Columnar
	10	7	2250	177	17.4	74	Corte
	11	7	2250	207	20.3	87	Corte
	12	7	2250	202	19.8	85	Corte
2	1	279	2260	459	45.0	192	Corte
	2	279	2270	441	43.2	185	Corte
	3	279	2260	428	42.0	179	Corte
	4	279	2270	466	45.7	195	Columnar
	5	279	2260	417	40.9	175	Columnar
	6	279	2260	387	38.0	162	Corte
	7	279	2270	469	46.0	197	Corte
	8	279	2260	398	39.0	167	Corte
	9	279	2270	430	42.2	180	Corte
	10	279	2250	346	34.0	145	Corte
	11	279	2270	470	46.1	197	Corte
	12	279	2260	477	46.8	200	Corte
3	13	279	2260	448	44.0	188	Corte
	14	279	2280	454	44.6	190	Corte
	15	279	2270	417	40.9	175	Corte
	16	279	2270	389	38.2	163	Corte
	17	279	2270	437	42.9	183	Corte
	18	279	2270	374	36.7	157	Corte
	19	279	2280	440	43.2	184	Corte
	20	279	2270	447	43.8	187	Corte
4	21	279	2270	393	38.6	165	Corte
	22	279	2270	482	47.3	202	Corte
	23	279	2270	454	44.5	190	Columnar
	24	279	2270	502	49.2	210	Columnar
	25	279	2270	502	49.3	210	Corte
	26	279	2270	473	46.4	198	Corte
	27	279	2270	423	41.5	177	Corte
	28	279	2270	414	40.6	173	Corte

^A Este resultado corresponde a la ganancia que ha obtenido cada uno de los cilindros de la mezcla C respecto al promedio de la resistencia a compresión de la mezcla A, a la edad de 28 días (23.4MPa)

Fuente: Autores.

Tabla No 5.12. Resultados de los ensayos de peso volumétrico y resistencia a la compresión realizados a la mezcla "D".

Resultados del Concreto en estado endurecido							
Mezcla D 25%normal 75%vesicular							
N° de mezcla	N° de cilindro	Edad (días)	Peso vol. de cilindro (kg/m ³)	Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Ganancia % ^A	Tipo de rotura
1	1	7	2250	140	13.8	59	Columnar
	2	7	2250	165	16.2	69	Corte
	3	7	2250	212	20.8	89	Corte
	4	7	2260	192	18.8	81	Corte
	5	7	2250	179	17.5	75	Corte
	6	7	2250	182	17.8	76	Corte
	7	7	2240	155	15.2	65	Columnar
	8	7	2250	167	16.3	70	Corte
	9	7	2250	194	19.1	81	Corte
	10	7	2250	144	14.1	60	Corte
	11	7	2250	215	21.1	90	Corte
	12	7	2250	212	20.8	89	Corte
2	1	275	2260	499	48.9	209	Columnar
	2	275	2240	473	46.4	198	Corte
	3	275	2250	489	47.9	205	Corte
	4	275	2260	495	48.5	207	Corte
	5	275	2280	314	30.8	131	Corte
	6	275	2260	431	42.2	180	Corte
	7	275	2250	454	44.5	190	Corte
	8	275	2240	460	45.1	193	Corte
	9	275	2230	497	48.7	208	Corte
	10	275	2210	469	46.0	197	Corte
	11	275	2270	424	41.6	178	Corte
	12	275	2270	497	48.7	208	Corte
3	13	275	2260	384	37.7	161	Corte
	14	275	2250	490	48.1	206	Corte
	15	275	2260	473	46.3	198	Corte
	16	275	2250	452	44.3	189	Corte
	17	275	2240	457	44.9	192	Corte
	18	275	2230	469	46.0	197	Columnar
	19	275	2260	442	43.4	185	Columnar
	20	275	2260	476	46.7	200	Columnar
4	21	275	2240	471	46.2	197	Corte
	22	275	2260	443	43.5	186	Corte
	23	275	2260	461	45.3	193	Corte
	24	275	2260	472	46.3	198	Corte
	25	275	2280	363	35.6	152	Corte
	26	275	2260	506	49.6	212	Corte
	27	275	2260	472	46.3	198	Corte
	28	275	2260	504	49.4	211	Corte

^A Este resultado corresponde a la ganancia que ha obtenido cada uno de los cilindros de la mezcla D respecto al promedio de la resistencia a compresión de la mezcla A, a la edad de 28 días (23.4MPa)

Fuente: Autores.

Tabla No 5.13. Resultados de los ensayos de peso volumétrico y resistencia a la compresión realizados a la mezcla "E".

Resultados del Concreto en estado endurecido							
Mezcla E 100% vesicular							
N° de mezcla	N° de cilindro	Edad (días)	Peso vol. de cilindro (kg/m ³)	Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Ganancia % ^A	Tipo de rotura
1	1	7	2250	221	21.7	93	Corte
	2	7	2230	208	20.5	87	Corte
	3	7	2260	215	21.1	90	Corte
	4	7	2220	220	21.6	92	Corte
	5	7	2250	180	17.7	75	Corte
	6	7	2330	170	16.7	71	Columnar
	7	7	2200	190	18.7	80	Columnar
	8	7	2250	219	21.4	92	Corte
	9	7	2280	222	21.8	93	Corte
	10	7	2220	211	20.7	88	Corte
	11	7	2250	220	21.6	92	Corte
	12	7	2280	215	21.1	90	Corte
2	1	268	2250	405	39.7	170	Corte
	2	268	2250	475	46.6	199	Columnar
	3	268	2250	481	47.2	202	Corte
	4	268	2240	465	45.6	195	Corte
	5	268	2250	484	47.4	203	Corte
	6	268	2240	487	47.7	204	Corte
	7	268	2250	489	47.9	205	Corte
	8	268	2240	437	42.8	183	Corte
	9	268	2260	435	42.7	182	Corte
	10	268	2240	384	37.7	161	Corte
	11	268	2250	464	45.5	194	Corte
	12	268	2250	411	40.3	172	Corte
3	13	268	2250	470	46.1	197	Corte
	14	268	2250	485	47.6	203	Corte
	15	268	2250	483	47.4	202	Columnar
	16	268	2250	465	45.6	195	Corte
	17	268	2240	482	47.2	202	Corte
	18	268	2250	484	47.5	203	Corte
	19	268	2240	403	39.5	169	Corte
	20	268	2240	485	47.6	203	Corte
4	21	268	2230	494	48.4	207	Corte
	22	268	2240	377	37.0	158	Corte
	23	268	2240	445	43.7	187	Corte
	24	268	2240	435	42.7	182	Corte
	25	268	2240	471	46.2	197	Corte
	26	268	2240	480	47.1	201	Corte
	27	268	2240	460	45.1	193	Corte
	28	268	2240	421	41.3	176	Corte

^A Este resultado corresponde a la ganancia que ha obtenido cada uno de los cilindros de la mezcla E respecto al promedio de la resistencia a compresión de la mezcla A, a la edad de 28 días (23.4MPa)

Fuente: Autores.

5.3.1 Peso volumétrico del concreto endurecido.

Para obtener el valor de la media aritmética a usar en el análisis de resultados de peso volumétrico del concreto endurecido y resistencia a la compresión, se calculara la desviación estándar de la población, para posteriormente plotear los resultados de peso volumétrico o resistencia a la compresión en una carta de control de calidad, incluyendo en esta el límite de: 2 veces arriba y 2 veces abajo de la desviación estándar “ $\pm 2DS$ ” parámetro tomado del ACI 214, no se tomaran en cuenta para el cálculo de la media aritmética las muestras que se encuentren fuera de $\pm 2DS$. Este procedimiento se aplicará para cada mezcla de prueba investigada.

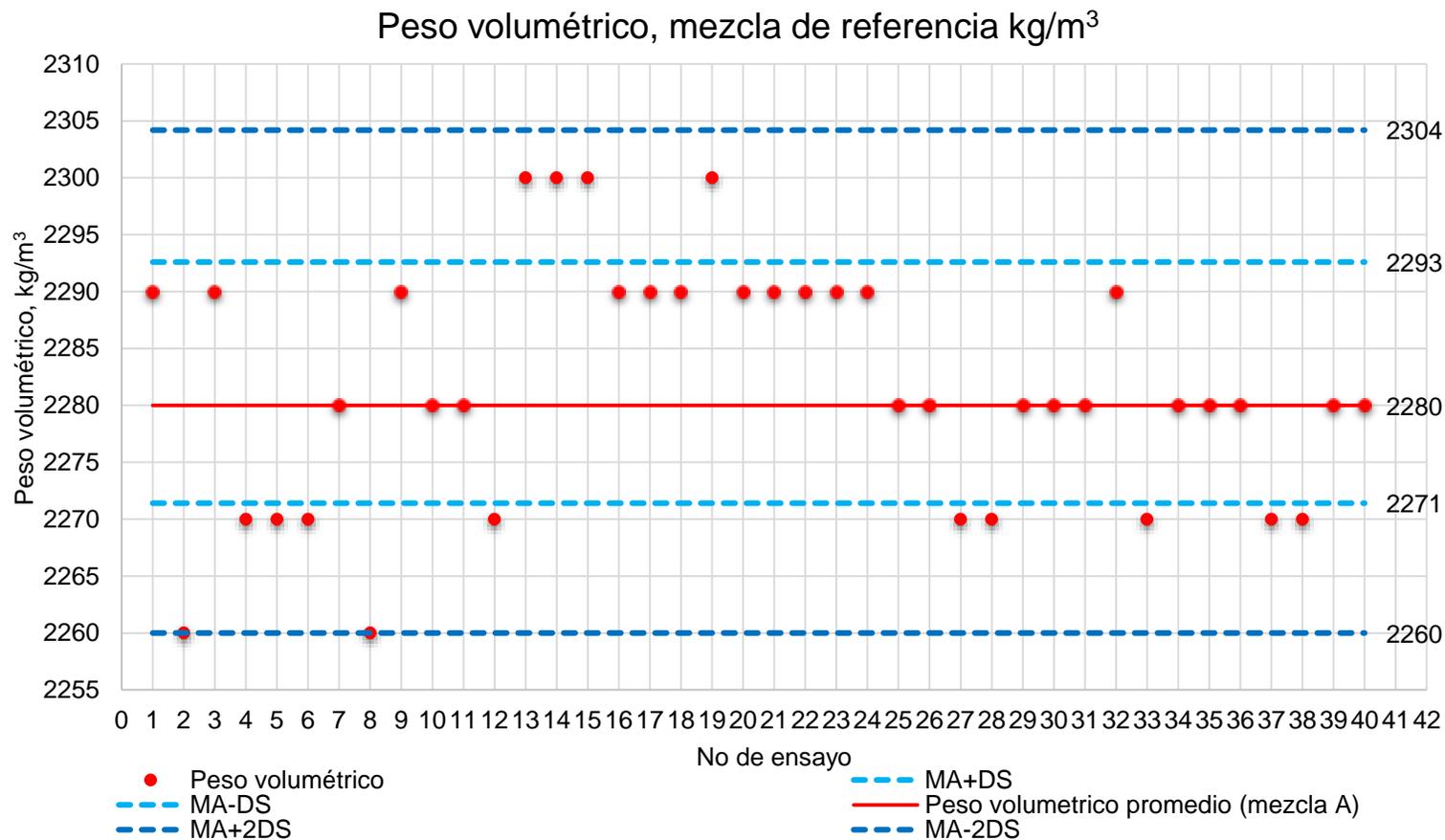
Tomando como base las tablas No. 5.9 a la No. 5.13, se presentan las figuras No.5.8 a la No. 5.12 las cuales muestran la dispersión de los resultados de los ensayos de peso volumétrico del concreto endurecido y que sirvieron para el cálculo de la media aritmética de para cada mezcla (ver tabla No 5.14).

Tabla No 5.14. Cálculo de la media aritmética de la población de resultados de peso volumétrico del concreto endurecido, para el análisis de resultados

Mezcla	Media kg/m ³	Desviación estándar (DS), kg/m ³	Criterio M \pm 2DS	Cilindros fuera de tolerancia	Nueva Media kg/m ³
Mezcla A (mezcla referencia)	2282	11	2304-2260	-	2280
Mezcla B (25% vesicular)	2268	5	2278-2258	4 y 32	2270
Mezcla C (50% vesicular)	2263	9	2281-2245	-	2265
Mezcla D (75% vesicular)	2253	13	2279-2227	17,22 y 37	2250
Mezcla E (100% vesicular)	2247	19	2285-2209	6 y 7	2245

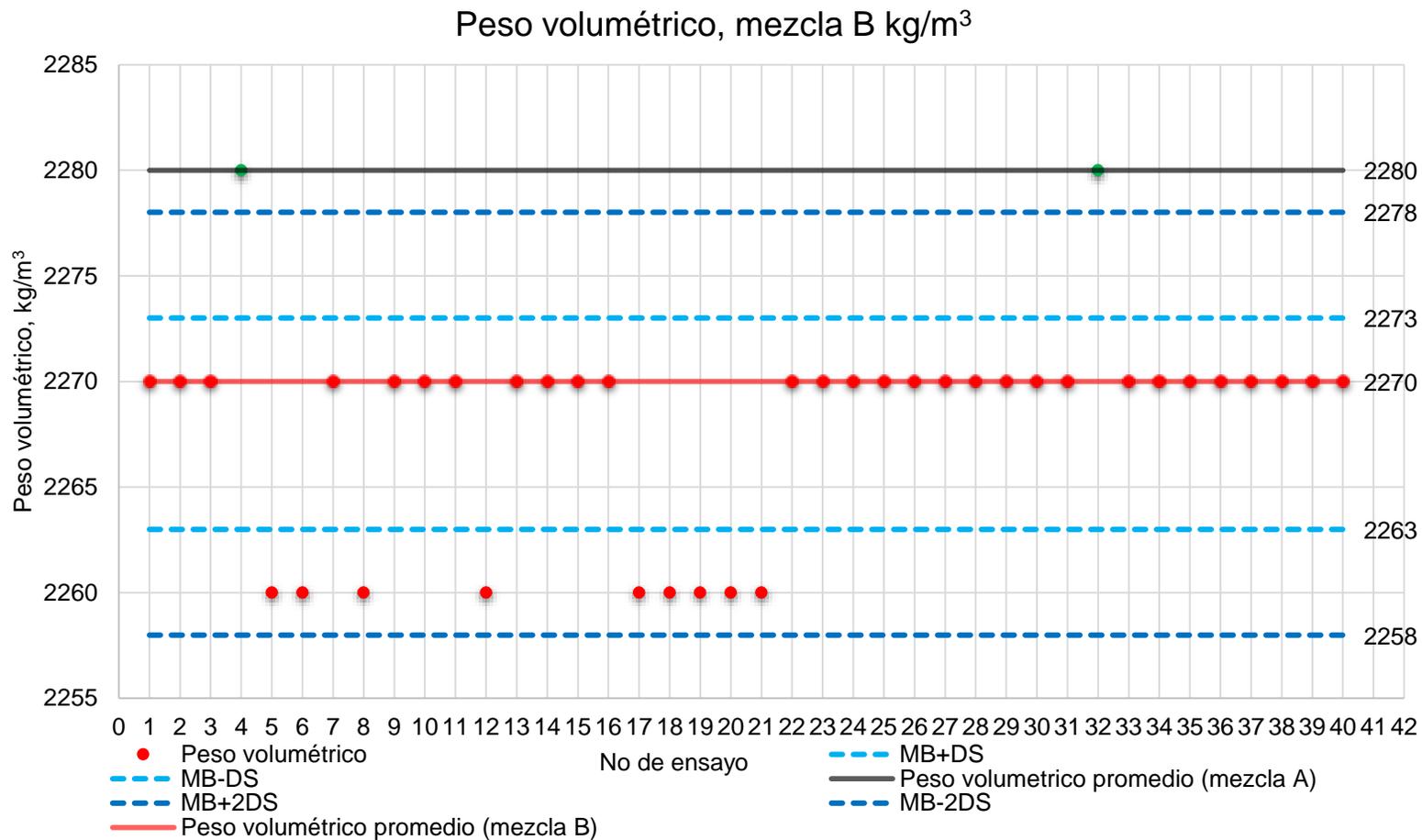
Fuente: Autores.

Figura No 5.8. Carta de control de calidad de resultados del peso volumétrico del concreto endurecido, mezcla A.



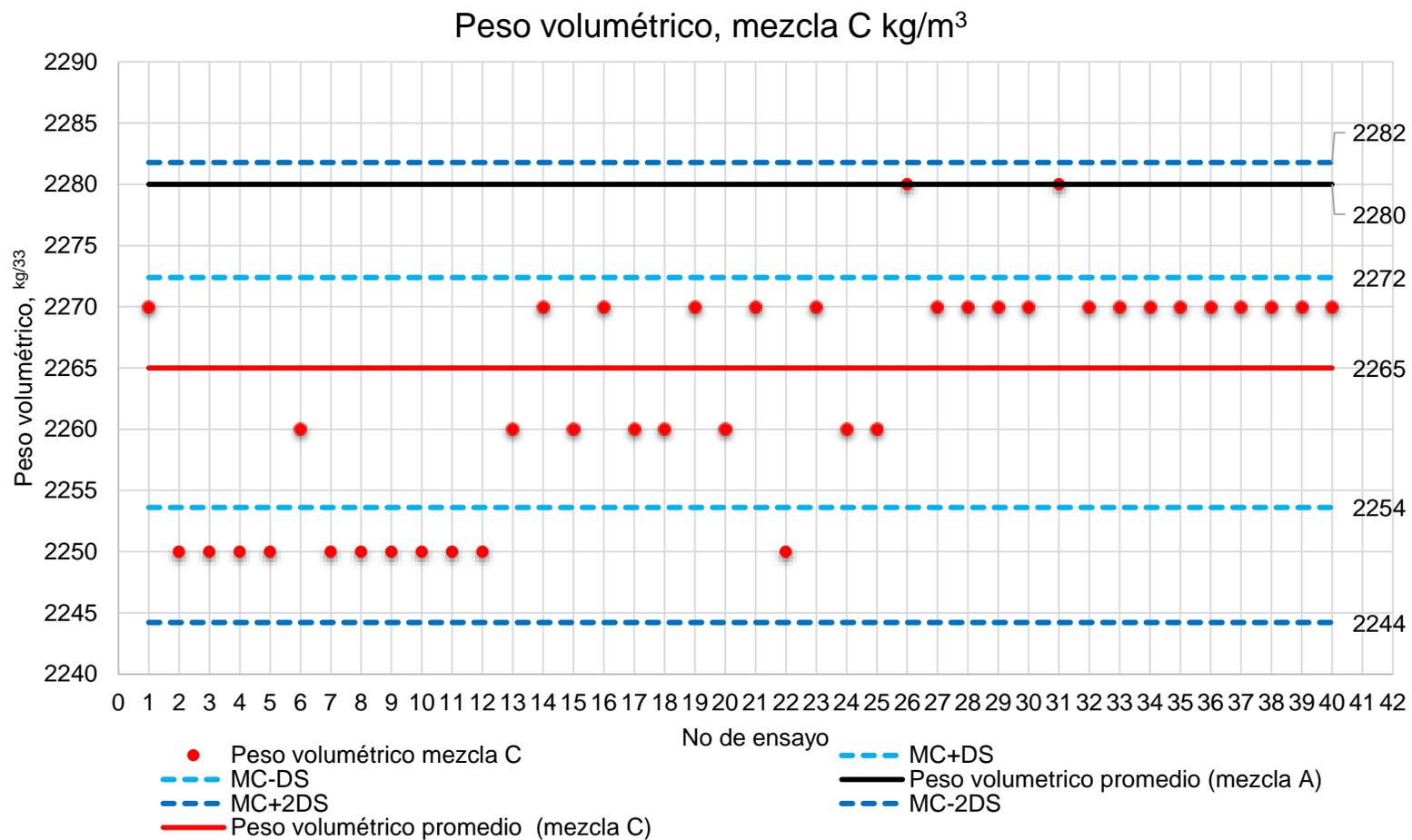
Fuente: Autores

Figura No 5.9. Carta de control de calidad de resultados del peso volumétrico del concreto endurecido, mezcla B.



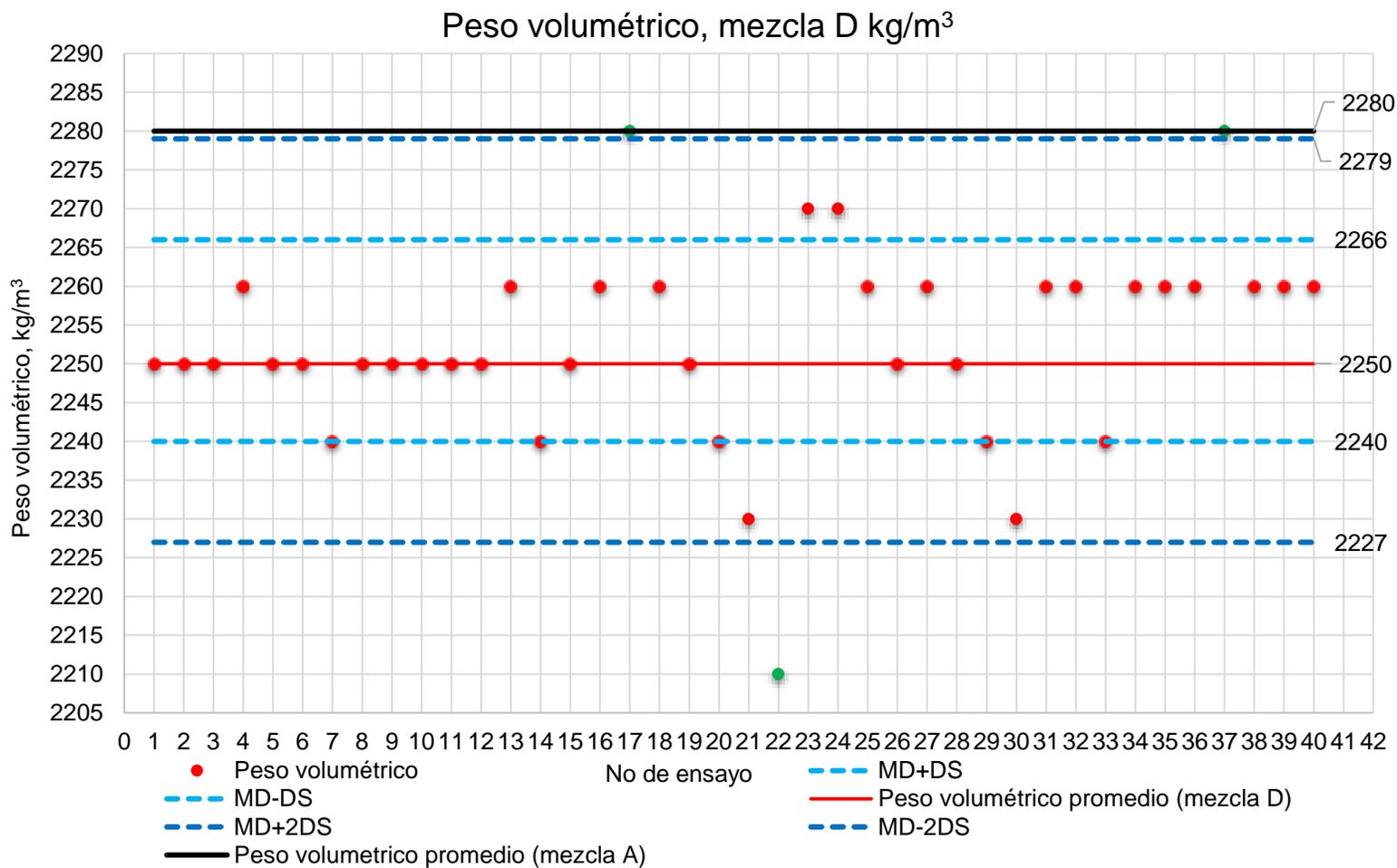
Fuente: Autores

Figura No 5.10. Carta de control de calidad de resultados del peso volumétrico del concreto endurecido, mezcla C.



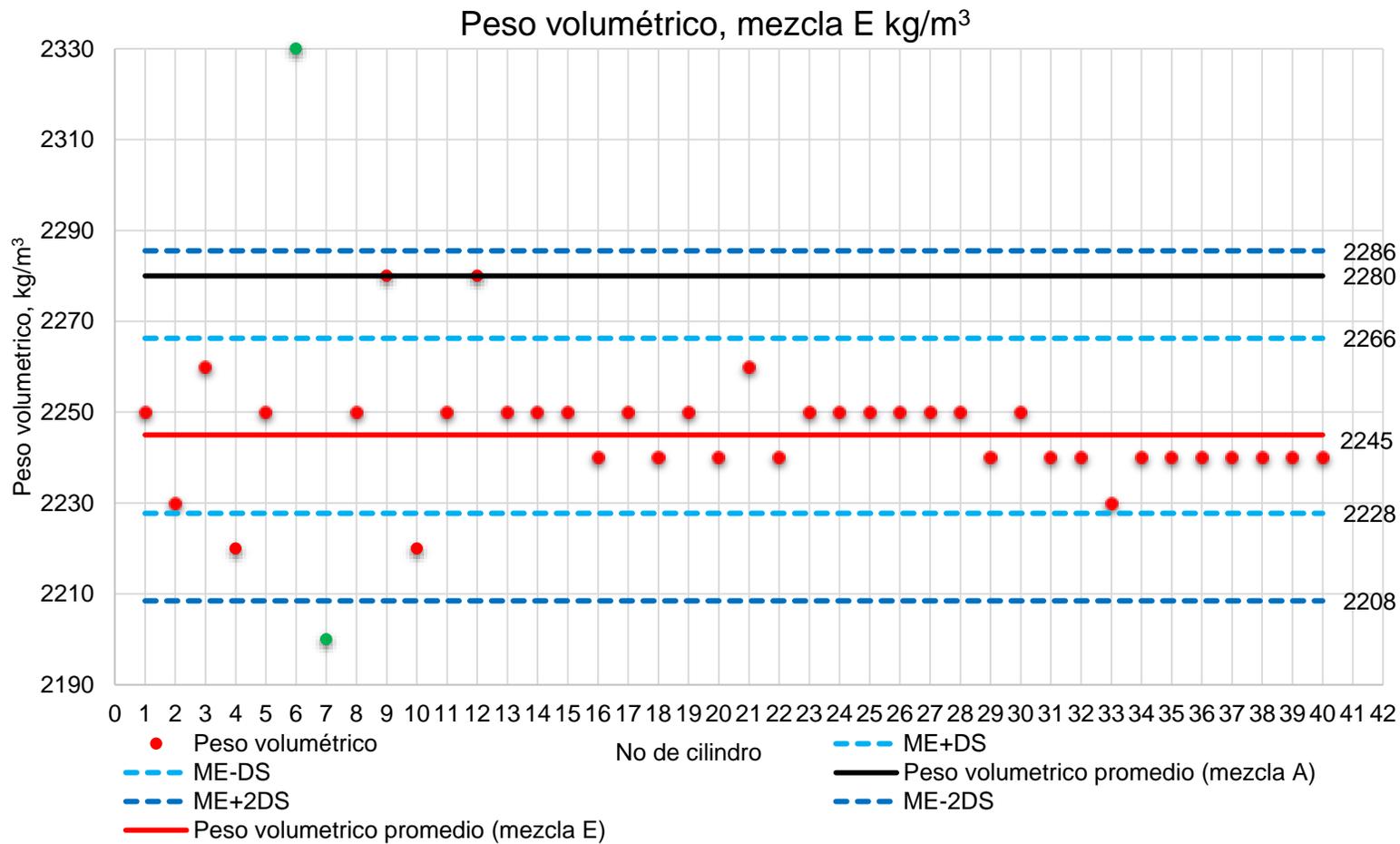
Fuente: Autores

Figura No 5.11. Carta de control de calidad de resultados del peso volumétrico del concreto endurecido, mezcla D.



Fuente: Autores

Figura No 5.12. Carta de control de calidad de resultados del peso volumétrico del concreto endurecido, mezcla E.



Fuente: Autores

Para realizar el análisis comparativo del comportamiento del peso volumétrico del concreto endurecido entre mezclas, podemos analizar los resultados presentados en la tabla No 5.15 y la figura No 5.13, obteniéndose lo siguiente:

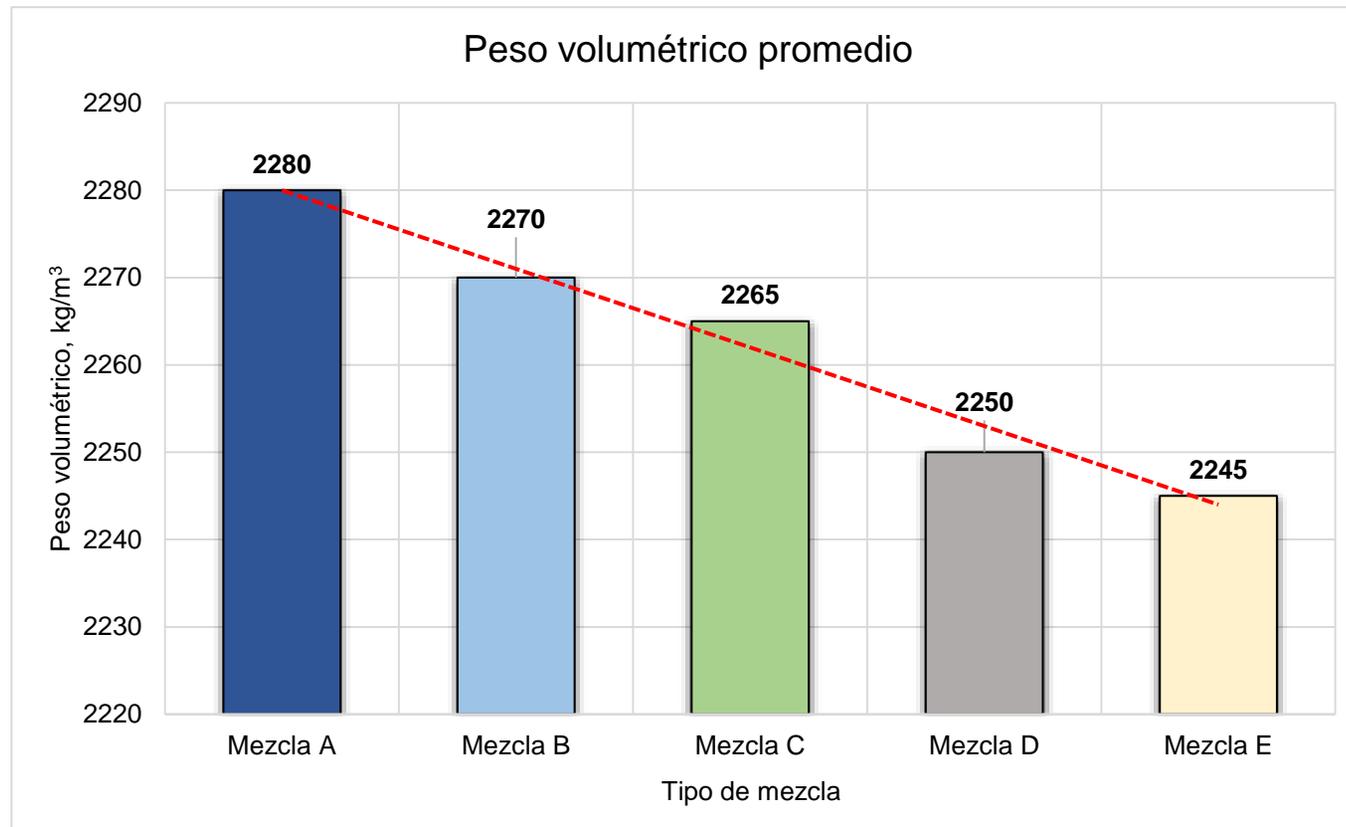
- La Mezcla B, C, D y E presentaron una reducción de 0.4, 0.7, 1.3 y 1.5 %, respectivamente, en base a la mezcla de referencia, la diferencia máxima se alcanza cuando se adiciona el 100% de basalto vesicular.

Tabla No 5.15. Análisis de resultado del peso volumétrico del concreto en estudio endurecido.

Comportamiento de resultados de Peso volumétrico			
Mezcla	Rango de valores Peso volumétrico (kg/m³)	Valor promedio kg/m³	Conclusión en función de la mezcla de referencia
Mezcla A (100% de basalto normal)	2260 a 2304	2280	-
Mezcla B (75% normal-25%vesicular):	2258 a 2278	2270	Existió una disminución de un 0.4%
Mezcla C (50% normal-50%vesicular):	2245 a 2281	2265	Existió una disminución de un 0.7%
Mezcla D (25% normal-75%vesicular):	2227 a 2279	2250	Existió una disminución de un 1.3%
Mezcla E (100% basalto vesicular):	2209 a 2285	2245	Existió una disminución de un 1.5%

Fuente: Autores

Figura No 5.13. Comportamiento de los resultados del peso volumétrico promedios del concreto endurecido.



Fuente: Autores

Por lo tanto, mientras más adición de basalto vesicular poseen las mezclas de concreto, el peso volumétrico disminuye. Sin embargo, se tiene que las variaciones para las 4 mezclas se encuentran en el rango de 0.4% a 1.5%, por lo que se considera que la adición de un 100% de basalto vesicular no tienen un efecto considerable en el peso volumétrico del concreto endurecido.

5.3.2 Resistencia a la compresión del concreto.

Para el análisis de los resultados de la resistencia a la compresión del concreto endurecido de cada tipo de mezcla; como se mencionó anteriormente en el apartado 5.3.1, para el cálculo de las medias aritmética de las diferentes mezclas, se tomarán únicamente los resultados que se encuentren dentro de $\pm 2DS$. Estos resultados servirán para el análisis comparativo entre las diferentes mezclas.

En el análisis, se tomará de referencia la resistencia obtenida a la edad de 28 días para cada mezcla, sin embargo, como se aclaró en el apartado 5.3, las mezclas C, D y E, tuvieron edades de ensayo superiores a los 28 días (279 días para la mezcla C, 275 días para la mezcla D y 268 días para la mezcla E), lo que obliga a obtener la resistencia a la edad de 28 días de estas mezclas por interpolación, como se muestra en las gráficas de las figuras No 5.21 a la 5.23.

En la tabla No 5.16 se presentan los resultados obtenidos para el cálculo de la media aritmética, basado en los resultados presentados en las tablas No.5.9 a la No. 5.13.

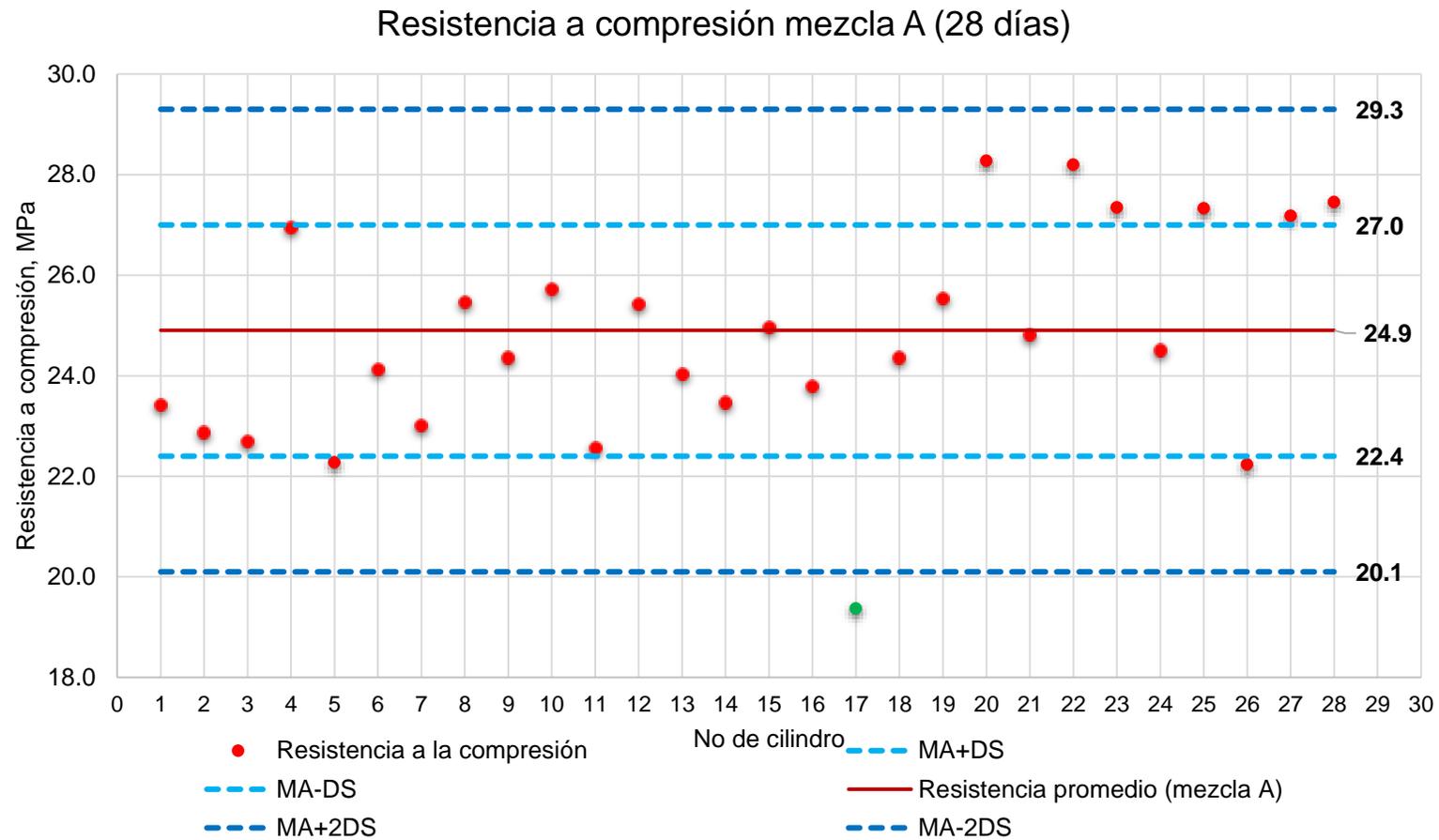
Tabla No 5.16. Cálculo de la media aritmética de la población de resultados de resistencia a la compresión del concreto, para el análisis de resultados.

Mezcla	Media (M), MPa	Desviación estándar (DS), MPa	Límite $M \pm 2DS$	Cilindros fuera de limite	Nueva media MPa
Mezcla A (mezcla referencia)	24.7	2.3	29.3-20.1	17	24.9
Mezcla B (25% vesicular)	28.6	3.1	34.8-22.4	6	28.8
Mezcla C (50% vesicular)	42.9	4.1	51.1-34.7	10	43.2 (279 días)
Mezcla D (75% vesicular)	45.0	4.6	54.2-35.8	5 y 25	45.9 (275 días)
Mezcla E (100% vesicular)	44.7	3.6	51.9-37.5	22	45.8 (268 días)

Fuente: Autores.

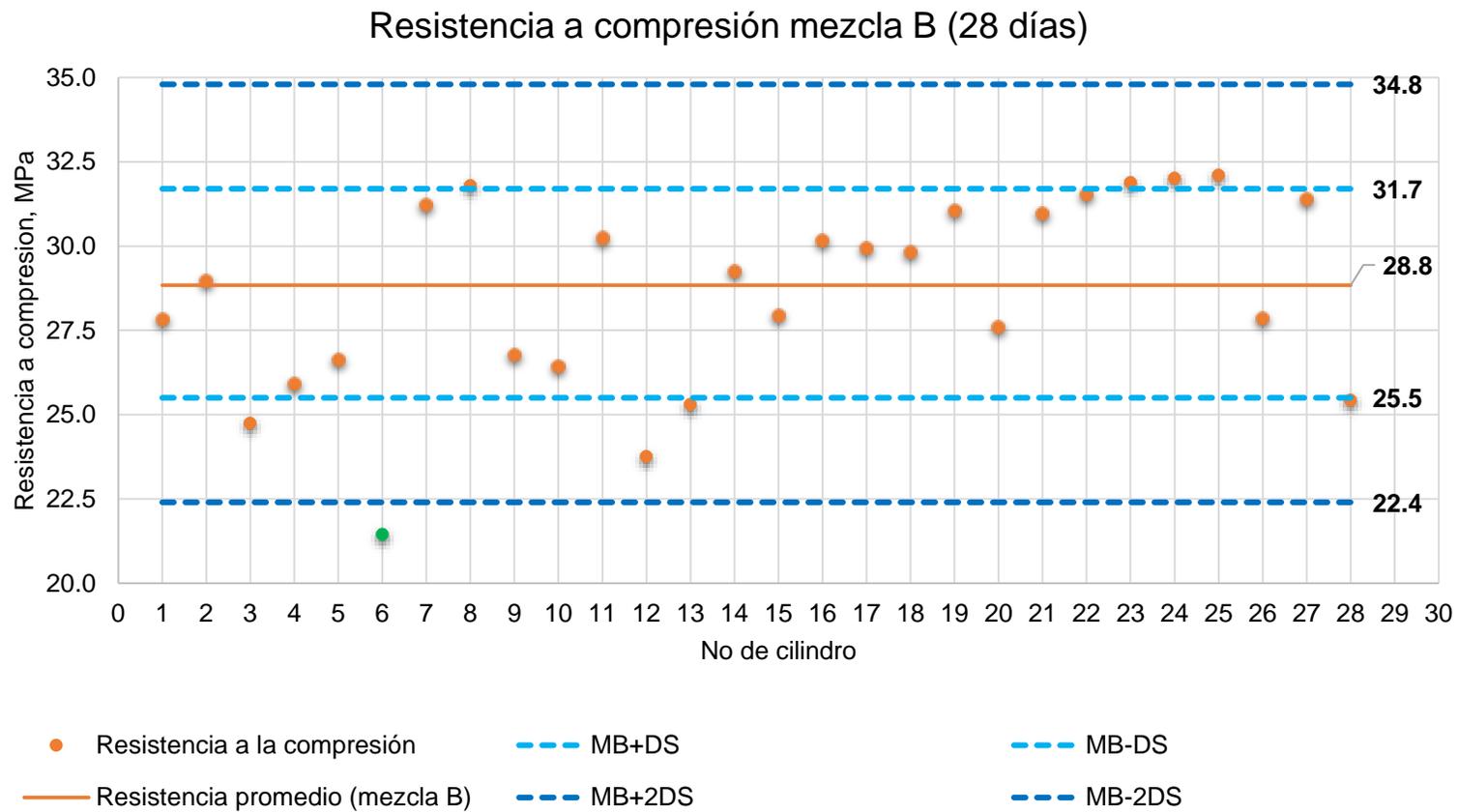
En las figuras No 5.14 y 5.15 se muestra las gráficas de la distribución de los resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días correspondiente a la mezcla A y B, en los gráficos de las figuras No 5.16 al 5.18 se presentan la distribución de los resultados de resistencia a la compresión a las edades de 279, 275 y 268 días para las mezclas C, D y E respectivamente, y que sirvieron para el cálculo de la media de cada mezcla presentados en la tabla No. 5.16.

Figura No 5.14. Carta de control de calidad de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, mezcla A.



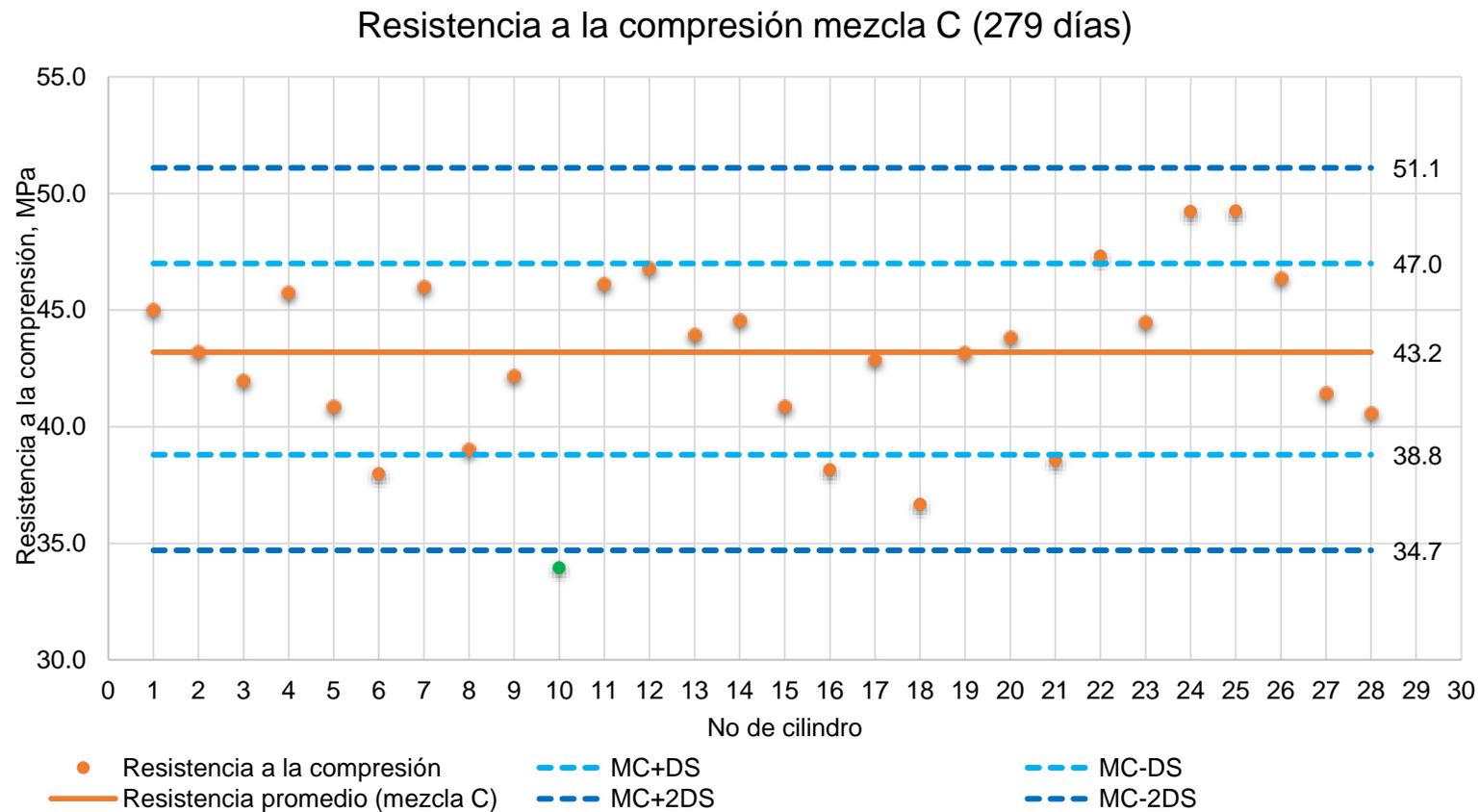
Fuente: Autores.

Figura No 5.15. Carta de control de calidad de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, mezcla B.



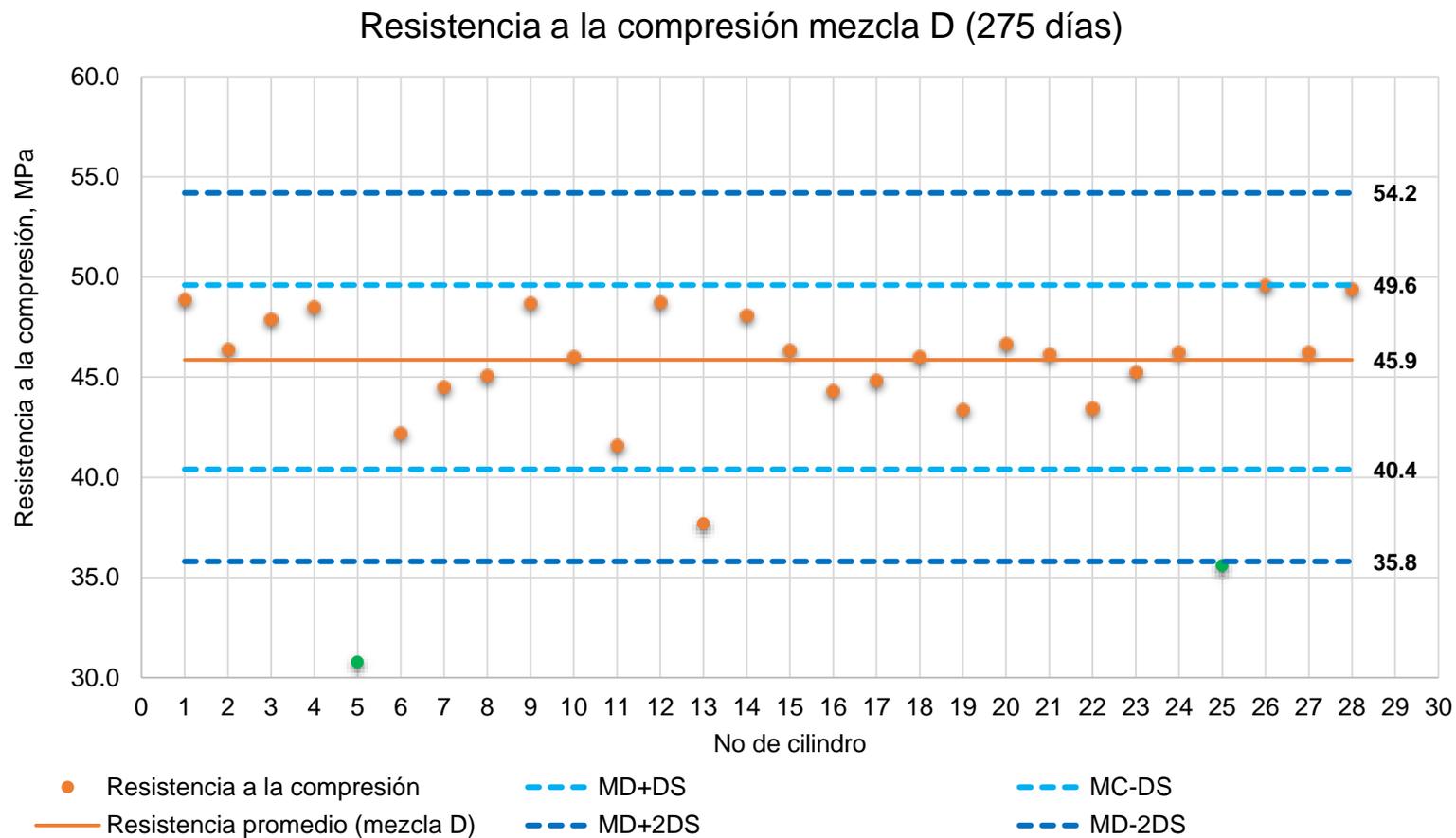
Fuente: Autores

Figura No 5.16. Carta de control de calidad de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 279 días, mezcla C.



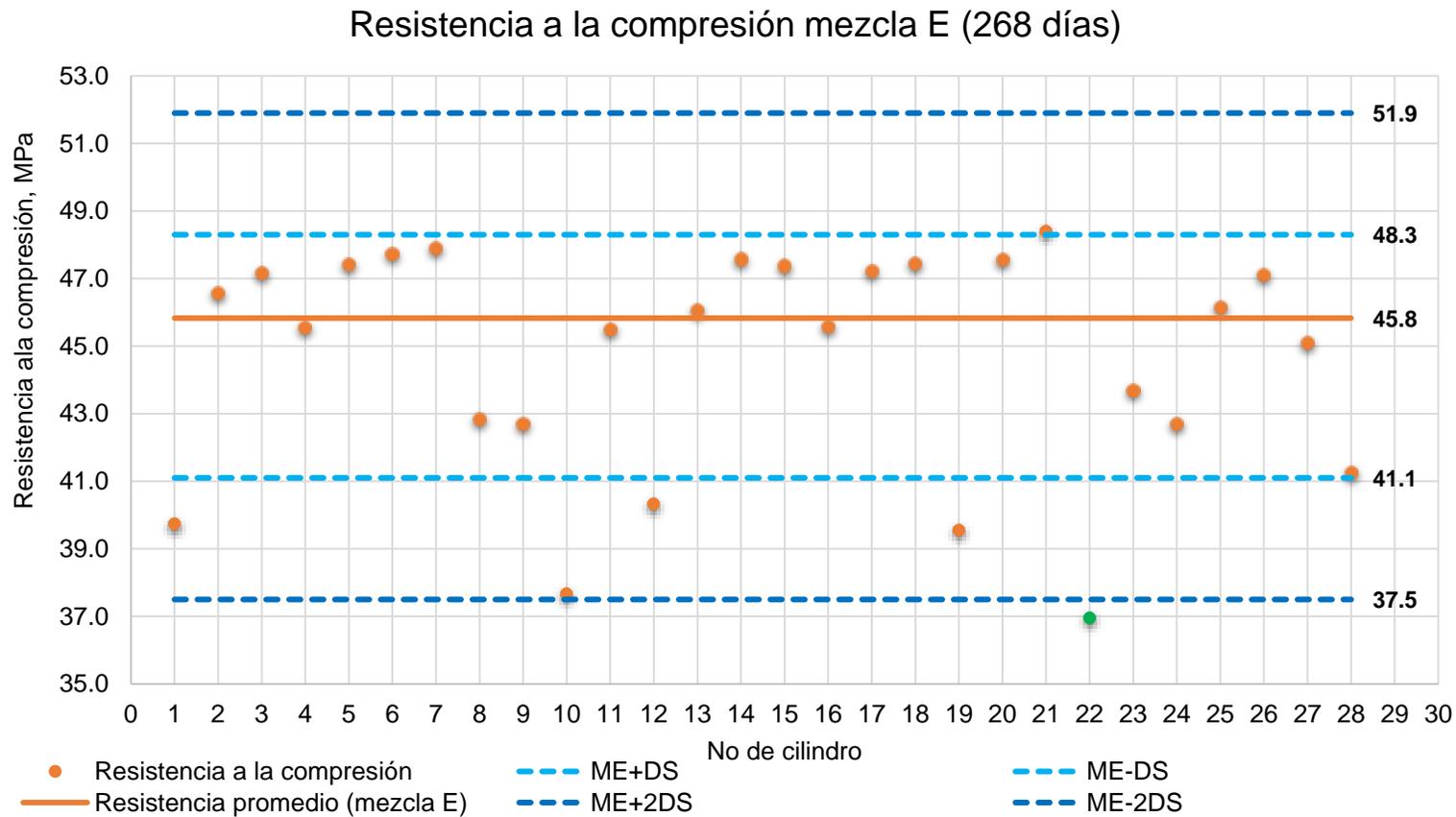
Fuente: Autores

Figura No 5.17. Carta de control de calidad de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 275 días, mezcla D.



Fuente: Autores

Figura No 5.18. Carta de control de calidad de resultados de resistencia a la compresión a la edad de 268 días, mezcla E.



Fuente: Autores

El análisis de los resultados se realizará en base a las resistencias alcanzadas a las edades de 7 y de 28 días de la mezcla de referencia; para las mezclas C, D y E, como se explicó anteriormente se obtendrá por interpolación.

Primeramente, se analizarán los resultados de la mezcla de referencia con respecto a la resistencia de diseño $f'_c = 20.6\text{MPa}$ a la edad de 28 días, lo que se realizará usando una curva de tendencia, en la que se colocarán los resultados promedio a la edad de 7 y 28 días, y los valores teóricos esperados en función de la resistencia de diseño (Ver figura No 5.19). Además, en la tabla No 5.17 se presentan los resultados de los ensayos realizados para la mezcla A.

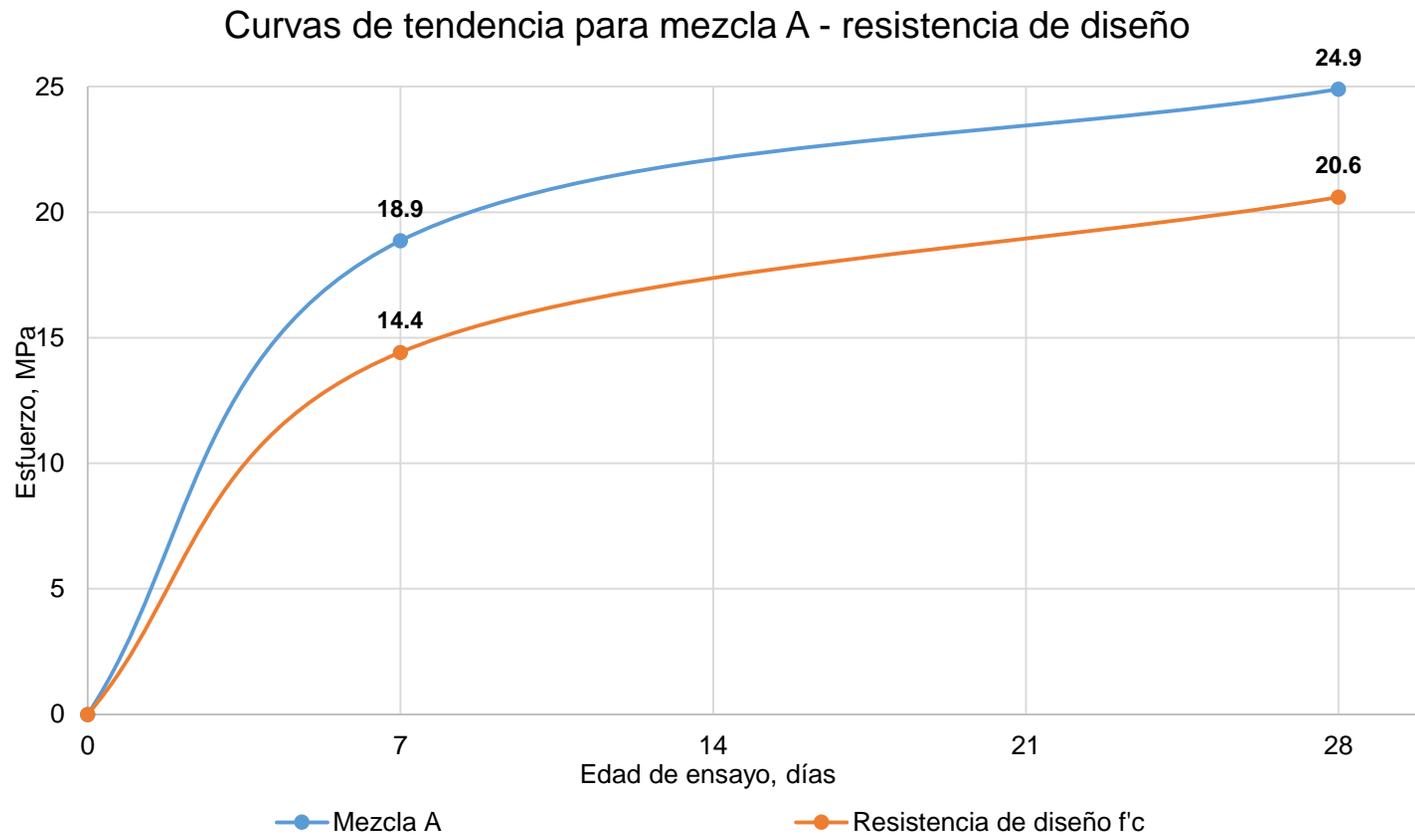
Tabla No 5.17. Resultados de resistencia a la compresión de la mezcla "A" a las edades de 7 y 28 días.

Mezcla	Promedio (7días) MPa	Promedio (28días) MPa
A	18.9	24.9 ^B

^B Este resultado es la resistencia a la compresión promedio que representa a la mezcla a la edad de 28 días, presentado anteriormente en la tabla No 5.16

Fuente: Autores

Figura No 5.19. Curvas de tendencia de resistencia a la compresión, para la mezcla A



Fuente: Autores

Para la mezcla A, a la edad de 7 días:

Los resultados oscilaron en un rango de 17.9MPa a 19.7MPa, alcanzando a la edad de 7 días una resistencia promedio de 18.9MPa, que comparado con la resistencia de diseño a la misma edad ($0.7f_c=14.4\text{MPa}$), tiene un incremento de 31%.

Para la edad de 28 días:

Los resultados oscilaron en un rango de 21.9MPa a 27.3MPa, alcanzando una resistencia promedio de 24.9MPa, la cual comparado con la resistencia de diseño ($f_c = 20.6\text{MPa} = 210\text{kg/cm}^2$) representa un aumento del 20.9%.

Para las mezclas B, C, D y E, en la tabla No 5.18 se presentan los resultados de resistencia a la edad de 7, 28 y más días, y en los gráficos de las figuras No 5.20 al 5.23 se muestran las curvas de tendencia de la resistencia a la compresión alcanzada para cada mezcla. Además, se presenta la curva de tendencia de la mezcla de referencia

Nota: Para las mezclas C, D y E, su resistencia a la edad de 28 días se obtuvo por interpolación en cada gráfica.

Tabla No 5.18. Resultados de resistencia a la compresión de la mezcla "B, C, D y E" a las edades de 7, 28 y más días.

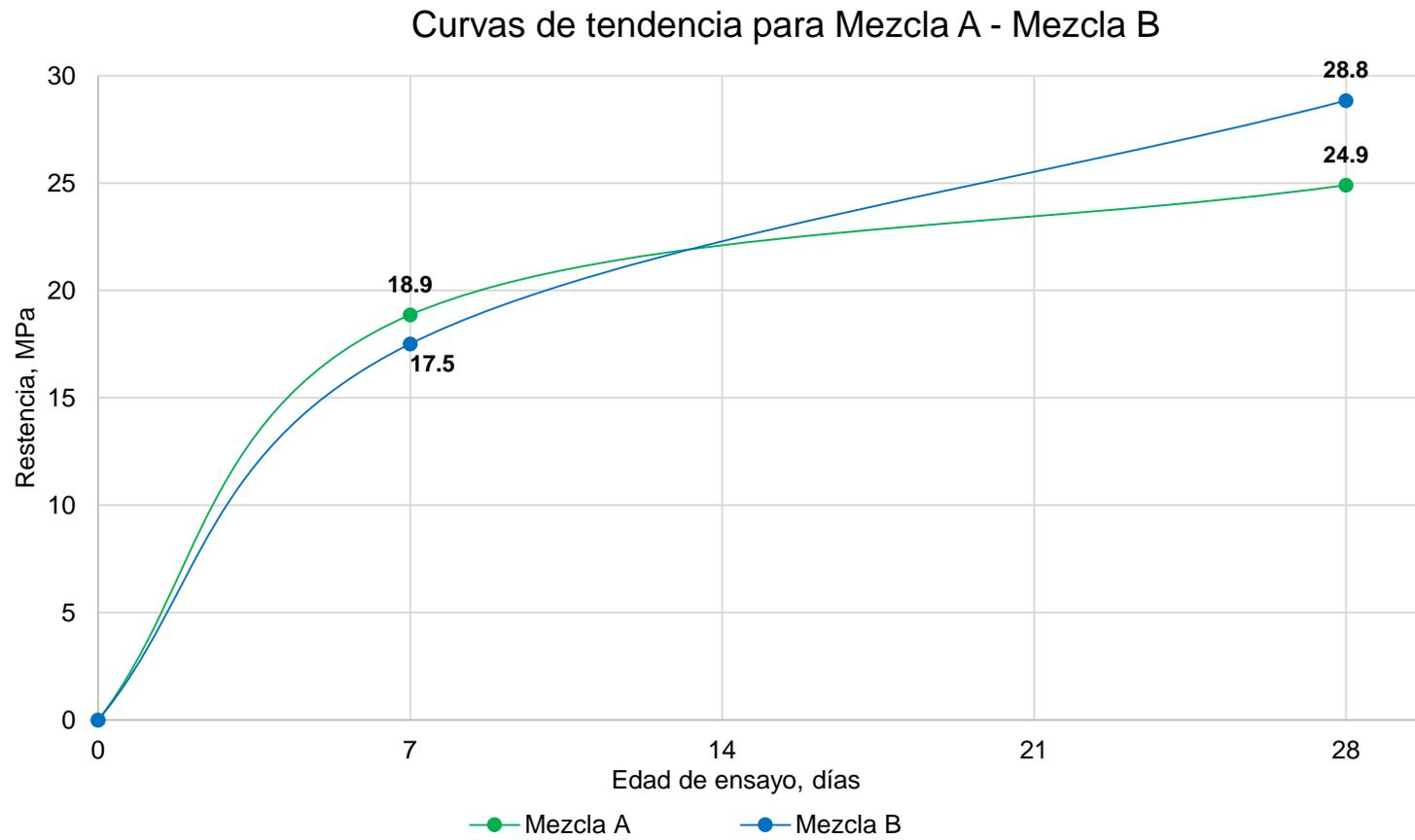
Mezcla	Promedio (7días) MPa	Promedio (28días) MPa	Más de 28 días
B	17.5	28.8 ^B	-
C	18.8	21.5 ^A	43.2 ^B (279 días)
D	17.6	20.8 ^A	45.9 ^B (275 días)
E	21.0	23.9 ^A	45.8 ^B (268 días)

^A Este resultado es la resistencia a la compresión promedio que representa a la mezcla a la edad de 28 días, interpolado tal como se muestra en los gráficos No 5.21, 5.22 y 5.23.

^B Este resultado es la resistencia a la compresión promedio que representa a la mezcla a la edad de 28, 279, 275 y 268 días respectivamente, presentado anteriormente en la tabla No 5.16

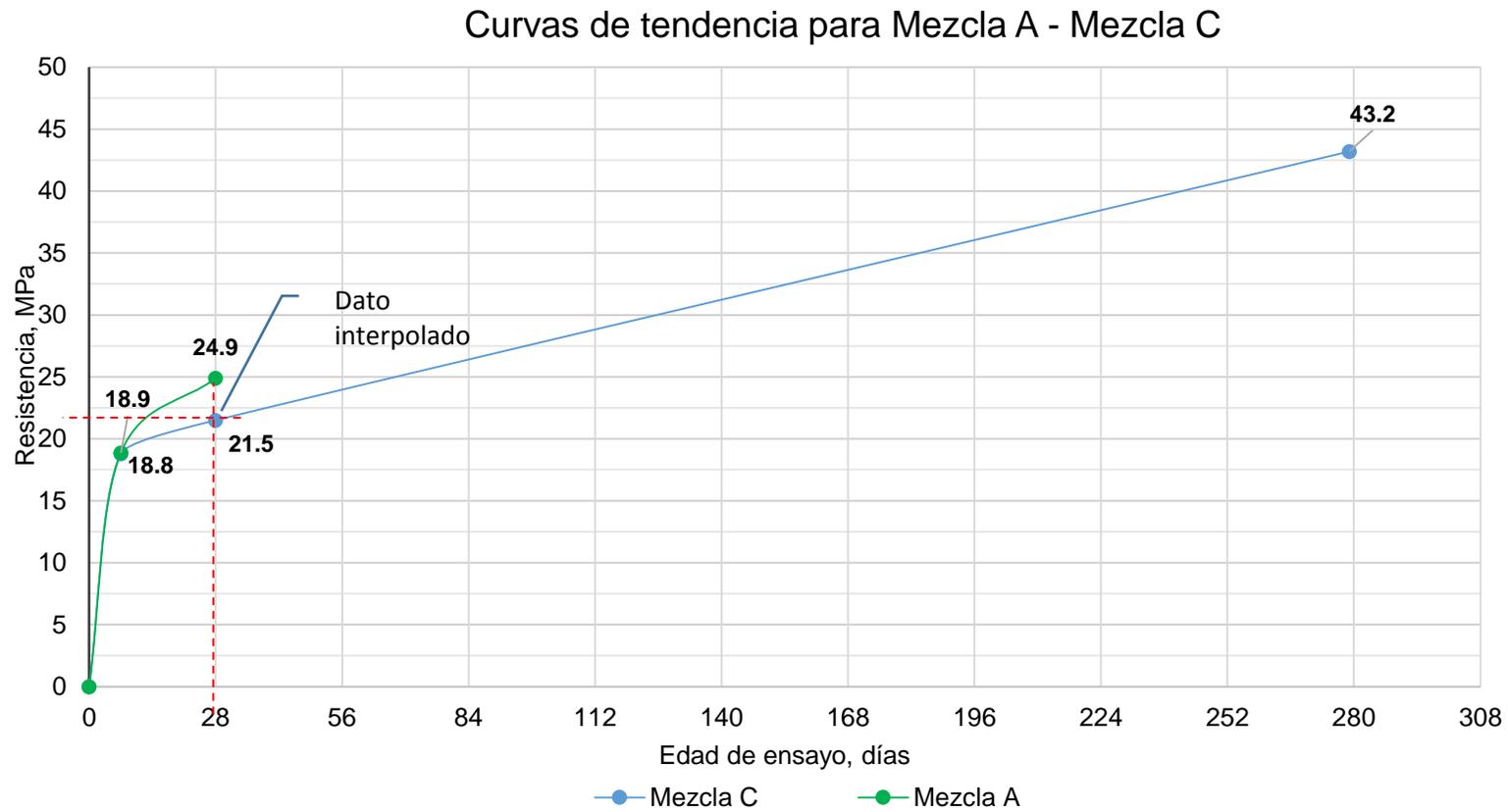
Fuente: Autores

Figura No 5.20. Curvas de tendencia de resistencia del concreto, para las mezclas A y B.



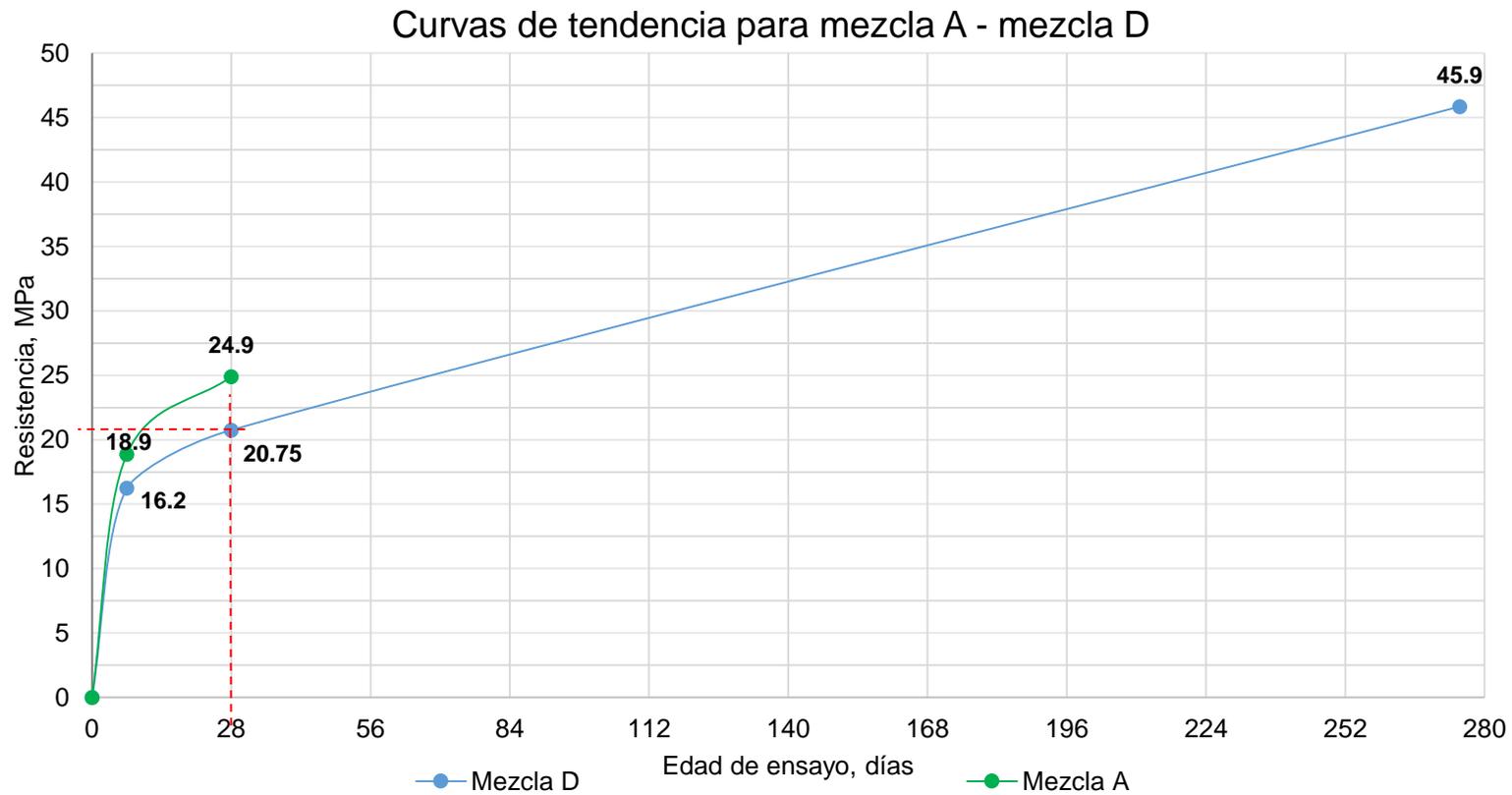
Fuente: Autores

Figura No 5.21. Curvas de tendencia de resistencia del concreto, para las mezclas A y C.



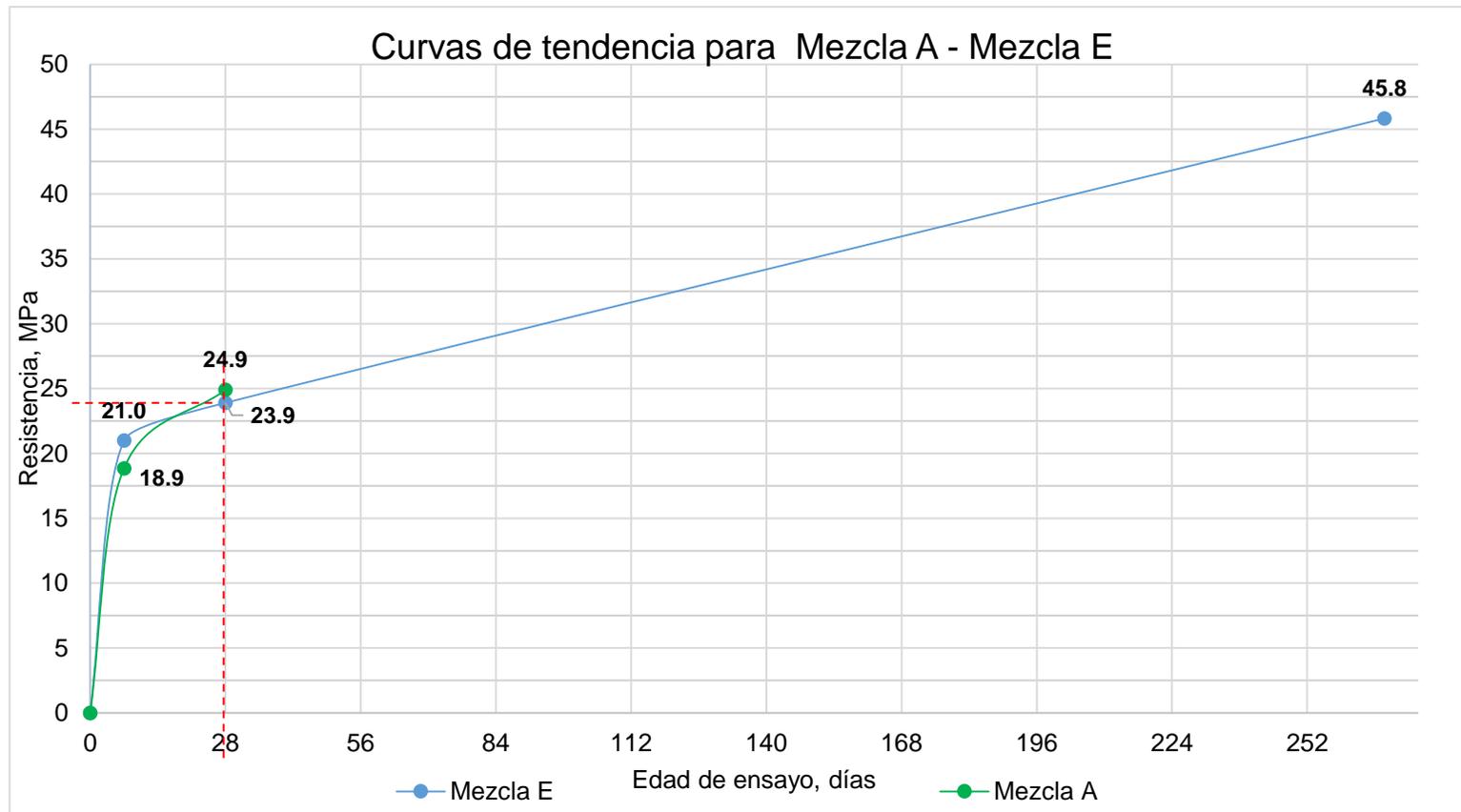
Fuente: Autores

Figura No 5.22. Curvas de tendencia de resistencia del concreto, para las mezclas A y D



Fuente: Autores

Figura No 5.23. Curvas de tendencia de resistencia del concreto, para las mezclas A y E.



Fuente: Autores

En el análisis de resultados del concreto endurecido, es necesario definir los resultados de la Mezcla A, que servirán de referencia para evaluar el efecto del uso de basalto vesicular en diferentes proporciones en mezclas de concreto; valores que se determinaron luego de evaluar los resultados de esta mezcla, obteniéndose que la resistencia alcanzada a la edad de 7 días fue de 18.9MPa y a la edad de 28 días 24.9MPa (ver tabla No 5.17).

Para el análisis de resultados de resistencia y tomando como base los valores de referencia mencionados, se elaboró de forma resumida la tabla No 5.19.

Análisis de resultados a la edad de 7 días (ver tabla No 5.19)

- A la edad de 7 días la mezcla E (100% vesicular), obtuvo una resistencia 18.9 MPa superando en un 11% a la mezcla de referencia.
- La mezcla C presentó una leve disminución de su resistencia del orden de un 0.5%. con respecto a la mezcla de referencia.
- Las mezclas B y D presentaron una disminución del 7% con respecto a la de referencia.

Tabla No 5.19. Análisis de resultado de ensayos de resistencia a la compresión del concreto en estudio

Comportamiento de resultados de la resistencia a la compresión

Mezcla	7 días			28 días		
	Rango de valores	Valor medio	Análisis en función de la de referencia	Rango de valores	Valor medio	Análisis en función de la de referencia
A	17.9MPa a 19.7MPa	18.9MPa	-	21.9MPa a 27.3MPa	24.9MPa	Presenta 4.3 MPa mayor que la resistencia de diseño
B	16.6MPa y 18.6MPa,	17.5MPa	Presenta una disminución del 7%	24.0MPa y 31.9MPa	28.8 MPa	Presenta un aumento del 15.6%
C	17.0MPa y 20.0MPa,	18.8MPa	Presenta una disminución del 0.5%	-	21.5MPa Obtenido por interpolación	Presenta una disminución del 13.7%
D	15.0MPa y 20.9MPa,	17.6MPa	Presenta una disminución del 7%	-	20.8MPa Obtenido por interpolación	Presenta una disminución del 16.5%
E	20.0MPa y 21.4MPa	21.0MPa	Presenta un incremento del 11%	-	23.9MPa Obtenido por interpolación	Presenta una disminución del 4

Fuente: Autores

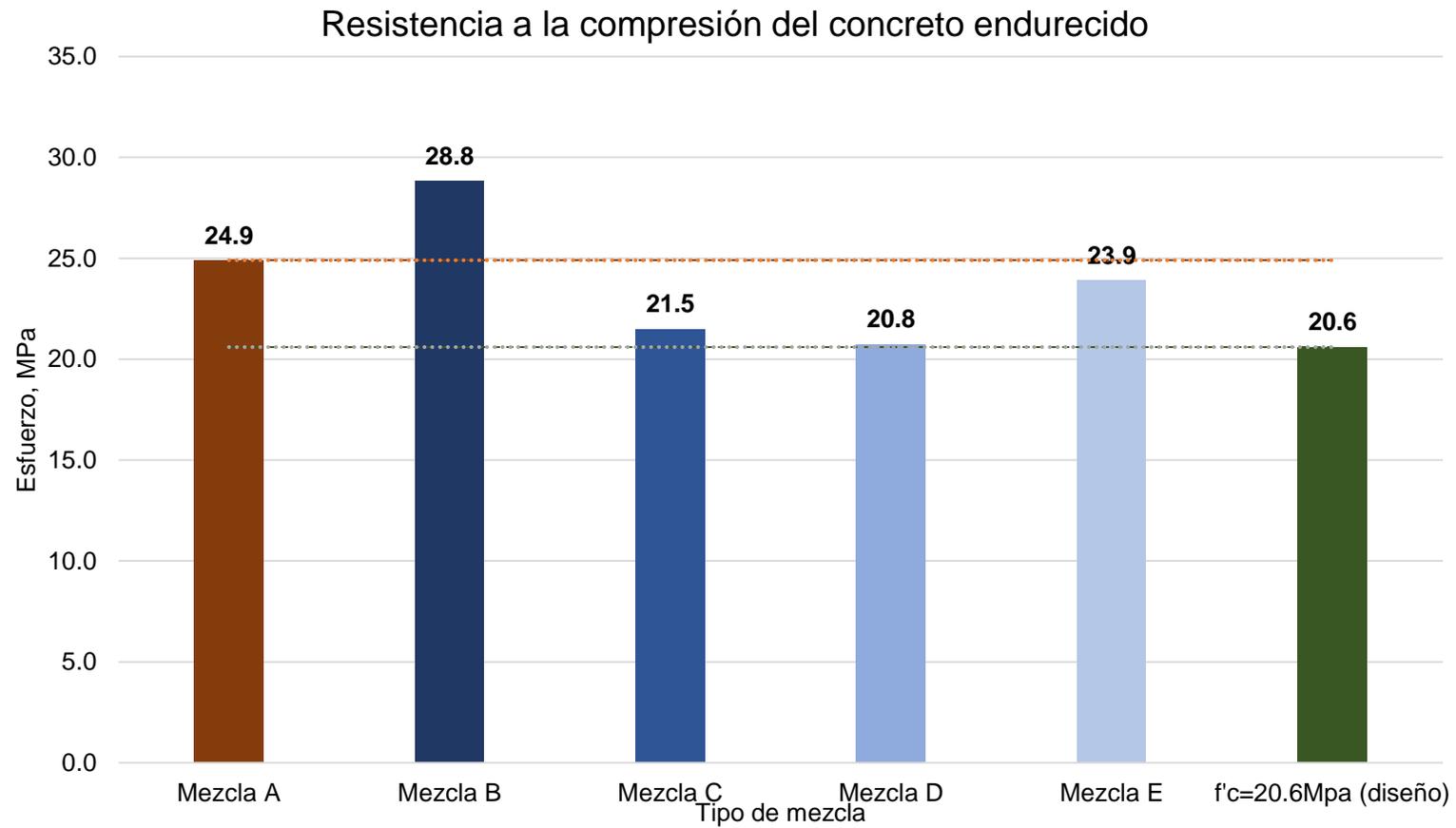
Análisis de resultados a la edad de 28 días

- A la edad de 28 días la mezcla que superó la resistencia alcanzada por la mezcla de referencia fue la mezcla B, obteniendo un incremento de 15.6%. (24.9MPa).
- Las mezclas E, C y D tuvieron una disminución de resistencia con respecto a la mezcla de referencia en el orden del 4, 13.7 y 16.5% respectivamente.

Cabe mencionar que las 4 mezclas que poseen combinación de agregado grueso de tipo vesicular alcanzaron resistencias a la compresión por encima de la resistencia de diseño (20.6MPa) a la edad de 28 días, lo cual se puede observar en el gráfico de la figura No 5.24 donde se comparan los resultados de las mezclas a la edad de 28 días. Por lo tanto, para una resistencia de 20.6 MPa se pueden emplear hasta en un 100% el basalto de tipo vesicular.

Sin embargo, al evaluar la tendencia de la resistencia obtenida por las mezclas en las que se han combinado en diferentes proporciones basalto normal con vesicular, a la edad de 28 días, no se pudo obtener una tendencia clara de su comportamiento, sin embargo, las mezclas C y D presentaron las máximas disminuciones en su resistencia (13.7 y 16.5%).

Figura No 5.24. Resistencia a la compresión del concreto endurecido a la edad de 28 días.



Fuente: Autores

5.3.3 Análisis de Resultados del concreto en estado fresco y endurecido

De acuerdo con los resultados obtenidos se presenta a continuación en la tabla No 5.20 un resumen del comportamiento presentado por cada una de las propiedades estudiadas, en estado fresco y endurecido en función del % de sustitución de basalto de tipo vesicular.

Tabla No 5.20. Resumen del análisis de resultados de las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido

Concreto	Estado fresco		Estado endurecido		
	Propiedad	Revenimiento	Peso volumétrico	Peso volumétrico	Resistencia a 7 días
Mezcla B, 25% basalto vesicular	Disminuyó en un 5%	Disminuye en un 0.4%	Disminuye en un 0.4%	Disminuye en un 7%	Aumenta en un 15.7%
Mezcla C, 50% basalto vesicular	Disminuye en un 21%	Disminuye en un 0.6%	Disminuye en un 0.7%	Disminuye en un 0.5%	Disminuye en un 13.7%
Mezcla D, 75% basalto vesicular	Disminuye en un 21%	Disminuye en un 1.2%	Disminuye en un 1.3%	Disminuye en un 7%	Disminuye en un 16.5%
Mezcla E, 100% basalto vesicular	Disminuye en un 26%	Disminuye en un 1.5%	Disminuye en un 1.5%	Aumenta en un 11%	Disminuye en un 4%

Fuente: Autores

En síntesis, la adición de basalto vesicular en las mezclas de concreto modifica de la siguiente manera las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido:

- De las propiedades en estado fresco estudiadas, para determinar el comportamiento que tiene en el concreto con la adición de basalto vesicular

se puede determinar que la trabajabilidad y peso volumétrico disminuye gradualmente a medida se incluye este tipo de agregado; encontrándose que cuando se usa en un 100% se tienen los mayores cambios: la trabajabilidad disminuye en un 26% y el peso volumétrico experimentó variaciones pequeñas, alcanzándose el máximo de 1.5%.

- El peso volumétrico del concreto endurecido tuvo el mismo comportamiento que en estado fresco, presentando pequeñas variaciones (1.5% como valor máximo), cuando se agrega la máxima proporción de basalto vesicular.
- De manera general, se puede decir, que el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto a las edades de 7 y 28 días, disminuyen a medida se agrega basalto vesicular; sin embargo, los máximos cambios se encontraron cuando se sustituyó en un 75% del agregado grueso normal por vesicular (16.5%)
- Si se comparan los resultados obtenidos en las diferentes combinaciones con los criterios de diseño establecido, se puede determinar que las diferentes mezclas evaluadas pueden ser empleadas, ya que todos los resultados se encuentran dentro de las tolerancias establecidas.

CAPÍTULO VI

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En base a los resultados obtenidos, se presentan las conclusiones específicas y generales obtenidas en esta investigación:

6.1.1 Conclusiones específicas:

6.1.1.1 Concreto en estado fresco

Se detalla a continuación las conclusiones del concreto en estado fresco en base a las propiedades analizadas.

- **Revenimiento**

Del análisis de resultados se puede concluir que a medida se sustituye el agregado grueso “normal” por basalto vesicular se tiene una reducción en la trabajabilidad del concreto, hasta en un máximo del 26% cuando se usa el 100% de basalto vesicular.

A pesar de que la inclusión de basalto vesicular disminuye la trabajabilidad, para el rango de sustituciones utilizadas, todas las mezclas de concreto se encontraron dentro de la tolerancia de diseño (4 ± 1 ”).

- **Temperatura**

La adición de basalto vesicular como sustitución del agregado grueso normal en las mezclas de concreto no altera la temperatura de la mezcla en estado fresco.

Las variaciones de temperatura de las mezclas, una respecto a otra, se debe a la influencia de la temperatura ambiente (hora a la que fue elaborada). y no por la sustitución de agregado grueso de tipo basalto normal por vesicular.

Las variaciones de temperatura de las mezclas, una respecto a otra, se debe a la influencia de la temperatura ambiente (hora a la que fue elaborada). y no por la sustitución de agregado grueso de tipo basalto normal por vesicular.

- **Peso Volumétrico del concreto en estado fresco**

Al adicionar un mayor porcentaje de basalto vesicular a las mezclas de concreto, la densidad del concreto fresco tiende a reducirse gradualmente, disminuyendo como máximo 1.5% al usar el 100% de basalto vesicular.

Al combinar basalto vesicular con normal, se obtienen muy bajas reducciones en el peso volumétrico del concreto en estado fresco.

6.1.1.2 Concreto en estado endurecido

A continuación, se detallan las conclusiones para cada propiedad en estudio del concreto en estado endurecido.

- **Peso volumétrico en estado endurecido**

A medida se incrementa la sustitución de basalto normal por basalto vesicular, el peso volumétrico del concreto en estado endurecido disminuye, hasta en un 1.5% al usar el 100% de basalto vesicular.

La inclusión de este tipo de basalto vesicular en el concreto no tiene un efecto considerable en el peso volumétrico del concreto endurecido.

- **Resistencia a la compresión.**

A la edad de 7 días, las resistencias a la compresión de las mezclas estudiadas, disminuyen al tener adición de basalto vesicular, encontrando los valores máximos con la sustitución del 25% y 75% de basalto normal por vesicular.

A la edad de 28 días, las resistencias a la compresión de las mezclas evaluadas, disminuyen al agregar basalto vesicular, encontrándose, las mayores variaciones con la sustitución del 75% de basalto normal por vesicular (16.5% respecto a la mezcla de referencia).

La resistencia a la compresión del concreto a las edades evaluadas, disminuye con la adición de este tipo de basalto vesicular, encontrándose las máximas variaciones cuando se combina en un 75%.

6.1.2 Conclusiones generales:

- De las propiedades estudiadas en estado fresco en esta investigación, la trabajabilidad es la que se ve más afectada con la inclusión de basalto vesicular.
- La resistencia a la compresión es la propiedad en estado endurecido que presentó las mayores variaciones, con la inclusión de basalto vesicular.
- El peso volumétrico del concreto en estado fresco y endurecido no se ven afectados de forma significativa en el concreto.
- A pesar de que la inclusión de basalto vesicular modifica el comportamiento de algunas propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, para las

características de diseño evaluadas de todas las combinaciones estudiadas, se encontraron dentro de la tolerancia de diseño establecidas en esta investigación.

6.2 Recomendaciones

- El basalto vesicular es un agregado que se puede utilizar en la elaboración de mezclas de concreto, para una resistencia de diseño de 210 Kg/cm^2 a la edad de 28 días y una trabajabilidad de $4 \pm 1''$, en los diferentes porcentajes de sustitución usados en este estudio.
- Se recomienda aumentar el número de ensayos de contenido de aire para tener resultados más representativos y definir como es el comportamiento de esta propiedad a medida que se adiciona basalto vesicular en las mezclas de concreto
- Comprobar los cambios que sufre la granulometría del basalto normal, cuando se realizan combinaciones de basalto vesicular con normal en diferentes porcentajes, a través de la realización de ensayos granulométricos.
- Combinar en otros porcentajes de sustitución de basalto normal por basalto vesicular para poder tener un mayor criterio e información, del efecto que se tiene cuando se combinan estos materiales en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido.
- Incrementar el número de especímenes de concreto para el ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días, con la finalidad de obtener resultados más representativos del comportamiento del concreto.

- Para complementar esta investigación se recomienda elaborar mezclas de concreto con basalto vesicular diseñadas a diferentes resistencias de diseño; de tal manera que, se pueda definir hasta que resistencias es recomendable utilizar el basalto vesicular para elaborar concreto.

6.3 Referencias Bibliográficas

1. Trabajos de investigación

- Alberto Mijaíl Tupa Ortiz, (2018), "Concreto estructural liviano con escoria y ceniza volcánicas del distrito de Yura", Universidad Nacional de San Agustín (UNAS), Tesis para Título de Ingeniero Civil, Arequipa Perú.
- Luis Alejandro Palacios Martínez, (2019), "Determinación del comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido, utilizando vidrio molido como sustituto parcial del agregado fino", Universidad de El Salvador (UES), Tesis para Título de Ingeniero Civil, El Salvador.
- Ronald Isaí Arias Cisneros, Francisco Burgos Rivera, Franklin Giovanni Carranza Cisneros, (2013), "Determinación de comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido, utilizando arena natural, arena lavada industrialmente y la combinación de las mismas", Universidad de El Salvador (UES). Tesis para Título de Ingeniero Civil, El Salvador.

2. Libros de texto.

- Kosmalka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara, (2014), "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Portland Cement Association (PCA), Skokie, Illinois, EE.UU.

- Kyle A. Riding, Asad Esmaeily, Mohammadresa Mirzazhosseini, (2012) "Measurement of the Pore Size Distribution of Limestone Aggregates in Concrete Pavement Cores: Phase I", Kansas State University, Final Report No KS-12-1, Manhattan, Kansas.

3. Normativas.

- ASTM C1064-12: Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete.
- ASTM C127-12: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C128-12: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.
- ASTM C136-06: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ASTM C138-13: Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.
- ASTM C143-12: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.
- ASTM C172-10: Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete.
- ASTM C192-13: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- ASTM C29-09: Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate.

- ASTM C33-13: Standard Specification for Concrete Aggregates.
- ASTM C39-12: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C40-11: Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete.
- ASTM C702-11: Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.
- ASTM C94-13: Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.
- ASTM D75-14: Standard Practice for Sampling Aggregates.
- Comité ACI 211.1–92 (2002): Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete.
- Comité ACI 214- (2002): Evaluation of Strength Test Results of Concrete.

4. Otras Fuentes

- Apuntes de clase, Tecnología del Concreto, Universidad de El Salvador.
- Asesorías permanentes con Ing. José Miguel Landaverde (UES)
- Asesorías permanentes con Ing. Lesly E. Mendoza (UES)
- Asesorías permanentes con Ing. Saúl Cea (LA CANTERA)